



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**TERMOPLASTİK NIŞASTA (TPS)/ POLİ(BÜTİLEN ADİPAT-KO-
TEREFTALAT) (PBAT) BİYOBAZLI AKTİF AMBALAJ FİLMİ
ÜRETİMİ VE GIDA RAF ÖMRÜNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

Doktora Tezi

İdil TEKİN

Gıda Mühendisliği

İzmir
2024

**TERMOPLASTİK NİŞASTA (TPS)/ POLİ(BÜTİLEN
ADİPAT-KO-TEREFTALAT) (PBAT) BİYOBAZLI
AKTİF AMBALAJ FİLMİ ÜRETİMİ VE GIDA RAF
ÖMRÜNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

İdil TEKİN

Danışman : Doç. Dr. Seda ERSUS

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Doktora Programı

İzmir
2024

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Termoplastik Nişasta (TPS)/ Poli(Bütilen Adipatko-Tereftalat) (PBAT) Biyobazlı Aktif Ambalaj Filmi Üretimi ve Gıda Raf Ömrüne Etkilerinin Belirlenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

28 / 05 / 2024

İdil TEKİN

ÖZET**TERMOPLASTİK NİŞASTA (TPS)/ POLİ(BÜTİLEN ADİPAT-KO-TEREFTALAT) (PBAT) BİYOBAZLI AKTİF AMBALAJ FİLMİ ÜRETİMİ VE GIDA RAF ÖMRÜNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

TEKİN, İdil

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Seda ERSUS

Mayıs 2024, 154 sayfa

Yapılan bu tez çalışmasında termoplastik nişasta ve poli(bütlen adipat-kotereftalat) biyobazlı aktif filmleri üretimi ekstrüzyon yöntemiyle gerçekleştirilerek film özelliklerinin belirlenmesiyle birlikte gıda raf ömrü üzerine etkileri de belirlenmiştir. 4 aşamada gerçekleştirilen tez çalışmasının ilk kısmında termoplastik nişastanın üretimi gerçekleştirilmiştir. Ön denemelerle belirlenen sonuçlar doğrultusunda 135 ± 5 °C ekstrüzyon sıcaklığı ve %30 gliserol konsantrasyonu kullanılmıştır. İkinci aşamada ise üretim koşulları belirlenen termoplastik nişasta (%90-60) farklı oranlarda poli(bütlen adipat-kotereftalat) (%10-40) ve aktif madde olarak seçilen üzüm çekirdeği yağı (%0,5-4), alfa-tokoferol (%0,5-4) ve pirinç kabuğu (%1-5) ile karıştırılarak optimum parametrelerin belirlenmesi amacıyla yanıt yüzey yöntemi kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada ise optimizasyon sonucunda üretilen optimum ve kontrol filmlerine fiziksel, kimyasal, mekanik, termal, bariyer ve biyobozunurluk testleri uygulanarak değerlendirilmiştir. Özellikle üzüm çekirdeği yağının aktif madde olarak kullanıldığı filmlerde gerilme kuvvetinde yaklaşık 8 katlık bir artış sağlanarak kontrole kıyasla mukavemeti daha yüksek bir film elde edildiği sonucuna varılmıştır. Pirinç kabuğunun aktif madde olarak kullanıldığı filmlerde ise bu üretim yöntemiyle gıda ambalajı olabilecek genişlikte film üretilmediği tespit edilerek gıda uygulaması analizlerine dahil edilmemiştir. Son aşamada ise üretimi gerçekleştirilen filmler minimal işlem görmüş roka örneklerinin ambalajlanmasında kullanılmıştır. 14 günlük depolama süresi boyunca fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyu analizler gerçekleştirilerek sonuçlar

değerlendirilmiştir. Depolama süresi boyunca en iyi özelliklere üzüm çekirdeği yağı içeren aktif filmlerin sahip olduğu tespit edilmiştir. Alfa-tokoferol içeren filmlerin de kontrol filmlerine kıyasla minimal işlem görmüş rokaların üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir. Üzüm çekirdeği yağı ve alfa-tokoferolün aktif biyobazlı ambalaj filmi üretiminde kullanım potansiyelinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar sözcükler: Termoplastik nişasta, poli(bütilen adipat-ko-tereftalat), üzüm çekirdeği yağı, alfa-tokoferol, pirinç kabuğu, ekstrüzyon, aktif ambalajlama.



ABSTRACT**DEVELOPMENT OF TPS/ PBAT BIOBASED ACTIVE
PACKAGING FILM MATERIAL AND DETERMINATION OF ITS
EFFECTS ON FOOD SHELF LIFE**

TEKİN, İdil

Ph.D. in Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Seda ERSUS

May 2024, 154 pages

In this thesis study, the production of thermoplastic starch and poly(butylene adipate-co-terephthalate) biobased active films was carried out by extrusion method, and the effects on food shelf life were determined along with the determination of film properties. In the first step of the thesis study, which was carried out in 4 stages, the production of thermoplastic starch was carried out. In line with the results determined by preliminary experiments, an extrusion temperature of 135 ± 5 °C and 30% glycerol concentration were used. In the second step, production conditions were determined by mixing thermoplastic starch (90-60%), poly(butylene adipate-co-terephthalate) in varying ratios (10-40%), selected active ingredients such as grape seed oil (0.5-4%), alpha-tocopherol (0.5-4%), and rice husk (1-5%) with the aim of determining optimum parameters using response surface methodology for optimization. In the third stage, the optimum and control films produced as a result of the optimization were evaluated by applying physical, chemical, mechanical, thermal, barrier, and biodegradability tests. It was concluded that especially in the films in which grape seed oil was used as the active ingredient, an approximately 8 times increase in tensile strength was achieved, resulting in a film with higher strength compared to the control. In the films in which rice husk was used as the active ingredient, it was determined that this production method could not produce a film wide enough to be suitable for food packaging and was not included in the food application analysis. In the final stage, the produced films were used in the packaging of minimally processed arugula samples. Physical, chemical, microbiological and sensory analyses were performed and the results were evaluated during the 14-day storage period. It has been determined that active films containing grape seed oil have the best properties during storage. Films

containing alpha-tocopherol were also determined to be more effective on minimally treated arugula compared to control films. It was concluded that grape seed oil and alpha-tocopherol have the potential for use in the production of active biobased packaging films.

Key words: Thermoplastic starch, poly(butylene adipate-co-terephthalate), grape seed oil, alpha-tocopherol, rice husk, extrusion, active packaging.



ÖNSÖZ

Yapılan bu doktora tez çalışması kapsamında termoplastik nişasta ve poli(bütlen adipat-ko-tereftalat) biyobazlı ambalaj filmlerine aktif özellik kazandırmak amacıyla antioksidan özellikte farklı aktif maddelerle (üzüm çekirdeği yağı, alfa-tokoferol ve pirinç kabuğu) zenginleştirilerek, fiziksel, kimyasal, termal, mekanik, bariyer ve biyobozunurluk özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra minimal işlem görmüş sebzelerin ambalajlamasında kullanılarak raf ömrüne etkilerinin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle termoplastik nişasta üretimi için uygun sıcaklık ve gliserol konsantrasyonunun belirlenmesi sağlanmıştır. Uygun koşulların saptanmasında ekstrüzyon sonucu elde edilen termoplastik nişastanın renk ve üretim sırasındaki tork değerleri etkili olmuştur. İkinci aşamada termoplastik nişasta, poli(bütlen adipat-ko-tereftalat) ve aktif madde konsantrasyonlarının optimum koşullarının tespiti için ise yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Optimum noktaların belirlenmesinin akabinde optimum koşullarda üretimler yapılarak her bir aktif madde için aktif madde içermeyen kontrol örneklerinin de üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyobazlı filmlere uygulanan analizlerin yanı sıra minimal işlem görmüş roka örneklerinin de ambalajlanmasıyla 14 gün süreyle depolama gerçekleştirilmiştir. Depolama süresi boyunca fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyusal kalite karakteristikleri üzerine ambalaj materyallerinin etkisi değerlendirilmiştir. Özellikler üzüm çekirdeği yağının elde edilen biyobazlı ambalaj filmlerinde üzerinde olumlu etkiler göstermesinin yanı sıra depolama sırasında da minimal işlem görmüş rokaların kalitesini diğer örneklerle kıyasla daha iyi koruduğu belirlenmiştir. Üretimi gerçekleştirilen biyobazlı aktif filmlerin sentetik plastiklere alternatif olabileceği ve sürdürülebilir çevreye destek sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasının bir kısmı Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No: 23428). İdil Tekin, YÖK 100/2000 Doktora Burs Programı (Gıda Üretimi, İşleme ve Teknolojisi) ve TÜBİTAK 2211/A Yurt İçi Genel Doktora Burs Programı tarafından desteklenmiştir.

İZMİR

28/05/2024

İdil TEKİN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xxi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxviii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Dünya Geneline Plastik Malzeme Üretimi	4
2.2. Biyopolimerler	5
2.3. Nişasta	7
2.4. Termoplastik Nişasta	10
2.5. Termoplastik Nişastanın Üretim Yöntemleri	11
2.5.1. Çözücü döküm (solvent casting) yöntemi	11
2.5.2. Basınçlı kalıplama yöntemi	12
2.5.3. Enjeksiyon kalıplama yöntemi	13
2.5.4. Ekstrüzyon yöntemi	13

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.5.4.1.	Ekstrüzyon yöntemiyle kompond üretimi.....	15
2.5.4.2.	Reaktif ekstrüzyon	16
2.5.4.3.	Köpük ekstrüzyon	17
2.5.4.4.	Dökme film ekstrüzyonu.....	18
2.5.4.5.	Şişirme film ekstrüzyonu	19
2.5.4.6.	Koekstrüzyon	21
2.6.	Nişasta Temelli Karışımların Teknolojik Özelliklerinin İyileştirilmesi için Kullanılan Yöntemler.....	21
2.6.1.	Nişastanın modifikasyonu.....	22
2.6.2.	Nişasta temelli karışımların farklı bileşenler ile kombinasyonu ile kompozit malzemelerin eldesi	30
2.6.2.1.	Takviye ajanları.....	30
2.6.2.2.	Polimer karışımları.....	31
2.7.	Poli Bütilen(Adipat-ko-Teraftalat).....	31
2.8.	Termoplastik Nişasta ve Poli Bütilen(Adipat-koTereftalat) Kombinasyonları.....	33
2.9.	Minimal İşlem Görmüş Yeşil Yapraklı Sebzelerin Dayandırılma Yöntemleri.. ..	37
2.10.	Aktif Ambalajlama.....	38

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.11.	Polimer Matrisi İçerisinde Kullanılan Aktif Maddeler.....	46
2.11.1.	Üzüm çekirdeği yağı.....	46
2.11.2.	Alfa-tokoferol	46
2.11.3.	Pirinç kabuğu	47
3.	GEREÇ VE YÖNTEM.....	48
3.1.	Gereç	48
3.2.	İşleme Yöntemleri	48
3.2.1.	Termoplastik nişasta üretimi.....	48
3.2.2.	Termoplastik nişasta/poli(bütlen adipat-ko-tereftalat) biyobazlı aktif filmlerin üretimi.....	49
3.2.3.	Yanıt yüzey yöntemi ile termoplastik nişasta/poli(bütlen adipat-ko-tereftalat) biyobazlı aktif filmlerin üretim parametrelerinin optimizasyonu	50
3.3.	Analiz yöntemleri	50
3.3.1.	Kalınlık ölçümü	51
3.3.2.	Yoğunluk ölçümü	51
3.3.3.	Renk değerlerinin belirlenmesi.....	51
3.3.4.	Filmlerin örtücülük değerlerinin belirlenmesi (opasite).....	51
3.3.5.	Mekanik özelliklerin belirlenmesi	52

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.3.6.	Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi	52
3.3.7.	Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi	52
3.3.8.	Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile film yüzeyinin görüntülenmesi.....	53
3.3.9.	Optimum filmlerin fonksiyonel aktivitelerinin belirlenmesi	53
3.3.9.1.	Biyobazlı aktif filmlerden ekstrakt elde edilmesi	53
3.3.9.2.	Toplam fenolik madde miktarı analizi	53
3.3.9.3.	Antioksidan kapasite analizi	54
3.3.10.	Optimum biyobazlı aktif ambalaj filmlerinin bariyer özelliklerinin belirlenmesi.....	54
3.3.10.1.	Oksijen geçirgenliği	54
3.3.10.2.	Su buharı geçirgenliği	54
3.3.11.	Optimum film üretimleri için enerji tüketimlerinin belirlenmesi	55
3.3.12.	Optimum biyobazlı aktif ambalaj filmlerinin biyobozurluk özelliklerinin belirlenmesi.....	55
3.4.	Model Gıda Uygulamaları ve Depolama Analizleri	55
3.4.1.	Rokalara uygulanan ön işlemler.....	55
3.4.2.	Rokaların ambalajlanması.....	56

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.4.3.	Renk değerlerinin belirlenmesi.....	57
3.4.4.	Kuru madde analizi.....	57
3.4.5.	Ağırlık kaybının belirlenmesi.....	57
3.4.6.	pH değeri analizi.....	58
3.4.7.	Toplam klorofil miktarı	58
3.4.8.	Toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite analizleri için ekstraksiyonu	58
3.4.9.	Toplam mikroorganizma sayımı analizi	59
3.4.10.	Duyusal değerlendirme.....	59
3.5.	İstatistiksel Analizler	59
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	60
4.1.	Termoplastik Nişasta Üretim Koşullarının Belirlenmesi	60
4.2.	Termoplastik Nişasta/ Poli(Bütlen Adipat-ko-Tereftalat) Biyobazlı Aktif Filmlerin Optimizasyonu.....	62
4.2.1.	Termoplastik nişasta/ poli(bütlen adipat-ko-tereftalat)/ üzüm çekirdeği yağı biyobazlı aktif filmlerinin optimizasyonu.....	62
4.2.2.	Termoplastik nişasta/ poli(bütlen adipat-ko-tereftalat)/ alfa-tokoferol biyobazlı aktif filmlerinin optimizasyonu	65

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2.3.	Termoplastik nişasta/ poli(bütilen adipat-ko-tereftalat)/ pirinç kabuğu aktif filmlerinin optimizasyonu.....	69
4.3.	Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmler	73
4.4.	Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlere Ait Kalınlık ve Yoğunluk Değerleri.....	74
4.5.	Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlere Ait Renk ve Opasite Değerleri.....	76
4.6.	Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlere Ait Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi Analizi.....	76
4.7.	Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlere Ait Mekanik Özellikler.....	79
4.8.	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi ile Film Örneklerinin Termal Özelliklerinin Belirlenmesi	80
4.9.	Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlere Ait Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Kapasite Değerleri	82
4.10.	Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlerin Üretimlerine Ait Enerji Tüketimleri.....	83
4.11.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Film Yüzeyinin Karakterize Edilmesi.....	84
4.12.	Optimum Biyobazlı Aktif Ambalaj Filmlerinin Biyobozunurluk Özellikleri.....	87
4.13.	Biyobazlı Film Örneklerine Ait Bariyer Özellikler	89

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

4.14.	Model Gıda Uygulamaları ve Depolama Analizleri.....	91
4.14.1.	Depolamanın ağırlık kaybı üzerine etkisi	92
4.14.2.	Depolamanın renk değerleri üzerine etkisi	93
4.14.3.	Depolamanın pH değeri üzerine etkisi	96
4.14.4.	Depolamanın toplam klorofil miktarı üzerine etkisi.....	97
4.14.5.	Depolamanın toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasite üzerine etkileri	99
4.14.6.	Depolamanın toplam mikroorganizma sayısı üzerine etkisi.....	100
4.14.7.	Depolamanın duysal kalite karakteristikleri üzerine etkisi.....	102
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	105
	KAYNAKLAR DİZİNİ.....	107
	TEŞEKKÜR	135
	ÖZGEÇMİŞ.....	138
	EKLER	146



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Dünya geneli plastik üretiminin yıllara bağlı değişimi (Statista, 2024)..	4
Şekil 2.2. Biyopolimerlerin kaynaklarına göre sınıflandırılması (Rahardiyen et al., 2023).	6
Şekil 2.3. Biyopolimerlerin doğada bozunmalarına göre sınıflandırılması (Lindström and Österberg, 2020; Othman and Fadzil, 2021).....	7
Şekil 2.4. Nişastanın botanik kaynakları.	8
Şekil 2.5. Amiloz ve amilopektin molekül yapısı (Shrestha, 2023).	9
Şekil 2.6. Çözücü döküm (solvent casting) yöntemi (Lapomarda et al., 2021). ...	11
Şekil 2.7. Basınçlı kalıplama yöntemi (Jesrani, 2015).	12
Şekil 2.8. Enjeksiyon kalıplama yöntemi (Uglov et al., 2022).....	13
Şekil 2.9. Tek ve çift vidalı ekstrüder (Saber et al., 2023).	14
Şekil 2.10. Ekstrüderde nişasta karışımlarının işlenmesi (Yu et al., 2021).	15
Şekil 2.11. Ekstrüderde kompozit üretim basamakları.....	16
Şekil 2.12. Köpük ekstrüzyon yöntemi (Semerci, 2021).....	18
Şekil 2.13. Dökme film ekstrüzyonu (Simco-Ion, 2024).	18
Şekil 2.14. Şişirme film ekstrüzyon makinesi (Matila, 2024).	19
Şekil 2.15. Şişirme film ekstrüzyon örnek üretim hattı (Zikmund, 2017).	20
Şekil 2.16. Koekstrüzyon yöntemi (Aydoğdu et al., 2022).	21

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.17. PBAT oluşumu reaksiyon basamakları ve moleküler yapısı (Roy et al., 2024).	32
Şekil 3.1. Termoplastik nişasta üretimi	49
Şekil 3.2. Yıkanmış roka örnekleri.	56
Şekil 3.3. (1) BOPP, (2) PBAT, (3) TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) ve (4) TPS/PBAT/ α -T (Optimum) ambalaj filmleri ile ambalajlanmış minimal işlem görmüş roka yaprakları.	56
Şekil 4.1. Farklı sıcaklıklarda üretimi gerçekleştirilen TPS görüntüleri (a), 110 °C; (b), 120 °C; (c), 130 °C; (d), 140 °C; (e), 150 °C.	61
Şekil 4.2. Bağımsız değişkenlerin antioksidan kapasite(%) üzerine etkileri.	64
Şekil 4.3. Bağımsız değişkenlerin gerilme direnci (MPa) üzerine etkileri.	64
Şekil 4.4. Bağımsız değişkenlerin antioksidan kapasite (%) üzerine etkileri.	67
Şekil 4.5. Bağımsız değişkenlerin gerilme direnci (MPa) üzerine etkileri.	68
Şekil 4.6. Bağımsız değişkenlerin antioksidan kapasite (%) üzerine etkileri.	71
Şekil 4.7. Bağımsız değişkenlerin gerilme direnci (MPa) üzerine etkileri.	72
Şekil 4.8. Optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlere ait kalınlık ve yoğunluk değerleri	75
Şekil 4.9. Optimum ve kontrol biobazlı aktif filmlere ait FTIR spektrumları.	78
Şekil 4.10. Optimum ve kontrol biobazlı aktif filmlere ait gerilme direnci (MPa) ve kopma anındaki uzama (%).	79

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.11. Biyobazlı ambalaj filmlerine ait SEM görüntüleri.	86
Şekil 4.12. Biyobazlı ambalaj filmi örneklerine ait simüle toprak altında 35 gün süreyle meydana gelen ağırlık kaybı.	88
Şekil 4.13. Biyobozunma testine tabi tutulan biyobazlı filmlerin farklı günlere ait görüntüleri.....	88
Şekil 4.14. Farklı ambalaj materyalleri ile paketlenen rokaların depolama süresi boyunca değişimi	91
Şekil 4.15. Depolamanın ağırlık kaybı (%) üzerine etkisi.....	92
Şekil 4.16. Depolamanın L^* değeri üzerine etkisi.....	94
Şekil 4.17. Depolamanın a^* değeri üzerine etkisi.	94
Şekil 4.18. Depolamanın b^* değeri üzerine etkisi.....	95
Şekil 4.19. Depolamanın pH değeri üzerine etkisi.	96
Şekil 4.20. Depolamanın toplam klorofil miktarı üzerine etkisi.	98
Şekil 4.21. Depolamanın toplam fenolik madde miktarı üzerine etkisi.	99
Şekil 4.22. Depolamanın antioksidan kapasite değeri üzerine etkisi.	100
Şekil 4.23. Depolamanın toplam mikroorganizma sayısı üzerine etkisi.	101
Şekil 4.24. Depolamanın duyuşal özellikler üzerine etkisi.	103



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Türkiye’de farklı hammaddelerden üretilen nişasta miktarları (FAOSTAT, 2022; TÜİK, 2022).....	8
Çizelge 2.2. Farklı nişasta türlerinin amiloz ve amilopektin oranları (Averous, 2004; Gurunathan et al., 2015).	9
Çizelge 2.3. Nişasta modifikasyon yöntemleri.....	22
Çizelge 2.4. Farklı nişasta kaynaklarına uygulanan modifikasyon yöntemleri ve sağlanan avantajlar.....	25
Çizelge 2.5. TPS/PBAT karışımlarına dair literatür çalışmaları.	35
Çizelge 2.6. Aktif madde etki mekanizmaları ve örnek aktif maddeler (Samsudin and Hani, 2017).	39
Çizelge 2.7. TPS/PBAT aktif filmlere dair literatür çalışmaları.	41
Çizelge 3.1. Üzüm çekirdeği yağı, alfa-tokoferol ve pirinç kabuğu kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyonlara ait sınır değerleri.....	50
Çizelge 3.2. Roka örneklerine depolama süresince uygulanan analizler.	57
Çizelge 4.1. %30 gliserol konsantrasyonuyla üretimi gerçekleştirilen TPS'nin farklı sıcaklıklardaki renk ve tork değerleri.	61
Çizelge 4.2. Bağımsız değişkenler (aktif madde konsantrasyonu, üzüm çekirdeği yağı (ÜÇY) (%) ve TPS:PBAT konsantrasyonu) ve Box-Behnken tasarımına göre antioksidan kapasite ve gerilme direnci için deneysel veriler.	62
Çizelge 4.3. Aktif madde olarak üzüm çekirdeği yağının kullanıldığı optimizasyona ait tek yönlü varyans analizine ait değerler.	63

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.4. Bağımsız değişkenler (aktif madde konsantrasyonu, alfa-tokoferol (α -T) (%) ve TPS:PBAT konsantrasyonu) ve Box-Behnken tasarımına göre antioksidan kapasite ve gerilme direnci için deneysel veriler.....	66
Çizelge 4.5. Aktif madde olarak alfa-tokoferolün kullanıldığı optimizasyona ait tek yönlü varyans analizine ait değerler.....	67
Çizelge 4.6. Bağımsız değişkenler (aktif madde konsantrasyonu, pirinç kabuğu (PK) (%) ve TPS:PBAT konsantrasyonu) ve Box-Behnken tasarımına göre antioksidan kapasite ve gerilme direnci için deneysel veriler.....	70
Çizelge 4.7. Aktif madde olarak pirinç kabuğunun kullanıldığı optimizasyona ait tek yönlü varyans analizine ait değerler.....	71
Çizelge 4.8. Kontrol ve optimum filmlere ait örnek adları ve formülasyonlar.	73
Çizelge 4.9. Kontrol ve optimum filmlere ait görseller.	74
Çizelge 4.10. Optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlere ait kalınlık ve yoğunluk değerleri	75
Çizelge 4.11. Örneklerin erimekte kristallenme davranışlarına ait DSC verileri. ..	81
Çizelge 4.12. Optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlere ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g film) ve antioksidan kapasite (%) değerleri.....	83
Çizelge 4.13. Optimum ve kontrol biyobazlı filmlere ait tork (%), üretim süresi (sa) ve enerji tüketim (kWh/100 g) değerleri.....	84
Çizelge 4.14. Film örneklerine ait oksijen ve su buharı geçirgenliği değerleri.	90



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Alan
a^*	Kolorimetrede kırmızılık/yeşillik değeri
b^*	Kolorimetrede sarılık/mavilik değeri
C^*	Kroma
CO ₂	Karbondiyoksit
F	Fisher test değeri
g	Gram
H ₂ O	Su
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
HCL	Hidroklorik asit
h^o	Hue açısı
J	Joule
kg	Kilogram
L^*	Kolorimetrede aydınlık değeri
mL	Mililitre
MPa	Megapaskal
N ₂	Azot
Na ₂ CO ₃	Sodyum karbonat
nm	Nanometre
O ₂	Oksijen
P	İstatiki anlamlılık seviyesi
rpm	Dakikadaki tur sayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

sn	Saniye
t	Süre
T _c	Kristalleşme sıcaklığı
T _m	Erime sıcaklığı
w/v	Ağırlık/hacim
WI	Beyazlık indeksi
x	Film kalınlığı
X _c	Kristallik derecesi
YI	Sarılık indeksi
ZnO	Çinko oksit
ΔH _m	Erime entalpisi
ΔH _{m0}	%100 kristalin erime entalpisi
ΔP	Basınç farkı
ΔW	Ağırlık farkı
μmol	Mikro mol

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AK	Antioksidan kapasite
ANOVA	Varyans analizi
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
BOPP	Çift yönde gerdirilmiş polipropilen
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division
FTIR	Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi
GAE	Gallik asit eşdeğer
HMT	Sıcak buhar uygulaması
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
KY	Karanfil yağı
KOB	Koloni oluşturan birim
L/D	Boy/ çap oranı
NS	Nanoselüloz
NY	Nane yağı
OTR	Oksijen geçirgenliği
PBAT	Poli(Bütilen Adipat-ko-Tereftalat)
PBS	Polibütilen süksinat
PCL	Polikaprolakton

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

PE	Polietilen
PEA	Poliesteramid
PET	Poletilen tereftalat
PGA	Poliglikolik asit
PHA	Polihidroksialkonat
PHB	Polihidroksibütirat
PHBV	Poli(3-hidroksibütirat-ko-3-hidroksivalerat)
PK	Pirinç kabuğu
PLA	Polilaktik asit
PLGA	Polilaktik-ko-glikolik asit
POEA	Poli(ortoesteramid)
PU	Poliüretan
PVA	Polivinil alkol
RSM	Yanıt yüzet yöntemi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SF	Seyreltme faktörü
TPS	Termoplastik nişasta
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
ÜÇY	Üzüm çekirdeği yağı
WVP	Su buharı geçirgenliği
α -T	Alfa-tokoferol



1. GİRİŞ

Biyolojik olarak parçalanabilen, çevre dostu malzemelerin ekonomik ve sosyal önemi, çevresel kaygılarla birlikte son on yılda ciddi bir şekilde artış göstermiştir. Artan kamuoyu ve tüketici bilinci, katı atıkların bertarafı konusunda daha fazla dikkat çekerken, geri dönüşüm endüstrisinin büyümesine katkı sağlamış ve petrol bazlı plastiklere alternatif bulmak açısından da yapılan çalışmaların seyrine önemli etkilerde bulunmuştur. Özellikle gıda ambalajları yüksek hacimli plastik uygulamalarını içermesi sebebiyle kullanılan malzemelerin çevre dostu olması büyük önem taşımaktadır (Abubakar et al., 2022; Moshood et al., 2022a; Moshood et al., 2022b; Kibria et al., 2023).

Nişasta, düşük maliyeti ve kolay erişilebilirliği ile bu amaç için en umut verici ürünlerden bir tanesidir (Jiang et al., 2020). Termoplastik nişasta (TPS) ise, nişastanın gliserol gibi bir plastikleştirici varlığında kayma kuvveti ve sıcaklığın etkisiyle işlenerek elde edilmektedir (Das et al., 2023). Her ne kadar TPS saf nişastaya göre daha üstün özelliklere sahip olsa da TPS içeren formülasyonlar genellikle yüksek oranda suda çözünürlükleri, düşük erime noktaları, higroskopik davranışları, retrogradasyonları nedeniyle daha hızlı bozunmaları ve sentetik polimer bazlı malzemelere kıyasla daha zayıf mekanik özellikleriyle karakterize edilmektedirler. Bu zayıflıkların giderilebilmesi için nişastanın çeşitli yöntemlerle modifikasyonu, takviye ajanlarının kullanımı ve poli(bütilen adipat-ko-tereftalat) (PBAT), polilaktik asit (PLA), poliglikolik asit (PGA), polikaprolakton (PCL) gibi çeşitli polimerle kopolimerizasyonu yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir (Rivadeneira-Velasco et al., 2021; Paluch et al., 2022; Muñoz-Gimena et al., 2023).

Aromatik-alifatik bir kopolyester olan PBAT petrokimyasal kaynaklardan elde edilen ve ticari olarak ambalaj filmlerinde sıklıkla tercih edilen polietilene (PE) benzer mekanik özelliklere sahip biyolojik olarak parçalanabilen bir polimerdir (Venkatesan et al., 2023). Bu özelliklerinin yanında, PBAT'ın PE'ye oranla maliyetinin yüksek olması kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu şartlar altında maliyeti düşük, mekanik özellikleri zayıf TPS'nin yüksek maliyetli, güçlü mekanik özelliklere sahip PBAT ile farklı oranlarda karıştırılarak kullanılması bir avantaj olarak ifade edilmektedir (Nunes et al., 2018; de Matos Costa et al., 2020; Venkatesan et al., 2023).

Nişastanın TPS'ye dönüşümü ve PBAT ile harmanlanarak kompozit malzemelerin elde edilmesi sırasında genellikle ekstrüzyon, enjeksiyon ve basınçlı

kalıplama gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ekstrüzyon yöntemi polimerik malzemelerin tek ya da çift vidalı bir ekstrüzyon makinasının besleme ünitesine aktarıldıktan sonra, belirli bir debi, basınç ve sıcaklık altında eriyik haline gelmesi ve şekillendirilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu teknik ambalaj sektöründe endüstriyel üretimlerde, plastik esaslı ambalaj malzemelerinin üretiminde homojen olarak dağılması, istenilen boyutta film üretilmesi, hızlı ve seri üretimin yanı sıra mevcut otomasyon sayesinde insan gücünden tasarruf edilmesi gibi sağladığı avantajlar sebebiyle sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (Tadmor and Gogos, 2013; Nunes et al., 2018; Surendren et al., 2022; He et al., 2024).

Ekstrüzyon sonucu elde edilen filmler çeşitli ambalajlama sistemleri içerisinde kullanılabilmektedir. Bu ambalajlama sistemlerinden biri de antioksidan ve antimikrobiyal maddeler gibi bileşikler içeren filmlerin gıdaların raf ömrünün uzatılabilmesi ve raf ömrü süresince kalitesinin korunması için modern bir yaklaşım olan aktif ambalajlamadır. Biyobazlı malzemelerle üretimi gerçekleştirilebilen bu ambalaj filmlerin antioksidan özelliklerini geliştirmek için kırmızı üzüm, üzüm çekirdeği, kekik, yeşil çay, biberiye gibi bitkisel ekstraktlar, çeşitli esansiyel, aromatik yağlar ve bunların yanı sıra meyve-sebze işleme endüstrisi atıkları da yüksek oranda polifenol içermesinden dolayı potansiyel kaynaklar olabilmektedir (Barbosa-Pereira et al., 2014; Piñeros-Hernandez et al., 2017; da Silva et al., 2019a; Fadji et al., 2023).

Literatürde incelendiğinde TPS/PBAT biyobazlı filmlere aktif özellik kazandırmak amacıyla yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır ve genellikle kekik, biberiye gibi yaygın bitkisel ekstraktların kullanıldığı görülmektedir. Alfa-tokoferol, güçlü antioksidan özellikleri nedeniyle polimer kombinasyonlarında sıkça kullanılmakta ve stabilizatör olarak işlev görmektedir. Ancak, TPS/PBAT kombinasyonlarında kullanımıyla ilgili literatürde yalnızca bir çalışma (Fidelis et al., 2015) bulunmakta olup, bu çalışma alanda önemli bir boşluğa işaret etmektedir. Bu kapsamda üzüm çekirdeği yağı ve pirinç kabuğu ise, antioksidan kapasitesi yüksek olmalarına rağmen TPS/PBAT biyobazlı filmlerde aktif madde olarak kullanımlarına dair literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu maddelerin seçimi hem antioksidan zenginlikleri hem de biyobazlı ambalaj filmlerinin yenilikçi ve sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

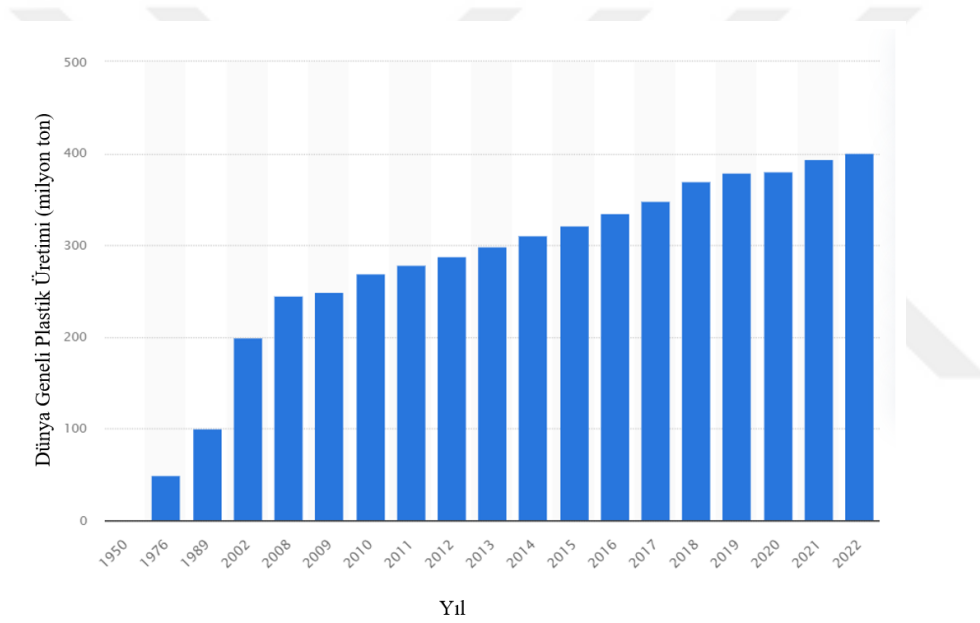
Bu tez çalışmasının amacı, TPS/PBAT biyobazlı ambalaj filmlerine aktif özellik kazandırmak amacıyla antioksidanlar özellikte farklı aktif maddelerle

zenginleştirilerek, fiziksel, kimyasal, termal, mekanik, bariyer ve biyobozunurluk özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra minimal işlem görmüş sebzelerin ambalajlamasında kullanılarak raf ömrüne etkilerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda öncelikle TPS üretimi için uygun sıcaklık ve gliserol konsantrasyonunun belirlenmesi sağlanmıştır. Uygun koşulların saptanmasında ekstrüzyon sonucu elde edilen TPS'lerin renk ve üretim sırasındaki tork değerleri etkili olmuştur. İkinci aşamada TPS/PBAT/aktif madde konsantrasyonlarının optimum koşullarının tespiti için ise yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Optimum noktaların belirlenmesinin akabinde optimum koşullarda üretimler yapılarak her bir aktif madde için aktif madde içermeyen kontrol örneklerinin de üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyobazlı filmlere uygulanan analizlerin yanı sıra minimal işlem görmüş roka örnekleri de ambalajlanarak 14 gün süreyle depolama gerçekleştirilmiştir. Depolama süresi boyunca fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyusal kalite karakteristikleri üzerine ambalaj materyallerinin etkisi değerlendirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dünya Genelinde Plastik Malzeme Üretimi

Günümüz yaşamında polimerlerden üretilen plastik malzemeler, arzu edilen özellikleri ve üretim kolaylıkları nedeniyle günlük yaşamın ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. Dünya çapındaki plastik üretimi 2021 yılında yaklaşık 394 milyon ton olarak ifade edilirken 2022 yılında 400 milyon tona ulaşmıştır. Bu şartlar altında 2040 yılında plastik üretimine bağlı oluşan atık miktarının 1 milyar 300 milyon tona ulaşması beklenmektedir (Mangaraj et al., 2019; Shaikh et al., 2021). Şekil 2.1’de dünya genelindeki plastik üretim miktarlarının yıllara bağlı olarak artışı görülmektedir.



Şekil 2.1. Dünya geneli plastik üretiminin yıllara bağlı değişimi (Statista, 2024).

Plastikler, hafif, dayanıklı, esnek ve düşük maliyetli olmaları nedeniyle ambalaj başta olmak üzere otomotiv, inşaat, elektronik, tıbbi ve tekstil gibi birçok farklı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ambalaj endüstrisi içerisinde gıda ambalajları yüksek hacimli plastik uygulamaları nedeniyle dikkat çekmektedir. Diğer yandan plastik kullanımının yaygınlaşması çevresel sorunlara yol açmaktadır. Plastik atıkların doğada parçalanma süresinin çok uzun olması sebebiyle, okyanuslarda ve karalarda büyük çöp yığınları oluşmaktadır. Bu da deniz canlılarının ölümüne, ekosistemlerin bozulmasına ve insan sağlığına zarar veren bir

döngünün başlamasına sebep olmaktadır (Kılınç vd., 2017; da Silva et al., 2019a; Karakuş ve Ayhan, 2019).

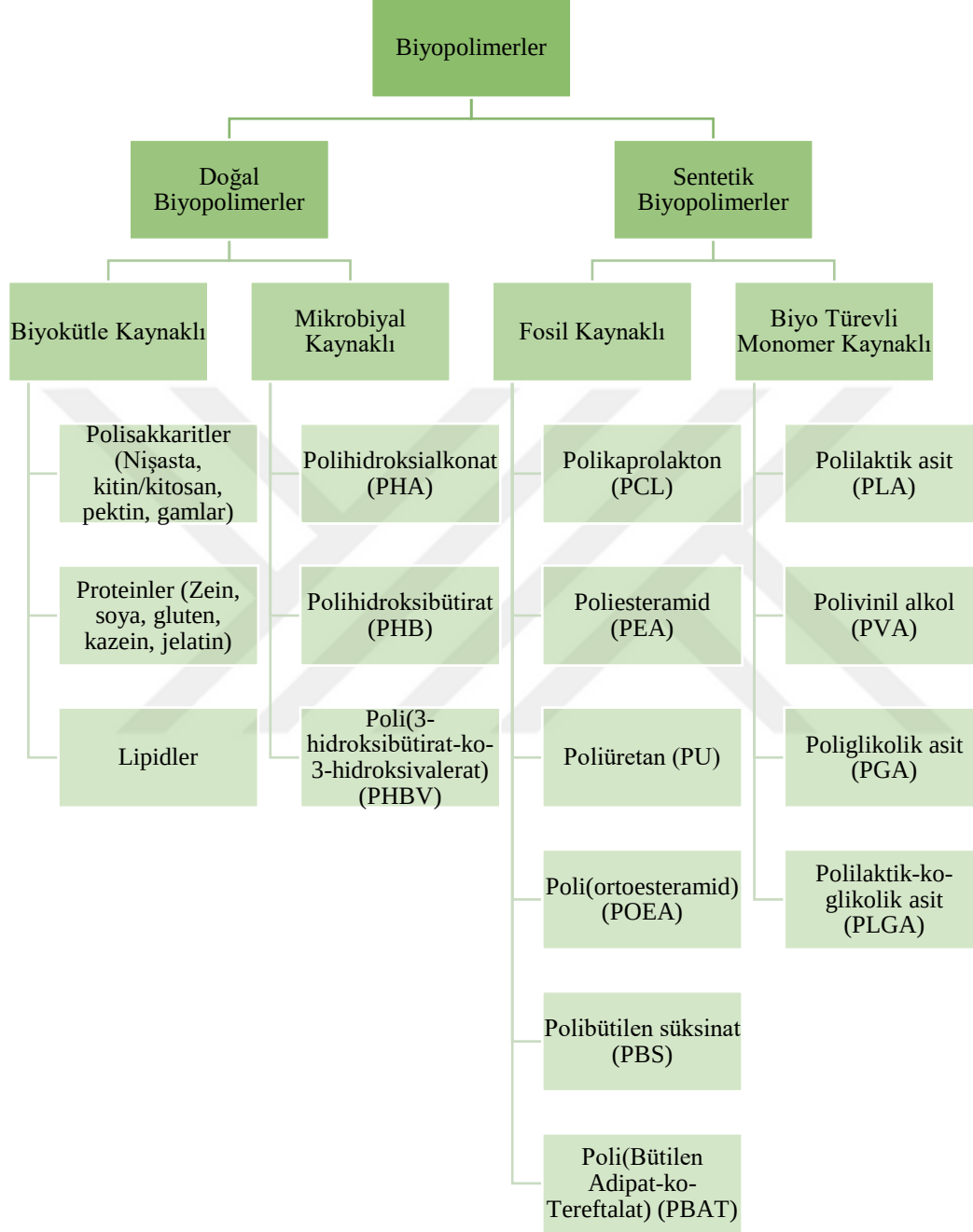
Plastik kullanımının çevresel etkilerini azaltmak için birçok adım atılmıştır. İlki geri dönüşüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Geri dönüşüm sayesinde plastik atıkların yeniden kullanımı ve kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılması sağlanır. Ayrıca, tek kullanımlık plastik ürünlerin yasaklanması veya sınırlandırılması, plastik tüketimini azaltmak için alınan önlemler arasındadır (Vieyra et al., 2022; Yakışık, 2023). Bir aşamaya kadar başarılı olan bu adımlarla birlikte plastik kullanımını azaltmak ve çevresel etkilerini en aza indirmek için daha fazla çaba gerekmektedir. Alternatif malzemelerin kullanımı, tasarımın yeniden düşünülmesi ve tüketici alışkanlıklarının değiştirilmesi gibi yöntemlerle, plastik kullanımının sürdürülebilir bir şekilde azaltılması önem taşımaktadır. Bu çabaların önemi gün geçtikçe artmakta ve küresel düzeyde çevre dostu uygulamaların benimsenmesi için toplumsal farkındalık ve işbirliği gerekmektedir. Dolayısıyla katı atıkların bertaraf edilmesine ilişkin artan kamuoyu bilinci ve çevresel kaygılar ile geri dönüşüm endüstrisinin büyümesi ve biyobozunur ve/veya biyopolimerlerin, özellikle ambalaj endüstrisinde petrol bazlı plastiklerin ikame maddeleri olarak kullanılması sürdürülebilirlik kavramının oluşturulmasına yol açtığı için biyolojik olarak parçalanabilen, çevre dostu malzemelerin ekonomik ve sosyal önemi, son on yılda ciddi bir şekilde artış göstermiştir (Kim et al., 2018; da Silva et al., 2019a). Özellikle gıda ambalajlarının genellikle yüksek hacimli plastik uygulamalarını içermesi nedeniyle, kullanılan malzemelerin biyolojik olarak parçalanabilir olması son derece önemlidir (Wei et al., 2015; Marinho et al., 2017).

2.2. Biyopolimerler

Biyopolimerler kullanım süresi tamamlandığında çevreyi olumsuz etkilemeden kompostlanarak bertaraf edilebilen veya çeşitli geri dönüşüm yöntemleriyle tekrar kullanılmak üzere işlev kazandırılabilen malzemelerdir. Genellikle biyokütle olarak adlandırılan nişasta ve selülozik materyaller gibi doğal kaynaklardan elde edilseler de fosil kaynaklardan da elde edilebilirler (Yoruç ve Uğraşkan, 2017; Phiri et al., 2023; Dejene and Geletaw, 2024).

Biyopolimerleri sınıflandırmak için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Sıklıkla karşılaşılan ilk sınıflandırma biyopolimerlerin kaynak kökenine dayalıdır. Doğal ve sentetik olmak üzere iki ana kategori altında incelenen bu sınıflandırma yöntemi çeşitli alt kollara ayrılır. Bu sınıflandırma yaklaşımı, biyopolimerlerin

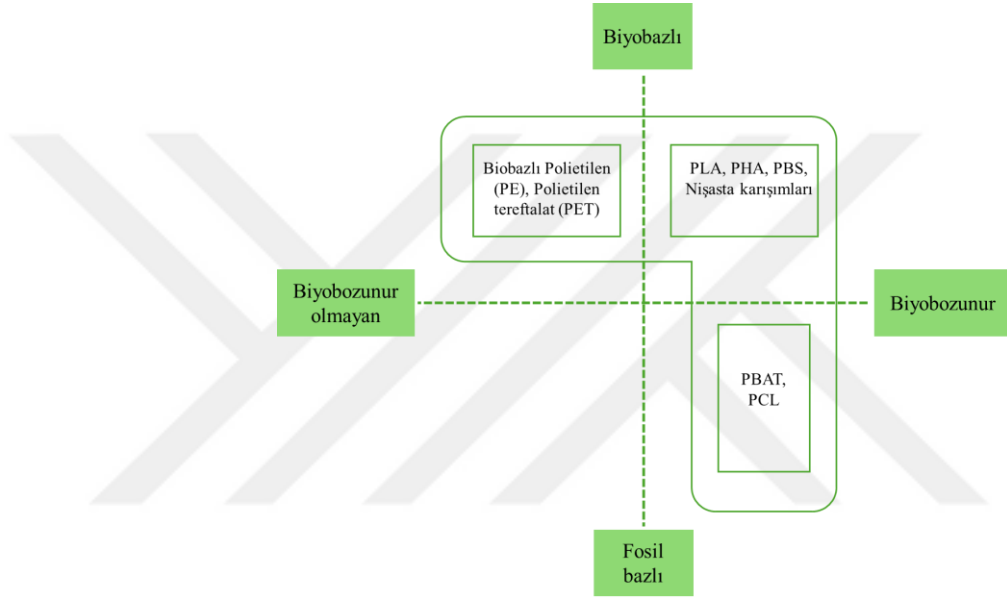
özelliklerini, kullanım alanlarını ve çevresel etkilerinin anlamak için önemli bir temel oluşturur (Rahardiyen et al., 2023; Siddiqui et al., 2024). Söz konusu sınıflandırma ve alt kolları, detaylı bir şekilde Şekil 2.2’de sunulmaktadır.



Şekil 2.2. Biyopolimerlerin kaynaklarına göre sınıflandırılması (Rahardiyen et al., 2023).

Biyopolimerlerin sınıflandırılması için sıklıkla kullanılan bir diğer yöntem ise fosil/ biyobazlı ve biyobozunur/ biyobozunur olmayan şeklinde yapılan sınıflandırmadır. Söz konusu sınıflandırma yöntemi örnekleri ile beraber Şekil

2.3’de gösterilmektedir. İki sınıflandırma yöntemi birlikte değerlendirildiğinde biyopolimerlerin özellikleri ve kullanım amaçları hakkında daha kapsamlı bir anlayış sağlanır. Şekilde de görüldüğü üzere biyobozunurluk biyopolimerin kaynağından bağımsız bir özelliktir. Dolayısıyla fosil kaynaklı olmasına rağmen üretim koşullarına ve molekül yapısında meydana getirilen değişiklikler ile birlikte biyobozunur polimer üretmek mümkündür. Bu sınıflandırmalar, biyopolimerlerin çeşitliliğini ve kullanım potansiyelini anlamak için önemli bir bakış açısı sağlamaktadır (Lindström and Österberg, 2020; Othman and Fadzil, 2021; Siddiqui et al., 2024).



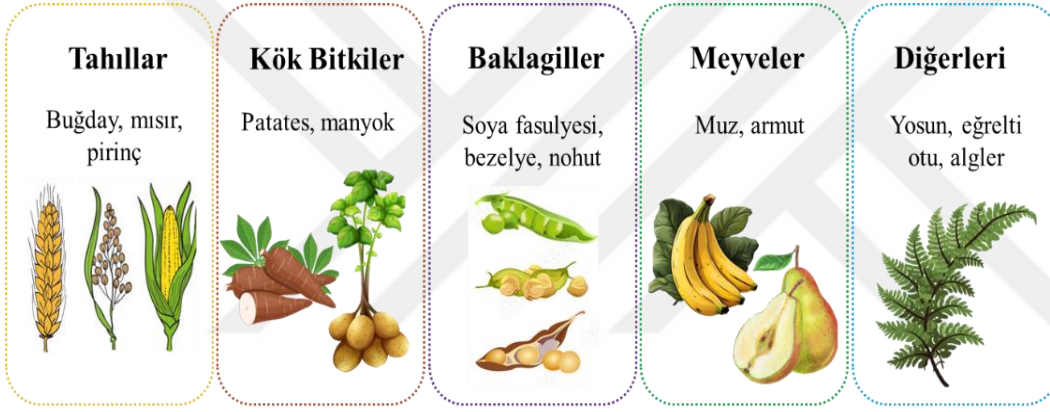
Şekil 2.3. Biyopolimerlerin doğada bozunmalarına göre sınıflandırılması (Lindström and Österberg, 2020; Othman and Fadzil, 2021).

2.3. Nişasta

Nişasta yeşil bitkilerin yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmek için kullandığı ana depo karbonhidrattır. Fotosentezin aydınlık evre sürecinde kloroplastlarda üretilen glikozun bitki tarafından metabolik süreçlerin gerçekleştirilmesi için enerji kaynağı olarak kullanıldıktan sonra kalan glikoz ise amiloplastlarda nişasta olarak depolanır. Bitkiler için yaşamsal önem arz eden nişasta insan beslenmesinde de önemli bir yer tutmaktadır. Biyolojik olarak parçalanabilen ve doğa dostu üretimler için umut vadeden bir biyopolimer olmasıyla birlikte, uygun maliyetli, kolay erişilebilir ve çeşitli teknolojilerle işlenerek amaca uygun farklı formlara dönüştürülebilmesi nedeniyle gıda endüstrisi başta olmak üzere ilaç, kozmetik, kağıt, tekstil ve ambalaj endüstrilerinde de önemli

yer tutmaktadır (Gurunathan et al., 2015; Apriyanto et al., 2022; Huang et al., 2022a).

Nişasta çoğunlukla yüksek bitkilerin yumrularında, köklerinde, tohumlarında ve gvdellerinde üretilir. Az miktarda bazı yosunlar, bakteriler, protozoalar, eğreli otları ve algler tarafından üretilir (Yalçın vd., 2020). Nişastanın botanik kaynaklarına dair gruplar ve bazı örnekleri şekil 2.4’de görülmektedir. Günümüzde buğday, mısır, patates ve pirinç gibi bitkiler dünyada nişasta üretimini için daha erişilebilir kaynaklar olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemiz için de önem taşıyan bu hammaddelerden elde edilen nişastaların üretim istatistikleri izelge 2.1’de görülmektedir. Üretim istatistikleri incelendiğinde buğday ve mısır nişastası kolay işleme ve uygun maliyet sebebiyle Türkiye’de en çok üretilen nişasta çeşitleridir (FAOSTAT, 2022; TÜİK, 2022).

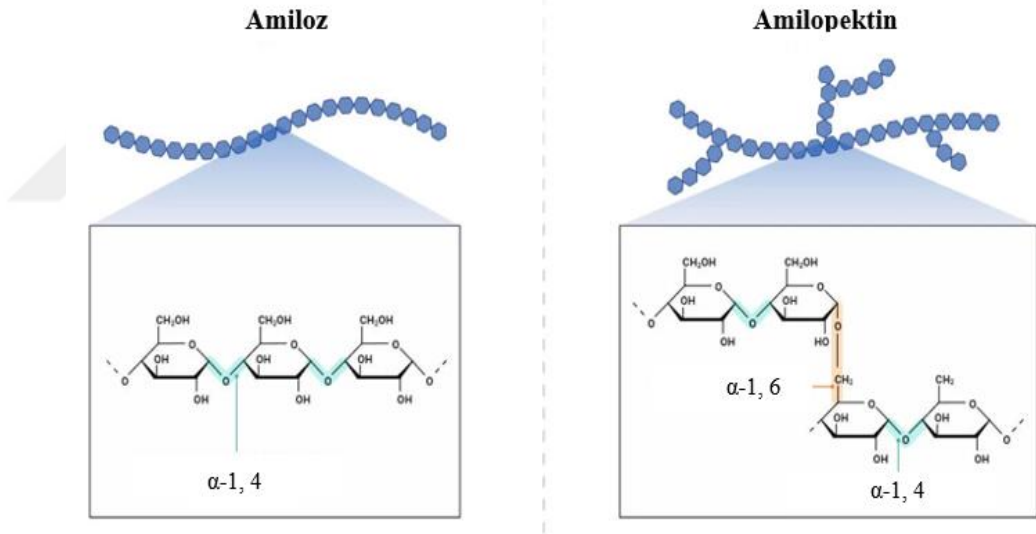


şekil 2.4. Nişastanın botanik kaynakları.

Çizelge 2.1. Türkiye’de farklı hammaddelerden üretilen nişasta miktarları (FAOSTAT, 2022; TÜİK, 2022)

Hammadde	Nişasta retim Miktarları (2021)
Buğday nişastası	1,7 milyon ton
Mısır nişastası	417,200 ton
Patates nişastası	17,585 ton
Pirinç nişastası	6,05 ton

Nişasta, α -1, 4 ve α -1, 6 bağları ile bağlanmış glikoz ünitelerinden oluşan doğal kaynaklı bir polisakkarittir. Heterojen bir molekül yapısına sahip olan nişasta, genellikle lineer yapıdaki amiloz ve dallı yapıdaki amilopektin moleküllerini içerir (Bergthaller and Hollmann, 2014). Bu iki moleküle ait kimyasal yapılar şekil 2.5'te görölmektedir. Amiloz, glikoz ünitelerinin α -1, 4 bağlarıyla bağlandığı, az sayıda dallanma noktasına sahip olan ve nişasta granüllerinin amorf bölgelerinden sorumlu olan doğrusal yapıda bir moleküldür. Diğer yandan amilopektin ise glikoz ünitelerinin doğrusal bölgelerde α -1, 4, dallanma bölgelerinde ise α -1, 6 bağlarıyla bağlandığı kristal lamellerin oluşumundan sorumlu olan moleküldür. Genellikle işlem görmemiş nişastaların %25-30 amiloz ve %70-75 amilopektin içerdiği belirtilirken hammaddenin türü, yetiştirilme şartları, hasat zamanı, iklim, toprak özellikleri ve nişastanın elde edilme şekline bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (Gurunathan et al., 2015). Farklı hammaddelerden elde edilen nişastaların içerdikleri amiloz ve amilopektin oranları izelge 2.2'de görölmektedir.



şekil 2.5. Amiloz ve amilopektin molekül yapısı (Shrestha, 2023).

Çizelge 2.2. Farklı nişasta türlerinin amiloz ve amilopektin oranları (Averous, 2004; Gurunathan et al., 2015).

Hammadde	Amiloz (%)	Amilopektin (%)
Buğday nişastası	26-27	73-74
Mısır nişastası	26-28	72-73
Patates nişastası	20-25	75-80
Pirinç nişastası	16-18	82-84

Nişastanın fonksiyonel ve teknolojik özellikleri elde edildikleri kaynağa göre değişmenin yanı sıra amiloz ve amilopektin oranına göre de değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla nişastaları amiloz ve amilopektin içeriğine göre üç gruba ayırmak mümkündür. İlk grupta %25-30 amiloz ve %70-75 amilopektin içeren normal nişastalar yer alırken, ikinci grupta %98-99 amilopektin içeren mumsu nişastalar ve %50-70 amiloz içeren yüksek amilozlu nişastalar yer almaktadır. Her bir grubun teknolojik özelliklerinin farklı olması nedeniyle amaca uygun olarak çeşitli modifikasyon yöntemleri ile elde edilmeleri mümkündür (Yalçın vd., 2020).

2.4. Termoplastik Nişasta

Doğal nişasta ve nişasta içeren formülasyonlar suda çözünürlükleri, higroskopik davranışları, düşük erime noktaları ve retrogradasyonları nedeniyle daha hızlı bozunmaları ve sentetik polimer bazlı malzemelere oranla daha düşük mekanik özellikleriyle karakterize edilmektedirler. Bu zayıflıkların bertaraf edilmesi için nişastanın fiziksel, kimyasal modifikasyonu, nişastadan termoplastik nişasta eldesi, diğer polimerik maddelerle veya dolgu malzemeleriyle farklı konsantrasyonlarda karıştırılarak yeni formülasyonların elde edilmesi gibi stratejiler kullanılmaktadır (Chivrac et al., 2009; Dang et al., 2020).

Termoplastik nişasta (TPS), nişastanın bir plastikleştirici varlığında kayma kuvveti ve sıcaklığın etkisiyle işlenerek elde edilmektedir. Bu aşamada plastikleştiriciler nişastanın serbest hacmini arttırarak amiloz ve amilopektin zincir yapısında yer alan hidrojen bağlarını azaltarak nişastanın polimer olarak davranabilme özelliklerini iyileştirir. Bu sayede esneklik ve işlenebilirliğin artmasıyla birlikte moleküler zincir hareketliliği de desteklenir. TPS üretiminde kullanılan plastikleştiriciler gliserol, sorbitol, glikol, üre, su, sitrik asit, fruktoz, maltoz ve sukroz olarak sıralanabilir. Ancak bunların içerisinde özellikle kimyasal yapıları ile nişasta polimerinin yapısı arasındaki yakın benzerlik nedeniyle nişasta bazlı üretimler için en yaygın kullanılan poliol grubuna ait olan gliserol ve sorbitoldür (Cerruti et al., 2011; Babaee et al., 2015; Wei et al, 2015; Nunes et al., 2018). Son yıllarda yapılan çalışmalarda alternatif plastikleştiricilerin kullanımı da ön plana çıkmaktadır. Yapılan bir çalışmada bitkisel yağlardan türetilen çevre dostu bir plastikleştirici olan maleinleştirilmiş keten tohumu yağının gliserole eklenerek dikkate değer bir uyumluluk etkisi elde eden bir plastikleştirme özelliği sunduğu belirtilmektedir. Plastikleştirici olarak gliserol ve sorbitol ile farklı yüzdelerde ayçiçeği tohumu yağı karışımının kullanılması da yapılan bir başka çalışmada araştırılmıştır. Yağın varlığının sadece su buharına karşı bariyer özelliklerini

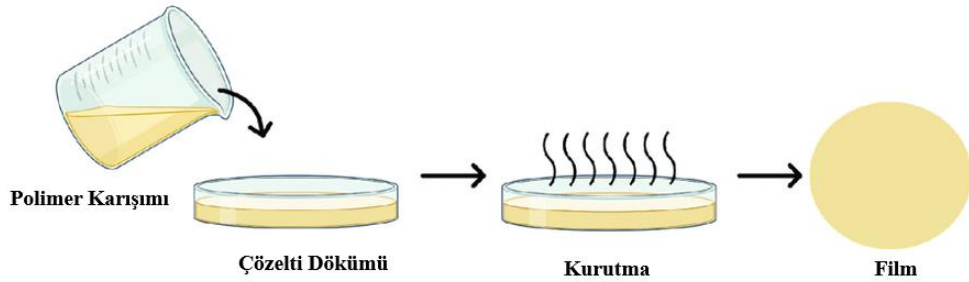
arttırmakla kalmayıp aynı zamanda nişasta filmlerinin mekanik özelliklerini de arttırdığı ifade edilmiştir (Ferri et al., 2016; Diyana et al., 2021).

2.5. Termoplastik Nişastanın Üretim Yöntemleri

Termoplastik nişasta üretiminde amaca yönelik olarak çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler, kullanılan hammaddenin özelliklerine, ürünün kullanım amacına ve endüstriyel uygulamaya bağlı olarak değişebilmektedir. Genellikle kullanılan yöntemler; çözücü döküm (solvent casting), basınçlı kalıplama, enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon olarak sıralanabilir.

2.5.1. Çözücü döküm (solvent casting) yöntemi

Çözelti döküm yöntemi, termoplastik nişasta bazlı film ve levha üretmenin en basit ve ucuz yolu olması sebebiyle küçük ölçekli çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Sırasıyla nişastanın uygun bir çözgen içerisinde çözünmesi, plastikleştirme, düz bir yüzeye dökme ve kurutma aşamalarını içerir (Şekil 2.6) (Bangar et al., 2021; Othman et al., 2023).

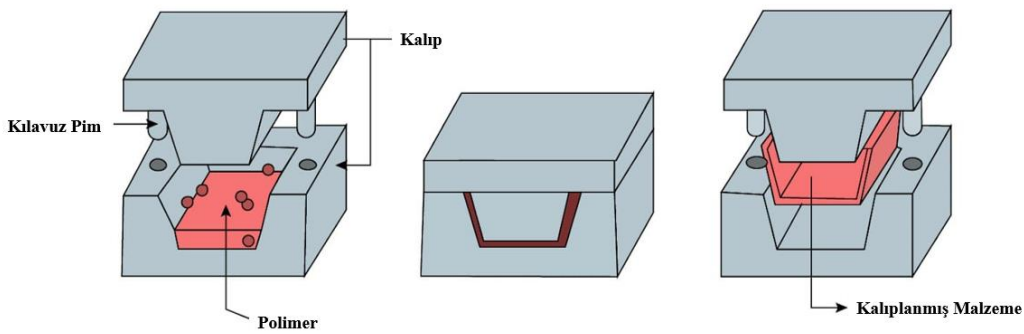


Şekil 2.6. Çözücü döküm (solvent casting) yöntemi (Lapomarda et al., 2021).

Proses sırasında ilk olarak çözgen içerisinde %3-10 oranında nişasta ve plastikleştiricilerin ilave edilerek çözünmesi sağlanır. Bu aşamada seçilen çözgen genellikle su olurken plastikleştirme amacıyla gliserol veya sorbitol gibi plastikleştiricilerin yanı sıra polietilen glikol gibi çapraz bağ yapan katkı maddeleri de kullanılabilir. Çözelti hazırlandıktan sonra önem taşıyan diğer bir basamak ise bu çözeltinin nişastanın jelleşebileceği bir sıcaklığa kadar sürekli karıştırılarak ısıtılmasıdır. Ardından, jelatinleşmiş nişasta ve plastikleştirici karışımı düz bir plakaya dökülerek ve 40-75 °C arasındaki bir etüvde kurumaya bırakılır. Kuruyan film veya levhalar plak üzerinden çıkarılarak çeşitli amaçlar için kullanılabilir (Suhag et al., 2020; Eslami et al., 2023).

2.5.2. Basınçlı kalıplama yöntemi

Bu yöntemde, genellikle önceden ısıtılan nişasta bazlı polimer karışımı öncelikle kalıp boşluğuna yerleştirilir. Kalıp bir üst kuvvet veya tampon elemanı ile kapatılarak malzemenin kalıbın her parçasıyla temas edebilmesi için basınç uygulanır. Bu süreç devam ederken polimer malzeme sertleşene kadar ısı ve basınç uygulaması devam eder (Şekil 2.7). Malzemenin sertliği ve formunu koruyabildiği noktada üst kuvvet ve basınç kaldırılarak kalıplanmış ürün kalıbın alt kısmından çıkarılır (Karakuş ve Mengeloğlu, 2015; Hamamcı vd., 2018).

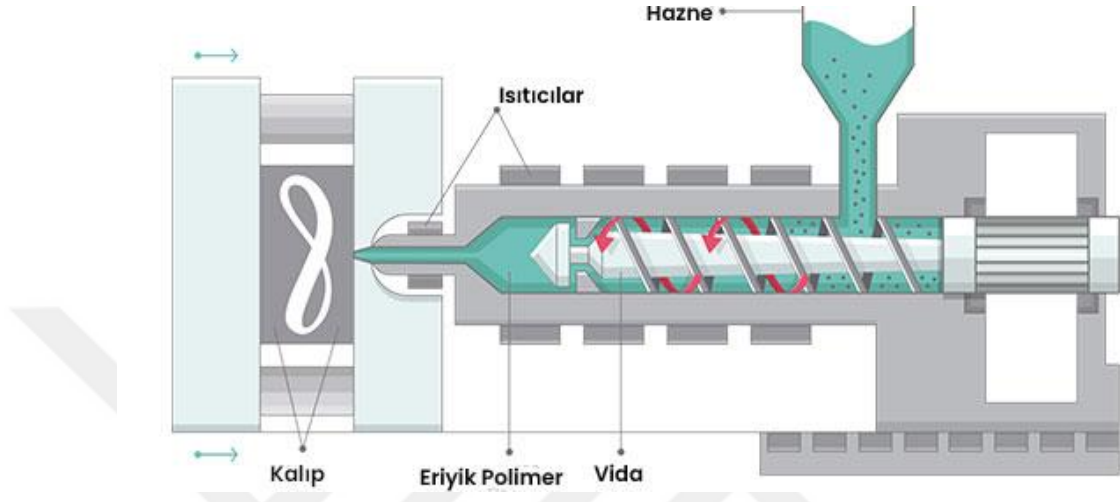


Şekil 2.7. Basınçlı kalıplama yöntemi (Jesrani, 2015).

Basınç uygulaması sırasında kalıplama için yeterli malzeme miktarının belirlenmesi, nişastaya uygulanan ön işlemler, polimer karışımının kalıp boşluğuna homojen bir şekilde yüklenmesi düzgün bir üretim yapabilmek için dikkat edilmesi gereken temel konulardandır. Basınçlı kalıplama genellikle tabak, kapak ve ince detay gerektiren küçük parçaların üretiminde kullanılabilmektedir. Diğer kalıplama yöntemleri ile kıyaslandığında daha ucuz olmasının yanı sıra üretim sırasında da nispeten az malzemeye ihtiyaç duyması ve az ürün israf etmesiyle maliyeti yüksek bileşiklerle çalışırken avantaj sağlar (Versino et al., 2016; Mokhena et al., 2018) .

2.5.3. Enjeksiyon kalıplama yöntemi

Enjeksiyon kalıplama, polimer karışımının eriyik hale geldikten sonra istenilen boşluğa ve kalıba enjekte edilerek basınç ve sıcaklık altında katılaşmasının sağlandığı bir prosestir (Şekil 2.8) (Gunning et al., 2014).



Şekil 2.8. Enjeksiyon kalıplama yöntemi (Uglov et al., 2022).

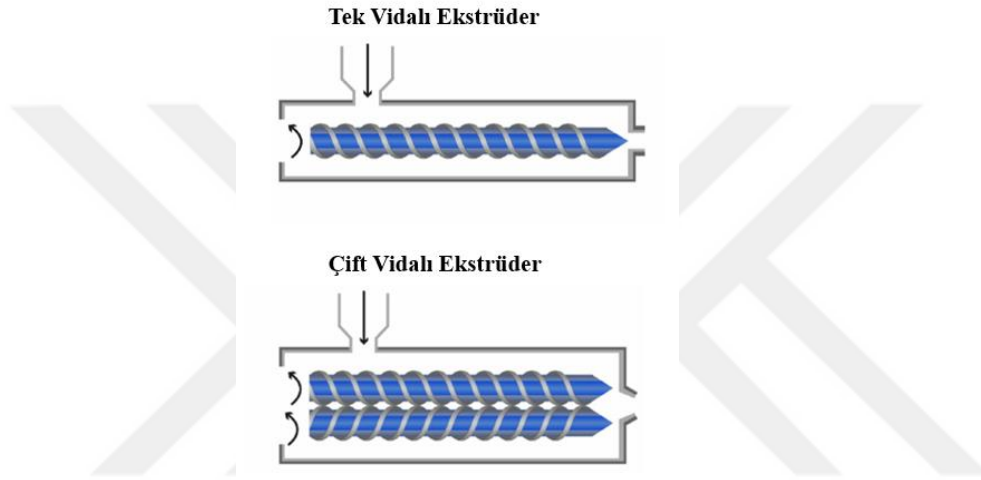
Enjeksiyon kalıplama yönteminin hem termoset malzemelere hem de termoplastik malzemelere uygulandığı bilinmektedir. Bu iki grup malzeme arasında kalıp içerisinde ve basınç altında sertleşmek konusunda farklılıklar bulunmaktadır. Termoset polimerler süre sonunda kalıp içerisinden sıcak fakat sertleşmiş halde çıkarken, termoplastik polimerlerin sertleşmesi kalıp dışında da bir süre daha devam eder. Nişasta bazlı polimerlerin bu yöntemde kullanılmasındaki temel zorluklar ise ısı davranışlarının yanı sıra, yüksek viskozite değerleri ve buna karşılık zayıf akış özellikleri olarak sıralanabilir. Diğer dezavantajlar ise proses sonunda elde edilen örneklerin yüksek hidrofilik karakterde olması, zayıf stabilite gibi ürün performansı ile ilgili kriterlerdir. Bu dezavantajlar nişastanın modifikasyonu ya da takviye ajanlarıyla harmanlanması gibi yöntemlerle en aza indirilebilir (Czepiel et al., 2023; Hossain et al., 2024).

2.5.4. Ekstrüzyon yöntemi

Ekstrüzyon tekniği polimerik malzemenin tek veya çift vidalı bir ekstrüzyon makinasının besleme ünitesine aktarıldıktan sonra, belirli bir debi, basınç ve sıcaklık altında eriyik haline gelmesi ve şekillendirilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu teknik ambalaj sektöründe endüstriyel üretimlerde, plastik

esaslı ambalaj malzemelerinin üretiminde homojen olarak dağılması, istenilen boyutta film üretilmesi, hızlı ve seri üretimin yanı sıra mevcut otomasyon sayesinde insan gücünden tasarruf edilmesi gibi sağladığı avantajlar sebebiyle sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (Tadmor and Gogos, 2013; Nunes et al., 2018).

Nişasta karışımlarında da sıklıkla kullanılan ekstrüzyon yönteminde kullanılan ana ekipmanlar tek vidalı ve çift vidalı ekstrüderdir. Şekil 2.9’da görsel olarak sunulan ekstrüderler çeşitli formülasyonlara sahip termoplastik nişastaların üretiminde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

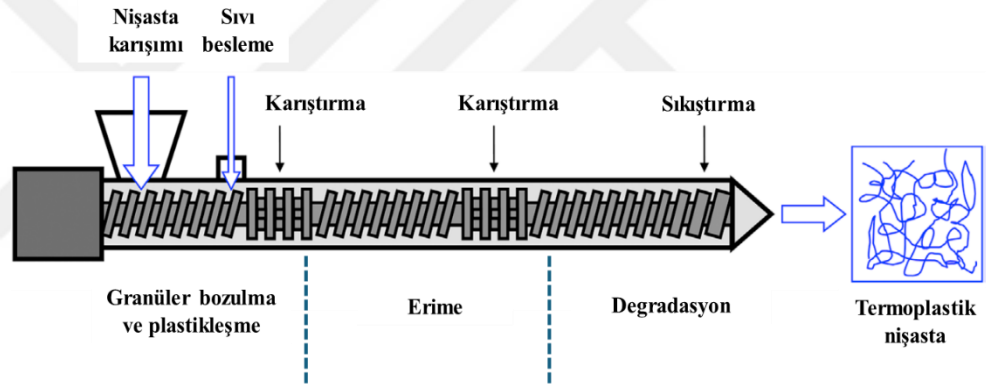


Şekil 2.9. Tek ve çift vidalı ekstrüder (Saberi et al., 2023).

Genel olarak işletme ihtiyaçlarına ve üretim gereksinimlerine bağlı olarak her iki ekstrüder çeşidi de bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Tek vidalı ekstrüderler, genellikle düşük üretim kapasitesine sahip olmalarıyla birlikte küçük ölçekli planlanan çalışmalar için uygun bir seçenek oluştururlar. Diğer yandan çift vidalı ekstrüderler daha yüksek üretim kapasitesine sahip olmalarıyla büyük ölçekli üretimler için daha uygun olduğu belirtilmektedir. Polimer karışımı, homojen dağılım ve işleme yeteneği açısından, tek vidalı ekstrüderler çift vidalı ekstrüderlere kıyasla daha az etkilidir. Çift vidalı ekstrüderler vida içerisinde homojen bir karışım elde edilmesini sağlarken daha kaliteli ürün elde edilmesini sağlarlar. Maliyet konusu olduğunda ise tek vidalı ekstrüderler daha düşük başlangıç maliyetine sahiptirler ve ekonomik bir seçenek sunarlar. Ancak çift vidalı ekstrüderlerin yüksek başlangıç maliyetine karşın uzun vadede enerji verimlilikleri ve üretim kapasiteleri ile maliyetlerini kısa sürede karşılayabilirler. Diğer önemli bir unsur da bakım maliyetleridir. Tek vidalı ekstrüderler genellikle daha basit bir yapıya sahip

olup daha kolay bakım imkanı sağlarken çift vidalı ekstruderler daha karmaşık yapıya sahip olmaları sebebiyle daha fazla bakım gereksinimi duyarlar (Lafleur and Vergnes, 2014; Martin, 2016; Kinikar and Kuchekar, 2022).

Ekstruderler nişasta karışımlarının sahip olduğu yüksek viskoziteyi etkin bir şekilde işleyebilmenin yanı sıra vida boyunca yüksek işleme basıncı sağlayarak termoplastik forma geçmesini sağlamaktadır. Nişastanın ekstrüzyon işlemi diğer polimerler ile kıyaslandığında daha karmaşıktır ve prosesin başından sonuna kadar kontrol edilmesi nispeten daha zordur. Genellikle sentetik ve fosil bazlı polimerlerin işlenmesi, polimer granüllerinin erimesi, harmanlama, kompond haline gelmesi ve şekillendirmeyi içerir. Nişastanın işlenmesi ise nişasta granüllerinin dönüşerek plastikleşmesi ve moleküllerin bozunması aşamalarını içerir (Janssen and Moscicki, 2009; Su et al., 2009; Huang et al., 2022b) . İşleme sırasında gerçekleşen aşamalar Şekil 2.10'da ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir.



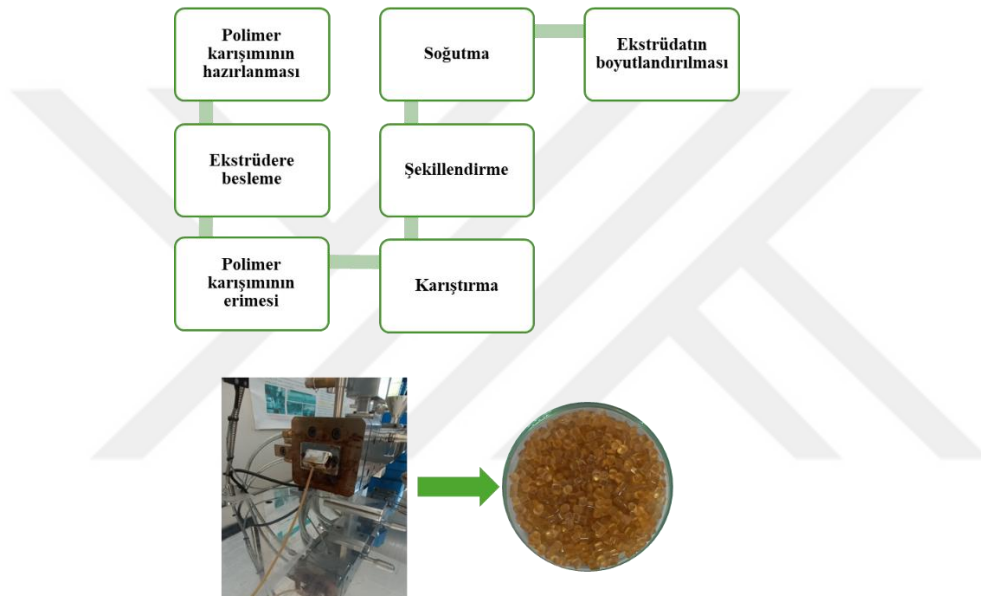
Şekil 2.10. Ekstrüderde nişasta karışımlarının işlenmesi (Yu et al., 2021).

Ekstrüzyon işlemi sebebiyle ortaya çıkan hem granül hem de makromoleküler bozunma ürünün genel ve akış özelliklerini belirgin şekilde etkilemektedir. Dolayısıyla proses sırasında kullanılan vidanın uzunluğu ve vida açıklığı sebebiyle nişastanın ekstruder içerisinde geçirdiği süre, kullanılan sıcaklık profili gibi parametrelerin optimize edilmesi veya var olan sisteme uygun karışımların belirlenmesi önem taşımaktadır (Singh et al., 2015; Ye et al., 2018; Huang et al., 2022b)

2.5.4.1. Ekstrüzyon yöntemiyle kompond üretimi

Polimer esaslı malzemelerden ekstrüzyon yöntemiyle film ve levha gibi ürünlerin üretilmesinin yanı sıra kompond gibi yarı mamüllerin üretimi de

mümkündür. Kompound, polimerlerin özelliklerini iyileştirmek ve istenilen amaca uygun olarak özelleştirmek için farklı polimerlerin istenilen katkı maddeleri ile karıştırılmasıyla elde edilen malzemelerdir. Üretimlerinde tek vidalı ve çift vidalı ekstrüderler yaygın şekilde kullanılırlar. Genel olarak üretim basamakları polimer karışımının hazırlanması, ekstrüdere besleme, erime, karıştırma, şekillendirme ve ekstrüdatın boyutlandırılarak komponentlerin elde edilmesini içerir (Schäfer et al., 2018; Gupta et al., 2022). Üretim basamaklarını içeren akım şeması Şekil 2.11’de sunulmuştur. Üretim sonucu elde edilen komponentler farklı endüstriler için hammadde niteliğindedir ve film, levha, kap, tabak, çatal, çeşitli inşaat ve yapı malzemelerinin üretimde kullanılırlar (Dybka-Stępień et al., 2021).



Şekil 2.11. Ekstrüderde komponent üretim basamakları.

Ekstrüderle komponent üretimi polimer endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Farklı hammaddelerin elde edilebilmesinin yanı sıra var olan hammaddelerin bariyer, mukavemet, ısı ve kimyasal direnç gibi zayıf özelliklerinin güçlendirilerek kullanım alanının genişletilebilmesi konusunda büyük avantaj sağlamaktadır (Gupta et al., 2022).

2.5.4.2. Reaktif ekstrüzyon

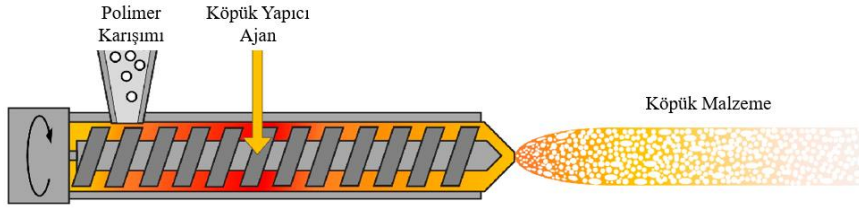
Reaktif ekstrüzyon, ekstrüzyon işlemi sırasında kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği bir polimer işleme yöntemidir. Bu yöntemle, polimerlerin moleküler yapısı ve özellikleri, reaksiyon koşullarına göre değiştirilebilir veya yeni polimerler sentezlenebilir. Polimer modifikasyonu ve kompozit malzeme üretiminde yaygın

olarak kullanılmaktadır. Özellikle birden fazla reaksiyonun gerçekleştirilmesinin gerektiği ve bu sebeple kesikli üretimlerin yapıldığı proseslerde ekipman yükünü azaltarak daha verimli ve sürekli üretim yapabilme avantajı sağlar. Diğer yandan kesikli olarak gerçekleştirilen reaksiyonlarda polimerizasyonun ilerlemesine bağlı olarak artan viskozite homojen karıştırma ve ısı transferini olumsuz etkiler. Reaktif ekstrüzyonda ise sistem içerisindeki sonsuz vida sürekli olarak ince bir tabaka halinde yeni yüzey oluşumunu sağlar ve sistem içerisindeki sıcaklık farkları en aza indirilir. Bu sayede gerçekleştirilen kimyasal reaksiyonun ve polimerizasyonun verimliliği artar. Üretim sırasında dikkat edilmesi gereken önemli husus ise işlenen polimerin degradasyon sıcaklığıdır. Kontrollü bir sıcaklık artışıyla bu problemin önüne geçilebileceği gibi aynı zamanda polimerin ekstrüder içerisinde geçireceği süre ayarlanarak da sıcaklığa maruz kaldığı süre kontrol edilebilir (Hu and Lamba, 2006; Li et al., 2021).

Reaktif ekstrüzyon proseslerinde kullanılmak üzere diğer yöntemlerde olduğu gibi tek vidalı ve çift vidalı ekstrüderler seçilebilir. Bununla birlikte polimerin ekstrüder içerisinde daha az süre geçirmesi ve ısı transferinin daha homojen gerçekleştirilmesi gibi avantajları sebebiyle çift vidalı ekstrüderler daha çok fazla tercih edilirler (Raquez et al., 2008).

2.5.4.3. Köpük ekstrüzyon

Köpük ekstrüzyon, uçucu bir gazı dönüştüren bir sıvı veya köpük yapıcı bir gaz kullanılarak polimer karışımının genleşmesini sağlayan ve yoğun polimer matrislerinin gaz boşlukları ile hafifletilmesini içeren bir üretim yöntemidir. Nişasta karışımları için köpük yapıcı ajan olarak su kullanımı yaygın olsa da alternatif olarak azot (N_2) gibi inert gazlar, bütan, pentan, propan gibi alkoller ve süperkritik akışkanlar da kullanılabilir. Geleneksel ekstrüzyon aşamaları olan erime, karıştırma ve şekillendirme aşamalarına ek olarak sistem içerisinde akışı sağlanan köpük yapıcı bir ajan nedeniyle son ürün üzerinde farklılıklar sağlanır. Sistem içerisinde köpük yapıcı ajanın çalışma prensibi, ekstrüderden çıktığında ısınmış ve ısının etkisiyle genişlemiş olan buharın, ani soğumasıyla ekstrüder çıkışında negatif bir basınç oluşturularak malzeme içinde boşluk oluşturma ve buharın sistemden uzaklaşmasına dayanır (Karakuş ve Mengeloğlu, 2015).

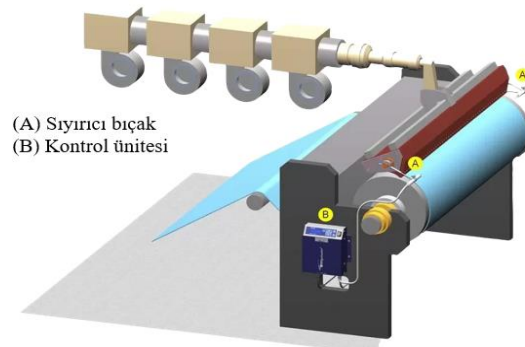


Şekil 2.12. Köpük ekstrüzyon yöntemi (Semerci, 2021).

Üretimin şematik gösterimi Şekil 2.12’de sunulmuştur. Bu yöntemde polimer karışımının başlangıç nem içeriği, ekstrüzyonda kullanılan sıcaklık profili, köpük yapıcı ajan seçimi, besleme ve vida dönüş hızı elde edilen köpük malzemenin kalitesini hücre sayısı, yoğunluğu ve boyutu yönünden etkileyebilir. Bu yöntemle elde edilen malzemeler özellikle hafif olması yönüyle dikkat çekerler ve özellikle cips, kraker gibi kırılğan atıştırmalıkların ambalajlamasında ara katman olarak kullanılabilirler. Diğer yandan darbe emici özellikleriyle de birlikte gıda ambalajlama sektörünün haricinde otomotiv endüstrisinde kullanılmak üzere de potansiyele sahiptirler (Jin et al., 2019).

2.5.4.4. Dökme film ekstrüzyonu

Dökme film ekstrüzyonu, ekstrüderin ürün çıkış kısmına düz bir film kalıbının takılarak numune toplandıktan sonra filmin yönlendirilmesi için ekstrüdere seri olarak bağlanmış bir gerilme cihazı ile üretimleri kapsar (Agassant et al., 2005). Şekil 2.13’te dökme film ekstrüzyonunun şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.13. Dökme film ekstrüzyonu (Simco-Ion, 2024).

Üretim granül veya toz halindeki polimer veya polimer karışımının ekstrüdere beslenerek eritilmesiyle başlar. Erimiş ve homojen hale gelmiş olan

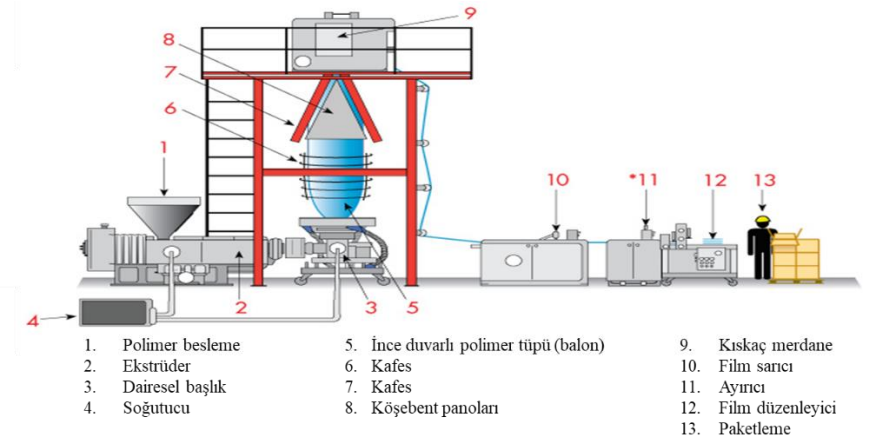
polimer ekstrüderin amaca uygun olarak seçilmiş başlığından çıkarak istenilen kalınlıkta ve genişlikte sıyırma bıçakları yardımıyla geniş silindirlerin üzerine dökülür. İnce bir katman halinde dökülen polimer karışımı silindirlerin üzerinde hızla soğutularak rulo getirilir. Bu yöntem, gıda ambalajları başta olmak üzere, streç filmler, sera örtüleri, inşaat malzemeleri gibi çeşitli alanlarda birçok farklı ürünün üretiminde yaygın olarak kullanılır. Yüksek verimlilik ve düşük maliyet avantajları sunmasının yanı sıra birçok farklı polimer türü için de uyumluluk gösterir. Nişasta temelli polimer karışımları için de kullanılabilen yöntemde elde edilen filmlerin zayıf mekanik, bariyer ve optik özellikleri tek yönlü veya çift eksenli yönlendirmelerle geliştirilebilmektedir (Gao et al., 2012; Aversa and Barletta, 2022)

2.5.4.5. Şişirme film ekstrüzyonu

Ambalaj malzemelerinin üretiminde yaygın olarak kullanılan şişirme film ekstrüzyonu polimer işlemenin en popüler yöntemidir. Standart tek vidalı veya çift vidalı bir ekstrüderde eriyen polimerin standart dairesel başlıklı bir kalıptan geçerek, belirli basınç ve üfleme hızında şişirilerek film üretilmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntem genellikle esnek ambalaj malzemeleri, market torbaları, laminasyonda kullanılan tek filmler, sera örtüleri gibi ürünlerin eldesinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Phothisarattana et al., 2022). Şişirme film ekstrüzyon cihazı ve örnek bir üretim hattı Şekil 2.14 ve 2.15'te görülmektedir.



Şekil 2.14. Şişirme film ekstrüzyon makinesi (Matila, 2024).



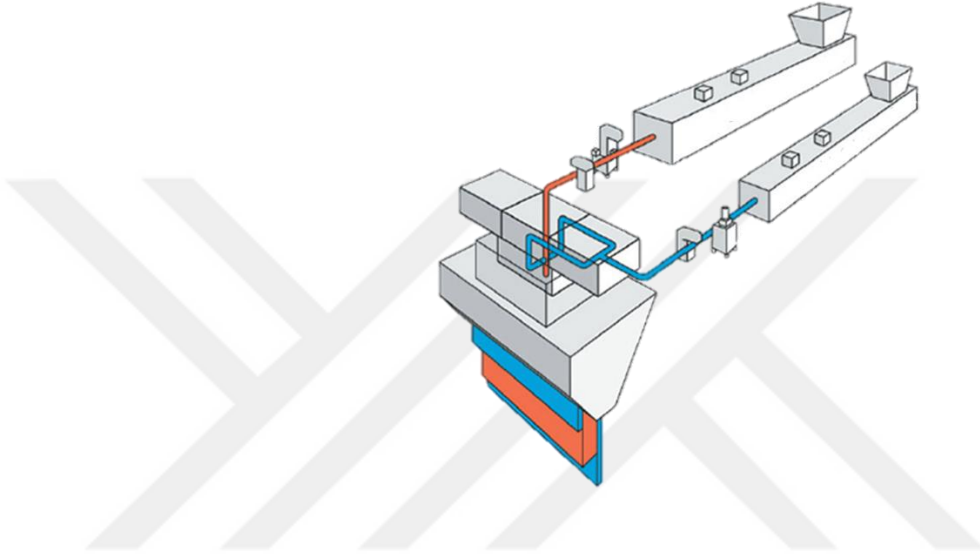
Şekil 2.15. Şişirme film ekstrüzyon örnek üretim hattı (Zikmund, 2017).

Şişirme film ekstrüzyonunda prosese uygunluk sebebiyle çoğunlukla alçak yoğunluklu polietilen kullanılsa da nişasta temelli polimer karışımları da kullanılmaktadır. Özellikle biyopolimerler ile çeşitli formülasyonlar üzerine gerçekleştirilen çalışmalar dikkat çekmektedir (Nguyen et al., 2016).

Üretim sırasında erimiş polimer karışımı dikey olarak kullanılan bir film kulesine çekilerek ince duvarlı bir tüp oluşturulur. Bu aşamada polimer karışımının akış özelliklerini etkileyen reolojik özelliklerin ve vizkozitenin dikkate alınması önem taşımaktadır. Ayrıca ekstrüder çıkışında kalıptan çekilerek film kulesine aktarılan ince duvarlı polimer tüpün tek düze bir şekilde hareket edebilmesi için sıcaklık ve basınç kontrol altında tutulmalıdır. Diğer bir aşamada oluşturulan ince duvarlı polimer tüp dairesel kalıbın merkezinden verilen belirli debideki hava ile şişirilerek sistemin en üst kısmında yer alan kısaç merdaneleri ile yukarı doğru çekilir. Film kalınlığı kısaç merdanelerinin dönüş hızı ve kalıba verilen hava debisi ile doğrudan ilişkili olduğu bildirilmektedir. Ayrıca, kalıbın etrafındaki hava halkasının düzgün bir şekilde yerleştirilmesi ve soğutma için düzgün hava akışının sağlanması önemlidir. Hava hızının aşırı yüksek olması, balonun hareketlenmesine ve kararsızlığa neden olabilir. Bu nedenle, hava halkasının hareket eden balonu soğutması ve balon stabilitesini koruması önemlidir. Tüp şeklindeki film, kulede yer alan kısaç merdanelerden geçerken katlanır ve yassılaştırılır. Ardından kısaç silindirler vasıtasıyla alınarak işlenir. Son olarak, film plakaları bobinlere sarılır veya torba imalatında kullanılmak üzere işlenir (Carneiro, 2012; Thomas, 2020).

2.5.4.6. Koekstrüzyon

Koekstrüzyon, farklı yapışma derecelerine sahip iki veya daha fazla levha veya filmin tek bir kalıptan eşzamanlı ekstrüzyonu olarak ifade edilmektedir. Bu üretim yönteminde her polimer katmanının bağımsız ekstrüderine ihtiyacı bulunmaktadır. Etkin bir koekstrüzyon için amaca uygun olarak polimerlerin doğru seçilmesi ve sistem tasarımı büyük önem taşımaktadır (Vynckier et al., 2014). Şekil 2.16'da koekstrüzyon yönteminde kullanılan örnek bir sistem sunulmuştur.



Şekil 2.16. Koekstrüzyon yöntemi (Aydoğdu et al., 2022).

Koekstrüzyon, levha veya film formundaki polimerlerin tek ekstrüzyon veya laminasyonuna göre son üründe ilave işlem gerektirmemesi, daha az kalite sorunu, bariyer ve mekanik özelliklerin daha güçlü olması gibi avantajlar sağlamaktadır. Dolayısıyla tek başına kullanıldığında zayıf bariyer ve mekanik özellikler sunan nişasta temelli polimer karışımlarının bu yöntemle daha üstün özelliklere sahip formlara dönüştürülebileceği belirtilmektedir (Rathner et al., 2022).

2.6. Nişasta Temelli Karışımların Teknolojik Özelliklerinin İyileştirilmesi için Kullanılan Yöntemler

Nişasta ve nişasta karışımlarından elde edilen malzemelerin suda çözünürlükleri, higroskopik davranışları, düşük erime noktaları ve retrogradasyonları nedeniyle daha hızlı bozunmaları ve sentetik polimer bazlı malzemelere oranla daha düşük mekanik özellikleriyle karakterize edilmeleri bazı yöntemler ile bertaraf edilmeye çalışılmaktadır. Her ne kadar doğal nişastayla kıyaslandığında termoplastik nişasta daha üstün teknolojik özelliklere sahip olsa da

geliştirilmeye ihtiyaç duyulan bazı unsurlar bulunmaktadır. Bu amaçla kullanılan yöntemler kullanılacak olan nişastanın modifikasyonu ve nişasta temelli polimer karışımlarının takviye ajanları ya da farklı polimerler ile kombinasyonu olarak ifade edilmektedir (Zarski et al., 2021).

2.6.1. Nişastanın modifikasyonu

Doğal nişastaların zayıf teknolojik özelliklerinin iyileştirilmesi için çeşitli modifikasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu amaçla gerçekleştirilen işlemler temel olarak dört başlık altında ifade edilmektedir. Bu yöntemler Çizelge 2.3'te belirtilmektedir.

Çizelge 2.3. Nişasta modifikasyon yöntemleri.

Modifikasyon Yöntemleri	
Genetik Modifikasyon	
Enzimatik Modifikasyon	
Kimyasal Modifikasyon	• Çapraz bağlama • Asit Hidrolizi • Alkali Uygulama • Eterifikasyon • Esterifikasyon • Oksidasyon • Aşılama (Grafting) • Kombine Modifikasyon (Fiziksel+Kimyasal)
Fiziksel Modifikasyon	• Isıl Uygulamalar • Ön jelatinizasyon • Sıcak buhar uygulaması (Heat Moisture Treatment; HMT) • Tavlama • Mikrodalga ısıtma • Ultrasonik uygulama • Isıl Olmayan Uygulamalar • Öğütme (Milling) • Yüksek basınç uygulama

Nişastanın genetik modifikasyonu, transgenik teknolojiyi içeren bir yöntemdir. Genetik modifikasyon, geleneksel bitki yetiştirme teknikleri veya biyoteknoloji kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntem, nişasta biyosentezinde yer alan enzimleri kullanmaktadır. Genel olarak, bakteriler ve mantarlar dahil olmak üzere bitkiler, hayvanlar ve organizmalar, nişasta biyosentezine katılan enzimler için genler içermektedir. Bu genler, nişasta modifikasyonları için bu enzimleri üreten genetiği değiştirilmiş

mikroorganizmaları üretmek için kullanılmaktadır. Örneğin, amiloz içermeyen, yüksek amiloz içeriğine sahip modifiye nişasta veya %0 ile %3 amilozdan oluşan mumsu pirinç nişastası, genetik modifikasyon işlemleriyle üretilmektedir (Johnson et al., 2001; Amaraweera et al., 2021).

Enzimatik modifikasyon yöntemi esas olarak glikoz şurubu, yüksek fruktozlu mısır şurubu hazırlamak için kullanılmaktadır. Enzimatik modifikasyonun birincil işlevi, nişastanın oligosakkaritlere depolimerizasyonu veya glikozidik bağları ve kalıntıları aktararak nişastanın dönüştürülmesidir. Bu modifikasyon yöntemi sırasında kullanılan enzimin rolü, iki glikoz birimi arasındaki α -1,4 bağı parçalamaktır. Enzimatik olarak modifiye edilmiş nişasta, gıda maddelerinde, kozmetiklerde, farmasötiklerde, deterjanlarda, yapıştırıcılarda ve yenilebilir filmlerin üretiminde kullanılmaktadır (Hii et al., 2012; Neelam et al., 2012; Amaraweera et al., 2021).

Nişastanın fiziksel özellikleri, bazı fiziksel modifikasyon yöntemleri kullanılarak değiştirilebilmektedir. Fiziksel işlemler termal ve termal olmayan işlemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Genellikle, fiziksel modifiye edilmiş nişasta, diğer modifikasyon yöntemlerinin kullanıldığı nişastaların aksine doğal olarak kabul edilmektedir. Fiziksel modifikasyonlar, daha erişilebilir ve genellikle daha ucuzdur. Tuz, reaktif veya reaktif yan ürünleri içeren hiçbir atık üretmemektedir. Ön jelatinizasyon, nemli sıcak uygulaması (heat moisture treatment; HMT), tavlama, mikrodalga ısıtma, ultrasonik uygulama genellikle kullanılan ısı işlemleri olarak karşımıza çıkarken ısı olmayan uygulamalarda ise öğütme (milling) ve yüksek basınç uygulama genellikle kullanılmaktadır. Uygulanan fiziksel modifikasyonlar ile nişastanın ve nişastadan elde edilen filmlerin çözünürlüğünün ve saydamlığının arttırabildiği belirtilmektedir. Ayrıca biyobozunurluğunun da hızlandığı bildirilmektedir (Golachowski et al., 2015; Amaraweera et al., 2021).

Modifikasyon yöntemlerinin içerisinde en yaygın olarak tercih edilen yöntem ise kimyasal modifikasyonlar olarak ifade edilmektedir. Çapraz bağlama, asit hidrolizi, alkali uygulama, eterifikasyon, esterifikasyon, oksidasyon, aşılama, kombine modifikasyon olmak üzere çeşitli şekillerde uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok başvuru alan uygulamaların çapraz bağlama ve asit hidrolizi olduğu ifade edilmektedir. Genel olarak, çapraz bağlama yöntemi, nişasta molekülleri arasındaki hidrojen bağlarını güçlendiren kimyasal modifikasyonlardan biridir; böylece mekanik direnci, termal stabiliteyi, çözünürlüğe karşı direnci ve

şişme kabiliyetini geliştirmektedir. Yaygın olarak kullanılan çapraz bağlama maddeleri, sitrik asit, glutaraldehit, fosfor oksiklorür, sodyum trimetafosfat, sodyum tripolifosfat ve epiklorohidrindir (Canisag, 2015). Diğer bir kimyasal modifikasyon yöntemi olan asit hidrolizinde ise sülfürik asit (H_2SO_4) ve hidroklorik asit (HCl) içeren asitler kullanılmaktadır. Asit hidrolizi, α -1,4-glikosidik bağlar üzerindeki H_3O^+ moleküllerini oksijen atomuna çekerek başlatılmaktadır. Asit modifikasyonu sırasında, amilopektin molekülleri, işlenmiş nişastanın doğrusal bileşenini ve amiloz benzeri davranışı artırarak, dallara ayrılır. Bu sayede elde edilen modifiye nişastanın kristalliğinde artış meydana geldiği belirtilmekle birlikte film oluşturma kabiliyetinde ve elde edilen filmlerin direncinde de artış tespit edildiği ifade edilmektedir (Kramer, 2019; Amaraweera et al., 2021). Çizelge 2.4'te farklı nişasta kaynaklarına uygulanan modifikasyon yöntemleri sağlanan avantajlara ilişkin çalışmalar yer almaktadır.

Çizelge 2.4. Farklı nişasta kaynaklarına uygulanan modifikasyon yöntemleri ve sağlanan avantajlar.

Nişasta Kaynağı	Kullanılan Modifikasyon Yöntemi	Sağladığı Avantaj	Kaynak
Mısır nişastası	Asit hidrolizi ile elde edilen nişasta nanokristalleri heksametafosfat veya glutaraldehit kullanılarak çapraz bağlama yoluyla modifiye edilmiştir.	Modifiye edilmiş nişastadan elde edilen filmler modifiye edilmemiş örnekler ile kıyaslandığında kopma direnci ve uzamada artış olduğu belirlenmiştir. Ayrıca filmlerin nem bariyer özelliklerinde de artış gözlenmiştir. Bu olumlu artışın nedeninin asit hidrolizi ve çapraz bağlama sonucu elde edilen nano-nişasta kristallerinin matris içerisinde daha iyi dağılması olduğu düşünülmektedir.	Ren et al., 2017
Patates nişastası	Tavlama ve sıcak buhar uygulaması (HMT)	HMT ile modifiye edilmiş nişastadan elde edilen filmlerin mekaniksel özelliklerinin tavlama ile modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş nişastalara göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. İki modifikasyon yöntemi de işlem görmemiş nişastadan elde edilen filmlere göre daha üstün özellikte olduğu belirlenmiştir.	Dutta and Sit, 2022
Manyok nişastası (Cassava)	Çapraz bağlama (Borik asit) ve oksidasyon (Hidrojen peroksit)	Yapılan farklı modifikasyonlar sonucu elde edilen filmler doğal nişastadan elde edilenlere daha yüksek mekaniksel özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Yüzey morfolojisi değerlendirildiğinde oksidasyon-	Tanetrungroj and Prachayawarakorn, 2018

	Kombine yöntem olarak denenmesinin yanı sıra tek tek de denenmiştir. Ayrıca kombine uygulama sırasında modifikasyon yönteminin uygulama sırasının etkisi de değerlendirilmiştir.	çapraz bağlama sırasıyla yapılan modifikasyon sonucu elde edilen filmlerin daha pürüzsüz ve iyi dağılımlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca modifikasyon sonucu elde edilen filmlerin su buharı geçirgenliğinin de daha düşük olduğu tespit edilmiştir.	
Muz nişastası	bis(2-hidroksietil) tereftalat kullanılarak kimyasal modifikasyon gerçekleştirilmiştir.	Elde edilen modifiye nişastanın, film oluşumunu destekleyen doğal nişastaya kıyasla daha düşük bir kristallik ve termal stabilite gösterdiği belirlenmiştir. Modifiye edilmiş nişasta filmlerinin elektriksel iletkenliği, doğal nişasta filmine göre 2.7 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Modifiye nişasta filmlerinin, doğal nişasta filmine kıyasla daha iyi mekanik özellikler gösterdiği bildirilmektedir. Bu sonuçlar ile elde edilen ürünlerin, PET bozunma ürünlerinde kullanılmak üzere yüksek uygulama potansiyeline sahip olduğu bildirilmektedir.	Ramírez-Centeno et al., 2020
Mumlu mısır nişastası, Manyok nişastası, Tatlı patates nişastası, Patates nişastası, Buğday nişastası,	Modifikasyon yapılmamış olup ticari modifiye nişasta kullanılmıştır.	Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde amiloz içeriği ne kadar düşükse su buharı geçirgenliğinin o ölçüde fazla olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında	Dai et al., 2019

Mısır nişastası ve üç farklı çeşit ticari modifiye nişasta		karşılaştırılan nişasta türlerinin içinde en iyi özellikleri manyok nişastasının gösterdiği belirtilmektedir. Üç modifiye nişasta arasında ise nişasta bazlı filmlerin hazırlanması için en uygun olanın mekanik ve su buharı bariyeri özelliklerinin iyi olmasından dolayı çapraz bağlı nişasta olduğu tespit edilmiştir.	
Lotus (<i>Nelumbo nucifera</i> G.) Tohumu Nişastası	Sodyum trimetafosfat (% 1,3-5) kullanılarak çapraz bağlama tekniği kullanılarak modifikasyon yapılmıştır.	Çapraz bağlamadan sonra, tüm nişasta örneklerinin çözünürlüğü, amiloz içeriği ve şişme gücünde azalma tespit edildiği bildirilmektedir. Modifikasyon sonucu elde edilen filmlerin gerilme direncinin artan sodyum trimetafosfat konsantrasyonu ile birlikte arttığı bildirilmiştir. (Doğal nişasta filmi; 6,12 MPa %1; 10,45 MPa %3; 11,09 MPa %5; 12,52 MPa)	Chandak et al., 2022
Sorgum Nişastası	1. Çapraz bağlama; %3 sodyum trimetafosfat ve sodyum tripolifosfat karışımı 2. Asetilasyon (%2, 4 ve 6 asetik anhidrid kullanılarak)	Asetilasyon ve çapraz bağlama ile modifiye edilmiş nişastalardan daha kalın filmlerin elde edildiği, kombine modifiye nişasta filmlerinin ise doğal nişasta filmine göre daha düşük kalınlıkta filmlerin elde edildiği bildirilmektedir. Asetilasyon ve kombine modifiye	Mehboob et al., 2020

	3. Kombine modifikasyon (1 ve 2. adımdaki yöntemlerin kombinasyonu)	nişastalardan elde edilen filmlerin, doğal ve çapraz bağlı nişasta filmlerine kıyasla daha fazla nem tuttuğu tespit edilmiştir. Tüm modifiye nişasta filmleri daha net ve doğal nişasta filmlerine kıyasla daha şeffaf olduğu belirlenmiştir. Asetilasyon ile modifiye edilmiş nişastalardan elde edilen filmler, daha düşük gerilme direnci gösterirken, doğal ve çapraz bağlı nişasta filmlerinden daha elastik ve esnek olduğu tespit edilmiştir.	
Tatlı Patates	Stearik asit (C18:0), Oleik asit (C18:1) ve Linoleik asit (C18:2) kullanılarak çapraz bağlama	Doymuş ve doymamış yağ asitlerinin tatlı patates nişastası ve tatlı patates nişastası bazlı filmler üzerindeki etkisi incelendiği bu çalışmada stearik asit, amiloz ile oleik asit ve linoleik asitten daha güçlü bir şekilde bağlandığı tespit edilmiştir. SEM görüntülerinde, yağ asitlerinin eklenmesinden sonra filmlerin yüzeyinin pürüzsüz hale geldiği belirtilmiştir. Tatlı patates nişastası ile doymuş yağ asidi kompozit filmleri, tatlı patates nişastası ile doymamış yağ asidi kompozit filmlerinden daha yüksek gerilme direnci, daha düşük kopma uzaması ve daha düşük su buharı geçirgenliği sergilediği tespit edilmiştir.	Liu et al., 2016

Karabuğday Nişastası	Sıcak buhar uygulaması (HMT)	Modifiye karabuğday nişastasından elde edilen filmler şeffaf ve pürüzsüz olduğu bildirilmektedir. Modifiye nişastadan elde edilen filmin doğal nişasta filmine göre, daha yüksek gerilme direncine ve nem bariyeri kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.	Sindhu and Khatkar, 2007
İnci Darı Nişastası	%3.0 Oktenil süksinik anhidrit kullanılarak kimyasal modifikasyon uygulanmıştır.	Yapılan modifikasyon işlemi ile amiloz içeriğinin azaltıldığı belirtilmektedir. Modifikasyon sonrası nişastaların çözünürlüğünün arttığı belirtilirken; bu özelliğin modifiye nişastalardan elde edilecek olan filmlerin biyobozunurluk sürecini hızlandıracağı düşünülmektedir.	Kumar Siroha et al., 2022

2.6.2. Nişasta temelli karışımların farklı bileşenler ile kombinasyonu ile kompozit malzemelerin eldesi

Kompozit malzemeler, önemli ölçüde farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin güçlü özelliklerinin yeni bir malzemede kombine edilmesiyle üretilmektedirler. Bunun için çeşitli takviye ajanları ve polimerler kullanılmaktadır. Nişasta temelli kompozitlerin üretiminde genel olarak amaç, zayıf bariyer ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi ve hali hazırda biyobozunur yapıda olan nişastanın bu özelliğini korumaktır (Ponnusamy and Mani, 2022; Valente et al., 2023).

2.6.2.1. Takviye ajanları

Takviye ajanları temel olarak polimer karışımına eklenen nano veya mikro boyuttaki lifler olarak ifade edilmektedir. Özellikle doğal takviye ajanları olarak bitkisel atık, tarımsal yan ürünler ve bunlardan elde edilen lignoselülozik bileşenler yaygın olarak kullanılmaktadır. Elde edilecek nişasta temelli biyokompozitin nihai fizikokimyasal özelliklerini etkileyecek en önemli etmenlerden biri takviye ajanının boyutudur. Nano takviye ajanlarının mikro olanlara göre daha avantajlı olduğu belirtilmektedir. Boyutun küçülmesine bağlı olarak yüzey alanının artmasıyla birlikte polimer matrisi üzerine yapışma etkinliğinin de aynı oranda arttığı belirtilmektedir (Kamarudin et al., 2022; Dev et al., 2023). Takviye ajanı ve polimer matrisi arasındaki bağlanma türü de bu bağlamda önem taşımaktadır. Takviye ajanı ve polimer matrisinin oluşturduğu iki yüzey arasında mekanik, elektrostatik, kimyasal ve difüzyon bağlanma olabilmektedir. Mekanik bağlanma kesme iyileştirmelerinde etkili olmakla beraber esneklik, gerilme gibi mekanik dayanımı arttırmaya yönelik iyileştirmelerde etkin değildir. Ara yüzeyler pozitif ve negatif olmak üzere farklı elektriksel yüklerle yüklendiğinde elektrostatik bağlanma meydana gelir ve net yük farkı kuvvetli bağlanma üzerinde etkilidir (Jesson and Watts, 2012; Bustamante-Torres et al., 2021; Idumah and Obele, 2021).

Diğer bir alternatif olan kimyasal bağlanmada ise iki yüzey arasındaki kimyasal gruplar birbiri ile uyumlu ise birim alandaki bağ sayısına bağlı olarak kimyasal bağlanma gerçekleşebilir. Özellikle gerçekleşen reaksiyonlar tersinmez olduğu takdirde daha güçlü bağlanmanın oluşacağı bildirilmektedir. Son olarak, karşılık difüzyon yoluyla bağlanma gerçekleştiğinde ise takviye ve polimer yüzeylerin aralarında dağılan zincirlere sahip olurlar. Diğer yandan nano takviye

ajanlarının ışıĒı kırılmaları sebebiyle malzemenin ŒeffalıĒında ve doĒal rengine bir kayıp yaŒanmasına neden olmazlar (Idumah and Obele, 2021).

Takviye ajanlarının polimer matrisinin özelliklerinin geliŒtirmedeki potansiyelinin deĒerlendirilmesi için en önemli unsurlardan biri de matris içerisinde ne kadar homojen daĒılabilir olduĒudur. Homojen ve iyi bir daĒılım elde edildiĒi takdirde takviye ajanı ve polimer matrisi arasındaki arayüz bölgesi geniŒletilir ve bu sayede polimer matrisinde iyileŒtirilmeye alıŒılan özellik daha etkin bir Œekilde özömlenir (Haque, 2021; SeydibeyoĒlu et al., 2023).

2.6.2.2. Polimer karıŒımları

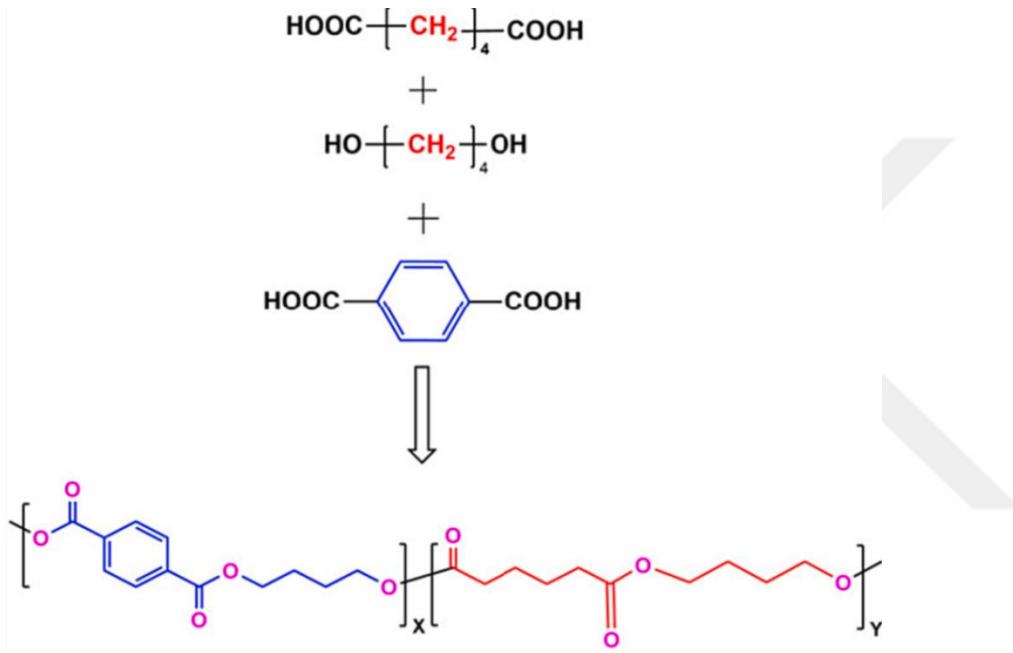
NiŒasta temelli biyokompozitlerin mekanik ve bariyer özelliklerinin geliŒtirilmesinde kullanılan bir diĒer yaklaŒım da baŒka polimerler ile farklı oranlarda kombinasyonudur. NiŒasta karıŒımlarının teknolojik özelliklerinin iyileŒtirilmesinin yanı sıra biyobozunurluk karakterlerinin korunması için biyopolimerlerin kullanımı yaygındır. Bu amaçla en çok kullanılan ve alifatik aromatik kopolyesterler olan poli(laktik asit), poli(hidroksibutirat), poli(vinil) alkol ve poli(bütillen adipat-ko-tereftalat) biyopolimerleridir. Bu biyopolimerlerin iŒleme ve teknolojik özellikleri açısından polietilene benzer niteliktedirler. Fakat maliyet söz konusu olduĒunda polietilenin daha kolay eriŒilebilir ve ucuz olması sebebiyle alternatif olarak bu biyopolimerlerin de termoplastik niŒasta ile kombine edilerek kullanılması avantaj olarak belirtilmektedir (Agarwal, 2021; Gamage et al., 2022).

İki polimerin farklı kombinasyonlarda karıŒılması sonucu optimum özelliklerde yeni bir malzeme elde edilmesi saĒlanırken bu malzemenin potansiyel üretimi ve kullanımları ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken birçok husus bulunmaktadır. Bunlar, seçilen polimerlerin uygun oldukları iŒleme yöntemi, erime ve degradasyon sıcaklıkları arasındaki uyum, arayüzey yapıŒması olarak ifade edilmektedir (Utracki, 2003; Gamage et al., 2022).

2.7. Poli Bütillen(Adipat-ko-Teraftalat)

Aromatik-alifatik bir kopolyester olan poli(bütillen adipat-ko-tereftalat) (PBAT), fosil kaynaklardan elde edilen ve ticari olarak ambalaj filmlerinde sıklıkla kullanılan polietilene (PE) benzer mekanik özelliklere sahip biyolojik olarak parçalanabilen bir polimerdir. Genellikle kopolyesterlerin sentezi diolların ve dikarboksilik asitlerin polikondensasyon reaksiyonu ile sentezlendiĒi

belirtilmektedir. PBAT sentezi için gerçekleşen polikondensasyonda ise adipik asit, 1,4-bütandiol ve tereftalik asit olmak üzere üç monomer görev alır. Her bir PBAT üzerinde bazı özelliklerin geliştirilmesini sağlamaktadır. Adipik asit, mekanik ve kimyasal direncin arttırılmasında görev alırken, 1,4-bütandiol esneklik ve direncin artmasını sağlamaktadır. Tereftalik asit ise ürün şeffaflığını ve işlenebilirliği iyileştirmektedir. Polimerin sentezi sırasında esterifikasyon, yoğunlaşma ve eriyik polimerizasyonu sırasıyla gerçekleşir (Kanwal et al., 2022; Bartolucci et al., 2023; Xu, 2023; Roy et al., 2024). Şekil 2.17’de reaksiyon basamakları ve PBAT moleküler yapısı sunulmuştur.



Şekil 2.17. PBAT oluşumu reaksiyon basamakları ve moleküler yapısı (Roy et al., 2024).

PBAT çevre dostu bir alternatif olmasıyla birlikte çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır. Gıda ambalajları, poşetler, streç filmler, tarım filmleri, sera örtüleri, tekstil endüstrisinde biyopolyester lifler, medikal uygulamaları için dikiş iplikleri gibi birçok ürünün üretiminde kullanılmaktadır (Wei et al., 2015; Kanwal et al., 2022).

PBAT esnek ve dayanıklı bir polimerdir. Bu özellikler, çeşitli uygulamalarda kullanılmasına olanak sağlar. Özellikle biyobozunur alternatiflerin daha çok tercih edilmeye başlanmasıyla popülerliği gittikçe artmaktadır. Atık yönetimi açısından da ön plana çıkmasıyla biyobozunur karakterde oluşu önemli bir avantaj sunmaktadır (Cardoso et al., 2017). PBAT, çeşitli plastik işleme yöntemleriyle kolayca şekillendirilerek amaca uygun ambalaj filmlerinin üretimi mümkündür.

Özellikle ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri ambalaj malzemesi üretmek üzere sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca PBAT'dan elden edilen ambalaj malzemelerinin kimyasal dayanımının da yüksek olması sebebiyle kullanım alanı daha da genişlemektedir. Bir başka avantajı ise diğer biyobozunur polimerler ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir şeffaflık düzeyine sahiptir. Bu özellik sayesinde görsel olarak içinde bulunan ürünün görünmesinin istendiği durumlar için sıklıkla tercih edilmektedir. Her ne kadar birçok avantajı bulunsun da en büyük dezavantajı da yüksek maliyet olarak ifade edilmektedir. Dolayısıyla PBAT'ın kullanımı için maliyet dengesi oluşturabilmek adına daha ucuz polimerler ile kombine edilmesi yaygın bir uygulamadır (Fourati et al., 2018; Dammak et al., 2020; Cheng et al., 2024).

2.8. Termoplastik Nişasta ve Poli Bütilen(Adipat-koTereftalat) Kombinasyonları

TPS'in zayıf bariyer ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla PBAT ile harmanlanarak yeni formülasyonların elde edilmesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Her kadar yapılan bazı çalışmalar PBAT ve nişastanın karışmasının mümkün olmadığını ifade etse de kullanılan bazı takviye ajanları, uyumlaştırıcı ve katkı maddeleri sayesinde homojen karışımların da elde edildiği belirtilmektedir (Ayana et al., 2014).

Çizelge 2.5'te PBAT ve TPS polimer karışımlarının kullanıldığı literatür çalışmaları ayrıntılı bir şekilde ifade edilmiştir. Basınçlı kalıplama, enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon gibi farklı yöntemlerin kullanıldığı çalışmalarda elde edilen kompozit materyallerin özellikle saf TPS'e oranla daha üstün özellikler sergilediği belirtilmektedir. TPS filmlerindeki en önemli problemler zayıf mekanik ve bariyer özellikler olarak ifade edilmektedir. PBAT, TPS ile kıyaslandığında daha esnek, dayanıklı, kimyasal ve termal direnci yüksektir. Ayrıca PBAT kullanılarak üretimi gerçekleştirilen filmlerin bariyer özellikleri TPS'den elde edilen filmlere kıyasla daha üstündür. TPS/PBAT karışım olarak kullanıldığı takdir ise çekme mukavemeti ve kopma anındaki uzama yüzdesinin artarken, bariyer özelliklerin de iyileştiği belirlenmiştir (Thunwall et al., 2008; Sykacek et al., 2009; da Silva et al., 2017).

Marinho ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, TPS/PBAT karışımlarının basınçlı kalıplama yöntemi kullanılarak işlenmesi gerçekleştirilmiştir. PBAT içerisine maksimum %30 oranında TPS'nin ilave edildiği çalışmada 140, 170 ve

200 °C arasında değişen sıcaklık profillerinde artan sıcaklığın elde edilen ürünler üzerinde degradasyonu da arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca TPS oranının artmasıyla mekanik özelliklerin düşük konsantrasyonlara göre iyileştiği ifade edilmektedir. Belirli bir noktaya kadar artan TPS konsantrasyonun polimerlerin birbiri içerisinde daha homojen dağılımını desteklemesi sebebiyle bu durumun geliştiği ifade edilmektedir (Marinho et al., 2017). Basınçlı kalıplama yönteminin kullanıldığı bir başka çalışmada ise 130 °C’de en iyi gerilme direnci 50/50 karışım oranına sahip kombinasyonda olduğu belirlenmiştir (Ivani et al., 2019).

Yapılan bir başka çalışmada ise TPS/PBAT karışımları çift vidalı ekstrüzyon yöntemi ile işlenmiş olup 120-150 °C arasında değişen sıcaklık profilleri kullanılmıştır. Polimer karışımı içerisinde uyumlaştırıcı olarak kullanılan sitrik asit ve maleik anhidrid varlığında TPS ve PBAT’ın birbiri içerisinde daha homojen dağıldığı ve film oluşturma özelliklerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir (Fourati et al., 2018). Garalde ve arkadaşlarının çift vidalı ekstrüder kullanılarak yaptığı çalışmada ise 150-190 °C sıcaklık profillerinde elde edilen filmlerin TPS konsantrasyonlarının artmasıyla elastikiyette artış belirlenmiştir (Garalde et al., 2019).

Çizelge 2.5. TPS/PBAT karışımlarına dait literatür çalışmaları.

Polimer	Karışım Oranları	İşlem Koşulları	Temel Sonuçlar	Kaynak
PBAT/TPS	PBAT/TPS (%10, 20, 30)	Basınçlı kalıplama	Artan sıcaklık plakaların degradasyonunu arttırmaktadır.	Marinho et al., 2017
		140, 170, 200 °C	Artan TPS oranı ile elde edilen plakaların mekanik özelliklerinin düşük konsantrasyonlara göre daha iyi olduğu belirtilmektedir.	
TPS/PBAT	TPS/PBAT: 60/40 Uyumlaştırıcı: Maleik anhidrid, sitrik asit	Çift vidalı ekstrüder Sıcaklık profili: 120/130/145/150/150/140/130/120 °C	Uyumlaştırıcıların varlığı TPS ve PBAT'ın biribiri içinde daha homojen dağılmasını sağlayarak film oluşturma özellikleri olumlu etkilediği belirtilmiştir.	Fourati et al., 2018
TPS/PBAT	TPS/PBAT: 0/100; 10/90; 20/80; 30/70; 50/50; 100/0	Enjeksiyon kalıplama 150, 170, 190 °C	TPS artışı ile gerilme direnci azalırken, artan işleme sıcaklığında mekanik özellikler düşüş göstermiştir.	Nunes et al., 2018

TPS/PBAT	TPS:Manyok nişastası/Gliserol (100/35) TPS/PBAT: 60/40; 40/60; 20/80	Çift vidalı ekstrüder Sıcaklık profili:150-190 °C	TPS konsantrasyonu arttıkça elde edilen filmlerin elastikiyetinde artış olduğu belirtilmektedir.	Garalde et al., 2019
PBAT/TPS	PBAT/TPS: 100/0, 50/50, 20/80, 0/100	Basınçlı kalıplama 130 °C	Gerilme direnci en iyi karışımın 50/50 olduğu belirtilmiştir.	Ivanič et al., 2019

2.9. Minimal İşlem Görmüş Yeşil Yapraklı Sebzelerin Dayandırılma Yöntemleri

Sebzeler genellikle hasat sonrası metabolik faaliyetlerini sürdürerek solunum yoluyla yaşamlarını sürdüren ve dolayısıyla hassas, kısa raf ömürlerine sahip olan ürünlerdir. Hasattan tüketime kadar geçen süre zarfında, nakliye, dağıtım, pazarlama ve depolama aşamalarında kalite ve besin değerinde ciddi kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar genellikle sıcaklık, nem, oksijen dengesi gibi optimum depolama koşullarının aşıldığı durumlarda ortaya çıkar. Ayrıca, mekanik hasarlar, mikrobiyolojik gelişime bağlı olarak patolojik çürükler gibi faktörler de kayıplara neden olabilmektedir. Bu durum sonucunda sebzelerde olgunlaşma/yaşlanma, renk değişimi, dokuda bozulma, çürüme ve kötü koku gibi kalite kayıpları yaşanmaktadır. Hasat sonrası taze sebzelerde meydana gelen bozulmalar, küresel gıda zincirlerindeki gıda kayıplarının büyük bir kısmını oluşturmaktadır (Shakeel et al., 2022; Janghu et al., 2024).

Sebzeler, solunum faaliyetleri nedeniyle depoladığı besin maddelerini tüketerek yaşamlarını sürdürürler. Solunum sırasında O_2 tüketilirken, nişasta, şeker ve organik asit gibi maddeler CO_2 ve H_2O gibi basit moleküllere parçalanır. Solunum hızı ne kadar yüksek olursa, bitkinin yaşlanma süreci de o kadar hızlı olur ve raf ömrü kısalmır. Bu nedenle, sebzelerin kalite kayıplarını önlemek için soğukta muhafaza en etkili yöntemler arasındadır çünkü solunum hızını en çok etkileyen faktör ortam sıcaklığıdır (Le and Millar, 2023). Sebzeler, donma noktasının üzerinde bir sıcaklıkta depolandığında belli bir süre canlılıklarını koruyabilirler. Ancak her sebzenin belirli bir dayanma süresi vardır ve bu sürenin sonunda ürün kalitesi hızla bozulmaya başlar. Bu nedenle, ürünün raf ömrünü uzatmak için kontrollü atmosferde depolama, modifiye atmosferde ambalajlama ve aktif ambalajlama yöntemlerinden bir ve birkaçının kullanılması durumunda daha uzun raf ömrü sağlanabildiği belirtilmektedir (Le and Millar, 2023).

Modifiye atmosferde ambalajlama teknolojisi, aktif ve pasif modifikasyon olmak üzere iki türe ayrılır. Pasif modifiye atmosferde, ürünün solunum hızı ile ambalaj materyalinin gaz geçirgenliği arasında bir denge kurularak, ürünün solunumu için gerekli O_2 alınırken, oluşan CO_2 dengeli bir şekilde dışarı atılır ve denge gaz bileşimi sağlanır. Aktif modifiye atmosferde ise ambalaj içindeki gaz konsantrasyonu istenilen şekilde hızlı bir şekilde değiştirilir. Aktif modifiye atmosfer, pasif modifiye atmosfere nazaran daha etkilidir ancak daha yüksek

ekipman ve gaz maliyetleri gerektirir. Bu nedenle, genellikle endüstride pasif modifiye atmosfer tercih edilir (Floros and Matsos, 2005; Kargwal et al., 2020).

Minimal işlem görmüş sebzeler genellikle yıkama, kesme, ambalajlama vb. işlemleri içerdiğinden hazırlama ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Bu ürünlerin mikrobiyolojik ve genel kalitesinin korunmasında ambalajlamadan önceki aşamalarda yıkama ile ön işleme tabi tutulması, kaba kirlerin uzaklaştırılması mikrobiyal yükün azaltılmasında önemli bir adımdır. Ön işlemler özellikle minimal işlem görmüş taze ürünlerde çürümeyi kontrol etmek, renk değişimini ve dokuyu korumak için oldukça etkilidir. Düşük pH değerine sahip organik asit çözeltileri, bakterileri kontrol etmek için antimikrobiyaller veya kahverengileşmeyi önlemek için antioksidanlar kimyasal ön işlemler olarak uygulanmakta ve bu sayede raf ömrü boyunca ürünlerde renk, doku, lezzet ve besin kayıplarının engellendiği bildirilmektedir (Piagentini and Güemes, 2002).

2.10. Aktif Ambalajlama

Aktif ambalajlama, antioksidan ve antimikrobiyal maddeler gibi bileşikler içeren gıda ambalaj filmlerinin minimal işlem görmüş sebzelerin raf ömrünün uzatılabilmesi ve raf ömrü süresince kalitesinin korunması için modern bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak aktif maddeler ambalaj materyali üretimi sırasında polimer matrisinin içerisine dahil edilerek işlem gerçekleştirilmektedir. Ayrıca küçük paketler halinde ambalajın içerisine ürünle birlikte de koyulabilmektedir. Aktif ambalajlama sayesinde gıdaları çevresel etkilerden korumanın yanı sıra gıdalara ek iş işlevler de kazandırarak katma değer sağlar. Kullanılan aktif maddelerin çoğunun uçucu nitelikte olması sebebiyle ambalajlara dahil edildikleri durumlarda, gıdaların paketlenildiği andan taşıma, dağıtım ve tüketiciye ulaşma anına kadar salınım mekanizmaları yoluyla gıdanın korunmasına yardımcı olur. Aktif ambalajlamada kullanılan aktif maddeler çeşitli etki mekanizmalarına sahiptir (Bodbodak and Rafiee, 2016; Kargwal et al., 2020; Singh et al., 2022). Bu etki mekanizmaları ve bunların örnekleri Çizelge 2.6'da gösterilmektedir.

Ticari olarak temin edilebilen aktif ambalaj malzemelerinin neredeyse tamamı alçak yoğunluklu polietilen, polipropilen gibi fosil kaynaklı polimerlerden elde edilmektedir. Bununla birlikte bu sistemlere alternatif biyobazlı ürünlerin kullanımı ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Özellikle nişasta temelli polimerlerin bol bulunabilirliği, düşük maliyeti, toksik olmaması ve ürünlere

herhangi bir tat vermemesi nedeniyle biyolojik olarak parçalanabilen polimerler içerisinde dikkat çeken bir alternatiftir. Diğer yandan TPS ve PBAT kombinasyonları da teknolojik özellikler açısından daha başarılı olması sebebiyle aktif ambalaj matrisi olmak üzere umut vadetmektedir (Luzy et al., 2019; Qian et al., 2021). Çizelge 2.7’de kullanılan TPS/PBAT polimer karışımları, kullanılan antioksidan etkili aktif maddeler ve elde edilen önemli sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.6. Aktif madde etki mekanizmaları ve örnek aktif maddeler (Samsudin and Hani, 2017).

Aktif madde etki mekanizması	Örnek aktif madde	Uygulama alanları
Oksijen tutucu	Demir tozu, askorbik asit, sülfidler	Peynir, süt tozu
Karbondiyoksit tutucu	Kalsiyum oksit, kalsiyum hidroksit	Kahve, peynir, taze ürünler
Etilen tutucu	Potasyum permanganat, aktif karbon	Hasat sonrası taze ürünler
Aroma ve koku tutucu	Sitrik asit, askorbik asit, silika, aktif karbon	Balık, taze ürünler
Nem dengeleyiciler	Silika, kalsiyum oksit, poliakrilat	Dondurulmuş ürünler, kurutulmuş atıştırmalıklar, kurabiye, cips, taze ürünler
Antimikrobiyal inhibitör	Nisin, potasyum sorbat, organik asitler	Et ürünleri, taze ürünler, peynir
Antioksidan	Esansiyel yağlar (kekik, karanfil, biberiye), tokoferol	Taze ürünler, kahvaltılık gevrekler, yağlı ürünler

Literatürde tez çalışması kapsamında da aktif madde olarak kullanılan alfa-tokoferolün kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmıştır. Fidelis ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada alfa-tokoferol ile birlikte avokado kabuğu ekstraktı da kullanılarak TPS/PBAT filmleri üretilmiştir. Tek vidalı ekstrüder kullanılarak elde edilen filmlerin antioksidan özellik gösterdiği ve lipitçe zengin gıdaların ambalajlanmasında potansiyel kullanımının olduğu belirtilmiştir (Fidelis et al., 2015). Aktif madde olarak çam fıstığı ekstraktının kullanıldığı bir başka çalışmada

ise en fazla %0,75 aktif madde içeriğinin kullanıldığı ifade edilmiştir. Ayrıca artan konsantrasyona bağlı olarak filmlerin gösterdiği antioksidan kapasitenin de arttığı bulgulanmıştır (da Silva et al., 2019a).

Paulo ve çalışma arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada mikroenkapsüle kekik yağı ve herhangi bir işlem görmemiş kekik yağı içeren PBAT/TPS filmlerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı formlarda kekik yağının kullanımının filmlerin termal stabilitesini arttırdığı ve mekanik özellikleri iyileştirdiği belirlenmiştir (Paulo et al., 2021). Karanfil ve nane yağının kullanıldığı bir çalışmada ise yağların sahip olduğu antioksidan ve antimikrobiyal etkiye bağlı olarak model gıda olarak seçilen mantarların raf ömrünün 96 saate kadar uzadığı tespit edilmiştir (Gui et al., 2022). Sadece yağ bazlı aktif maddeler değil aynı zamanda suda çözünür aktif maddelerinde PBAT/TPS polimer matrislerinde kullanımı mümkündür. Bu amaçla Mücke ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada suda çözünür zerdaçal ilavesiyle aktif TPS/PBAT filmleri üretilmiştir. Zerdaçalın varlığının filmlerin su geçirgenliğini arttırdığı ve yağlı ürünler üzerinde oksidatif korumanın en yüksek %0,5 konsantrasyonda zerdaçal kullanıldığında belirlendiği ifade edilmektedir (Mücke et al., 2021).

Aktif ambalaj filmlerin üretiminde bitkisel ekstraktların ve esansiyel yağların haricinde selüloz, nanoselüloz gibi bitkisel liflerin kullanımının da mümkün olduğu belirtilmektedir. Yapılan bir çalışmada okaliptüsten elde edilen nanoselüloz PBAT/TPS matrislerine eklenerek yeni formülasyonlar incelenmiştir. Nanoselüloz varlığının filmler için olumlu olduğu ve nişastanın varlığının sebze ambalajlanmasında solunumu engellemediği ancak yağlı ürünlerde oksidasyonu önleyemediği belirlenmiştir (da Silva et al., 2019b).

Literatürde TPS/PBAT karışımlarından elde edilen kompozit malzeme üretimlerine dair çalışmalar bulunmaktadır ancak yapılan üretimler belirli karışım konsantrasyonları üzerine odaklanarak herhangi bir optimizasyon çalışmasının yapılmadığı belirlenmiştir. Ayrıca aktif ambalaj üretimi sırasında alfa-tokoferol kullanımına ilişkin sınırlı çalışma bulunmakla birlikte, üzüm çekirdeği yağı ve pirinç kabuğuna dair herhangi bir çalışma mevcut değildir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında ile TPS/PBAT polimer karışımlarında kullanılan tüm aktif maddeler için optimizasyon yapılarak üretimler gerçekleştirilmiş olup literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çizelge 2.7. TPS/PBAT aktif filmlere dair literatür çalışmaları.

Formülasyon İçeriği	Karışım Oranları	İşlem Koşulları	Temel Sonuçlar	Kaynak
PBAT/TPS/Avokado Kabuğu Ekstraktı (AE)/Alfa Tokoferol (T)	Nişasta (N)/gliserol (G)/PBAT: 42/18/40	Tek vidalı ekstrüder	Elde edilen filmlerin antioksidan özellik gösterdiği belirtilmektedir.	Fidelis et al., 2015
	(N/G/PBAT) /AE/T	Sıcaklık profili: 90/120/120/120/120 °C	Lipit yönünden zengin gıdaların ambalajlanmasında kullanım potansiyelinin olduğu belirtilmektedir.	
	100/0/0			
	99,4/0,6/0			
	99,2/0/0,8			
	98,6/0,6/0,8			
	99,3/0,3/0,4			
TPS/PBAT/Çam Fıstığı Ekstraktı	PBAT/TPS/Çam Fıstığı Ekstraktı (E)	Tek vidalı ekstrüder	Çam fıstığı ekstraktı içeren formülasyonlarında yüksek antioksidan kapasite belirlenmiştir.	da Silva et al., 2019(a)
	✓ 600 g (%35) + 1120 g (%65) (Kontrol)	Sıcaklık profili: 90/120/125/ 125 °C		

-
- ✓ 600 g + 1120 g + 10 g (E; 0.5%)
 - ✓ 600 g + 1120 g + 15 g (E; 0.75%)
-

PBAT/TPS/Nanoselüloz (NS)*	1. Aşama	Tek vidalı ekstrüder	Nanoselüloz varlığının filmler için olumlu olduğu belirtilmektedir.	da Silva et al., 2019(b)
*Okaliptüstan elde edilen nanoselüloz	TPS/NS	Sıcaklık profili: 130/140/145/145/150 °C	Nişastanın varlığı ile elde edilen gözenekli yapı sebze ambalajlamasında solunumu engellemeyeceği kullanımı uygun fakat yağlı ürünler oksidasyonu önleyemeyeceği için dezavantaj oluşturmakta.	
	*Manyok nişastası (g)/ gliserol (g)/ sitrik asit (g)/ stearik asit (g)/ NS (g)			
	18,6 -21,6 / 7,5 / 0,6 / 0,3 / 0,3-3			
	2. Aşama			
	TPS-NS/PBAT			
	Kontrol: 0/100			
	TPS-NS/PBAT: 30/70			

TPS/PBAT/Suda çözünür zerdeçal	TPS/PBAT/Suda çözünür zerdeçal 70/30/0 70/30/0,5 70/30/5	Tek vidalı ekstrüder Sıcaklık profili: 90/120/120/120 °C Film eldesi; film şişirme ünitesi	Zerdeçalın varlığı film şişirme ünitesinde filmlerin kolay çekilmesine yardımcı olmaktadır. Artan konsantrasyonlarda zerdeçalın varlığı filmlerin su geçirgenliğini arttırmıştır. Dolayısıyla chia yağının oksidatif korunmasının en yüksek %0,5 oranındaki karışımında olduğu belirtilmektedir.	Mücke et al., 2021
TPS/PBAT/Mikroenkapsüle kekik yağı TPS/PBAT/Kekik yağı	Nişasta/PBAT/Gliserol/Sitrik asit 230/200/70/0,1 Nişasta/PBAT/Gliserol/Sitrik asit/Mikroenkapsüle kekik yağı 207/180/63/0,09/50 Nişasta/PBAT/Gliserol/Sitrik asit/Kekik yağı 207/180/63/0,09/3,28	Tek vidalı ekstrüder Sıcaklık profili: 90/120/120/100 °C Film eldesi; film şişirme ünitesi (90/120/120/130/130 °C)	Kekik yağının mikroenkapsüle edilerek kullanılması termal stabilitede artış sağlamıştır. PBAT/TPS matrisi içerisinde daha iyi bir dolgu görevi görerek mekanik özellikleri geliştirmiştir. Mikroenkapsüle kekik yağı ve kekik yağı antioksidan özellikler bakımından benzer etkiler göstermekle beraber aktif ambalaj filmi eldesi için alternatif olabilmektedir.	Paulo et al., 2021
TPS/PBAT/Sodyum Benzoat TPS/PBAT/Potasyum Sorbat TPS/PBAT/Sodyum Benzoat/Potasyum Sorbat	40/60/0 40/60/3 40/60/6	Çift vidalı ekstrüder Sıcaklık profili: 90/110/130/140/150/155/160/160/160/165 °C	Sodyum benzoat ve potasyum sorbat eklenerek aktif özellik kazandırılmış olan ambalaj filmleri taze pirinç eriştelerinin ambalajlanmasında kullanılmış ve mikrobiyal gelişmeyi önlediği tespit edilmiştir. Nişastanın ve koruyucuların çift vidalı	Wangprasertkul et al., 2021

		Vida hızı:120-150 rpm Film eldesi; film şişirme ünitesi (140-170 °C) Vida hızı:35-40 rpm	ekstrüzyon yoluyla birleştirilmesi, bileşenlerin karıştırılmasını ve matris bileşenlerinin dağılmasını kolaylaştırarak sürekli ve pürüzsüz film oluşumunu olumlu etkilediği belirlenmiştir. En iyi korumanın ve en yüksek mekanik özelliklerin TPS/PBAT/Potasyum Sorbat; 40/60/6 karışımında sağladığı belirtilmiştir.	
PLA/PBAT/TPS	PLA/PBAT/TPS 14/56/30	Çözücü döküm (solvent casting) yöntemi	Elde edilen 3 farklı ambalaj filmi ile raf ömrü çok kısa olan <i>Volvariella volvacea</i> türü mantarların raf ömrünü uzatmak üzerine çalışılmıştır. Kullanılan esansiyel yağların mekanik özellikleri olumsuz etkilediği belirtilmiştir. Nane yağının aktif madde olarak kullanıldığı ambalajlarda mantarlar 96 saat korunabilmiştir.	Gui et al., 2022
Aktif Madde:	PLA/PBAT/TPS+ KY			
Karanfil yağı (KY)	14/56/30 +%5			
Nane yağı (NY)	PLA/PBAT/TPS+ NY 14/56/30 +%5			
TPS/PBAT/Nisin	40/60/0	Çift vidalı ekstrüder	Nisin ve nisin+EDTA eklenerek aktif özellik kazandırılmış olan ambalaj filmleri domuz etlerinin ambalajlanmasında kullanılarak mikrobiyal gelişmeyi önlediği, renk stabilizasyonu ve yağ oksidasyonuna karşı koruma sağladığı tespit	Leelaphiwat et al., 2022
TPS/PBAT/Nisin-EDTA	40/60/3 40/60/6 40/60/9	Sıcaklık profili: 60/75/90/105/115/120/120/1 25/125/125 °C		

		Vida hızı:120-150 rpm Film eldesi; film şişirme ünitesi (130 °C) Vida hızı:7 rpm	edilmiştir.Nisin ve EDTA'nın TPS/PBAT matrisine eklenmesi iki polimerin birbiri içinde daha iyi dağılmasını sağladığı belirtilmektedir. (En yüksek antimikrobiyal aktivite %9 nisin, %3 ve %6 nisin-EDTA)	
PBAT/TPS/ZnO nanokompozit	TPS:ZnO eldesi için;	TPS:ZnO eldesi için;	ZnO kullanılarak aktif özellik kazandırılmış olan ambalaj filmleri 4 °C'de depolanan domuz etlerinin ambalajlanmasında kullanılmış ve mikrobiyal gelişmeyi önlediği tespit edilmiştir. Nişastanın ZnO kullanılarak çift vidalı ekstrüzyon yoluyla birleştirilmesi, bileşenlerin karıştırılmasını ve matris bileşenlerinin dağılmasını kolaylaştırarak sürekli ve pürüzsüz film oluşumunu olumlu etkilediği belirlemiştir. En iyi korumanın ve en yüksek mekanik özelliklerin PBAT/TPS/ZnO; 40/60/4 karışımında sağladığı belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kullanılan etlerin raf ömrünün 3 gün uzadığı belirtilmiştir.	Phothisarattana et al., 2022
	100:35:1	Çift vidalı ekstrüder		
	100:35:2	Sıcaklık profili:		
	100:35:3	85-150 °C		
	100:35:4	Vida hızı:180 rpm		
	100:35:5	PBAT:TPS:ZnO eldesi için;		
	(Nişasta:Gliserol:ZnO)	Çift vidalı ekstrüder		
	PBAT:TPS:ZnO eldesi için;	Sıcaklık profili: 80-145 °C		
	60:40	Vida hızı:180 rpm		
		Film eldesi; film şişirme ünitesi (150-165 °C)		
		Vida hızı:25-27 rpm		

2.11. Polimer Matrisi İçerisinde Kullanılan Aktif Maddeler

2.11.1. Üzüm çekirdeği yağı

Doğal antioksidanlar, sağlıklı yaşamın temel taşlarından biridir ve gıda endüstrisindeki kullanıldığı alanların çeşitlenmesiyle beraber giderek artmaktadır. Özellikle çekirdek, kabuk, sap, gövde ve yaprak gibi atık ürünlerine olan ilgi katma değeri yüksek ürünlerin geri kazanılma potansiyeli ile önem kazanmıştır (Xu et al., 2017; Lourenço et al., 2019). Bu bağlamda, üzüm çekirdeklerinin değerlendirilmesi ekonomik açıdan önemli bir strateji olarak ifade edilmektedir. Üzüm çekirdekleri, şarap üretimi ve meyve suyu sanayisinin bir yan ürünüdür ve %7-20 civarında yağ içermektedir. Hafif meyvemsi lezzeti, monoterpenlere (limonen, mirsen, β -pinen vb.) sahip olması, yüksek dumanlanma sıcaklığı (216,7 °C), iyi derecede sindirilebilir oluşu ve kızartma yağı olarak kullanıldığında viskozitesinde önemli derecede bir artış gerçekleşmemesi, yüksek kalitedeki bir üzüm çekirdeği yağını karakterize eden temel özelliklerdir. Üzüm çekirdeği yağının yaklaşık olarak %90'ı linoleik (C18:2), oleik (C18:1), linolenik (C18:3) ve palmitoleik (C16:1) olmak üzere doymamış yağ asitlerinden oluşmaktadır. Ayrıca içerdiği fenolik bileşenler ile de yüksek oranda antioksidan etki gösterdiği bilinmektedir (Bail et al., 2008; Passos et al., 2010). Bu özellikleriyle aktif ambalaj üretmek üzere polimer matrisleri içerisinde kullanım potansiyeline sahiptir.

2.11.2. Alfa-tokoferol

Alfa-tokoferol, hücrelerde meydana gelen oksidatif hasara karşı önemli bir koruyucu rol oynayan biyolojik olarak aktif bileşiklerinden bir tanesidir. Hücrelerin metabolik faaliyetleri sırasında üretilen reaktif oksijen türlerinin neden olduğu oksidatif stresi azaltarak hücresel bileşenlerin zarar görmesini engeller. Hücre boyutunda önemli etkilerinin bulunmasının yanı sıra gıdalarda oksidasyonu azaltmak için kullanılan etkili bir antioksidan olarak da literatür çalışmalarında yer almaktadır (Szewczyk et al., 2021; Jomova et al., 2023). Diğer yandan alfa-tokoferol polimer işleme için de mükemmel bir stabilizatördür. Polimerlerin üretim süreçlerinde hakim olan yüksek sıcaklık ve basınç gibi koşullar, polimerlerin yapısında bozulmalara ve istenmeyen rekasiyonlara yol açabilir. Ancak alfa-tokoferol, polimerlerin bu tür zorlu koşullara karşı direncini arttırarak ürünün tekdüzeliğini sağlar. Bu özellikleri nedeniyle alfa-tokoferol, doğrudan film

malzemesine eklenerek aktif madde olarak kullanımının yaygın olduğu ifade edilmektedir. Alfa-tokoferolün polimer işleme koşulları altında stabil olduğu ve gıda ambalajı olmak üzere üretilen filmlerin nihai ürünlerinde önemli bir alfa tokoferol konsantrasyonu kaldığı bildirilmiştir. Yüksek oranda biyouyumluluk ve antioksidan etkisi nedeniyle, kullanım alanının geniş olabileceği bildirilmektedir (Zhang et al., 2020).

2.11.3. Pirinç kabuğu

Çeltik işlemede 100 kg işlem kapasitesinde yaklaşık olarak 56-58 kg beyaz pirinç, 10-12 kg kırık tane, 18-20 kg kabuk ve 10-12 kg pirinç kepeği elde edilmektedir. Üretim sırasında yaklaşık olarak %20 pirinç kabuğu atık olarak çıkmaktadır. Her ne kadar atık olarak ifade edilse de antioksidan etki göstermesi ve besin değeri açısından zengin olması nedeniyle değerlendirilmesi gereken bir yan üründür (Kahlon, 2009). Yapılan çalışmalar gösteriyor ki pirinç kabuğu ve pirinç kabuğu ekstraktı düşük fenolik bileşen içeriğine rağmen yüksek bir antioksidan kapasiteye sahiptir, bu da bulunan fenolik grupların oldukça reaktif olduğunu göstermektedir (Zou and Yang, 2019; Collazo-Bigliardi et al., 2019; Piñeros-Guerrero et al., 2020). Bu özellikleri ile birlikte pirinç kabuğunun polimer matrisleri içerisinde takviye ajanı ve aktif madde olarak kullanımının mümkün olabileceği düşünülmektedir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

Termoplastik nişasta üretiminde kullanılan buğday nişastası Pakmaya, PAK Gıda Üretim ve Paz. A.Ş. (Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Poli(bütlen adipat-ko-tereftalat) (PBAT) (Ecoflex, film sınıfı), 1,25 g/cm³ yoğunluğa ve 115 °C erime sıcaklığına sahip bir polimer matris olarak kullanılmıştır. Üzüm çekirdeği yağı (ÜÇY) ONEVA, Neva Gıda Maddeleri ve Baskı Malz. Dış Tic. Ltd. Şti. (Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Pirinç kabuğu (PK) ise yerel bir marketten tedarik edilmiş ve üretimler öncesi öğütülen pirinç kabukları %5 nem içeriğine kadar 50 ± 1 °C'de vakumlu etüvde kurutulmasının ardından 0,28 mm elek açıklığına sahip bir elekten geçirilerek kullanılabilecek kadar cam kavanozlarda muhafaza edilmiştir. Ayrıca gliserol, alfa-tokoferol (α -T) ve analizlerde kullanılan diğer tüm kimyasallar analitik saflıkta olup Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir.

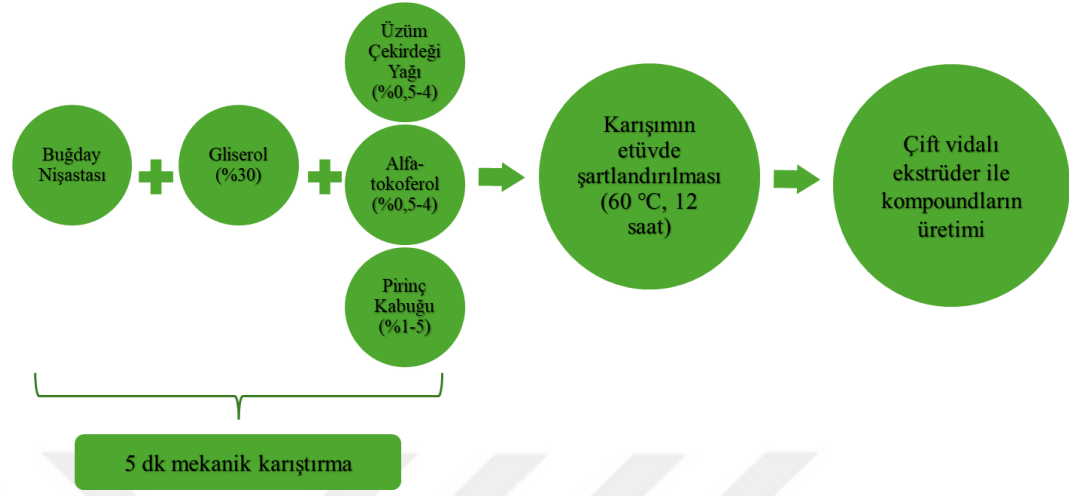
Model gıda uygulamalarında kullanılan rokalar (*Eruca sativa* L.) İzmir ili Menemen ilçesinde hasat edildiği günün hemen sonrası tedarik edilerek Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Meyve Sebze Teknolojisi Bilim Dalı bünyesinde bulunan laboratuvara getirilmiş ve aynı gün içerisinde işlenerek ambalajlanmıştır. Raf ömrü analizlerinde kontrol gıda ambalaj malzemesi olarak kullanılan çift yönde gerdirilmiş polipropilen (BOPP) ise Polinas A.Ş (Manisa) firmasından temin edilmiştir.

3.2. İşleme Yöntemleri

3.2.1. Termoplastik nişasta üretimi

Buğday nişastası, gliserol (%15-35) ve antioksidan maddeler üzüm çekirdeği yağı (%0,5-4), alfa-tokoferol (%0,5-4) ve pirinç kabuğu (%1-5) olmak üzere farklı konsantrasyonlarda karıştırıldıktan sonra 5 dk süreyle mekanik karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Ardından fiziksel modifikasyonun gerçekleştirilmesi için 60 °C'de 12 saat etüvde bekletilmiştir. Süre sonunda çift vidalı ekstrüder (L/D: 30,

POLARTEK, İstanbul) kullanılarak ekstrüzyon yöntemiyle termoplastik nişasta (TPS) üretilmiştir. Üretim akım şeması Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Termoplastik nişasta üretimi

Üretim sırasında 110, 120, 130, 140 ve 150 °C ekstrüzyon sıcaklıkları kullanılmıştır. Vida dönüş hızı ise ön denemelerle belirlenerek 75 rpm değerine sabitlenmiştir. Ekstrüzyon sonucu elde edilen ekstrüdat desikatörde soğutulduktan sonra boyut küçültme işlemine tabi tutularak compoundlar elde edilmiş ve 50 °C etüvde 24 saat kurutularak sonraki işlemler için 4 °C'de depolanmıştır.

3.2.2. Termoplastik nişasta/poli(bütillen adipat-ko-tereftalat) biyobazlı aktif filmlerin üretimi

Termoplastik nişasta (TPS)/poli(bütillen adipat-ko-tereftalat) (PBAT) polimer matrisli aktif ambalaj filmlerinin üretimi için üzüm çekirdeği yağı (ÜÇY), alfa-tokoferol (α -T) ve pirinç kabuğu (PK) ile zenginleştirilmiş TPS (%60-90) farklı konsantrasyonlarda PBAT (%40-10) ile karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlardan TPS/PBAT aktif compoundlar çift vidalı ekstrüder (L/D: 30, POLARTEK, İstanbul) kullanılarak ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiştir. Ekstruder sıcaklık profili 90/135/135/135/135 °C'ye ayarlanarak 90 rpm vida dönüş hızıyla üretimler gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon sonucu elde edilen ekstrüdat desikatörde soğutulduktan sonra, boyut küçültme işlemine tabi tutularak compoundlar elde edilmiş, 50 °C etüvde 24 saat kurutulmuştur. Son olarak, 90 rpm vida dönüş hızına sahip, 90/125/125/135/135 °C sıcaklık profilinde laboratuvar ölçekli bir şişirmeli film ekstrüder makinesi kullanılarak biyobazlı aktif filmler üretilmiştir.

3.2.3. Yanıt yüzey yöntemi ile termoplastik nişasta/poli(bütilen adipat-kotereftalat) biyobazlı aktif filmlerin üretim parametrelerinin optimizasyonu

TPS/PBAT biyobazlı aktif filmlerin üretiminde kullanılan parametrelerin etkisinin ve optimum noktaların belirlenmesi amacıyla yanıt yüzey yöntemi (RSM) kullanılarak Box-Behnken deneysel tasarımıyla farklı antioksidan maddeler için üç farklı optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımı 5 tanesi merkez noktada gerçekleştirilmek üzere toplam 13 denemeden oluşmuştur. Bağımsız değişkenler olarak aktif madde konsantrasyonu ve TPS:PBAT konsantrasyonu seçilirken bağımlı değişkenler olarak filmlere ait gerilme direnci (MPa) ve antioksidan kapasite (%) değerleri belirlenmiştir. Deney tasarımlarında kullanılan bağımsız değişkenlere ait sınır değerleri Çizelge 3.1’de görülmektedir. Bağımlı değişkenler ile matematiksel bir model geliştirmek için çoklu regresyon analizi kullanılmış, modeldeki anlamlı terimler varyans analizi (ANOVA) kullanılarak belirlenmiş ve veri optimizasyonunu incelemek için RSM kullanılmıştır. Modelin doğruluğunu değerlendirmek için uyum eksikliği (lack of fit) ve Fisher test değeri (F) kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Üzüm çekirdeği yağı, alfa-tokoferol ve pirinç kabuğu kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyonlara ait sınır değerleri.

Aktif Madde	Bağımsız Değişkenler (% Konsantrasyon)	Faktör	Sembol	Değişken seviyeleri		
				-1	0	+1
Üzüm Çekirdeği Yağı	Aktif Madde*	X ₁	A	0,5	2,25	4
	TPS:PBAT	X ₂	B	60:40	75:25	90:10
Alfa-Tokoferol	Aktif Madde*	X ₁	A	0,5	2,25	4
	TPS:PBAT	X ₂	B	60:40	75:25	90:10
Pirinç Kabuğu	Aktif Madde*	X ₁	A	1	3	5
	TPS:PBAT	X ₂	B	60:40	75:25	90:10

*Aktif maddeler, TPS/PBAT karışımının toplam ağırlığı üzerinden ağırlıkça (w/w) eklenmiştir.

3.3. Analiz yöntemleri

Gerçekleştirilen üç farklı optimizasyonda her bir aktif madde ve TPS:PBAT konsantrasyonu için optimum koşullar belirlendikten sonra optimum ve kontrol (aktif madde içermeyen) filmleri için analizler gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Kalınlık ölçümü

Optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlerin kalınlığı dijital kalınlık ölçer (LOYKA, 5318-10A, Türkiye) ile belirlenmiştir. Ortalama kalınlık, film numunelerinin rastgele 10 bölgesinden okunarak hesaplanmıştır (Raj et al., 2023).

3.3.2. Yoğunluk ölçümü

Optimum ve kontrol biyobazlı aktif film numunelerinin yoğunluğu, oda sıcaklığında (25 °C) ASTM D792, ISO 1183 test prosedürüne göre belirlenmiştir.

3.3.3. Renk değerlerinin belirlenmesi

TPS/PBAT biyobazlı aktif filmlerin L^* , a^* ve b^* değerleri (CIELAB renk değerleri), Hunter-Lab kolorimetre Colorflex model renk ölçüm cihazı (Management Company, ABD) ile ölçülmüştür. Ölçümlerin filmlerin farklı noktalarından en az dört okuma olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Hue açısı (h°), kroma (C^*), beyazlık (WI) ve sarılık indeksi (YI) değerleri ise 1, 2, 3 ve 4 eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır (Rodsamran and Sothornvit, 2015; Melikoğlu et al., 2022; Zhai et al., 2023).

$$h^\circ = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (1)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (3)$$

$$YI = 142.86 \times \frac{b^*}{L^*} \quad (4)$$

3.3.4. Filmlerin örtücülük değerlerinin belirlenmesi (opasite)

Optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlerinin örtücülük (opasite) değerleri spektrofotometrik (Peak Instruments, C-7200, Houston, ABD) yöntem ile belirlenmiştir. Kuvars küvetlere yerleştirilen numunelerin 600 nm dalga boyunda ölçülen absorbans değerlerinin, film kalınlığına bölünmesi ile hesaplanmıştır (Zhai et al., 2023).

3.3.5. Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Filmlerin mekanik özellikleri ZWICK/Roell Z020 model malzeme test makinesinde gerçekleştirilmiştir. Gerilme direnci (MPa) ve kopma anındaki uzama (%) değerleri ISO 527 test prosedürüne göre oda sıcaklığında (25 °C) 100 mm/dk çapraz kafa hızıyla belirlenmiştir.

3.3.6. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi

Optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlerinin kimyasal bileşimlerindeki ve fonksiyonel gruplarındaki değişiklikler, bir Perkin Elmer FTIR spektrometresi kullanılarak incelenmiştir. Numuneler, oda sıcaklığında (25 °C) her bir numune için 20 tarama ile 4 cm⁻¹ çözünürlükte 4000 - 650 cm⁻¹ aralığında kaydedilmiştir (Melikoğlu et al., 2023).

3.3.7. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi

Ambalaj filmlerinin ısı özellikleri TA Instrument Q2000 marka DSC cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örnekler, 40-160 °C'ye ısıtılarak 2 dk, 160 °C'den 25 °C'ye soğutularak 2 dk bekletildikten sonra 10 °C/dk hızla 20 °C'den 200 °C'ye kadar ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Soğutma eğrilerinin tepe noktası kristalleşme sıcaklığı (T_c), ısıtma eğrilerinin tepe noktası ise erime sıcaklığı (T_m) olarak adlandırılmıştır. Ambalaj filmlerinin kristallik derecesinin (X_c) hesaplanmasında, eşitlik (5) (Mohanty and Nayak, 2010) kullanılmış olup, %100 kristalin PBAT'ın erime entalpisi 114 J/g ve %100 kristalin TPS'in erime entalpisi 299,5 J/g olarak alınmıştır.

$$X_c (\%) = \frac{(\Delta H_m)}{(\Delta H_{m0})} * 100 \quad (5)$$

ΔH_m = Erime entalpisi, (J/g)

ΔH_{m0} = %100 kristalin erime entalpisi, ($\Delta H_{m0, PBAT} = 114$ J/g, $\Delta H_{m0, TPS} = 299,5$ J/g)

3.3.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile film yüzeyinin görüntülenmesi

Elde edilen ambalaj filmleri 50 °C'de vakumlu etüvde (Nüve EV 018, Türkiye) kurutuladıktan sonra filmlerin morfolojik özellikleri SEM (taramalı elektron mikroskobu) ile belirlenmiştir (Ivanič et al., 2023)

3.3.9. Optimum filmlerin fonksiyonel aktivitelerinin belirlenmesi

Bu aşamada gerçekleştirilen analizler optimum biyobazlı aktif filmlerin içerdikleri antioksidan kapasite ve fenolik madde miktarlarını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

3.3.9.1. Biyobazlı aktif filmlerden ekstrakt elde edilmesi

Toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite analizlerinde kullanılmak üzere optimum biyobazlı aktif film örneklerinden ekstraktlar elde edilmiştir. 50 mL etanol içerisine 5 g biyobazlı aktif film eklenerek 15.500 rpm'de 1,5 dk süreyle homojenize edilmiştir (Ultra-turrax T25 basic IKA-WERKE). Film ve etanol karışımı karanlık bir yerde 25 °C ve 80 rpm'de 24 sa boyunca karıştırılmıştır. Süre sonunda film ve etanol karışımı ultrasonik banyoda (Wisd, WUC-D10H 230 V) (%100 amplitüd, 25 °C) 15 dk bekletildikten sonra, 6540 x g'de 10 dk santrifüj (NUVE, NF800R) edilmiştir. Santrifüj sonrası elde edilen supernatant ekstrakt olarak kullanılmıştır.

3.3.9.2. Toplam fenolik madde miktarı analizi

Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi için hazırlanan ekstraktan 0,5 mL alınarak üzerine 2,5 mL Folin Ciocalteau reaktifi (1:10) eklenerek 80 rpm'de 4 dakika süreyle karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışıma 2 mL Na₂CO₃ (75 g/L) ilave edilmiştir. Örnekler 50 °C'de 5 dk inkübe edildikten sonra akan suyun altında soğutularak absorbanslar 760 nm dalga boyunda spektrofotometre (UV-vis., Peak Instruments, C-7200, Houston, ABD) ölçülmüştür. Kalibrasyon eğrisi için farklı konsantrasyonlarda gallik asit çözeltileri (50, 100, 200, 300, 400, 500 mg/L) hazırlanmış ve aynı işlemler bu çözeltiler için de uygulanarak gallik asit standart eğrisi çizilmiştir. Sonuçlar mg GAE/g film olarak ifade edilmiştir (da Silva et al., 2019a; Akyüz et al., 2021).

3.3.9.3. Antioksidan kapasite analizi

Film ekstraktlarının antioksidan kapasite (%AK) DPPH serbest radikal analizi ile değerlendirilmiştir. Numuneler etanol çözeltisi içerisinde DPPH radikali ile reaksiyona sokulmuştur. Reaksiyon karışımı, 0,5 mL örnek, 3 mL mutlak etanol ve 0,3 mL DPPH radikal çözeltisini (etanol içinde 0,5 mM) içermektedir. Renk değişiklikleri spektrofotometre (UV-vis., Peak Instruments, C-7200, Houston, ABD) ile 517 nm'de alınan absorbans değerlerine göre belirlenmiştir. Etanol (3,3 mL) ve numunenin (0,5 mL) karışımı kör olarak kullanılmıştır. Kontrol solüsyonu, etanol (3,5 mL) ve DPPH radikal solüsyonunun (0,3 mL) karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Antioksidan kapasite (%AK) Denklem 6'ya göre belirlenmiştir (da Silva et al., 2019a; Akyüz et al., 2021).

$$AK\% = 100 - \left[\frac{(Abs_{örnek} - Abs_{kör}) \times 100}{Abs_{kontrol}} \right] \quad (6)$$

3.3.10. Optimum biyobazlı aktif ambalaj filmlerinin bariyer özelliklerinin belirlenmesi

3.3.10.1. Oksijen geçirgenliği

Ambalaj filmlerinin oksijen geçirgenliği (OTR), ASTM 3985-05 test standartına göre Mocon ST-2/21 marka test cihazı ile 23 °C'de, %0 bağıl nemde analiz edilerek OTR, cm³/m²/gün cinsinden hesaplanmıştır.

3.3.10.2. Su buharı geçirgenliği

Ambalaj filmlerinin su buharı geçirgenliği ise (WVP), desikatör metoduna göre belirlenmiştir. Ambalaj filmleri 25 °C'de, %75 bağıl nemde 2,5 g silikajel içeren cam vezin kaplarının (40×25 cm) üzerine kapatılarak desikatörün içerisine yerleştirilmiştir. 24 sa sonunda ağırlıkları kaydedilerek Denklem 7'ye göre hesaplanarak ve g×mm/ m²×sa×kPa olarak ifade edilmiştir (Ormanlı et al., 2022; Phothisarattana et al., 2022).

$$WVP = \frac{\Delta W \times x}{A \times t \times \Delta P} \quad (7)$$

ΔW: Vezin kaplarında absorblanan suyun ağırlığı (g)

x: Film kalınlığı (mm)

A: Toplam alan (m²)

t: Süre (sa)

ΔP : Basınç farkı (kPa)

3.3.11. Optimum film üretimleri için enerji tüketimlerinin belirlenmesi

Kompoundların ve biyobazlı aktif filmlerin optimum koşullarda üretimi için ekstrüderdeki enerji tüketimi, 100 g ürün başına güç tüketimine (kWh) göre belirlenmiştir. Güç tüketimi, her bir üretim için vida dönüş hızına karşılık belirlenen tork ve voltajın çarpımından hesaplanmıştır (Nwabueze and Iwe, 2009).

3.3.12. Optimum biyobazlı aktif ambalaj filmlerinin biyobozurluk özelliklerinin belirlenmesi

Biyobazlı aktif ambalaj filmlerinin biyobozunurluğu, simüle toprak altında (%25 milli tını, %23 kum, %25 gübre, %27 saf su) takip edilmiştir. Sabit nemde simule toprağa, 10x10±5 mm ebatlarında kesilerek gömülen örnekler, haftada bir çıkarılarak, 5 hafta süre ile takip edilmiştir. Her defasında toprak altından çıkarılan filmler distile su ile yıkanıp kurutulduktan sonra tartılmış, ağırlık kaybı (%) belirlenmiştir. Filmlerde oluşan görsel değişimler fotoğraflanarak incelenmiştir (Yap et al., 2020).

3.4. Model Gıda Uygulamaları ve Depolama Analizleri

Üretimi yapılan optimum biyobazlı aktif filmlerin gıda ambalajı olarak etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla minimal işlem görmüş roka (*Eruca sativa* L.) örneklerinin ambalajlanmıştır. Örnekler 0, 3, 7 10 ve 14. günlerde analize alınarak kalite özellikleri belirlenmiştir. Üretimi yapılan biyobazlı aktif filmlerin yanı sıra kontrol örneği olarak ticari olarak kullanılmakta olan BOPP ve PBAT ambalaj materyalleri ile de ambalajlanmıştır.

3.4.1. Rokalara uygulanan ön işlemler

Yüzeyinde hasar ve leke bulunan rokalar ayıklanarak, sağlıklı yapraklar köklerinden ayrılmış, akan çeşme suyu ile kaba kirlerinin uzaklaştırılmak üzere yıkanmıştır. Kaba kirlerinden arındırılan roka örnekleri 100 ppm'lik klorlu suda 5

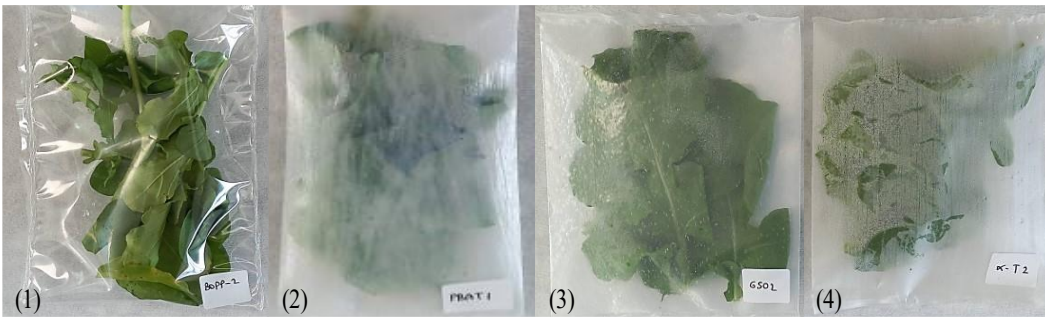
dk süreyle bekletildikten sonra klorun yüzeyde kalıntı yapmaması için bu defa içme suyuyla yıkanmıştır. Tamamen temizlenen roka örnekleri, suları hızlı bir şekilde süzildükten sonra mekanik bir kurutucu kullanılarak 30 sn süreyle kurutulmuş ve örneklerin yüzeyindeki fazla suyun uzaklaşması sağlanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Yıkanmış roka örnekleri.

3.4.2. Rokaların ambalajlanması

Ön işlemler sonrası roka yaprakları yaklaşık $10 \pm 0,5$ g olacak şekilde $(80 \times 120) \pm 5$ mm ölçülerindeki filmler içerisine yerleştirilerek ve ısı yapıştırıcısı ile ambalajlar kapatılarak 4°C depolanmıştır (Şekil 3.3). Her bir analiz için farklı paket kullanılmış ve ambalajlar analiz yapılacağı gün açılmıştır. Her bir örneğe depolama süresince uygulanan analizler Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.



Şekil 3.3. (1) BOPP, (2) PBAT, (3) TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) ve (4) TPS/PBAT/ α -T (Optimum) ambalaj filmleri ile ambalajlanmış minimal işlem görmüş roka yaprakları.

Çizelge 3.2. Roka örneklerine depolama süresince uygulanan analizler.

Fiziksel Analizler	Renk değerlerinin belirlenmesi
	Ağırlık kaybının belirlenmesi
Kimyasal Analizler	pH değeri
	Toplam klorofil
	Toplam fenolik madde miktarı
	Antioksidan kapasite
Mikrobiyolojik Analizler	Toplam mikroorganizma sayımı
Duyusal Analizler	Renk, koku, doku ve genel beğeni

3.4.3. Renk değerlerinin belirlenmesi

Farklı ambalaj materyalleri içerisinde depolanmış roka örneklerinin L^* , a^* ve b^* değerleri (CIELAB renk değerleri), Hunter-Lab kolorimetre Colorflex model renk ölçüm cihazı (Management Company, ABD) ile ölçülmüştür. Ölçümler roka yapraklarının farklı noktalarından en az dört okuma olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Rodsamran and Sothornvit, 2015; Melikoğlu et al., 2022; Zhai et al., 2023).

3.4.4. Kuru madde analizi

Depolama süresi boyunca roka örneklerinin kuru madde içeriği gravimetrik olarak vakumlu etüvde (Nüve EV 018, Türkiye) 65 °C'de belirlenmiştir (Cemeroğlu, 2013).

3.4.5. Ağırlık kaybının belirlenmesi

Roka örneklerinde depolama süresince meydana gelen ağırlık kaybı (%), $\pm 0,0001$ hassasiyete sahip Giberti Europe dijital hassas terazi kullanılarak belirlenmiştir. Depolamanın en başında ağırlıkları belirlenen örnekler, analiz günleri buzdolabından çıkarılarak tartılmış ve kütle kaybı % değişim olarak hesaplanmıştır.

3.4.6. pH değeri analizi

Roka örneklerinin pH değeri potansiyometrik olarak InoLab level1 WTW pH-metre ile belirlenmiştir. Roka yaprakları katı sıvı oranı 1:5 (w/v) olacak şekilde distile suda IKA marka Ultra-Turrax ile 13000 rpm'de 30 sn süreyle homojenize edildikten sonra pH değeri doğrudan ölçülmüştür (Cemeroğlu, 2013).

3.4.7. Toplam klorofil miktarı

Roka örnekleri katı sıvı oranı 1:5 (w/v) olacak şekilde %80'lik aseton çözeltisiyle 13000 rpm'de 30 sn süreyle homojenize edilmiştir. Homojenize edilen örnekler 6540 x g'de 15 dk süreyle 4 °C'de santirfüj edilmiştir. Daha sonrası supernatant Whatman No:1 filtre kağıdından süzülerek filtrat 25 mL'ye tamamlanmıştır. Örneklerin toplam klorofil miktarı 663 ve 645 nm'deki absorbanları belirlenerek Denklem 8'deki eşitlik kullanılarak mg/g, taze ağırlık cinsinden hesaplanmıştır (Özkan and Bilek, 2015; Tekin and Ersus, 2021).

$$\text{Toplam Klorofil Miktarı} \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}}, \text{taze ağırlık} \right) = \frac{(20,2 \times A_{645} + 8,02 \times A_{663})}{1000} * SF \quad (8)$$

A₆₄₅: 645 nm'deki absorban

A₆₆₃: 663 nm'deki absorban

SF: Seyreltme faktörü

3.4.8. Toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite analizleri için ekstraksiyonu

Toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite analizlerinde kullanılmak üzere roka örneklerinden ekstraktlar elde edilmiştir. Katı sıvı oranı 1:40 (w/v) olacak şekilde etanol içerisinde 15.500 rpm'de 1,5 dk süreyle homojenize (Ultra-turrax T25 basic IKA-WERKE) edilen örnekler 6540 x g'de 10 dk santrifüj (NUVE, NF800R) edilmiştir. Santrifüj sonrası elde edilen supernatant ekstrakt olarak kullanılmıştır. Toplam fenolik madde miktarı analizi ve antioksidan kapasite analizleri biyobazlı aktif filmlere uygulanan analizlerle benzer şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.4.9. Toplam mikroorganizma sayımı analizi

Toplam mikroorganizma sayımı dökme plak yöntemi ile Plant Count Agar besiyeri kullanılarak 37 °C'de 48 sa örneklerin inkübasyona bırakılması ile kob/g cinsinden belirlenmiştir (BAM, 1998)

3.4.10. Duyusal değerlendirme

Farklı ambalaj materyalleri içerisinde depolanan minimal işlem görmüş roka örneklerinin depolama süresi boyunca duyusal özelliklerindeki değişim 10 panelist ile belirlenmiştir. Panelistler tarafından roka örnekleri renk, koku, doku ve genel beğeni olmak üzere dört farklı kategoride 1-10 puan skalasında değerlendirilmiştir. Buna göre renk puanı 10; “parlak ve homojen yeşil renk dağılımı”, 1; “kararmış ve çürümüş yapraklar”, koku puanı 10; “kendine özgü taze roka kokusu”, 1; “yabancı, çürük koku”, doku puanı 10; “diri ve sert yapraklar”, 1; “aşırı yumuşamış, çürük yapraklar” ve genel beğeni puanı 10; “mükemmel”, 1; “çok kötü” olarak belirlenmiştir. Her bir duyusal kategori için panelistlerin verdiği puanların ortalaması üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır (Elmacı ve Onoğur, 2011; Løkke et al., 2012).

3.5. İstatistiksel Analizler

Tüm üretimler iki tekerrür ve analizler üç tekrar olacak şekilde yapılarak sonuçlar ortalama ve standart sapma olarak ifade edilmiştir. Elde edilen veriler SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve ardından Duncan'ın çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır ($P<0,05$). Ayrıca optimizasyon, Design Expert programının 7.0.0 versiyonundaki (State-Ease, Inc., Minneapolis, MN, ABD) yanıt yüzeyi yönteminin (RSM) Box-Behnken deneysel tasarımıyla gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Termoplastik Nişasta Üretim Koşullarının Belirlenmesi

Termoplastik nişasta (TPS) üretimi için %15, 20, 25, 30 ve 35 arasında değişen farklı gliserol konsantrasyonları kullanılarak üretimler gerçekleştirilmiştir. %15, %20 ve %25'lik konsantrasyonlarda, çift vidalı ekstrüzyonla üretim sırasında ürünün plastikleşmediği belirlenerek TPS üretiminin gerçekleşmediği belirlenmiştir. %30 ve %35'lik gliserol konsantrasyonlarında başarılı plastikleştirme gözlemlenirken ekstrüderde TPS üretimi mümkün olmuştur. İki farklı gliserol konsantrasyonu karşılaştırıldığında üretim kolaylığı ve son ürün kalitesi açısından herhangi bir fark gözlenmemesi sebebiyle sonraki yapılan bütün üretimlerde daha az plastikleştirici kullanarak maliyeti minimumda tutabilmek için %30 gliserol konsantrasyonuyla devam edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda kullanılan nişasta türüne bağlı olarak %20-40 konsantrasyon aralığındaki gliserolün nişastayı plastikleştirme kapasitesine sahip olduğu belirtilmektedir. Ayrıca nişasta kaynağı seçiminin yanı sıra nişastanın amiloz ve amilopektin içeriğinin optimal gliserol konsantrasyonunu etkilediği bilinmektedir (Tadmor and Gogos, 2013; Nunes et al., 2018).

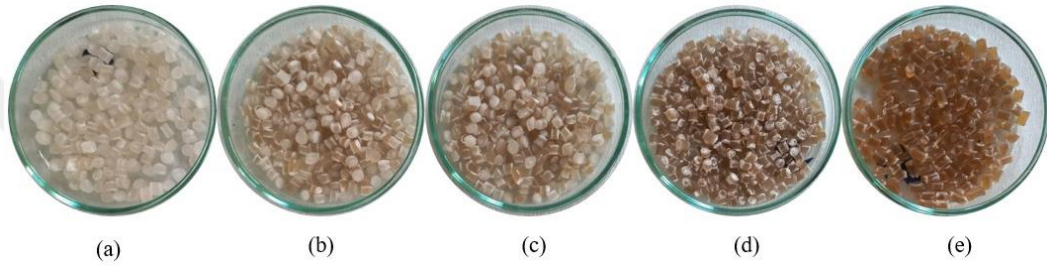
TPS üretiminde bir diğer kritik faktör ekstrüzyon sıcaklığıdır. Proses sıcaklığının da TPS için optimal bir seviyede olması için %30 gliserol konsantrasyonundaki TPS üretimi, 110-150 °C'yi kapsayan değişen ekstrüzyon sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Ekstrüderde TPS oluşumunda kullanılan nişasta ve gliserol karışımının 110 °C ve 120 °C işleme sıcaklıklarında sergilediği son derece düşük akışkanlık, ekipman içinde kayda değer derecede yüksek tork değerlerinin oluşmasıyla sonuçlanmıştır. Polimer karışımı 150 °C'de olumlu akış özellikleri sergilerken, artan sıcaklığın elde edilen bileşiklerde yanma sorunlarına ve renk değerlerinde kayıplara yol açtığı belirlenmiştir (Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1). Diğer yandan 130 °C ve 140 °C'de işlendiğinde 150 °C'de elde edilen örneklerle kıyasla daha açık renkte ürün elde edilmesinin yanı sıra daha düşük sıcaklıklara göre üstün akış özellikleri seğilemiştir. Bu veriler ışığında üretim için en uygun işleme sıcaklığının, ekstrüderin sıcaklık sapması hesaba katılarak orta noktayı temsil eden 135±5 °C olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. %30 gliserol konsantrasyonuyla üretimi gerçekleştirilen TPS'nin farklı sıcaklıklardaki renk ve tork değerleri.

Sıcaklık (°C)	Renk Değerleri					Tork (T) (%)
	<i>L</i>	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>h</i> ^o	<i>C</i> *	
110	53.99±0.05 ^a	0.05±0.05 ^a	0.80±0.15 ^a	1.51±0.01 ^a	0.80±0.02 ^a	32.33±0.12 ^e
120	49.96±0.12 ^b	0.11±0.05 ^b	1.79±0.07 ^b	1.51±0.05 ^a	1.79±0.04 ^b	30.47±0.15 ^d
130	46.66±0.06 ^c	0.06±0.05 ^a	1.69±0.06 ^c	1.54±0.01 ^b	1.69±0.21 ^c	18.53±0.12 ^c
140	45.33±0.08 ^c	0.08±0.05 ^c	1.63±0.11 ^c	1.52±0.02 ^c	1.63±0.22 ^c	16.66±0.21 ^b
150	32.47±0.32 ^d	0.32±0.08 ^d	5.34±0.15 ^d	1.63±0.22 ^c	5.35±0.02 ^d	13.50±0.20 ^a

Veriler ortalama değerleri ve standart sapmaları temsil eder.

a, b, c, d, e, Her analize ilişkin farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil etmektedir (P<0,05).



Şekil 4.1. Farklı sıcaklıklarda üretimi gerçekleştirilen TPS görüntüleri (a), 110 °C; (b), 120 °C; (c), 130 °C; (d), 140 °C; (e), 150 °C.

Çizelge 4.1'deki sonuçlar değerlendirildiğinde artan sıcaklıkla birlikte özellikle *L* değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir. 110 °C'de gerçekleştirilen üretimlerde elde edilen TPS'in *L* değeri 53.99±0.05 olarak bulunurken 150 °C'de ise 32.47±0.32 olarak bulunmuştur ve yaklaşık %40 oranında bir azalma olduğu saptanmıştır. Tork (T) değeri ekstrüderde üretimler sırasında kullanılan mekanik enerjinin bir ölçüsüdür. Polimer karışımının viskozitesi hakkında bilgi verirken aynı zamanda da ekstrüderin performans kriteri olarak belirtilmektedir (Lyons et al., 2007; Grehan et al., 2014). Üretimler sırasında T değerinin %25-30'un altında kalması cihazın üretim etkinliği ve güvenliği açısından önem taşımaktadır. Çizelge 4.1'de ifade edilen artan T değerinin işlem sıcaklığı ile bağlantılı olduğu görülmektedir. Diğer yandan proses sırasında kullanılacak olan sıcaklık işlenen ürünün erime derecesine göre olup degradasyon sıcaklığının da altında olmalıdır. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere artan sıcaklık TPS'nin degradasyonuna bağlı olarak yanık bir görüntü oluşumuna neden olmuştur. Renk bu aşamada görüntü açısından bir kalite kriteri olarak değerlendirilmekle beraber, ürünün degradasyonunu da belirttiği için elde edilen ürünün başka üretimlerde hammadde olarak kullanımını sınırlandırmaktadır.

4.2. Termoplastik Nişasta/ Poli(Bütlen Adipat-ko-Tereftalat) Biyobazlı Aktif Filmlerin Optimizasyonu

Biyobazlı aktif filmlerin üretiminde kullanılan üzüm çekirdeği yağı (ÜÇY), alfa-tokoferol (α -T) ve pirinç kabuğu (PK) olmak üzere üç farklı aktif madde için üç farklı optimizasyon gerçekleştirilerek optimum koşullar belirlenmiştir. Optimizasyonlar sonucunda elde edilen biyobazlı komponentlerin ve filmlerin görüntüleri Ek-1’de gösterilmektedir.

4.2.1. Termoplastik nişasta/ poli(bütlen adipat-ko-tereftalat)/ üzüm çekirdeği yağı biyobazlı aktif filmlerinin optimizasyonu

Biyobazlı aktif filmlerin üretiminde etkili olan aktif madde ve TPS:PBAT konsantrasyonunun elde edilen filmlerin antioksidan kapasiteleri ve gerilme direnci üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bağımsız değişkenlere (aktif madde konsantrasyonu (ÜÇY), A ve TPS:PBAT konsantrasyonu, B) karşılık gelen antioksidan kapasite ve gerilme direncine ilişkin deneysel veriler sırasıyla %11,6-59,4 ve 16,3-67,7 MPa arasında değişmektedir. Deney tasarımında kullanılan parametreler ve elde edilen değerler Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Bağımsız değişkenler (aktif madde konsantrasyonu, üzüm çekirdeği yağı (ÜÇY) (%) ve TPS:PBAT konsantrasyonu) ve Box-Behnken tasarımına göre antioksidan kapasite ve gerilme direnci için deneysel veriler.

Deney No	Bağımsız Değişkenler		Bağımlı Değişkenler	
	A Aktif Madde Konsantrasyonu (ÜÇY)* (%)	B TPS:PBAT Konsantrasyonu (%)	Antioksidan Kapasite (%)	Gerilme Direnci (MPa)
1	2,25	60:40	17,15	67,70
2	4,00	60:40	25,20	49,80
3	0,50	60:40	11,60	35,30
4	2,25	75:25	33,96	59,00
5	4,00	90:10	59,40	16,30
6	0,50	90:10	36,75	30,00
7	2,25	75:25	34,65	57,00
8	4,00	75:25	42,17	34,20
9	2,25	90:10	45,80	38,30
10	2,25	75:25	32,45	63,00
11	0,50	75:25	21,30	31,30
12	2,25	75:25	33,15	58,00
13	2,25	75,00	34,82	62,40

*Aktif maddeler, TPS/PBAT karışımının toplam ağırlığı üzerinden ağırlıkça (w/w) eklenmiştir.

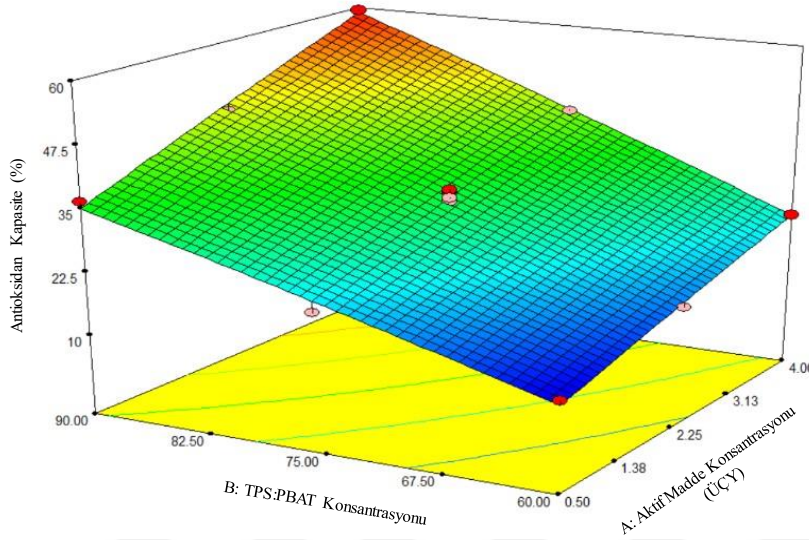
Deneysel tasarıma ait tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Korelasyon katsayısı; R^2 değerleri antioksidan kapasite için 0,9909 ve gerilme direnci için 0,9689 olarak belirlenmiştir. Deneysel verilerin dağılımının modele ne kadar uyumlu olduğunu ölçen R^2 değerinin 0,75'ten büyük olması gerektiği belirtilmektedir. Güçlü bir model ve uygun optimizasyon için R^2 değeri kadar önemli olan diğer bir unsur da düzeltilmiş R^2 (Adjusted- R^2) değerinin 0,8'den büyük olmasıdır. Antioksidan kapasite ve gerilme direnci yanıtları için sırasıyla düzeltilmiş R^2 değerleri 0,9844 ve 0,9467 olarak bulunmuştur. Kontrol edilmesi gereken bir diğer veri ise tahmin edilen R^2 (Predicted- R^2) değeridir (Savic et al., 2022). Bu sayede deneysel ve tahminlenen değerlerin iyi bir ilişkiye sahip olduğu ifade edilebilir. Gerçekleştirilen bu optimizasyonda ise antioksidan kapasite ve gerilme direnci yanıtları için sırasıyla tahmin edilen R^2 değerleri 0,9844 ve 0,9467 olarak bulunmuştur. Deneysel verilerden elde edilen matematiksel modelin uygunluğu modele ait önem düzeyi ve uyum eksikliği (Lack of Fit) testleri ile kontrol edilmektedir (Behera et al., 2018). Bu bilgi doğrultusunda modelin istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) olması beklenirken, uyum eksikliği değerinin ise istatistiksel olarak önemsiz ($P > 0,05$) olması beklenmektedir. Gerçekleştirilen bu optimizasyonda iki yanıt için de model önemli olarak tespit edilirken uyum eksikliği değeri önemsiz olarak belirlenmiştir. Bu da optimizasyon için elde edilen deneysel verilerin model için uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3. Aktif madde olarak üzüm çekirdeği yağının kullanıldığı optimizasyona ait tek yönlü varyans analizine ait değerler.

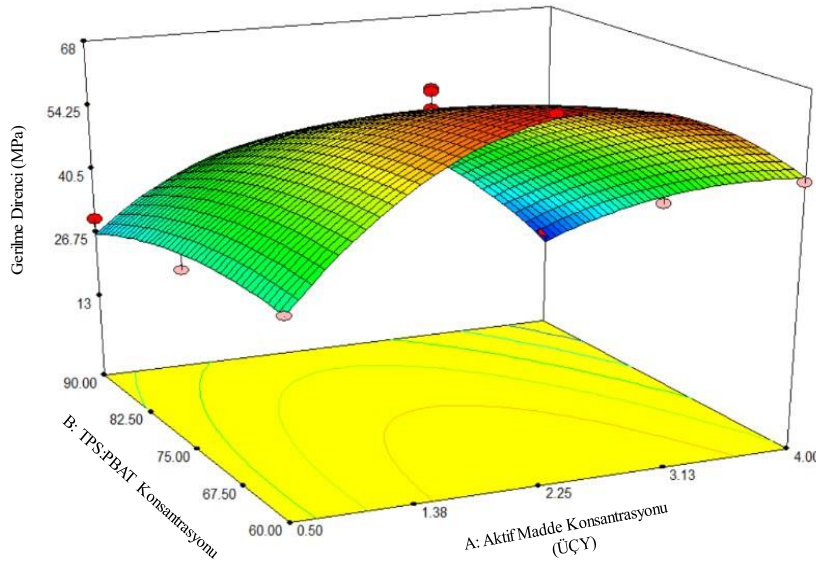
Kaynak	Antioksidan Kapasite (%)		Gerilme Direnci (MPa)	
	P-değeri	Önem Düzeyi	P-değeri	Önem Düzeyi
Model	< 0,0001	önemli	< 0,0001	önemli
A	< 0,0001		0,6981	
B	< 0,0001		0,0001	
AB	0,0230		0,0069	
A²	0,8211		< 0,0001	
B²	0,6245		0,1624	
Uyum eksikliği	0,0965	önemsiz	0,1448	önemsiz
Korelasyon katsayıları	R²	0,9909		0,9689
	Ayarlanmış R²	0,9844		0,9467
	Tahmin edilen R²	0,9444		0,7991

Elde edilen sonuçlara göre antioksidan kapasite için en önemli parametrelerin aktif madde konsantrasyonu, ÜÇY (A), TPS:PBAT konsantrasyonu (B) ve aktif madde konsantrasyonu, ÜÇY x TPS:PBAT konsantrasyonu (AB) olduğu belirlenmiştir. Gerilme direnci için en önemli parametrelerin ise TPS:PBAT konsantrasyonu (B), A×B ve A² olduğu görülmektedir. Bağımsız değişkenlerin

antioksidan kapasite ve gerilme direnci üzerine etkileri Şekil 4.2 ve 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.2. Bağımsız değişkenlerin antioksidan kapasite (%) üzerine etkileri.



Şekil 4.3. Bağımsız değişkenlerin gerilme direnci (MPa) üzerine etkileri.

Üzüm çekirdeği yağı, elde edilen filmlerin antioksidan kapasitesi ve gerilme direnci üzerinde olumlu etkiye sahiptir. ÜÇY, yaklaşık 216 °C gibi nispeten yüksek bir dumanlanma noktasına sahiptir. Ayrıca içerdiği fenolik bileşenlerden dolayı yüksek antioksidan etkiye sahip olduğu da bilinmektedir. Bu durumda elde edilen

filmler ekstrüzyon sıcaklığına karşı korunmuş ve aynı zamanda antioksidan özellikler de göstermiştir (Bail et al., 2008; Passos et al., 2010; Suealek et al., 2019). Ayrıca ortamda TPS oranı yüksek olduğunda örneklerin daha yüksek antioksidan özellik gösterdiği belirlenmiştir. Bunun ÜÇY'nın TPS'nin polimer matrisine daha iyi yapışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca matris içerisinde üzüm çekirdeği yağının bulunması, TPS ve PBAT polimer matrislerinin birbirleriyle homojen bir şekilde karışmasını sağlayarak kompozit malzemenin direncini arttırmaktadır. Bu değerlendirmelerin doğrultusunda model optimizasyona uygun görülmüştür. Program tarafından ikinci dereceden model önerilmiştir ve kodlanmış değişkenlere göre antioksidan kapasite (%) ve gerilme direncine ait model denklemleri eşitlik 9 ve 10'da sunulmuştur.

$$\text{Antioksidan kapasite (\%)} = 33.28 + (9.52 \times A) + (14.67 \times B) + (2.26 \times AB) + (-0.22 \times A^2) + (-0.48 \times B^2) \quad (9)$$

$$\text{Gerilme direnci (MPa)} = 58.92 + (0.62 \times A) + (-11.37 \times B) + (-7.05 \times AB) + (-23.76 \times A^2) + (-3.51 \times B^2) \quad (10)$$

Yanıt yüzey yöntemi kullanılarak optimum koşullar %2,38 aktif madde konsantrasyonu (ÜÇY) (A) ve %80,76 TPS:PBAT konsantrasyonu (B) olarak belirlenmiştir. Deney tasarımına göre biyobazlı filmin antioksidan kapasitesinin (%) ve gerilme direncinin (MPa) program çıktısı olarak sırasıyla %41,30 ve 52,20 MPa olması beklenmektedir. Doğrulama analizi sonucunda optimum koşullarda üretilen biyobazlı aktif filmlerin antioksidan kapasitesi (%) ve gerilme direnci (MPa) sırasıyla %40,90 ve 51,30 MPa olarak bulunmuştur. Program çıktısı ve doğrulama analizi değerleri arasındaki fark sırasıyla %0,96 ve %1,72 olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar ile program tarafından öngörülen değerlerin birbiriyle %95'in üzerinde uyumlu olduğu görülmektedir.

4.2.2. Termoplastik nişasta/ poli(bütilen adipat-ko-tereftalat)/ alfa-tokoferol biyobazlı aktif filmlerinin optimizasyonu

ÜÇY'nin kullanıldığı optimizasyona benzer amaçla biyobazlı aktif filmlerin üretiminde etkili olan aktif madde ve TPS:PBAT konsantrasyonunun elde edilen filmlerin antioksidan kapasiteleri ve gerilme direnci üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bağımsız değişkenlere (aktif madde konsantrasyonu (α -T), A ve TPS:PBAT konsantrasyonu, B) karşılık gelen antioksidan kapasite ve gerilme direncine ilişkin deneysel veriler sırasıyla %23,4-95,56 ve 2,14-6,81 MPa arasında

değişmektedir. Deney tasarımı kullanılan parametreler ve elde edilen değerler Çizelge 4.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Bağımsız değişkenler (aktif madde konsantrasyonu, alfa-tokoferol (α -T) (%) ve TPS:PBAT konsantrasyonu) ve Box-Behnken tasarımına göre antioksidan kapasite ve gerilme direnci için deneysel veriler.

Deney No	Bağımsız Değişkenler		Bağımlı Değişkenler	
	A Aktif Madde Konsantrasyonu (α -T)* (%)	B TPS:PBAT Konsantrasyonu (%)	Antioksidan Kapasite (%)	Gerilme Direnci (MPa)
1	0,50	75:25	48,75	3,20
2	2,25	75:25	86,96	5,51
3	2,25	60:40	69,31	6,81
4	4,00	60:40	79,90	4,97
5	0,50	60:40	23,40	3,55
6	2,25	75:25	84,81	5,30
7	2,25	75:25	85,07	5,77
8	2,25	90:10	89,21	4,16
9	4,00	75:25	86,39	4,37
10	0,50	90:10	79,04	2,58
11	2,25	75:25	86,92	5,48
12	2,25	75:25	97,30	5,10
13	4,00	90:10	95,56	2,14

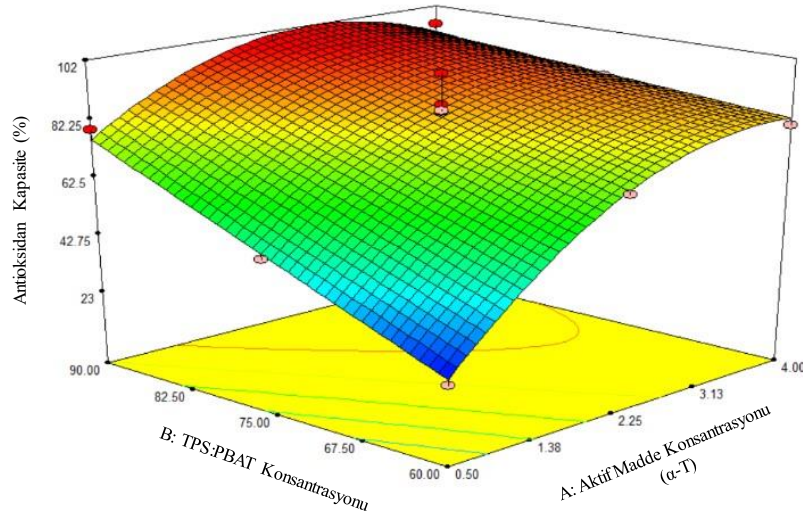
*Aktif maddeler, TPS/PBAT karşısının toplam ağırlığı üzerinden ağırlıkça (w/w) eklenmiştir.

Deneysel tasarıma ait ANOVA sonuçları Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Korelasyon katsayısı; R^2 değerleri antioksidan kapasite için 0,9387 ve gerilme direnci için 0,9595 olarak belirlenmiştir. Güçlü bir model ve uygun optimizasyon için R^2 değeri kadar önemli olan düzeltilmiş R^2 (Adjusted- R^2) değeri antioksidan kapasite ve gerilme direnci yanıtları için sırasıyla 0,9080 ve 0,9392 olarak bulunmuştur. Kontrol edilmesi gereken bir diğer veri ise tahmin edilen R^2 (Predicted- R^2) değeridir (Savic et al., 2022). Gerçekleştirilen bu optimizasyonda ise antioksidan kapasite ve gerilme direnci yanıtları için sırasıyla tahmin edilen R^2 değerleri 0,8110 ve 0,7866 olarak bulunmuştur. Deneysel verilerden elde edilen matematiksel modelin uygunluğu modele ait önem düzeyi ve uyum eksikliği (Lack of Fit) testleri ile kontrol edilmektedir (Behera et al., 2018). Bu bağlamda, modelin istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) olması beklenirken, uyum eksikliği değerinin istatistiksel olarak önemsiz ($P > 0,05$) olması beklenir. Yapılan optimizasyonda, her iki yanıt için de model önemli bulunmuş, ancak uyum eksikliği değeri önemsiz olarak saptanmıştır. Bu sonuçlar, elde edilen deneysel verilerin optimizasyon için uygun olduğunu göstermektedir.

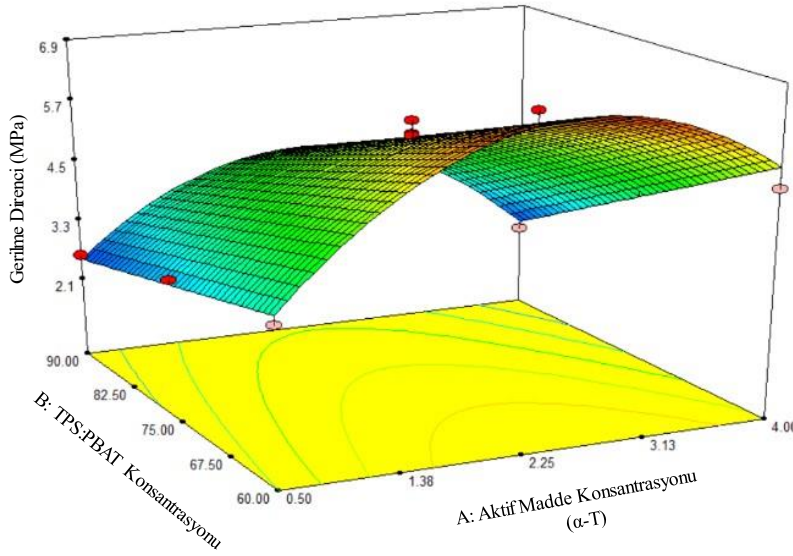
Çizelge 4.5. Aktif madde olarak alfa-tokoferolün kullanıldığı optimizasyona ait tek yönlü varyans analizine ait değerler.

Kaynak	Antioksidan Kapasite (%)		Gerilme Direnci (MPa)	
	P-değeri	Önem Düzeyi	P-değeri	Önem Düzeyi
Model	< 0,0001	önemli	< 0,0001	önemli
A	< 0,0001		0,0306	
B	0,0003		< 0,0001	
AB	0,0124		0,0240	
A ²	0,0013		< 0,0001	
B ²	0,3552		0,3495	
Uyum eksikliği	0,2768	önemsiz	0,1902	önemsiz
Korelasyon katsayıları	R ²	0,9387		0,9595
	Ayarlanmış R ²	0,9080		0,9392
	Tahmin edilen R ²	0,8110		0,7866

Elde edilen sonuçlara göre antioksidan kapasite için en önemli parametrelerin aktif madde konsantrasyonu, α -T (A), TPS:PBAT konsantrasyonu (B), A×B ve A² olduğu belirlenmiştir. Gerilme direnci için en önemli parametrelerin de antioksidan kapasiteye benzer şekilde A, B, A×B ve A² olduğu görülmektedir. Bağımsız değişkenlerin antioksidan kapasite ve gerilme direnci üzerine etkileri Şekil 4.4 ve 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.4. Bağımsız değişkenlerin antioksidan kapasite (%) üzerine etkileri.



Şekil 4.5. Bağımsız değişkenlerin gerilme direnci (MPa) üzerine etkileri.

Alfa-tokoferol, filmlerin gerilme direncini ve antioksidan kapasitesini olumlu yönde etkilemiştir. Yağda çözünen bir antioksidan olan alfa-tokoferol, gıda endüstrisinde baskın bir antioksidan madde olarak geniş kullanım alanı bulmaktadır. Çeşitli polimer matrisleri içeren filmlere dahil edildiğinde dikkate değer bir stabilite sergiler ve zorlu ekstrüzyon koşulları altında bile tolerans göstermektedir (Fidelis et al., 2015). Literatürdeki çalışmalar aynı zamanda aktif ambalaj malzemelerinin üretimi için biyolojik olarak parçalanabilen polimer matrisler içerisinde alfa-tokoferolün kullanılmasının umut verici potansiyelini de göstermektedir (Drago et al., 2021). Bu bilgiye dayanarak üzüm çekirdeği yağına benzer şekilde alfa-tokoferol kullanılarak elde edilen filmlerin hem ekstrüzyon sıcaklığına karşı korunduğu hem de antioksidan özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde alfa-tokoferol kullanılarak elde edilen biyobazlı filmlerin üzüm çekirdeği yağına göre daha yüksek antioksidan özellik göstermesine rağmen gerilme dayanımı açısından aynı başarıyı sağlayamadıkları belirlenmiştir. Polimer matrisi içerisinde takviye amacıyla eklenen katkı maddelerinde karşılaşılan en önemli sorun homojen dağılımdır. Bu problem filmlerin kalınlığını etkilemekle kalmayıp mukavemetlerini de etkilemektedir (Bustamante-Torres et al., 2021; Almeida et al., 2022; Seydibeyoğlu et al., 2023). Dolayısıyla etken madde olarak alfa-tokoferol kullanılan filmlerde karşılaşılan sorunun bu olduğu düşünülmektedir. TPS/PBAT matrisi içerisinde homojen olarak dağılmayıp bazı noktalarda yoğunlaşan alfa-tokoferol sebebiyle gerilme direncinin üzüm çekirdeği yağı kadar etkin bir şekilde arttırılamadığı belirlenmiştir. Bu

değerlendirmeler doğrultusunda model optimizasyonunda program tarafından ikinci dereceden model önerilmiştir ve kodlanmış değişkenlere göre antioksidan kapasite (%) ve gerilme direncine ait model denklemleri eşitlik 11 ve 12’de sunulmuştur.

$$\text{Antioksidan kapasite (\%)} = 85,65 + (18,44 \times A) + (15,20 \times B) + (-10,00 \times AB) + (-16,81 \times A^2) \quad (11)$$

$$\text{Gerilme direnci (MPa)} = 5,45 + (0,36 \times A) + (-1,08 \times B) + (-0,46 \times AB) + (-1,98 \times A^2) \quad (12)$$

Yanıt yüzey yöntemi kullanılarak optimum koşullar %2,08 aktif madde konsantrasyonu (α -T) (A) ve %81,54 TPS:PBAT konsantrasyonu (B) olarak belirlenmiştir. Deney tasarımına göre biyobazlı filmin antioksidan kapasitesinin (%) ve gerilme direncinin (MPa) program çıktısı olarak sırasıyla %90,77 ve 4,95 MPa olması beklenmektedir. Doğrulama analizi sonucunda optimum koşullarda üretilen biyobazlı aktif filmlerin antioksidan kapasitesi (%) ve gerilme direnci (MPa) sırasıyla %90,12 ve 4,89 MPa olarak bulunmuştur. Program çıktısı ve doğrulama analizi değerleri arasındaki fark sırasıyla %0,72 ve %1,21 olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar ile program tarafından öngörülen değerlerin birbiriyle %95’in üzerinde uyumlu olduğu görülmektedir.

4.2.3. Termoplastik nişasta/ poli(bütilen adipat-ko-tereftalat)/ pirinç kabuğu aktif filmlerinin optimizasyonu

ÜÇY ve α -T’nin kullanıldığı optimizasyonlara benzer şekilde pirinç kabuğunun (PK) aktif madde olarak kullanıldığı biyobazlı aktif filmlerin üretiminde etkili olan aktif madde ve TPS:PBAT konsantrasyonunun elde edilen filmlerin antioksidan kapasiteleri ve gerilme direnci üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bağımsız değişkenlere (aktif madde konsantrasyonu (PK), A ve TPS:PBAT konsantrasyonu, B) karşılık gelen antioksidan kapasite ve gerilme direncine ilişkin deneysel veriler sırasıyla %20,32-37,22 ve 2,66-8,65 MPa arasında değişmektedir. Deney tasarımında kullanılan parametreler ve elde edilen değerler Çizelge 4.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. Bağımsız değişkenler (aktif madde konsantrasyonu, pirinç kabuğu (PK) (%) ve TPS:PBAT konsantrasyonu) ve Box-Behnken tasarımına göre antioksidan kapasite ve gerilme direnci için deneysel veriler.

Deney No	Bağımsız Değişkenler		Bağımlı Değişkenler	
	A	B	Antioksidan	Gerilme
	Aktif Madde Konsantrasyonu (PK)* (%)	TPS:PBAT Konsantrasyonu (%)	Kapasite (%)	Direnci (MPa)
1	1,00	60:40	20,32	6,18
2	3,00	60:40	29,50	4,21
3	3,00	75:25	31,10	6,62
4	3,00	75:25	30,98	7,10
5	5,00	75:25	34,10	5,59
6	1,00	90:10	30,69	8,65
7	3,00	75:25	31,94	6,40
8	1,00	75:25	27,62	7,14
9	3,00	90:10	33,35	4,21
10	5,00	90:10	37,22	4,67
11	5,00	60:40	33,10	2,66
12	3,00	75:25	30,54	6,80
13	3,00	75:25	30,67	5,90

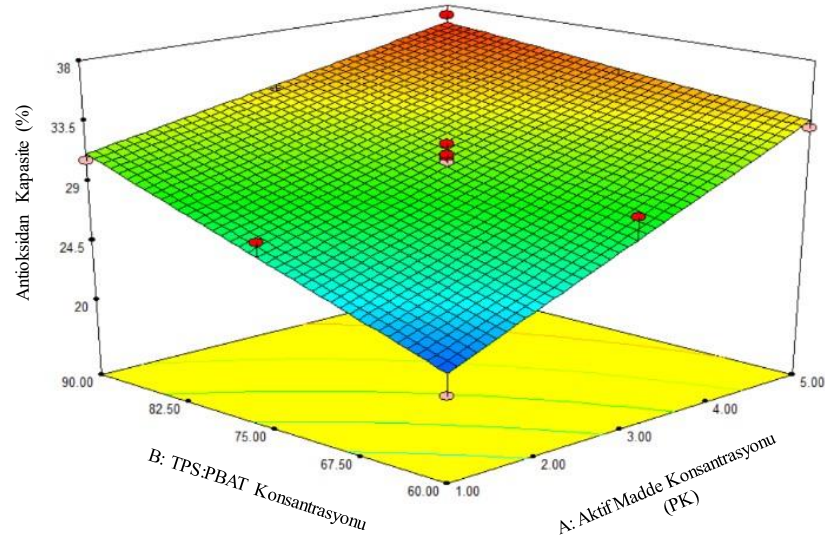
*Aktif maddeler, TPS/PBAT karışımının toplam ağırlığı üzerinden ağırlıkça (w/w) eklenmiştir.

Deneysel tasarıma ait ANOVA sonuçları Çizelge 4.7’de sunulmuştur. Optimizasyon sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi için önem arz eden R^2 , düzeltilmiş R^2 ve tahmin edilen R^2 değerleridir. Korelasyon katsayısı; R^2 değerleri antioksidan kapasite için 0,9448 ve gerilme direnci için 0,7810 olarak belirlenmiştir. Düzeltilmiş R^2 değeri ise antioksidan kapasite ve gerilme direnci yanıtları için sırasıyla 0,9263 ve 0,7080 olarak bulunmuştur. Değerlendirilmesi gereken bir diğer veri de tahmin edilen R^2 değeridir. Antioksidan kapasite ve gerilme direnci yanıtları için sırasıyla tahmin edilen R^2 değerleri 0,7784 ve 0,4247 olarak bulunmuştur. Yapılan optimizasyonda, her iki yanıt için de model önemli bulunmuş, ancak uyum eksikliği değeri önemsiz olarak saptanmıştır.

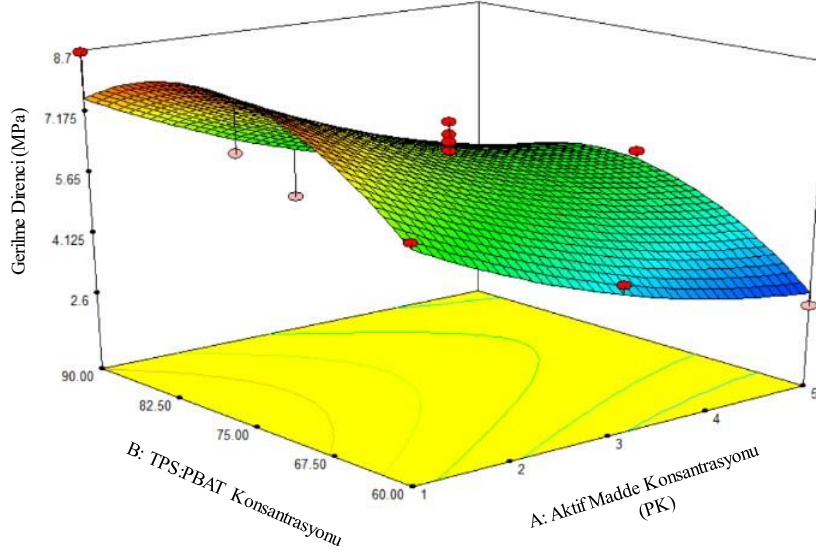
Çizelge 4.7. Aktif madde olarak pirinç kabuğunun kullanıldığı optimizasyona ait tek yönlü varyans analizine ait değerler

Kaynak	Antioksidan Kapasite (%)		Gerilme Direnci (MPa)	
	P-değeri	Önem Düzeyi	P-değeri	Önem Düzeyi
Model	< 0,0001	önemli	0,0025	önemli
A	< 0,0001		0,0019	
B	< 0,0001		0,0609	
AB	0,0171		-	
A²	-		-	
B²	-		0,0158	
Uyum eksikliği	0,0526	önemsiz	0,0591	önemsiz
Korelasyon katsayıları	R²	0,9448	0,7810	
	Ayarlanmış R²	0,9263	0,7080	
	Tahmin edilen R²	0,7784	0,4247	

Elde edilen sonuçlara göre antioksidan kapasite için en önemli parametrelerin A, B ve A×B olduğu belirlenmiştir. Gerilme direnci için en önemli parametrelerin ise A ve B² olduğu görülmektedir. Bağımsız değişkenlerin antioksidan kapasite ve gerilme direnci üzerine etkileri Şekil 4.6 ve 4.7’de görülmektedir.



Şekil 4.6. Bağımsız değişkenlerin antioksidan kapasite (%) üzerine etkileri.



Şekil 4.7. Bağımsız değişkenlerin gerilme direnci (MPa) üzerine etkileri.

PK'nın aktif madde olarak kullanıldığı optimizasyonda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde artan aktif madde konsantrasyonu ÜÇY ve α -T'de olduğu gibi gerilme direncini pozitif yönde etkilemediği görülmektedir. PK her ne kadar atık olarak değerlendirilse de antioksidan etkisi ve zengin besin değeri nedeniyle değerlendirilmesi gereken bir yan ürün olarak ifade edilmektedir. Çalışmalar, pirinç kabuğunun düşük fenolik bileşen içeriğine rağmen yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir, bu da bulunan fenolik grupların oldukça reaktif olduğunu göstermektedir (Collazo-Bigliardi et al., 2019; Piñeros-Guerrero et al., 2020; Bayram et al., 2021). Bunun yanı sıra, bir polimer matrisine dahil edildiğinde, yüksek sıcaklıktaki ekstrüzyon koşullarının pirinç kabuğunu olumsuz etkilediği ve antioksidan özelliklerini yüksek oranda kaybettiği bulgulanmıştır. Ekstrüzyon sırasında tüm konsantrasyonlarda yanma, yapışma ve homojen dağılımla ilgili sorunlar gözlemlenmiştir. Ayrıca gıda ambalajına uygun genişlikte ambalaj filmi üretiminin de mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda model optimizasyonunda program tarafından antioksidan kapasite için birinci dereceden model denklemini önerilirken gerilme direnci için ikinci dereceden indirgenmiş model önerilmiştir ve kodlanmış değişkenlere göre antioksidan kapasite (%) ve gerilme direncine ait model denklemleri eşitlik 13 ve 14'te sunulmuştur.

$$\text{Antioksidan kapasite (\%)} = 30,86 + (4,30 \times A) + (3,06 \times B) + (-1,56 \times AB) \quad (13)$$

$$\text{Gerilme direnci (MPa)} = 6,35 + (-1,51 \times A) + (0,75 \times B) + (0,54 \times AB) + (-1,62 \times A^2) \quad (14)$$

Film üretimi için uygun olmasa da bu koşullar altında yanıt yüzeyi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon için optimum koşullar %3,25 aktif madde konsantrasyonu (PK) (A) ve %81,96 TPS:PBAT konsantrasyonu (B) olarak belirlenmiştir. Deney tasarımına göre biyobazlı filmin antioksidan kapasitesinin (%) ve gerilme direncinin (MPa) program çıktısı olarak sırasıyla %32,1 ve 6,17 olması beklenmektedir. Doğrulama analizi sonucunda optimum koşullarda üretilen biyobazlı aktif filmlerin antioksidan kapasitesi (%) ve gerilme direnci (MPa) sırasıyla %31,58 ve 6,03 MPa olarak bulunmuştur. Program çıktısı ve doğrulama analizi değerleri arasındaki fark sırasıyla %1,62 ve %2,3 olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar ile program tarafından öngörülen değerlerin birbiyle %95'in üzerinde uyumlu olduğu görülmektedir.

Her ne kadar optimizasyona uygun istatistiksel değerler elde edilse de diğer aktif maddelere kıyasla proses zorlukları ve gıda ambalajı olarak kullanılabilecek genişlikte filmlerin elde edilememesi sebebiyle tez çalışmasının devamında yer verilen taramalı elektron mikroskobu kullanılarak film yüzeyinin görüntülenmesi, biyobozunurluk, bariyer özelliklerinin belirlenmesi ve model gıda uygulamaları kapsamında gerçekleştirilen optimum filmler üzerindeki analizler pirinç kabuğu için uygulanmamıştır. ÜÇY ve α -T için ise optimum koşullarda üretilen biyobazlı aktif filmlerin yanı sıra aktif madde içermeyen kontrol filmleri de üretilerek analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.3. Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmler

Optimizasyonlar sonucu üretimleri gerçekleştirilen optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlerin örnek kodları, formülasyonları Çizelge 4.8'de ve film örneklerine ait görseller Çizelge 4.9'da sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Kontrol ve optimum filmlere ait örnek adları ve formülasyonlar.

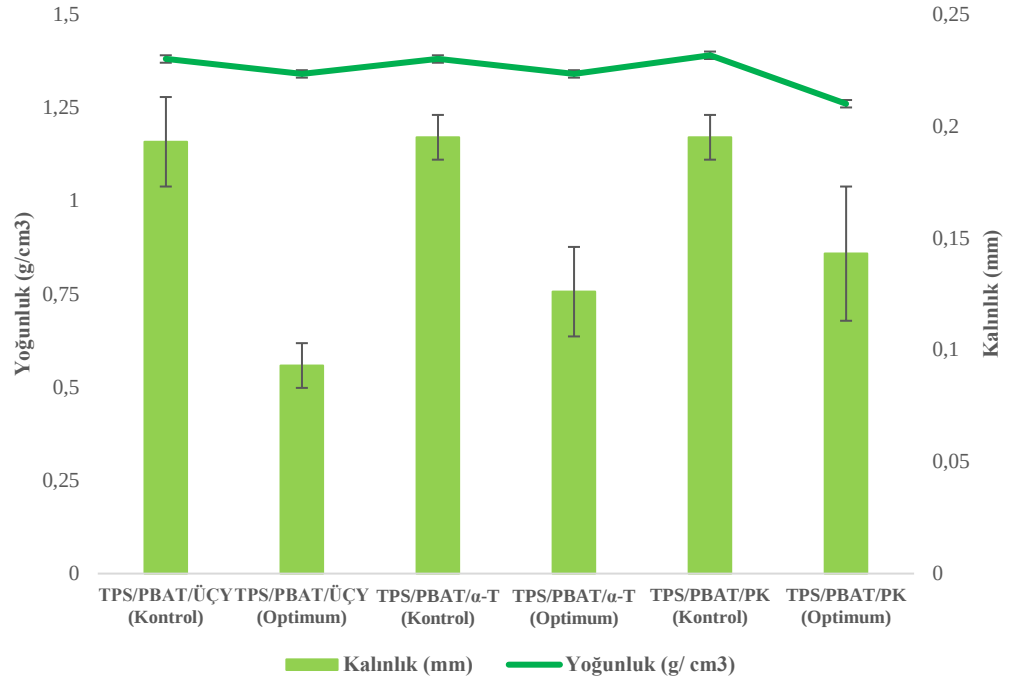
Örnek Adı			Aktif Madde Konsantrasyonu (%)	TPS Konsantrasyonu (%)	PBAT Konsantrasyonu (%)
ÜÇY	Kontrol	TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol)	-	80,76	19,24
	Optimum	TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum)	2,38	80,76	19,24
α -T	Kontrol	TPS/PBAT/ α -T (Kontrol)	-	81,54	18,46
	Optimum	TPS/PBAT/ α -T (Optimum)	2,08	81,54	18,46
PK	Kontrol	TPS/PBAT/PK (Kontrol)	-	81,96	18,04
	Optimum	TPS/PBAT/PK (Optimum)	3,25	81,96	18,04

Çizelge 4.9. Kontrol ve optimum filmlere ait görseller.

Örnek Adı		
ÜÇY	Kontrol	TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol)
	Optimum	TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum)
α -T	Kontrol	TPS/PBAT/ α -T (Kontrol)
	Optimum	TPS/PBAT/ α -T (Optimum)
PK	Kontrol	TPS/PBAT/PK (Kontrol)
	Optimum	TPS/PBAT/PK (Optimum)

4.4. Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlere Ait Kalınlık ve Yoğunluk Değerleri

Kalınlık ve yoğunluk değerleri, biyobazlı aktif filmlerin mekanik mukavemetinin, işlenebilirliğinin, maliyetinin, çevresel etkisinin ve belirli uygulamalara uygunluğunun belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Andrew and Dhakal, 2022). Sürdürülebilirlik ve maliyet etkinliği dikkate alınarak istenen performans gereksinimlerini karşılayan filmlerin tasarlanmasında bu faktörlerin dengelenmesi önem taşımaktadır (Boz et al., 2020). Optimum ve kontrol biyobazlı filmlerin kalınlık ve yoğunluk değerleri Şekil 4.8 ve Çizelge 4.10'da özetlenmiştir.



Şekil 4.8. Optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlere ait kalınlık ve yoğunluk değerleri

Çizelge 4.10. Optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlere ait kalınlık ve yoğunluk değerleri

Örnek	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (g/ cm ³)
TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol)	0,193±0,02 ^a	1,38±0,01 ^a
TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum)	0,093±0,01 ^d	1,34±0,01 ^b
TPS/PBAT/ α-T (Kontrol)	0,195±0,01 ^a	1,38±0,01 ^a
TPS/PBAT/ α-T (Optimum)	0,126±0,02 ^c	1,34±0,01 ^b
TPS/PBAT/PK (Kontrol)	0,195±0,01 ^a	1,39±0,01 ^a
TPS/PBAT/PK (Optimum)	0,143±0,03 ^b	1,26±0,01 ^c

Veriler ortalama değerleri ve standart sapmaları temsil eder.

a, b, c, d Her analize ilişkin farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil etmektedir (P<0,05).

Sonuçlar, filme eklenen ÜÇY, α-T ve PK antioksidan maddeleri nedeniyle biyobazlı aktif filmlerin kalınlığının kontrole göre azaldığını göstermektedir. Her ne kadar kontrole göre film kalınlığında bir azalma olsa da antioksidan maddeleri kendi aralarında karşılaştırdığımızda en başarılı film örneklerinin ÜÇY varlığında elde edildiği görülmektedir. Bu sonuçlar, aktif bileşenler olarak kullanılan α-T ve PK'nin moleküler boyutu ve bunların polimer matrisi içindeki homojen olmayan dağılımı ile açıklanabilir. Diğer taraftan ÜÇY varlığında daha ince ve daha az

yoğun biyobazlı aktif filmlerin elde edilmesi, ÜÇY sayesinde polimer matrisinin birbiri içerisinde homojen olarak dağılması ve ekstrüzyon aşamasında kolaylıkla işlenebilmesi ile açıklanabilir. Ayrıca elde edilen filmlerin kalınlığı ile yoğunluğu arasında doğru orantılı bir ilişki gözlenmiştir. Film yoğunluğunun azalmasıyla kalınlığının da azaldığı bulgulanmıştır (Rhim et al., 2014; Raj et al., 2023).

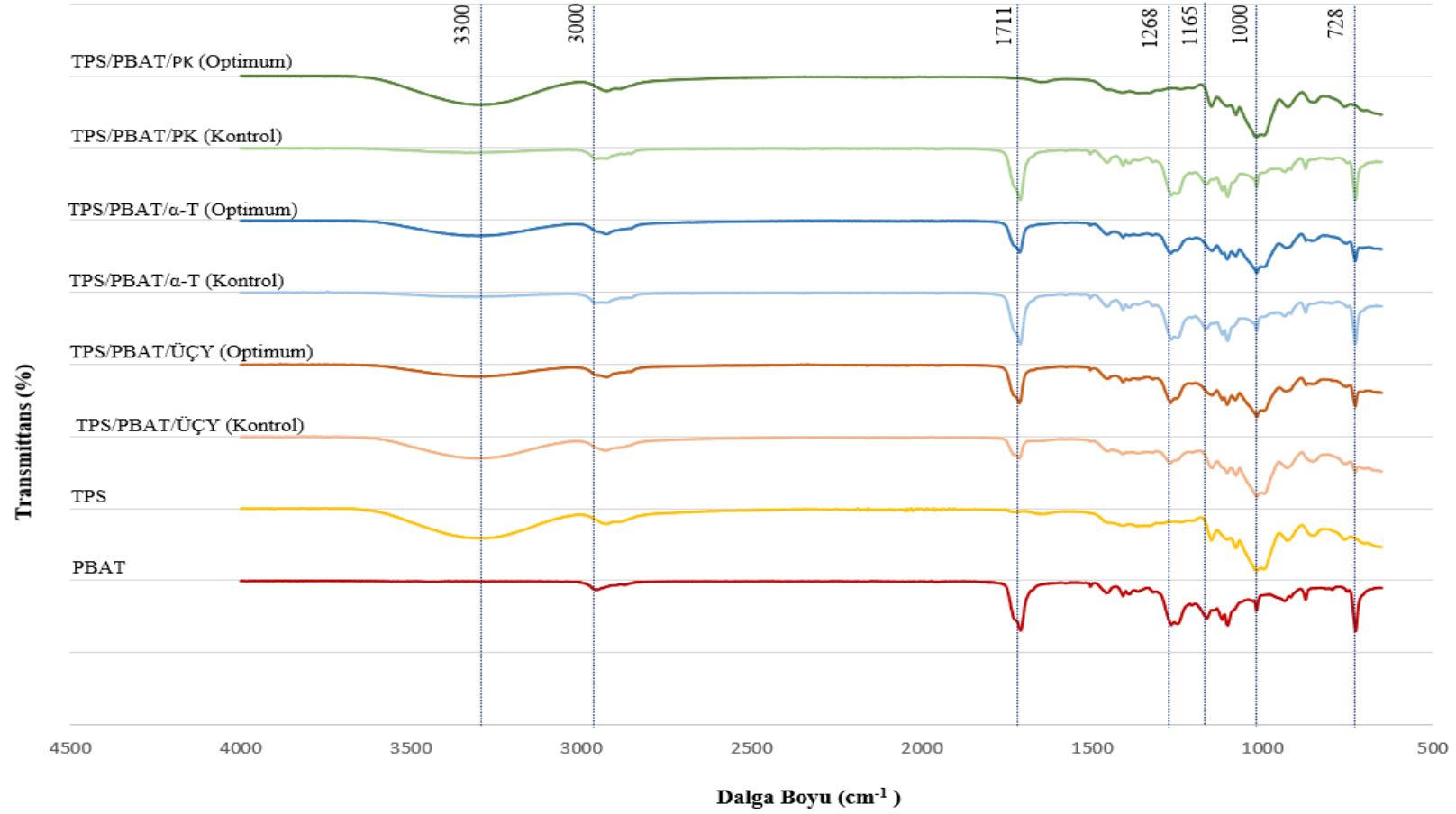
4.5. Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlere Ait Renk ve Opasite Değerleri

Renk değerleri, kapsamlı görsel yönün ve tüketici kabulünün belirlenmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır (Martinez et al., 2021; Srivastava et al., 2023). Ek 2’de optimum ve kontrol biyobazlı filmler için renk ve opaklık değerleri sunulmaktadır. ÜÇY, α -T ve PK'nin varlığı filmlerin renk özelliklerini önemli ölçüde etkilemiştir. Kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında ÜÇY'nin varlığı, aydınlık değerini (L^*) artırarak ve opaklık değerini azaltarak renk özelliklerini iyileştirmiştir. Diğer parametreler incelendiğinde b^* değerindeki azalmaya bağlı olarak YI değerinin azaldığı, WI değerinin ise arttığı görülmektedir. ÜÇY'nin renk özellikleri üzerindeki faydalı etkisinin, ekstrüzyon işlemi sırasında polimer matrisini sıcaklık değişimlerine karşı korumadaki rolünden kaynaklandığı düşünülmektedir. α -T ve PK varlığında aydınlık değerinin (L^*) kontrol örneklerine göre azaldığı belirlenmiştir. Bunun, b^* değerinin ÜÇY kullanıldığı duruma göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Opaklık değeri α -T kullanıldığında azalırken, PK kullanıldığında artmaktadır. Bu durumun, PK kullanan filmlerle ilişkili olarak daha kalın film yapısının bir sonucu olduğu varsayılmaktadır (Zhai et al., 2023).

4.6. Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlere Ait Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi Analizi

Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, bileşenler arasındaki moleküller arası etkileşimleri incelemek için etkili bir yaklaşım sağlamaktadır. Örneklerin FTIR spektrumundaki spektral bantların analizi, numune kompozisyonları hakkında değerli bilgiler sağlayabilmektedir. Şekil 4.9’da hem optimum hem de kontrol biyobazlı filmler için FTIR spektrumları gösterilmektedir. TPS moleküllerine ait tipik tepe noktaları esas olarak 3300 cm^{-1} ’de (O–H gerilme titreşim bandı) ve $\approx 1000\text{ cm}^{-1}$ ’de (C–O gerilme titreşim bandı) görülmektedir (Martinez et al., 2021). 3300 cm^{-1} civarındaki tipik TPS bantları örneklerin hidrofilik karakteri hakkında bilgi verirken filmlerdeki antioksidan maddelerin

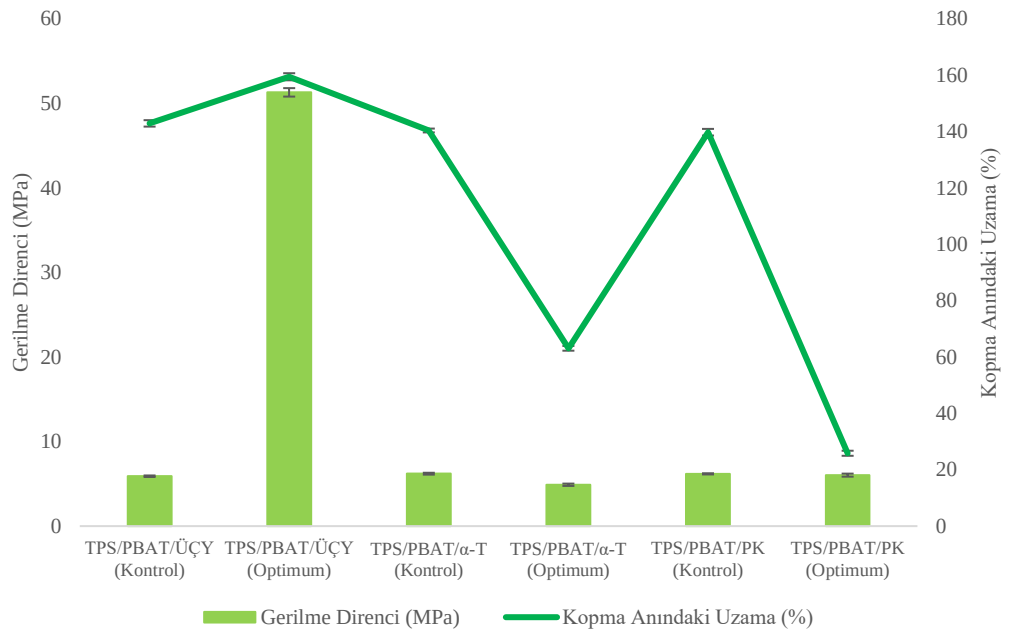
varlığı nedeniyle hidrofilik özelliklerin azaldığı görülmektedir. Bu durum, antioksidan maddelerin filmlere etkili bir şekilde dahil edildiğini göstermektedir. TPS içeren polimer karışımlarının en büyük problemlerinden bir tanesinin hidrofilik karakterinin olduğu bilinmektedir (Czepiel et al., 2023; Hossain et al., 2024). Dolayısıyla aktif madde olarak kullanılan antioksidan özellikteki bileşenlerin elde edilen filmlerin zayıf özelliklerini güçlendirdiği görülmektedir. TPS içeren tüm filmler, nişasta zincirlerinde çok sayıda O–H bulunması nedeniyle 3300 cm^{-1} 'e yakın karakteristik bant da göstermektedir. Literatür incelendiğinde Zhai ve arkadaşlarının (2023) yaptığı bir çalışmada O–H gerilme titreşim bandına karşılık gelen bu geniş bandın, antioksidan madde yüklemesiyle daha düşük dalga boylarına kaydığını belirtilmiştir. Bu durum antioksidan maddeler ile termoplastik nişasta arasında yeni moleküller arası hidrojen bağlarının oluştuğunu ve giderek güçlendiğini göstermektedir. PBAT'ın tipik tepe noktaları ise 1711 ve $1165\text{--}1268\text{ cm}^{-1}$ 'de (ester gruplarının C=O ve C–O gerilme titreşim bantları) ve ayrıca 728 cm^{-1} 'de (Metil gruplarının gerilme titreşim bantları) görülmektedir (Yao et al., 2017; Bumbudsanpharoke et al., 2022). Polimer karışımı içerisinde yer alan antioksidan maddelerden biri olan ÜÇY'nin özellikle 1268 cm^{-1} 'de bağlanarak PBAT tipik tepe noktalarının hem konumunda hem de yoğunluğunda ciddi bir değişikliğe neden olduğu görülmektedir. Polimer karışımı içinde α -T ve PK aktif maddelerinin varlığı, FTIR spektrumundaki spesifik piklerin yoğunluğundaki bir azalma ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Tepe noktalarının yoğunluğundaki bu azalma, polimer matrisinin bileşenlerinin birbiri ile bağ yapma kapasitesinde bir düşüş olduğunu göstermektedir (Chen and Chi, 2021).



Şekil 4.9. Optimum ve kontrol biobazlı aktif filmlere ait FTIR spektrumları.

4.7. Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlere Ait Mekanik Özellikler

Polimer malzemelerdeki matris yapısı ve moleküller arası etkileşimlerle ilgili olan gerilme direnci (MPa) ve kopma anındaki uzama (%), filmlerin mukavemetini ve esnekliğini tanımlamak için önemli ölçütlerdir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında ÜÇY içeren biyobazlı filmlerde hem gerilme direncinde hem de kopma anındaki uzamada artış eğilimi görülürken, α -T ve PK içeren filmlerde hem gerilme direncinde hem de kopma anındaki uzamada azalma eğilimi gözlemlendi.



Şekil 4.10. Optimum ve kontrol biobazlı aktif filmlere ait gerilme direnci (MPa) ve kopma anındaki uzama (%).

TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol) filmlerinin sırasıyla gerilme direnci ve kopma anındaki uzama değerleri $5,9\pm0,09$ MPa ve $142,89\pm1,14$ olarak belirlenirken TPS/PBAT/ÜÇY (Optimum) filmlerine ait değerler ise sırasıyla $51,3\pm0,50$ MPa ve $159,43\pm1,26$ olarak ölçümlenmiştir. Kontrol ve optimum örnekler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,05$). Özellikle gerilme direncinde ÜÇY varlığında mukavemetin yaklaşık 8,6 kat arttığı belirlenmiştir. Bu durumun ÜÇY'nin TPS eldesi sırasında antioksidan özelliklerinin yanı sıra moleküller arası uyumlaştırıcı gibi de görev yapmasından dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. FTIR sonuçları da dikkate alınarak özellikle O–H gerilme titreşim bandındaki bağların kuvvetlenerek mukavemet üzerinde de olumlu etkisi görülmektedir (Zhai et al., 2023). Ayrıca ÜÇY ilavesi kopma anındaki uzama değerinin artmasını sağlayarak filmlere daha esnek bir yapı kazandırmıştır. Bu sayede elde edilen

biyobazlı filmlerin gıda ambalajı olarak kullanım potansiyelinin arttığı düşünülmektedir.

TPS/PBAT/ α -T (Kontrol) filmlerinin sırasıyla gerilme direnci ve kopma anındaki uzama değerleri $6,2\pm 0,11$ MPa ve $\%140,37\pm 0,68$ olarak belirlenirken TPS/PBAT/ α -T (Optimum) filmlerine ait değerler ise sırasıyla $4,89\pm 0,14$ MPa ve $\%63,08\pm 0,84$ olarak ölçümlenmiştir. TPS/PBAT/PK (Kontrol) filmlerinin ise sırasıyla gerilme direnci ve kopma anındaki uzama değerleri $6,18\pm 0,07$ MPa ve $\%139,76\pm 1,18$ olarak belirlenirken TPS/PBAT/PK (Optimum) filmlerine ait değerler ise sırasıyla $6,03\pm 0,18$ MPa ve $\%25,85\pm 0,9$ olarak ölçümlenmiştir. α -T'nin kullanıldığı filmlerde kontrol ve optimum örnekler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($P<0,05$) PK'nin kullanıldığı durumda kontrol ve optimum örnekler arasında ise gerilme direncinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmezken ($P>0,05$) kopma anındaki uzama değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,05$). Filmlerin mekanik özelliklerinin esas olarak matris özellikleri tarafından tetiklendiği bilinmektedir (Martins et al., 2018). α -T ve PK aktif maddelerinin polimer karışımı içerisine eklenmesinin neden olduğu TPS/PBAT matrisindeki topaklanmalar, filmlerin mekanik özellikleri açısından belirleyici olmuştur. Çünkü bu topaklanmalar, film gerildiğinde gerilme direncini zayıflatmak için stres yoğunlaştırıcı nokta olarak görev yapabilmektedirler. Özellikle topaklaşan antioksidan maddeler kopma uzamasının azalmasına neden olmuştur (Yang and Gardner, 2011; Melikoğlu et al., 2023). Ayrıca α -T ve PK ilavesinin neden olduğu topaklanmayla karşılaştırıldığında, ÜÇY ilavesiyle filmde oluşan güçlü bağlar ve polimer matrisinde artan homojen dağılım, mekanik özellikleri olumlu etkileyerek gerilme direnci ve kopma anındaki uzama üzerindeki olumlu etkiyi desteklemiştir (Zhai et al., 2023). Diğer yandan bu iki aktif madde içinde kontrol örneklerine kıyasla kopma anındaki uzama değerlerinde azalma belirlenmiştir. PK kullanıldığı durumda esneklikte yaşanan kayıp α -T kullanımına kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla PK ilavesi ile elde edilen filmlerin gıda ambalajı olarak kullanım potansiyelinin sınırlı olduğu düşünülmektedir.

4.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi ile Film Örneklerinin Termal Özelliklerinin Belirlenmesi

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı ile polimer malzemelerin termal özelliklerinin belirlenmesi sıklıkla kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. DSC analizi sırasında örneklerin farklı sıcaklıklarda zamana bağlı olarak gösterdiği

enerji absorpsiyon ve desorpsiyonu gibi karakteristik özellikleri sıcaklık ve zamana bağlı bir fonksiyon olarak cihaz tarafından kaydedilerek termal özellikler açısından fikir oluşturabilmektedir. Örneklerle ait DSC eğrileri Ek 5-12’de, eğrilerden elde edilen veriler ise Çizelge 4.11’de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Örneklerin erime kristallenme davranışlarına ait DSC verileri.

Örnek	T _c (°C)	T _m (°C)	ΔH _m (J/g)	X _c (%)
PBAT	124,51	131,06	12,58	11,04
TPS	100,73	146,60	53,85	17,98
TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol)	100,35	149,99	39,24	13,10
TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum)	112,42	154,65	28,75	9,59
TPS/PBAT/ α-T (Kontrol)	120,43	137,88	77,86	25,99
TPS/PBAT/ α-T (Optimum)	116,14	136,00	193,30	64,54
TPS/PBAT/PK (Kontrol)	120,58	137,23	80,13	26,75
TPS/PBAT/PK (Optimum)	125,16	142,21	205,70	68,68

T_c (°C): Kristalizasyon sıcaklığı; T_m (°C): Erime sıcaklığı; ΔH_m (J/g): Erime entalpisi; X_c (%): Kristallik derecesi.

DSC eğrilerinden elde edilen veriler değerlendirildiğinde maksimum kristalizasyon sıcaklığını da ifade eden erime sıcaklığı T_m (°C) değeri PBAT için 131,06 °C olarak bulunurken TPS için 146,60 °C olarak belirlenmiştir. TPS/PBAT kombinasyonlarına ve içerisine eklenen aktif maddeye bağlı olarak değişiklik gösteren T_m (°C) değerinde, ÜÇY’nin kullanıldığı filmlerde PBAT ve TPS örneklerine göre artış gözlemlenmiştir. Bu durumun aktif madde olarak kullanılan ÜÇY’nin sahip olduğu erime sıcaklığının herhangi bir katkı maddesi içermeyen PBAT ve TPS’ye göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Yoksan et al., 2021). Aktif madde olarak α-T ve PK’nin kullanıldığı filmlerde ise ÜÇY’nin aksine erime sıcaklığında azalma meydana gelmiştir. Bu durumun α-T ve PK’nin erime sıcaklığının TPS/PBAT kombinasyonunun sıcaklıklarından daha düşük olmasından ileri geldiği düşünülmektedir (Tuntiworadet and Yoksan, 2023). Kristalizasyon sıcaklığını ifade eden T_c (°C) değeri ise saf TPS’nin 100,73 °C olarak belirlemiş olup, PBAT ve aktif madde varlığına bağlı olarak kristalizasyon sıcaklığı artmıştır. X_c (%) olarak ifade edilen kristallik derecesi ise diğer verilerde olduğu gibi örnekler arasında farklılık göstermektedir. PBAT’ın X_c değeri %11,04 olarak hesaplanırken, TPS’in X_c değeri %17,98 olarak bulunmuştur. TPS/PBAT kombinasyonlarının sahip olduğu kristallik derecesi değerlendirildiğinde ise ÜÇY kullanılan filmlerde TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol) ve TPS/PBAT/ÜÇY (Optimum) örneklerinin X_c değeri sırasıyla %13,10 ve %9,59 olarak belirlenmiştir. Diğer bir aktif madde olan α-T kullanılan filmlerde ise TPS/PBAT/α-T (Kontrol) ve TPS/PBAT/α-T (Optimum) örneklerinin X_c değeri sırasıyla %25,99; %64,54 olarak hesaplanmıştır. Aktif madde olarak PK’nin kullanıldığı filmlerde ise

TPS/PBAT/PK (Kontrol) ve TPS/PBAT/PK (Optimum) örneklerinin X_c değeri sırasıyla %26,75; %68,68 olarak bulgulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ÜÇY'nin kullanıldığı filmlerde kristallik derecesi azalırken, α -T ve PK'nin kullanıldığı filmlerin kristallik derecesinin arttığı görülmektedir. Polimer malzemelerin kristallik derecesi malzemelerin içerdiği kristal yapıların oranını ifade etmektedir. Düşük kristallik derecesine sahip olan polimerler moleküler düzeyde amorf yapılara sahiptirler. Bu durumda, polimer molekülleri arasındaki düzenli kristal bölge miktarlarının düşük olduğu ifade edilmektedir. Diğer yandan, yüksek kristallik derecesine sahip polimerlerde ise moleküller belirgin bir düzenlilik gösterir ve daha büyük kristal yapılar oluşturmaktadırlar. Kristallik derecesi düşük olan polimerler genellikle esnek ve şeffaf olurlarken yüksek kristallik derecesine sahip polimerler daha sert ve opak olma eğilimindedirler. Bu farklılık, kristallik derecesinin mekanik, termal ve işlenebilirlik özelliklerini doğrudan etkilemesi sebebiyle polimer malzemelerin potansiyel endüstriyel uygulamaları üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Corradini et al., 2006; Zhang et al., 2016; Popelka et al., 2020).

4.9. Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlere Ait Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Kapasite Değerleri

Ambalaj malzemelerinin içerisinde antioksidan maddelerin kullanılması, ambalajlanacak gıda ürünlerinde oksidatif reaksiyonların neden olduğu potansiyel koku, renk bozulması ve kötü tat oluşumu gibi kalite kusurlarının oluşumunda engelleyici rol oynamaktadır. Bunların ambalaj filmlerine dahil edilmesi, ürünün tazeliğinin, besin değerinin ve genel kalitesinin korunmasını sağlayarak erken bozulma nedeniyle ortaya çıkan gıda israfını azaltırken sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmektedir (Vasile and Baican, 2021; Versino et al., 2023). Bu amaçla polimer matrislerinin içerisine ilave edilen aktif maddelerin antioksidan özelliklerinin, ambalaj filmi üretimi sırasında maruz kaldıkları yüksek sıcaklık uygulamaları içeren üretimlerde ne kadar stabil kaldıkları toplam fenolik ve antioksidan kapasite analizleri ile takip edilebilmektedir (Lai, 2021). Farklı aktif maddeler içeren biyobazlı ambalaj filmlerinin toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasite sonuçları Çizelge 4.12'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.12. Optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlere ait toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g film) ve antioksidan kapasite (%) değerleri.

Örnek	Toplam Fenolik Madde Miktarı (mg GAE/g film)	Antioksidan Kapasite (%)
TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol)	t.e.*	t.e.*
TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum)	40,97±0,26 ^a	40,90±0,25 ^b
TPS/PBAT/ α-T (Kontrol)	t.e.*	t.e.*
TPS/PBAT/ α-T (Optimum)	33,51±0,25 ^b	90,12±0,50 ^a
TPS/PBAT/PK (Kontrol)	t.e.*	t.e.*
TPS/PBAT/PK (Optimum)	26,22±0,07 ^c	31,58±0,32 ^c

Veriler ortalama değerleri ve standart sapmaları temsil eder.

a, b, c, d Her analize ilişkin farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil etmektedir (P<0,05).

*t.e.: tespit edilememiştir.

ÜÇY, α-T ve PK içeren biyobazlı filmlerin toplam fenolik madde miktarları sırasıyla 40,97±0,26, 33,51±0,25 ve 26,22±0,07 mg GAE/g film olarak hesaplanmıştır. ÜÇY, α-T ve PK içeren biyobazlı filmlerin antioksidan kapasite değerleri ise sırasıyla %40,90±0,25, 90,12±0,50 ve 31,58±0,32 olarak belirlenmiştir. En yüksek toplam fenolik madde miktarı TPS/PBAT/ÜÇY filminde belirlenirken, en yüksek antioksidan kapasite değeri TPS/PBAT/α-T içeren filmlerde belirlenmiştir. TPS/PBAT/PK filminin toplam fenolik madde miktarı diğer örneklerle göre daha düşük olmasına rağmen antioksidan kapasite değerinin önemli düzeyde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar örneklerin az miktarda fenolik bileşik içermesine rağmen biyolojik olarak aktif bileşenler açısından zengin olduğunu göstermektedir (Gao et al., 2018).

4.10. Optimum ve Kontrol Biyobazlı Aktif Filmlerin Üretimlerine Ait Enerji Tüketimleri

Biyobazlı ambalaj filmi üretimi, petrol bazlı plastik ambalajlara kıyasla genel olarak daha sürdürülebilir bir seçenek olmakla birlikte, üretim sürecinde kullanılan enerji açısından da incelenmesi gerekmektedir. Bu tür ambalajların sürdürülebilirliği, hammadde üretiminde kullanılan enerji miktarı, üretim sürecindeki enerji verimliliği, geri dönüşüm olanakları gibi faktörlere bağlıdır. Bu nedenle sadece doğada tamamen biyolojik olarak parçalanabilen, çevre dostu ürünler üretmek değil, aynı zamanda enerji ayak izini azaltmak ve enerji verimliliği ilkesi doğrultusunda üretim yapmak da gerekmektedir (Liu et al., 2022; Moshood et al., 2022). Optimum ve kontrol biyobazlı filmlerin enerji tüketim değerleri Çizelge 4.13'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.13. Optimum ve kontrol biyobazlı filmlere ait tork (%), üretim süresi (sa) ve enerji tüketim (kWh/100 g) değerleri.

Örnek	Tork (T) (%)	Üretim Süresi (h)	Enerji Tüketimi (kWh/100 g)
TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol)	11,33±0,12 ^c	1,48±0,00 ^c	5,55±0,06 ^d
TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum)	9,47±0,15 ^e	0,82±0,01 ^e	2,55±0,04 ^f
TPS/PBAT/ α-T (Kontrol)	13,47±0,12 ^b	1,47±0,01 ^c	6,52±0,06 ^c
TPS/PBAT/ α-T (Optimum)	10,47±0,25 ^c	1,08±0,08 ^c	3,74±0,09 ^e
TPS/PBAT/PK (Kontrol)	13,37±0,15 ^b	1,52±0,05 ^b	6,69±0,08 ^b
TPS/PBAT/PK (Optimum)	18,67±0,25 ^a	2,25±0,00 ^a	13,86±0,19 ^a

Veriler ortalama değerleri ve standart sapmaları temsil eder.

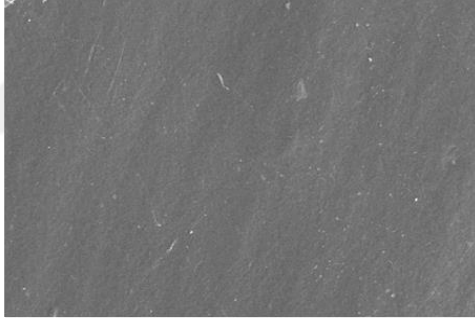
a, b, c, d, e, f Her analize ilişkin farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil etmektedir (P<0,05).

Sonuçlar değerlendirildiğinde ÜÇY ve α-T kullanılan filmlerde kontrol örneklerine göre üretim sırasında daha az enerji kullanıldığı belirlenmiştir. Bu durum, polimer matrisi içerisinde kullanılan antioksidan maddelerin homojen dağılımına, ekstrüzyon sırasında tork değerlerinin %10 civarında kalmasına ve üretim sürelerinin kısa olmasına bağlanabilir. Özellikle ÜÇY ekstrüder içerisinde polimer eriğinin daha kolay hareket etmesini sağlaması sebebiyle üretim süresi yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Ancak en yüksek enerji tüketimi PK'nin aktif madde olarak kullanıldığı filmlerin üretiminde belirlenmiştir. Diğer antioksidan maddelerle karşılaştırıldığında, moleküler büyüklükleri nedeniyle yüksek aglomerasyon, homojen olmayan bir dağılıma ve yaklaşık %19'luk tork değerlerine, dolayısıyla daha uzun üretim sürelerine neden olması enerji tüketiminin artmasına sebebiyet vermiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ÜÇY ve α-T kullanımı biyobazlı filmlere aktif özellik kazandırmanın yanı sıra üretim sürelerinin kısılmasına yardımcı olarak daha az enerji kullanımıyla birlikte çevre dostu üretimlere olanak sağlamıştır.

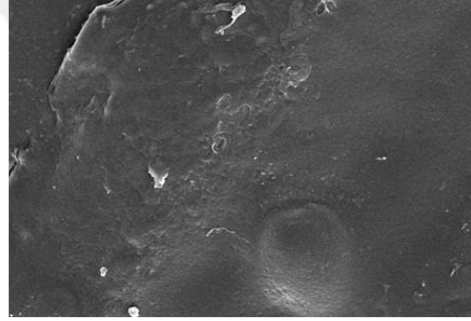
4.11. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Film Yüzeyinin Karakterize Edilmesi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) polimer filmlerin görüntülenmesi, özellikle yüzey karakterizasyonu, bileşenlerin dağılımı ve morfolojinin incelemesi için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Polimer filmler genellikle nano ve mikro boyutlarda yapılandırılmış materyaller olması sebebiyle geleneksel mikroskoplarla görüntülenmesi pek mümkün değildir. Bu durumda SEM gibi yüksek çözünürlüklü görüntüleme teknikleri yapı hakkında fikir sahibi olabilmek için önemli bir rol oynamaktadır (Inkson, 2016; Rydz, et al., 2019; Jinnai, 2022). Farklı örneklerle ait SEM görüntüleri Şekil 4.11'de görülmektedir. Örneklerin herhangi bir aktif madde içermeyen saf PBAT, TPS ve endüstride sıklıkla kullanılan BOPP filmleriyle

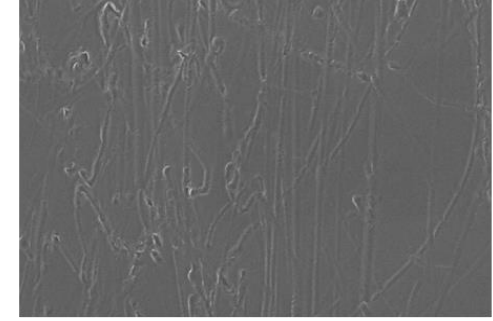
kıyaslanabilmesi amacıyla kendi kontrol gruplarının haricinde bu örnekler de analize tabi tutulmuştur. PBAT filmine ait SEM görüntüsü (Şekil 4.11 (a)) incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünün az olduğu, moleküllerin düzenli bir şekilde dağıldığı görülmektedir. PBAT kullanılarak elde edilen filmler şeffaf, esnek ve kaygan yüzeyleriyle karakterize edilirler (de Matos Costa et al., 2020). SEM görüntülerinde sunulan görsel ile bu durum desteklenmektedir. TPS filmlerinde (Şekil 4.11 (b)) ise yüzey pürüzlülüğü, homojen olmayan dağılım dikkat çekmektedir. Mekanik özellikleri de doğrudan etkileyen bu özellikler TPS bazlı üretilen polimer filmlerinde en büyük problemlerden olduğu belirtilmektedir (Aslan and Kaya, 2023). Diğer yandan minimal işlem görmüş meyve ve sebzelerin ambalajlanmasında endüstride sıklıkla kullanılan BOPP filmlerinin SEM görüntülerinde ise (Şekil 4.11 (c)) üretim sırasında çift yönlü gerdirilmesine bağlı olarak bazı pürüzler olmakla beraber genellikle homojen bir görüntü hakimdir (İncedayı, 2009). ÜÇY ve α -T aktif maddelerinin kullanıldığı biyobazlı filmlerde ise kontrol örneklerine yapısal farklılıklar bulunmamaktadır. TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol) örneği (Şekil 4.11 (d)) ile TPS/PBAT/ÜÇY (Optimum) örneği (Şekil 4.11 (e)) kıyaslandığı takdirde optimum film yüzeyinin pürüzlü yapısının azaldığı ve daha homojen bir görüntüye sahip olduğu bulgulanmıştır. TPS/PBAT/ α -T (Kontrol) örneği (Şekil 4.11 (f)) ile TPS/PBAT/ α -T (Optimum) örneği (Şekil 4.11 (g)) incelendiğinde ise optimum film yüzeyinin kontrole kıyasla pürüzlü yapının arttığı gözlenmiştir. Bu duruma α -T'nin polimer matrisi içerisinde homojen dağılmamasının yanı sıra TPS ve PBAT polimerlerinin de birbirine içerisinde düzgün dağılım göstermemesinin neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü ve moleküllerin dağılımlarının örneklerin kristallik dereceleri ile de uyumlu olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan TPS/PBAT polimer karışımlarından elde edilen kontrol örneklerinin optimum koşullarda üretimi gerçekleştirilen biyobazlı aktif ambalajlara kıyasla daha kalın olmaları da SEM görüntülerindeki düzensiz molekül yapısını ve pürüzlü yapıyı desteklemektedir (Mohanty and Nayak, 2009; Chang et al., 2022).



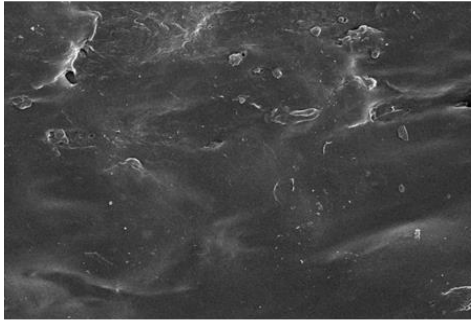
(a) PBAT



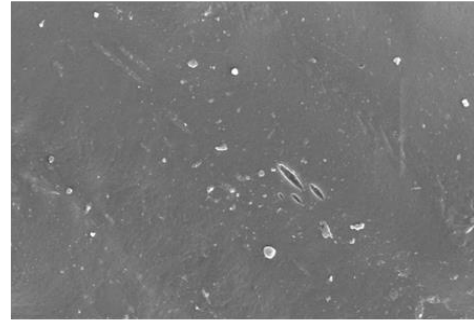
(b) TPS



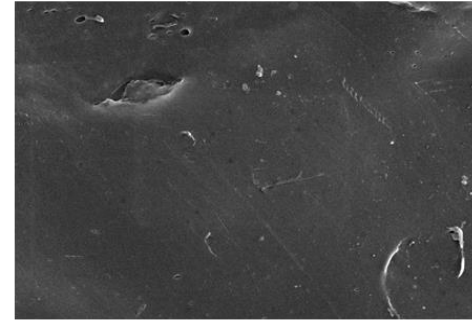
(c) BOPP



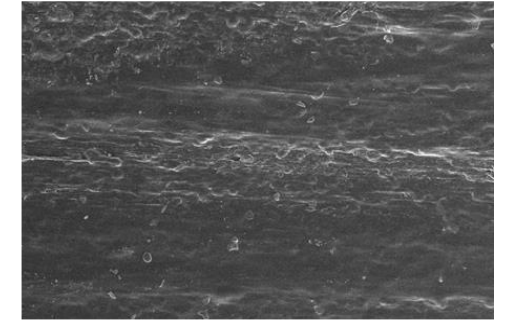
(d) TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol)



(e) TPS/PBAT/ÜÇY (Optimum)



(f) TPS/PBAT/α-T (Kontrol)



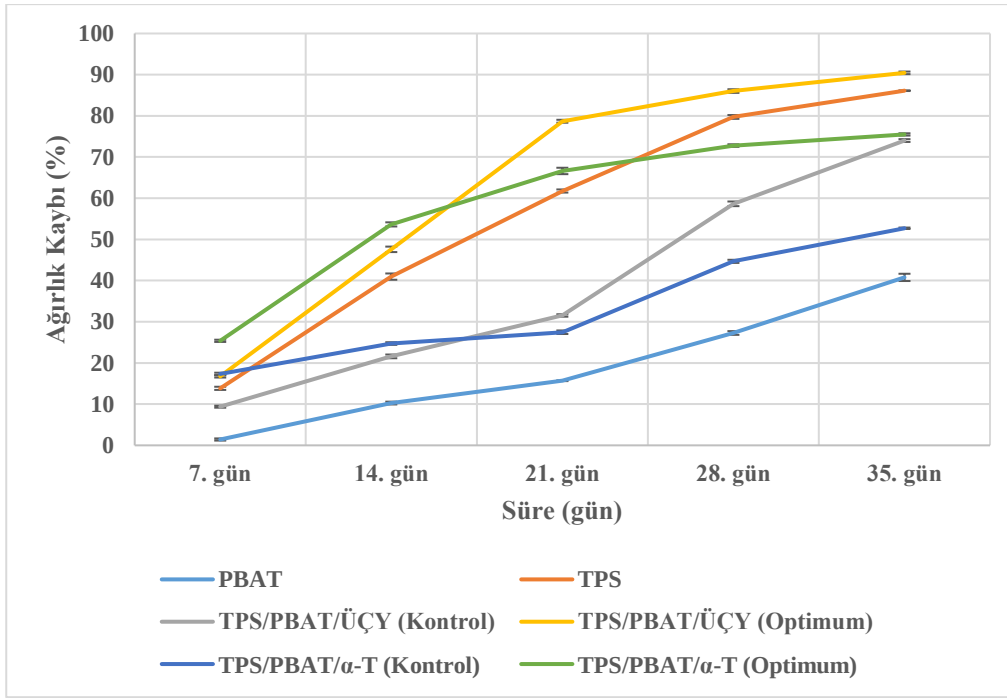
(g) TPS/PBAT/α-T (Optimum)

Şekil 4.11. Biyobazlı ambalaj filmlerine ait SEM görüntüleri.

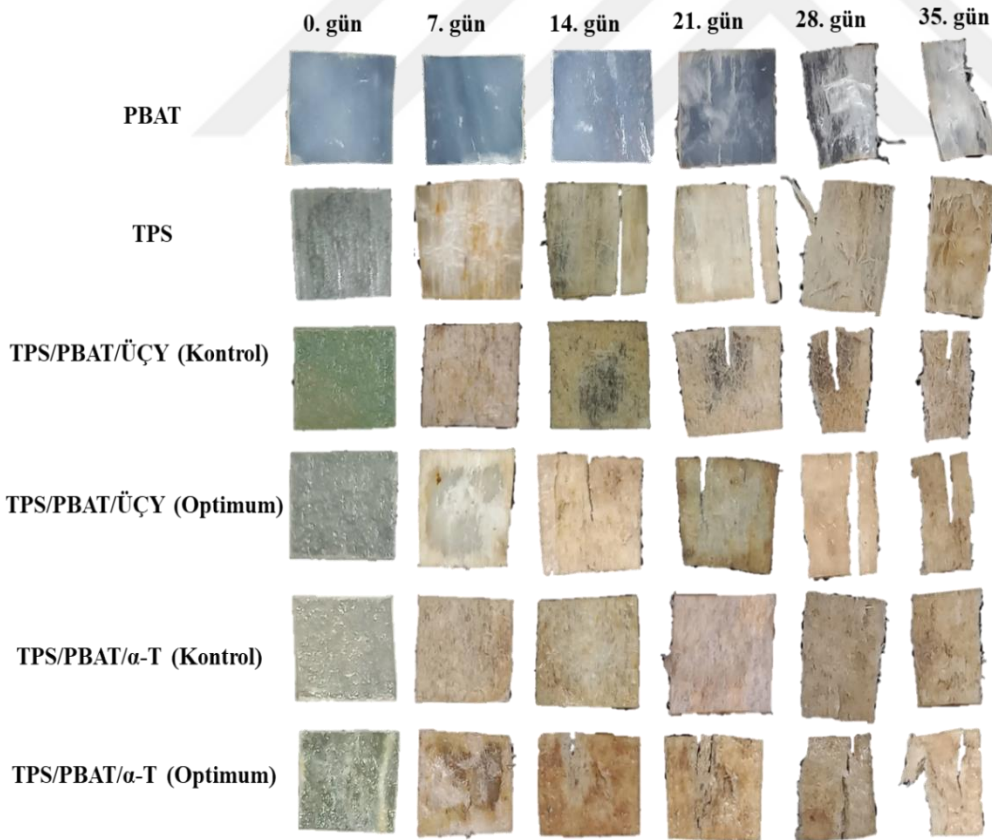
4.12. Optimum Biyobazlı Aktif Ambalaj Filmlerinin Biyobozunurluk Özellikleri

Biyobozunur ambalaj filmleri, petrol kaynaklı ambalajlara kıyasal çevresel etkileri azaltma potansiyeline sahip yenilikçi çözümler olarak ifade edilmektedir. Biyopolimerlerden üretilen biyobazlı ambalaj materyallerinin biyobozunurluk karakterlerinin belirlenmesi amacıyla kompostlama veya doğal koşullarda çürüme gibi yöntemler uygulanabilmektedir. Biyobozunurluk, bir malzemenin doğada mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanabilme yeteneği olarak belirtilmektedir. Biyobazlı ambalaj filmlerinin biyobozunurluğunu analiz etmek için yaygın olarak ASTM (American Society for Testing and Materials; Amerikan Test ve Malzeme Kurumu) ve ISO (International Organization for Standardization; Uluslararası Standardizasyon Örgütü) standartlarına dayalı test yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler filmlerin belirli bir süre içerisinde ne kadar oranda parçalandığını belirlemeye yöneliktir (Shaikh et al., 2021; Dirpan et al., 2023; Panou and Karabagias, 2023).

Farklı biyobazlı ambalaj filmi örneklerine ait biyobozunurluk özellikleri simüle toprak altında 35 gün süreyle takip edilerek ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.12’de sunulmuştur. Ayrıca belirli günlerde toprak altından çıkarılan örnekler fotoğraflanarak morfolojik değişimleri de kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.12. Biyobazlı ambalaj filmi örneklerine ait simüle toprak altında 35 gün süreyle meydana gelen ağırlık kaybı.



Şekil 4.13. Biyobozunma testine tabi tutulan biyobazlı filmlerin farklı günlere ait görüntüleri.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde üretimi yapılan her bir biyobazlı filmin biyobozunma karakterinde farklılıklar belirlenmiştir. 35 gün boyunca simüle toprak altında biyobozunma testine tabi tutulan filmlerin ağırlık kaybı sırasıyla PBAT %40,78±0,30; TPS %86,11±0,32; TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol) %74,01±0,43; TPS/PBAT/ÜÇY (Optimum) %90,44±0,38; TPS/PBAT/ α -T (Kontrol) %52,70±0,18; TPS/PBAT/ α -T (Optimum) %75,49±0,28 olarak belirlenmiştir.

Saf PBAT'dan elde edilen film ile TPS/PBAT kombinasyonu ile üretilen filmler kıyaslandığında her bir filmin aynı süre içerisindeki ağırlık kaybında artış yaşanmıştır. Literatür çalışmaları da TPS/PBAT karışımlarında TPS konsantrasyonu arttıkça ağırlık kaybının arttığını bildirmektedir (Nunes et al., 2018). TPS/PBAT kombinasyonun içerisine ÜÇY ilave edildiğinde ise en yüksek ağırlık kaybının meydana geldiği saptanmıştır. Bu durumun kullanılan aktif maddenin de biyobazlı olmasıyla birlikte biyobaz konsantrasyonunun artmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ÜÇY'nin TPS/PBAT kombinasyonun kristallik derecesini azaltmasıyla birlikte toprak altında mikroorganizmalar tarafından daha kolay parçalanarak liflerine ayrılabilirdiği düşünülmektedir. Diğer yandan α -T'nin kullanıldığı filmlerde her ne kadar kontrol örneklerine kıyasla biyobozunma davranışında artış belirlense de ÜÇY yağı kadar etkili olamamıştır. Bunun sebebinin artan kristallik yüzdesi ile birlikte amorf bölgelerin azalması sonucu mikroorganizmaların bu filmleri daha zor parçalaması olduğu düşünülmektedir.

Biyobozunma testi boyunca elde edilen görseller (Şekil 4.13) incelendiğinde 35 günlük süre boyunca yüzey pürüzlülüğünde artış, filamentler şeklinde ayrılma film kesitlerinin bazı bölümlerinde kayıplar belirlenmiştir. Ayrıca filmlerin renklerinde de parçalanmanın artmasıyla birlikte değişimler belirlenmiştir.

4.13. Biyobazlı Film Örneklerine Ait Bariyer Özellikler

Ambalaj filmlerinin bariyer özellikleri su buharı geçirgenliği ve oksijen geçirgenliği ile karakterize edilebilmektedir. Filmlerin bariyer özellikleri gıda endüstrisinde ürünlerin kalitesini korumak için kritik öneme sahiptirler ve raf ömrünü etkileyen ana faktörlerdendir. Su buharı geçirgenliği, bir ambalaj filminden su buharının geçiş hızını ifade etmektedir. Bu geçiş gıdaların içerisinden ambalaj dışına olduğu gibi ambalaj dışından da gıda içerisine olabilmektedir. Dolayısıyla kontrollü bir su buharı geçirgenliği gıdaların optimum nem seviyelerinde kalmasını

sağlayarak ürünlerin raf ömrü boyunca kalitesinin korumasını sağlar. Benzer şekilde oksijen geçirgenliği de ambalaj filminden oksijenin geçiş hızını ifade eder. Özellikle minimal işlem görmüş meyve ve sebzelerin ambalajlanması sırasında solunumun belirli bir düzeyde devam edebilmesi için oksijen geçirgenliğinin devam etmesi istenirken oksijen geçirgenliğinin çok olması durumunda da birçok kimyasal ve biyolojik reaksiyon hızlanacağı için ürünlerin tazelikleri muhafaza edilemez ve bozulma eğiliminde olurlar (Zabihzadeh Khajavi et al, 2020; Vasile and Baican, 2021; Yue et al., 2024).

Biyobazlı ambalaj filmlerinin bariyer özelliklerinin polimer formülasyonuna, kullanılan takviye miktarına, matris uyumuna, birbiri içerisindeki homojen dağılımına bağlı olduğu belirtilmektedir (Duncan, 2011; Cakmak and Sogut, 2020). Biyobazlı ambalaj örneklerinin oksijen geçirgenliği ve su buharı geçirgenliği Çizelge 4.14'te sunulmuştur. Üretimi gerçekleştirilen TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum) filmlerinin bariyer özelliklerinin kıyaslanabilmesi için kontrol örnekleri olarak BOPP ve PBAT kullanılmıştır. BOPP ve PBAT filmlerinin oksijen geçirgenliği sırasıyla $1600,00 \pm 2,00$ ve $285,00 \pm 1,50$ $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{gün}$ olarak belirlenmiştir. TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum) filmlerinin oksijen geçirgenliği ise sırasıyla $804,00 \pm 2,25$ ve $550,00 \pm 1,80$ $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{gün}$ olarak saptanmıştır. PBAT filmlerine göre oksijen geçirgenliğinin daha fazla olduğu görülürken BOPP filmlerine kıyasla daha az oksijen geçirgenliği değerine sahip olduğu bulgulanmıştır. Oksijenin varlığı ortamda solunumun devam edebilmesi için belirli istenirken, fazla olduğu durumlarda da örneklerin çok hızlı bir şekilde bozulmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla elde edilen oksijen geçirgenliği değerlerinin potansiyel gıda ambalajı olarak kullanımını desteklediği düşünülmektedir.

Çizelge 4.14. Film örneklerine ait oksijen ve su buharı geçirgenliği değerleri.

Örnek	Oksijen Geçirgenliği ($\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{gün}$)	Su buharı Geçirgenliği ($\text{g} \times \text{mm}/\text{m}^2 \times \text{sa} \times \text{kPa}$)
BOPP	$1600,00 \pm 2,00^a$	$4,89 \pm 0,05^c$
PBAT	$285,00 \pm 1,50^d$	$2,58 \pm 0,03^d$
TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum)	$804,00 \pm 2,25^b$	$5,26 \pm 0,02^b$
TPS/PBAT/ α-T (Optimum)	$550,00 \pm 1,80^c$	$6,27 \pm 0,08^a$

Veriler ortalama değerleri ve standart sapmaları temsil eder.

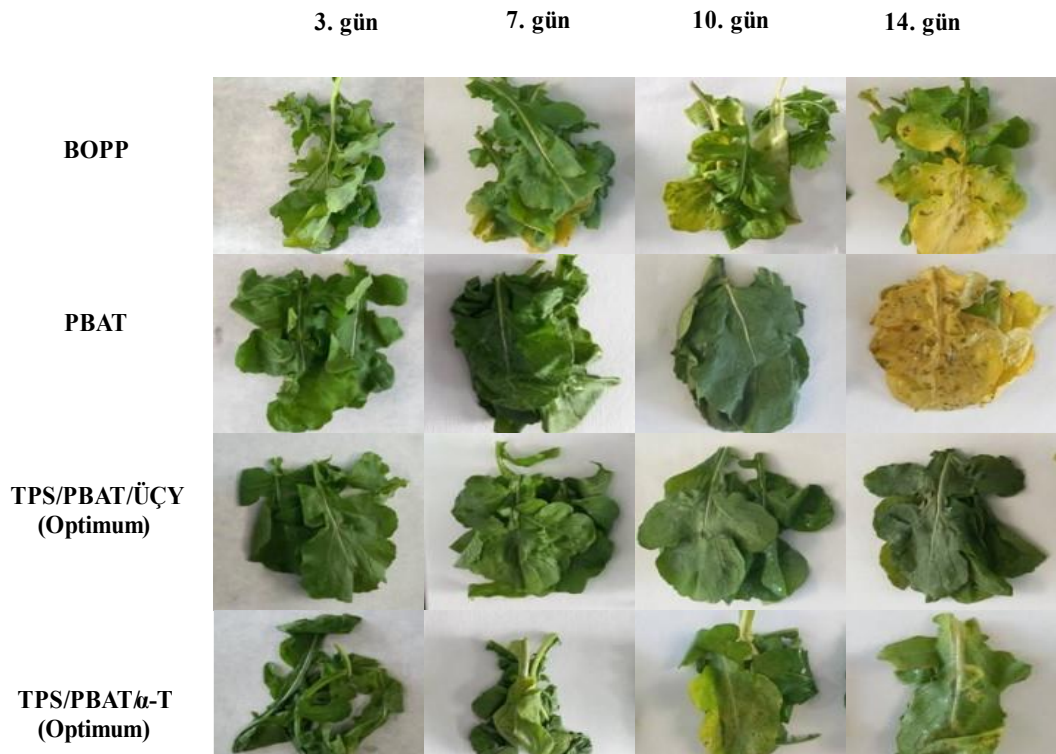
a, b, c, d Her analize ilişkin farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil etmektedir ($P < 0,05$).

BOPP ve PBAT filmlerinin su buharı geçirgenliği sırasıyla $4,89 \pm 0,05$ ve $2,58 \pm 0,03$ $\text{g} \times \text{mm}/\text{m}^2 \times \text{sa} \times \text{kPa}$ olarak belirlenmiştir. TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum)

ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum) filmlerinin su buharı geçirgenliği ise sırasıyla $5,26 \pm 0,02$ ve $6,27 \pm 0,08$ g $\times$ mm/ m² $\times$ sa $\times$ kPa olarak saptanmıştır. Aktif filmlerin su buharı geçirgenliğinde BOPP ve PBAT örneklerine göre arttığı belirlenmiştir. Biyobazlı polimer karışımlarının içerisinde yer alan TPS'in hidrofilik karakterinin bu duruma yol açtığı düşünülmektedir. Aktif maddeler kendi içerisinde kıyaslandığında ise ÜÇY'nin kullanıldığı durumda su buharı geçirgenliğinin daha az olduğu görülmektedir. Bu durumun ÜÇY'nin TPS üzerinde hidrofilik karakterini azaltma şeklinde rol oynaması dolayısıyla olduğu düşünülmektedir. Bu durum FTIR spektrumlarında görülen O–H gerilme titreşim bandındaki yoğunluğun azalmasıyla da desteklenmektedir (Zhai et al., 2023).

4.14. Model Gıda Uygulamaları ve Depolama Analizleri

Biyobazlı aktif ambalaj filmlerinin etkinliğinin belirlenmesi amacıyla kısa raf ömrüne sahip minimal işlem görmüş roka örneklerinin ambalajlanması gerçekleştirilmiştir. Ambalajlanan örnekler 14 gün süreyle 4 °C depolanarak süre boyunca belirli aralıklarda analizlere tabi tutularak farklı ambalajların ve depolama süresinin roka örnekleri üzerine etkisi belirlenmiştir. Şekil 4.14'te depolama süresi boyunca farklı ambalaj filmleri içerisinde depolanan rokalara ait görseller sunulmuştur.

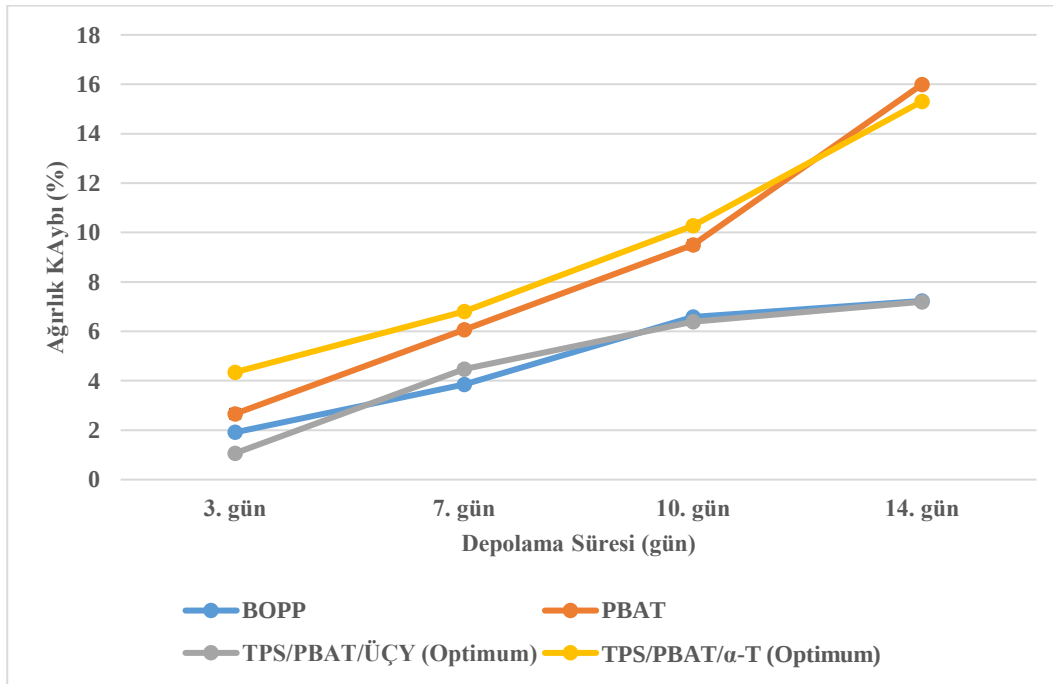


Şekil 4.14. Farklı ambalaj materyalleri ile paketlenen rokaların depolama süresi boyunca değişimi

Elde edilen görseller değerlendirildiğinde üretimi gerçekleştirilen biyobazlı aktif filmlerin yaygın olarak tercih edilen BOPP filmlere alternatif olabileceği düşünülmektedir. Görsel değerlendirmenin haricinde depolama süresi boyunca fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilerek elde edilen bulgular desteklenmiştir.

4.14.1. Depolamanın ağırlık kaybı üzerine etkisi

Sebzeler hasat edildikten sonra uygun koşullarda saklanmadığı takdirde su kaybetmeye başlar ve bu durum taze ağırlığının azalmasına neden olur. Ayrıca kalite kaybına da sebep olan bu durum ürünlerin ekonomik değerini de azaltır. Diğer yandan minimal işlem görmüş ürünlerde hasat edildikten sonra tüketime hazır hale getirilmek amacıyla uygulanan kök ayırma, kesme, doğrama gibi işlemler sebzelerin gördüğü hasarı artırırken su kaybını ve dolayısıyla ağırlık kaybını ciddi oranda artırmaktadır. Dolayısıyla bu problemlerin önüne geçebilmek adına seçilecek olan ambalaj materyalleri ürünün kalitesini koruyarak raf ömrünün uzamasına yardımcı olabilmektedir (Öz ve Süfer, 2012). Bu kapsamda üretimi gerçekleştirilen aktif ambalaj ve kontrol olarak değerlendirilen BOPP ve PBAT ambalaj filmleri ile paketlenmiş olan minimal işlem görmüş roka örneklerine ait ağırlık kaybı değerleri Şekil 4.15'te gösterilmektedir.

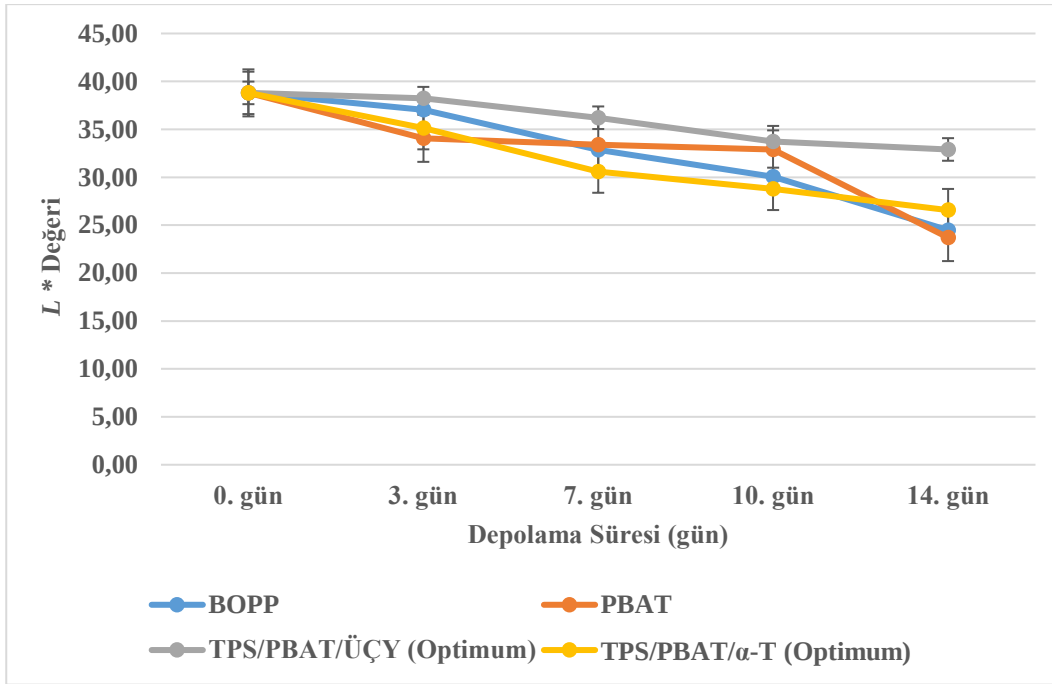


Şekil 4.15. Depolamanın ağırlık kaybı (%) üzerine etkisi.

BOPP, PBAT, TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum) ambalaj filmlerinin kullanıldığı örneklere ait ağırlık kaybı değerleri 14 günlük depolama süresi sonunda sırasıyla $7,23 \pm 0,03$; $15,99 \pm 0,05$; $7,20 \pm 0,06$ ve $15,31 \pm 0,10$ olarak belirlenmiştir. BOPP ve TPS/PBAT/ÜÇY (Optimum) örneklerine ait değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken ($P > 0,05$), diğer örneklerin arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0,05$). Taze sebzelerde ağırlık kaybının %5'ten fazla olması durumunda kalite kayıplarının yüksek olduğu bildirilmiştir (Batziakas et al., 2020). Dolayısıyla BOPP ve TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) ambalaj filmleri içerisinde depolanan roka örneklerinin 14 günlük depolama süresi içerisinde 7. gün sonuna kadar ağırlık kaybını makul seviyede tuttuğu ve filmlerin bariyer özelliklerinin PBAT ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum) filmlerine göre daha etkili olduğu saptanmıştır.

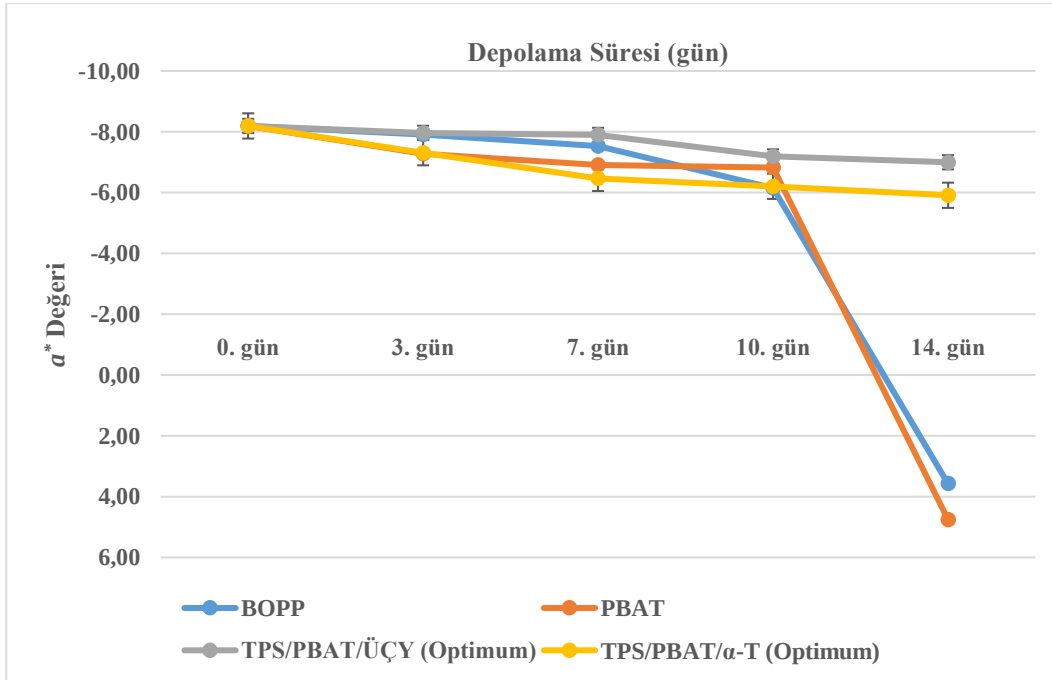
4.14.2. Depolamanın renk değerleri üzerine etkisi

Renk özellikleri tüketicilerin algısını ve satın alma isteğini olumlu yönde etkileyen önemli kalite karakteristiklerinden bir tanesidir (Torales et al., 2020). Bu bağlamda 14 günlük depolama süresi boyunca farklı ambalaj malzemeleri ile paketlenmiş roka örneklerinin L^* , a^* ve b^* değerleri Şekil 4.16-4.17'de sunulmuştur. Şekil 4.17'deki veriler incelendiğinde her bir örnek için L^* değerlerinde depolama süresi boyunca azalma olduğu bulgulanmıştır. Hammaddeye ait L^* değeri $38,80 \pm 0,00$ olarak bulunurken depolama sonunda BOPP kullanılan örneklerin L^* değeri $24,48 \pm 0,14$ olarak bulunurken diğer ambalaj materyalleri için ise PBAT; $23,70 \pm 0,09$; TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum); $32,90 \pm 0,00$ ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum); $26,57 \pm 0,03$ olarak tespit edilmiştir. Örneklerin L^* değerleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunurken ($P < 0,05$) tespit edilen kayıp %15-38 arasında değişmektedir. Yeşil yapraklı sebzelerde depolama süresi boyunca L^* değerlerindeki azalma depolama sıcaklığı, süresi, örneklerin solunum hızına bağlı olarak devam eden metabolik faaliyetler ve bunların ortak etkileşimi sonucu yaprakların parlaklığının azalması ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca klorofilaz enzim etkinliğine bağlı olarak klorofilin koyu renkli bileşenlere parçalanması da L^* değerini etkilemektedir (Zappia et al., 2019; Torales et al., 2020).

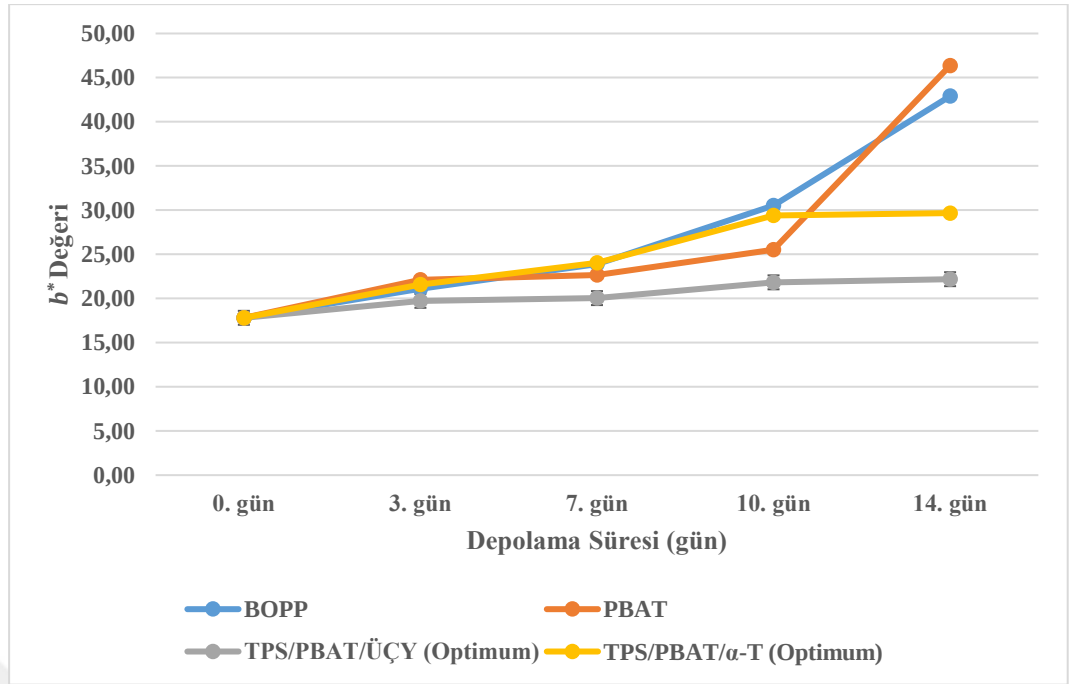


Şekil 4.16. Depolamanın L^* değeri üzerine etkisi.

Renk özelliklerini ifade eden diğer önemli değerler ise a^* ($-a^*$; yeşillik, a^* ; kırmızılık) ve b^* ($-b^*$; mavilik, b^* ; sarılık) değerleridir. Şekil 4.17 ve 4.18 incelendiğinde her bir örnek için a^* değerlerinde depolama süresi boyunca azalma b^* değerlerinde ise artış olduğu bulgulanmıştır.



Şekil 4.17. Depolamanın a^* değeri üzerine etkisi.



Şekil 4.18. Depolamanın b^* değeri üzerine etkisi.

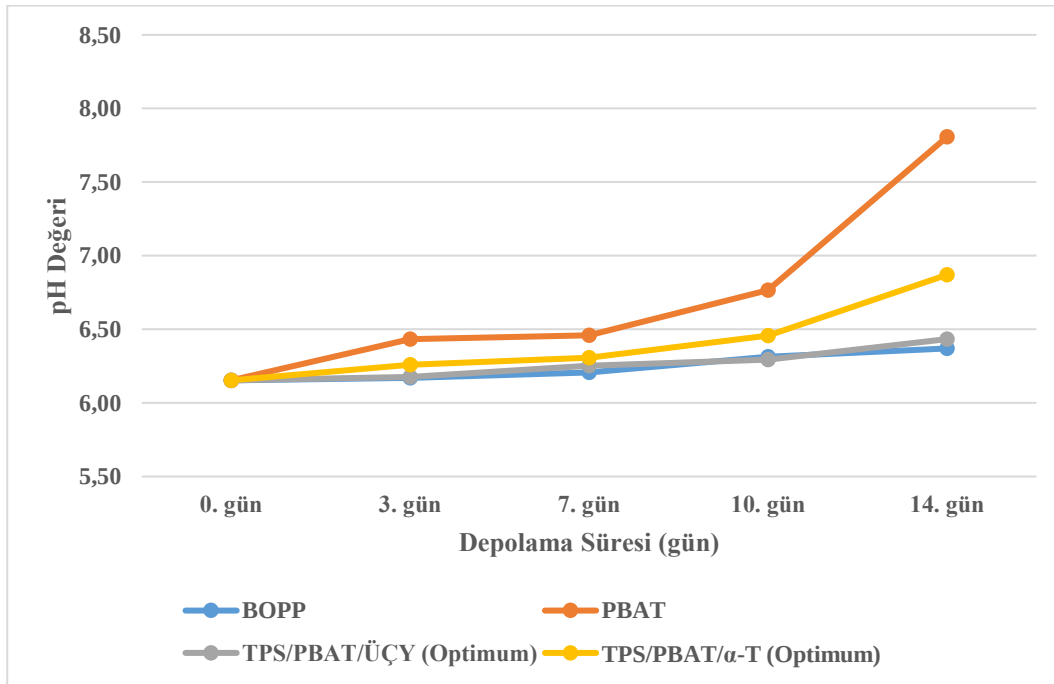
Renk değerlerinden $-a^*$ yeşillik değeri hakkında bilgi verirken hammaddeye ait a^* değeri $-8,19 \pm 0,02$ olarak bulgulanmıştır. Diğer bir renk göstergesi olan b^* değeri ise sarılığı ifade eder ve hammaddeye ait b^* değeri $17,81 \pm 0,04$ olarak saptanmıştır. Depolama sonunda BOPP kullanılan örneklerin a^* değeri $3,57 \pm 0,03$ olarak bulunurken diğer ambalaj materyalleri için ise PBAT; $4,75 \pm 0,10$; TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum); $-6,99 \pm 0,04$ ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum); $-5,91 \pm 0,02$ olarak tespit edilmiştir. Örneklerin a^* değerleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunurken ($P < 0,05$) BOPP ve PBAT ambalaj filmlerinin kullanıldığı örneklerin ciddi yeşil renk kaybına uğradığı görülmektedir.

Depolama sonunda BOPP kullanılan örneklerin b^* değeri $42,91 \pm 0,07$ olarak bulunurken diğer ambalaj materyalleri için ise PBAT; $46,37 \pm 0,11$; TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum); $22,18 \pm 0,03$ ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum); $29,67 \pm 0,10$ olarak tespit edilmiştir. Örneklerin b^* değerleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0,05$). 14 günlük depolama süresince roka örneklerinin sarılık değeri artış gösterirken en yüksek artış PBAT (%160) örneklerinde tespit edilirken en az artış ise TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) (%19) belirlenmiştir. Yeşil yapraklı sebzelerde sarılığın artışı depolama boyunca devam eden metabolik faaliyetler sebebiyle tazeliğin yitirilmesi ve buna bağlı olarak solma, sararma ve çürümenin gerçekleşmesidir. Ayrıca devam eden klorofilaz enzim aktivitesi klorofillerin parçalanmasına neden olarak kahverengi, sarı renk bileşiklerinin

oluşuma neden olmaktadır. Dolayısıyla yeşil renk azalırken sarı renk depolama süresi boyunca artmıştır (Koukounaras et al., 2009). Elde edilen veriler değerlendirildiğinde 14 günlük depolama süresi boyunca TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum) filmleri kontrol filmlerine kıyasla renk değerleri üzerinde daha iyi bir koruma göstermiştir. Polivinil klorürün (PVC) ambalaj materyali olarak kullanıldığı çalışmalarda da depolama süresi boyunca benzer kayıplar yaşandığı vurgulanmıştır (Zappia et al., 2019; Torales et al., 2020). Rokanın model gıda olarak kullanıldığı bir aktif ambalaj filmi çalışmasına ise ratlanılmamıştır.

4.14.3. Depolamanın pH değeri üzerine etkisi

Depolama koşullarından etkilenen bir diğer kalite karakteristiği de pH değeridir. Asitlik ve bazlık derecesi hakkında bilgi veren pH değeri kimyasal, biyolojik ve endüstriyel üretim süreçlerinde kontrol edilmesi gereken bir parametredir. Ayrıca gıdaların depolama süresi boyunca karakteristik lezzetinin korunmasında ürünün doğal pH değerinde bulunması önem taşımaktadır (Adams et al., 2022; Liu et al., 2022). Bu kapsamda farklı ambalaj materyalleri ile paketlenmiş roka örneklerinin 14 günlük depolama süresi boyunca pH değerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.19'da sunulmuştur.



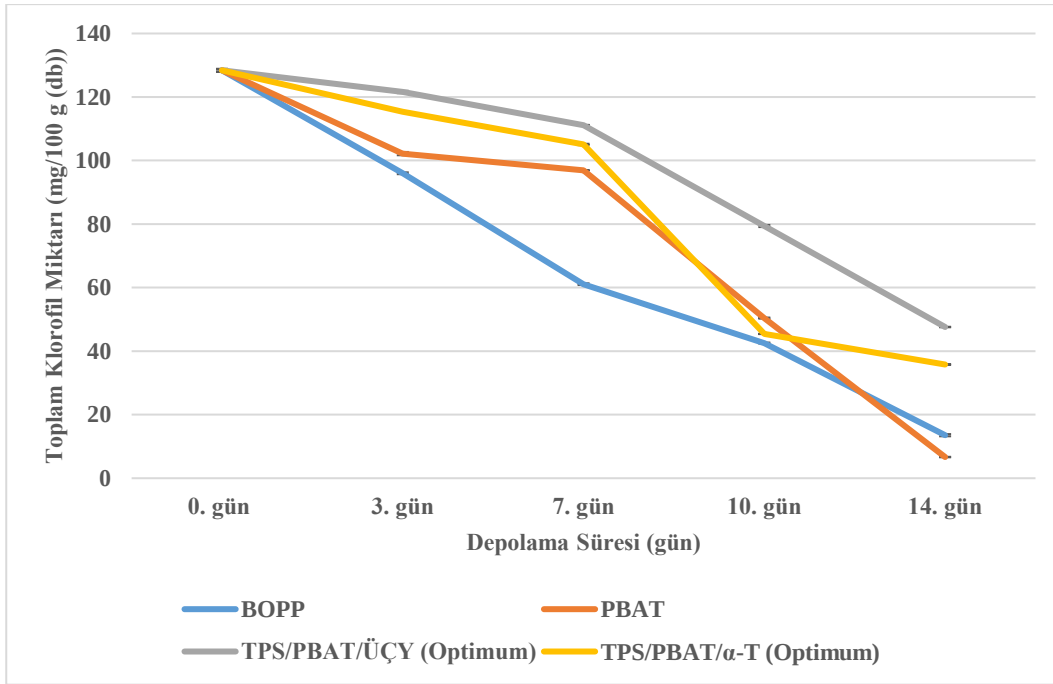
Şekil 4.19. Depolamanın pH değeri üzerine etkisi.

Hammaddeye ait pH değeri $6,15 \pm 0,03$ olarak belirlenmiştir. Literatür çalışmaları incelendiğinde rokanın pH değerinin 6-7 arasında değiştiği, üretim sırasında kullanılan toprak çeşidi, iklim özellikleri, hasat zamanı gibi faktörlere bağlı olarak farklılık gösterdiği belirtilmektedir (Romano et al., 2022). Hafif asidik bir pH değerine sahip olan roka örneklerinin depolama süresi sonunda farklı ambalajlar içerisindeki pH değerleri ise BOPP; $6,37 \pm 0,02$; PBAT; $7,81 \pm 0,01$; TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum); $6,43 \pm 0,00$; TPS/PBAT/ α -T (Optimum); $6,98 \pm 0,01$ olarak saptanmıştır ve değerler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0,05$). Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde rokanın hafif asidik pH değerinin depolama sonunda nötr pH değerine yaklaştığı PBAT örneklerinde ise hafif bazik değerde olduğu görülmektedir. Her ne kadar literatürde roka ile gerçekleştirilen bu şekilde bir çalışma bulunmasa da yeşil yapraklı sebzelerin depolanması sırasındaki bu pH değerindeki artışa bağlı olarak asidik karakterde azalma solunumunun devam etmesine bağlı olarak devam eden metabolik reaksiyonlarda alkali özellikte bileşiklerin açığa çıkması ve mikrobiyolojik bozulmaya bağlı olabileceği bildirilmektedir (Giannakourou and Tsironi, 2021). Bu bağlamda BOPP ve TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) filmlerinin roka örneklerinin pH değerini diğer filmlere göre daha etkin bir şekilde koruduğu belirlenmiştir.

4.14.4. Depolamanın toplam klorofil miktarı üzerine etkisi

Klorofil yeşil renkli bitkilerin karakteristik renginden sorumlu doğal renk pigmentidir ve depolama sırasında süre, sıcaklık, ışık gibi koşullardan etkilenmektedir (Ebrahimi et al., 2023). 14 günlük depolama süresince farklı ambalaj filmleri ile paketlenmiş roka örneklerinin toplam klorofil miktarları Şekil 4.20' de sunulmaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde her bir örnekte hammaddeye kıyasla klorofil içeriğinde azalma saptanmıştır.

Kuru madde içeriği $\%11,56 \pm 0,11$ olarak belirlenen hammaddeye ait toplam klorofil miktarı $128,40 \pm 0,44$ mg/100 g (db) olarak bulgulanmıştır. Depolama sonunda farklı ambalajlar içerisindeki roka örneklerinin klorofil miktarları ise BOPP; $13,55 \pm 0,36$; PBAT; $6,67 \pm 0,81$; ve TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum); $47,59 \pm 0,82$; TPS/PBAT/ α -T (Optimum); $35,79 \pm 0,080$ mg/100 g (db) olarak hesaplanmıştır. Her bir örnekte bariz bir azalma tespit edilse de en yüksek klorofil içeriği TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) aktif filminin kullanıldığı roka örneklerinde tespit edilmiştir. Depolamanın ilk haftasının sonunda bu örneklerde $\%13$ düzeyinde klorofil içeriğinde azalma görülmüştür ve filmlerinin antioksidan özelliklerinin bu sonuçlar üzerinde etkili düşünülmektedir.

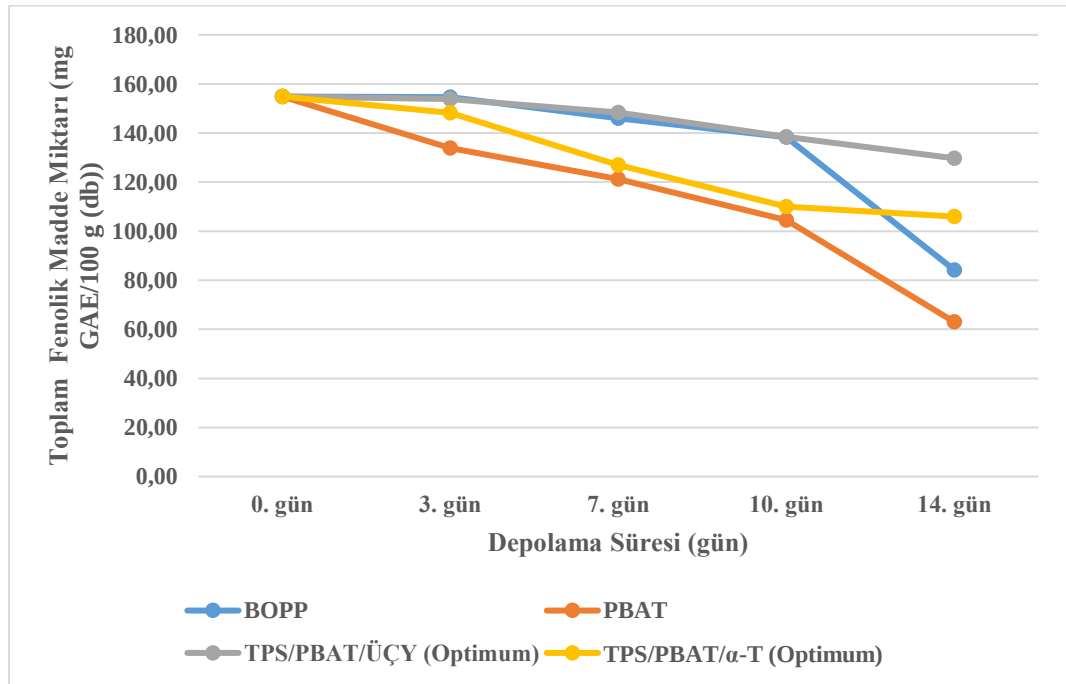


Şekil 4.20. Depolamanın toplam klorofil miktarı üzerine etkisi.

Klorofil molekülü pirol halkalarından oluşmakla birlikte merkez atomunda Mg^{+2} iyonu ve pirol halkaları yapısına bağlı bir fitol zincirinden oluşmaktadır. Bu yapısıyla degradasyona çok açık olan klorofil molekülü ısı, ışık, pH gibi değişkenlerle klorofillid, feofitin ve feoforbitlere parçalanır. Bu alt bileşiklerden klorofillidler yeşil renkli iken feofitin ve feoforbitler gri, kahverengi gibi koyu renklere sahiptir. Ortamda klorofilleri koruyacak herhangi bir bileşik bulunmadığı takdirde bu koyu renkli bileşikler açığa çıkarak karakteristik yeşil rengin bozulmasına neden olurlar (Sun et al., 2024). Modifiye atmosferin etkisinin rokaların depolanması üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada toplam klorofil içeriğinin benzer şekilde azaldığı ifade edilmektedir (Torales et al., 2020). Kullanılan aktif ambalaj filmlerinin etkisi değerlendirildiğinde kontrol örneklerine kıyasla TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) ve TPS/PBAT/α-T (Optimum) aktif filmlerinin depolama süresi boyunca kontrol filmlerine kıyasla daha etkin bir şekilde depolanmasını sağladığı belirlenmiştir. Bu durumun kullanılan aktif maddelerin antioksidan özellikleri ve ambalaj içerisine salınımlarının gerçekleşmesi sebebiyle olduğu düşünülmektedir.

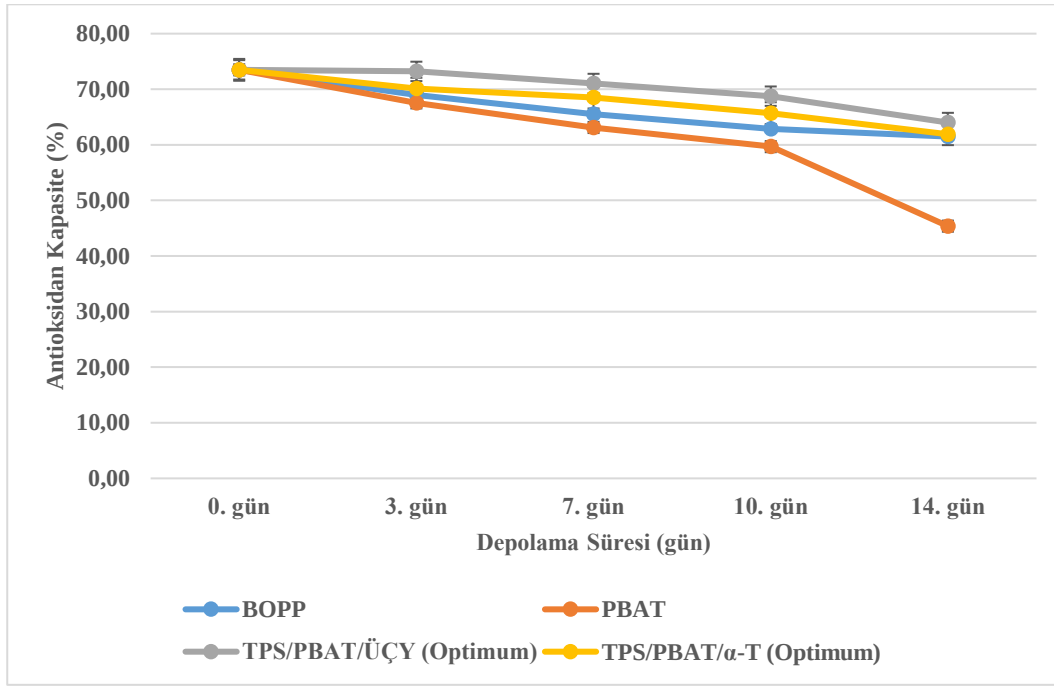
4.14.5. Depolamanın toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasite üzerine etkileri

Yeşil yapraklı sebzeler içerdikleri fenolik maddeler sebebiyle yüksek antioksidan kapasite gösteren, biyolojik olarak aktif ve insan beslenmesinde önemli yer tutan gıdalar arasındadır. Fakat yeşil yapraklı sebzeler hasat edildikten hemen sonra solunumlarının hızlı bir şekilde devam etmesi sebebiyle bozulmaya çok elverişlidirler ve uzun süreli depolanamazlar. Ayrıca uygun olmayan depolama koşulları altında da biyoaktif bileşenlerin degradasyonu çok hızlı bir şekilde gerçekleştiği için ürünlerin kalite özelliklerini önemli ölçüde etkiler (Shi et al., 2022). Bu bağlamda farklı ambalaj filmleri kullanılarak depolanan roka örneklerinin 14 gün süreyle toplam fenolik madde miktarları (TFM) ve antioksidan kapasite (AK) değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22). Roka örneklerinin başlangıç TFM değeri $154,86 \pm 0,16$ mg GAE/100 g (db) olarak bulgulanmıştır. Depolama sonunda farklı ambalajlar içerisindeki roka örneklerinin TFM değerleri BOPP; $84,18 \pm 0,09$; PBAT; $62,98 \pm 0,16$; TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum); $129,70 \pm 0,15$ ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum); $105,95 \pm 0,16$ mg GAE/100 g (db) olduğu belirlenmiştir ($P < 0,05$). En yüksek TFM kaybı %59 ile PBAT ambalaj filminde saptanırken, en düşük kayıp ise %16 ile TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) aktif ambalaj filminde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. Depolamanın toplam fenolik madde miktarı üzerine etkisi.

Roka örneklerinin başlangıç AK değeri ise $73,49 \pm 0,27$ olarak bulgulanmıştır. Depolama sonunda farklı ambalajlar içerisindeki roka örneklerinin AK değerlerinin BOPP; $61,49 \pm 0,06$; PBAT; $45,37 \pm 0,12$; TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum); $64,01 \pm 0,28$ ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum); $61,91 \pm 0,07$ olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar arasındaki farklar istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($P < 0,05$). En yüksek AK kaybı TFM'ye benzer şekilde PBAT ambalaj filminde saptanırken, en düşük kayıp TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) aktif ambalaj filminde olduğu bulgulanmıştır.



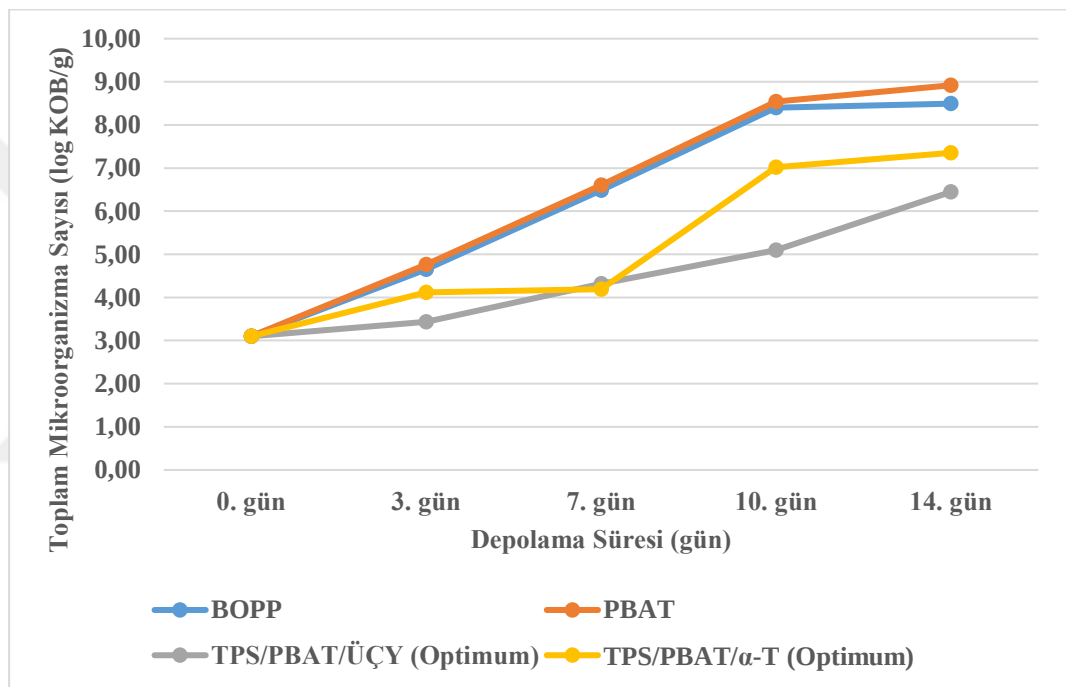
Şekil 4.22. Depolamanın antioksidan kapasite değeri üzerine etkisi.

Elde edilen sonuçlar ışığında ÜÇY ve α -T içeren aktif ambalaj filmlerinin roka örneklerini kontrol filmlerine göre daha etkin şekilde koruduğu belirlenmiştir. Bu bulgular söz konusu filmlerin gıdaların raf ömrünü uzatma potansiyeline sahip olduğunu desteklemektedir.

4.14.6. Depolamanın toplam mikroorganizma sayısı üzerine etkisi

Depolama sırasında fiziksel ve kimyasal kalite karakteristiklerinin takip edilmesinin yanı sıra mikrobiyolojik değişimlerin de takip edilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle birçok fiziksel ve kimyasal değişimin mikrobiyal etkinlik sebebiyle de ortaya çıkması göz önünde bulundurulduğunda depolama süresinceki mikrobiyolojik değişimlerin tespiti kritik önem taşımaktadır.

Bu bağlamda gerçekleştirilen mikrobiyolojik analizlerden elde edilen toplam mikroorganizma sayısına (TMS) dair bulgular Şekil 4.23’de sunulmuştur. Tarladan toplandıktan sonra $6,87 \pm 0,15$ log KOB/g TMS’ye sahip olan roka örnekleri materyal ve metot kısmında belirtilen bir dizi ön işlemden geçirildikten sonra TMS değerlerinin $3,11 \pm 0,02$ log KOB/g’a kadar düştüğü belirlenmiştir. Depolama süresi boyunca TMS’de artış belirlenmekle birlikte en az artış TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) örneklerinde bulgulanmıştır. Depolama süresi sonunda TMS değerleri ise BOPP; $8,49 \pm 0,02$; PBAT; $8,92 \pm 0,03$; TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum); $6,45 \pm 0,02$; TPS/PBAT/ α -T (Optimum); $7,35 \pm 0,01$ log KOB/g olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($P < 0,05$).



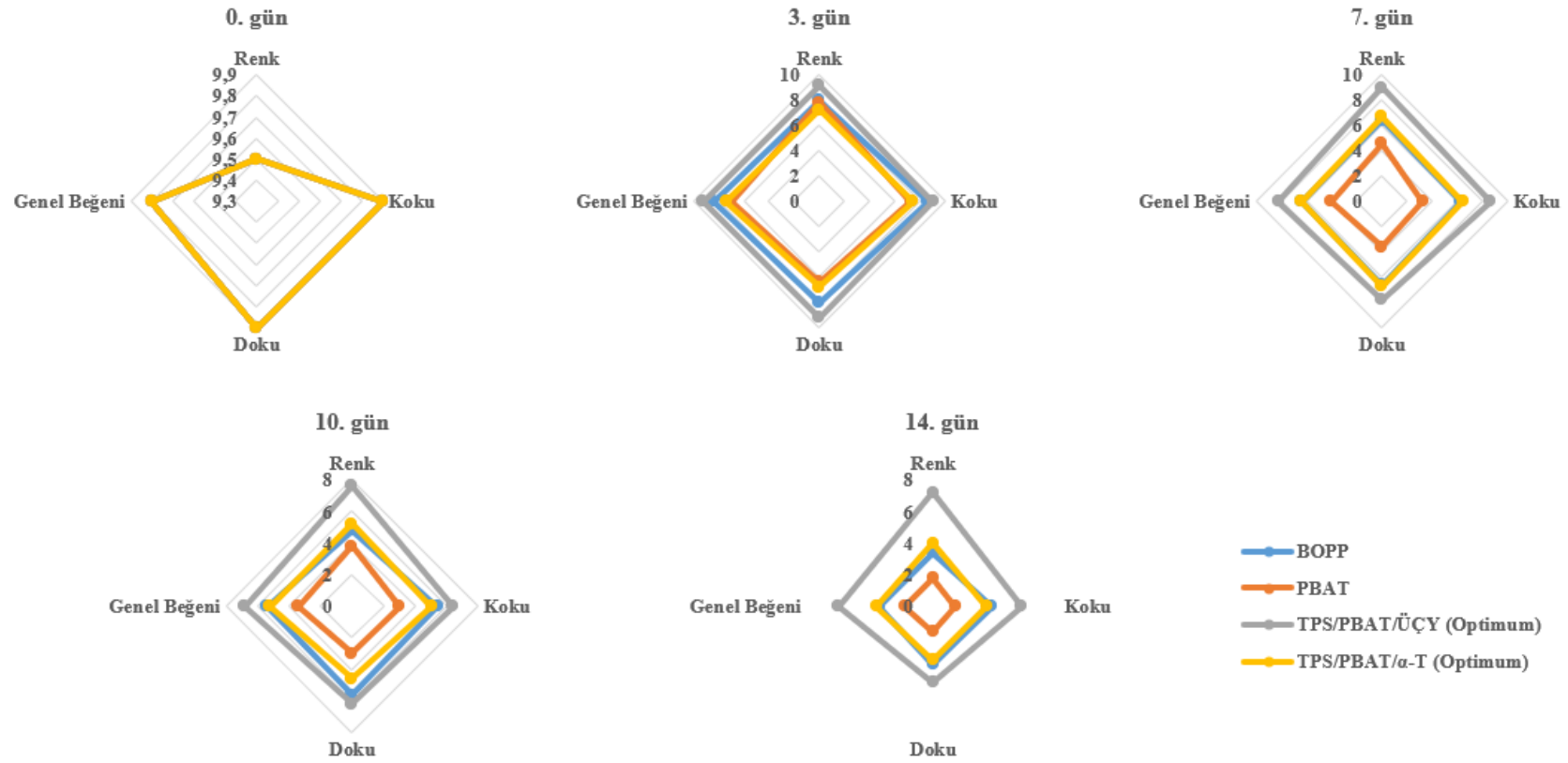
Şekil 4.23. Depolamanın toplam mikroorganizma sayısı üzerine etkisi.

Minimal işlem görmüş gıdaların raf ömrü boyunca TMS değerlerinin 7,7 log KOB/g değerini geçmemesi beklenir. Bu değerden fazla olduğu artık tüketilebilecek özellikte olmamanın yanı sıra mikrobiyal olarak da güvenli bir gıda olmaktan uzaklaşmaktadır (Fan and Song, 2008). Elde edilen incelendiğinde ise depolama süresi sonunda BOPP ve PBAT kullanılarak ambalajlanmış roka örnekleri belirtilen sınırların üzerinde olduğu için diğer zayıf kalite özelliklerinin yanı sıra mikrobiyolojik olarak kabul edilebilir sınıfta değildir. TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) ve TPS/PBAT/ α -T (Optimum) aktif filmlerinin kullanıldığı roka örneklerinde ise nispeten daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bulgulanan bu sonuçlar ile diğer fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları birbirini desteklemektedir.

4.14.7. Depolamanın duysal kalite karakteristikleri üzerine etkisi

Depolama süresi boyunca fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerin takip edilmesinin yanı sıra duysal karakteristiklerin de belirlenmesi elde edilen sonuçların desteklenmesi yönünden önem taşımaktadır (Bett, 2002; Piagentini et al., 2005). 14 günlük depolama süresi boyunca belirli günlerde gerçekleştirilen duysal analizler ile örnekler için renk, koku, doku ve genel beğeni olmak üzere 4 kriter üzerinden duysal analizleri gerçekleştirilmiştir. Örnekler için ≥ 5 puanı kabul edilebilir limit olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.25'te sunulmuştur.

Her bir kalite karakteristiği açısından değerlendirildiğinde en üstün özelliklere TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) aktif filmlerinin kullanıldığı roka örneklerinde rastlanılmaktadır. Depolamanın sonuna kadar renk, koku, doku ve genel beğeni açısından 6 puan üzerinde değerler alarak 14 gün sonunda bile hala tüketilebilir özelliklere sahiptir. Aktif filmler yapısı gereği polimer matrisi içerisinde bulunan antioksidan özellikteki maddeler sebebiyle ambalajlanmasında kullanıldıkları ürünün raf ömrünü uzatabilir. Ayrıca raf ömrü süresince de kalite özelliklerini önemli ölçüde korumaktadırlar. Elde edilen sonuçlar gösteriyor ki aktif madde olarak seçilen ÜÇY polimer matrisi içerisinde etkili olarak ürünün kalite özellikleri olumlu etkilemiştir. Minimal işlem görmüş sebzelerin ambalajlanmasında genellikle kullanılan BOPP'den daha iyi sonuçlara sahip olması aktif filmlerin bu tür ambalajlama çalışmalarında kullanılmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Depolama süresi sonunda BOPP örneklerinin puanları 4'ün altında kalması sebebiyle kabul edilebilir sınırın altında kalmıştır.



Şekil 4.24. Depolamanın duysal özellikler üzerine etkisi.

PBAT'ın ambalaj materyali olarak kullanıldığı durumda ise duyusal özelliklerin en hızlı şekilde bozulduğu görülmektedir ve depolama sonunda duyusal karakteristiklere dait puanları 1,8 puanın altında kalmıştır. PBAT'ın kullanıldığı örneklerde ağırlık kaybının da çok yüksek olmasıyla birlikte bozunma reaksiyonlarının da çok hızlı gerçekleştiği bulgulanmıştır. Fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerde kayıpların duyusal değerlendirme ile de desteklendiği saptanmıştır.

TPS/PBAT/ α -T (Optimum) aktif filminin kullanıldığı roka örneklerinde ise TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum) aktif filmlerine kıyasla daha zayıf duyusal kalite karakteristiklerine sahip olmakla birlikte kontrol örneklerine kıyasla ise daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Her ne kadar kontrol örneklerine göre daha iyi puanlara sahip olsa da puanşarı yaklaşık olarak 4 puanın altında kalması sebebiyle kabul edilebilir sınırlarda değildir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Biyobazlı aktif filmler, gıda endüstrisinde umut vadeden bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu filmler, gıda kalitesini, güvenliğini ve sürdürülebilirliğini korumaya yönelik çok yönlü bir yaklaşım sunmaktadır. Bitki proteinleri, polisakkaritler ve lipitler gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen bu yenilikçi filmler, belirli gıda uygulamalarına göre uyarlanabilecek doğal özelliklere sahiptir. Antioksidanlar ve fenolikler gibi aktif bileşikler taşıyabilme yetenekleri, çabuk bozulan gıdaların duyuşal özelliklerini korurken raf ömrünü uzatmada önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, çevre dostu yapıları, sürdürülebilir ambalaj çözümlerine yönelik artan tüketici talebiyle uyumlu olup, böylece gıda endüstrisinin çevresel ayak izini azaltmaktadır. Biyobazlı aktif filmlerin geleceği, işlevselliklerini optimize etmek, çeşitli gıda türleriyle uyumluluğu artırmak ve yaygın ticari kullanım için üretim yöntemlerini büyütmek amacıyla daha fazla araştırma ve geliştirme yapılması önem taşımaktadır. Teknoloji ilerledikçe ve formülasyonlar geliştikçe, bu filmler gıda ambalajında daha etkin bir şekilde kullanım potansiyeline sahip olup, önümüzdeki yıllarda hem ürün güvenliğini hem de çevre yönetimini destekleyecektir.

Yapılan bu tez çalışmasıyla TPS ve PBAT biyobazlı aktif ambalaj filmlerinin yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Ambalaj filmlerine aktif özellik kazandırmak amacıyla üzüm çekirdeği yağı, alfa-tokoferol ve pirinç kabuğu kullanılmıştır. Optimum koşullarda üretimi yapılan ambalaj filmlerinin aynı zamanda aktif madde içermeyen kontrol filmleri de üretilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Üretimler sonucunda üzüm çekirdeği yağının ve alfa-tokoferolün film oluşturma özelliklerinin başarılı olduğu belirlenirken pirinç kabuğu kullanıldığı durumda gıda ambalajlamasına uygun genişlikte film elde edilemediği tespit edilmiştir.

Çeşitli fiziksel, kimyasal, termal, mekanik, bariyer ve biyobozunurluk testlerinin yanı sıra model gıda uygulamaları ile elde edilen sonuçlar desteklenmiştir. Özellikle üzüm çekirdeği yağı içeren biyobazlı filmlerin üstün özellikler sergilediği belirlenmiştir. Üzüm çekirdeği yağının, film matrisine entegrasyonu, antioksidan kapasitesinin yanı sıra film oluşturma kabiliyetini de artırarak, elde edilen filmlerin mekanik, bariyer ve biyobozunurluk özelliklerini iyileştirmiştir. Bu durum, üzüm çekirdeği yağı içeren filmlerin, gıda ambalajlamasında kullanılabilecek potansiyel biyobazlı çözümler arasında öne çıkmasını sağlamaktadır. Üzüm çekirdeği yağının varlığı, filmdeki aktif

bileşenlerin dağılımını ve stabilitesini olumlu yönde etkileyerek, filmlerin genel performansını artırmıştır.

Model gıda uygulamalarında üzüm çekirdeği yağı içeren filmlerin, minimal işlem görmüş rokaların 14 günlük raf ömrü boyunca kalitesinin korunmasında önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, özellikle gıda endüstrisinde, taze ürünlerin raf ömrünü uzatmaya yönelik sürdürülebilir ve etkili çözümler arayışında olan araştırmacılar ve üreticiler için büyük bir önem taşımaktadır. Üzüm çekirdeği yağı, doğal antioksidan özellikleri ile film yüzeyinde mikrobiyal gelişimi inhibe edebilmekte ve oksidatif bozulmayı azaltabilmektedir. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında üzüm çekirdeği yağı içeren TPS/PBAT/ÜÇY (Optimum) filmlerinin, ticari olarak yaygın şekilde kullanılan BOPP filmlerine kıyasla daha üstün performans gösterdiğini belirlenmiştir. BOPP filmleri, geleneksel olarak gıda ambalajlamasında kullanılan, üstün mekanik ve bariyer özelliklere sahip olan materyaller olarak bilinir. Ancak, üzüm çekirdeği yağı ile zenginleştirilmiş biyobazlı filmler, BOPP filmlerine kıyasla daha iyi bir koruma sağlamıştır. Bu üstün performans, özellikle minimal işlem görmüş roka örnekleri gibi hassas taze gıdaların raf ömrünün uzatılması için kritiktir. Üzüm çekirdeği yağı içeren filmler, rokanın tazeliğini ve besin değerini 14 gün boyunca etkin bir şekilde koruyarak, ürünlerin ticari değerini artırmakta ve israfı azaltmaktadır. Ayrıca yüksek antioksidan ve fenolik bileşik içeriği sayesinde rokanın renk, doku ve genel duyu kalitesini muhafaza etmektedir.

Sonuçlar filmlerin gıda endüstrisinde kullanım potansiyelinin altını çizmektedir. Üretimi gerçekleştirilen filmler yalnızca umut verici mekanik ve antioksidan özellikler sunmakla kalmamakta, aynı zamanda sürdürülebilir ve biyolojik bazlı ambalajlama çözümlerine yönelik artan talebe de uyum sağlamaktadır. Ayrıca çevresel etkiyi azaltarak gıdanın korunmasını ve güvenliğini artırmak için uygun bir yol sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar arasında özellikle üzüm çekirdeği yağı varlığında elde edilen biyobazlı filmlerin diğer filmlere göre üstün özellikler gösterdiği ve gelecek çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abubakar, I. R., Maniruzzaman, K. M., Dano, U. L., AlShihri, F. S., AlShammari, M. S., Ahmed, S. M. S., Al-Gehlani, W. A. G. and Alrawaf, T. I.,** 2022, Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12717p.
- Adams, H., Burlingame, G., Ikehata, K., Furation, L. and Suffet, I. H.,** 2022, The effect of pH on Taste and Odor Production and Control of Drinking Water, *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71(11), 1278-1290p.
- Agarwal, S.,** 2021, Major Factors Affecting the Characteristics of Starch Based Biopolymer Films, *European Polymer Journal*, 160, 110788p.
- Agassant, J. F., Demay, Y., Sollogoub, C. and Silagy, D.,** 2005, Cast Film Extrusion: An Overview of Experimental and Theoretical Approaches, *International Polymer Processing*, 20(2), 136-148p.
- Akyüz, A., Tekin, İ. and Ersus, S.,** 2022, Comparison of Different Methods in the Extraction of Phenolic Compounds from Bay Leaf (*Laurus nobilis* L.), *Journal of Apitherapy and Nature*, 5(1), 27-34p.
- Amaraweera, S. M., Gunathilake, C., Gunawardene, O. H., Fernando, N. M., Wanninayaka, D. B., Dassanayake, R. S., ... & Manipura, A.,** 2021, Development of Starch-Based Materials Using Current Modification Techniques and Their Applications: A Review, *Molecules*, 26(22), 6880p.
- Andrew, J. J. and Dhakal, H. N.,** 2022, Sustainable Biobased Composites for Advanced Applications: Recent Trends and Future Opportunities—A Critical Review, *Composites Part C: Open Access*, 7, 100220p.
- Apriyanto, A., Compart, J. and Fettke, J.,** 2022, A Review of Starch, a Unique Biopolymer—Structure, Metabolism and in Planta Modifications, *Plant Science*, 318, 111223p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Aslan, H. C. and Kaya, M. A.**, 2023, Production of Thermoplastic Starch for Polymer Blending and Determination of Morphological, Thermal, and Rheological Properties of Thermoplastic Starch/Polyethylene Blends, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(3), 1547-1560p.
- Averous, L.**, 2004, Biodegradable Multiphase Systems Based on Plasticized Starch: A Review, *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 44(3), 231-274p.
- Aversa, C. and Barletta, M.**, 2022, Addition of Thermoplastic Starch (TPS) To Binary Blends of Poly(Lactic Acid)(PLA) with Poly(Butylene Adipate-Co-Terephthalate)(PBAT): Extrusion Compounding, Cast Extrusion and Thermoforming of Home Compostable Materials, *Chinese Journal of Polymer Science*, 40(10), 1269-1286p.
- Ayana, B., Suin, S. and Khatua, B. B.**, 2014, Highly Exfoliated Eco-Friendly Thermoplastic Starch (TPS)/Poly (Lactic Acid)(PLA)/Clay Nanocomposites Using Unmodified Nanoclay. *Carbohydrate Polymers*, 110, 430-439p.
- Aydoğdu, R. B., Demirel, A. S., Çetin, M. Ş., Toprakçı, O. and Toprakçı, H. A. K.**, 2022, Koekstrüzyon Üretim Yöntemi ve Bazı Uygulamaları, <https://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/3553-koekstruezyon-ueretim-yoentemi-ve-baz-uygulamalar>, (Erişim Tarihi: 25.04.2024).
- Babaei, M., Jonoobi, M., Hamzeh, Y. and Ashori, A.**, 2015, Biodegradability And Mechanical Properties of Reinforced Starch Nanocomposites Using Cellulose Nanofibers, *Carbohydrate Polymers*, 132, 1-8p.
- Bail, S., Stuebiger, G., Krist, S., Unterweger, H. and Buchbauer, G.**, 2008, Characterisation of Various Grape Seed Oils by Volatile Compounds, Triacylglycerol Composition, Total Phenols and Antioxidant Capacity, *Food Chemistry*, 108(3), 1122-1132p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- BAM.**, 1998. Bacteriological Analytical Manuel FDA, 8th Ed., Revision A, AOAC Gaithersburg, MD 20877, USA.
- Bangar, S. P., Purewal, S. S., Trif, M., Maqsood, S., Kumar, M., Manjunatha, V. and Rusu, A. V.**, 2021, Functionality and Applicability of Starch-Based Films: An Eco-Friendly Approach. *Foods*, 10(9), 2181p.
- Barbosa-Pereira, L., Aurrekoetxea, G. P., Angulo, I., Paseiro-Losada, P. And Cruz, J. M.**, 2014, Development of New Active Packaging Films Coated with Natural Phenolic Compounds to Improve the Oxidative Stability of Beef. *Meat science*, 97(2), 249-254p.
- Bartolucci, L., Cordiner, S., De Maina, E., Kumar, G., Mele, P., Mulone, V., Igliński, B. and Piechota, G.**, 2023, Sustainable Valorization of Bioplastic Waste: A Review on Effective Recycling Routes for the Most Widely Used Biopolymers. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(9), 7696p.
- Bergthaller, W. and Hollmann, J.**, 2014, Starch Reference Module in Chemistry, *Molecular Sciences and Chemical Engineering*, 110-129p.
- Bett, K. L.**, 2002, Evaluating Sensory Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. Fresh-cut fruits and vegetables. Science, technology and market. Boca Raton, *Fla.: CRC Press*, 38-427p.
- Bodbodak, S. and Rafiee, Z.**, 2016, Recent Trends in Active Packaging in Fruits and Vegetables, In Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality, *Academic Press*, 77-125p.
- Boz, Z., Korhonen, V. and Koelsch Sand, C.**, 2020, Consumer Considerations for the Implementation of Sustainable Packaging: A Review, *Sustainability*, 12(6), 2192p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bumbudsanpharoke, N., Wongphan, P., Promhuad, K., Leelaphiwat, P. and Harnkarnsujarit, N.**, 2022, Morphology and Permeability of Bio-Based Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate)(PBAT), Poly (Butylene Succinate)(PBS) and Linear Low-Density Polyethylene (LLDPE) Blend Films Control Shelf-Life of Packaged Bread, *Food Control*, 132, 108541p.
- Bustamante-Torres, M., Romero-Fierro, D., Arcentales-Vera, B., Pardo, S. and Bucio, E.**, 2021, Interaction Between Filler and Polymeric Matrix in Nanocomposites: Magnetic Approach and Applications, *Polymers*, 13(17), 2998p.
- Canisag, H.**, 2015, Bio-crosslinking of starch films with oxidized sucrose, MSc Thesis, University of Nebraska, 73p.
- Cardoso, L. G., Santos, J. C. P., Camilloto, G. P., Miranda, A. L., Druzian, J. I. and Guimarães, A. G.**, 2017, Development of Active Films Poly (Butylene Adipate Co-Terephthalate)–PBAT Incorporated with Oregano Essential Oil and Application In Fish Fillet Preservation, *Industrial crops and products*, 108, 388-397p.
- Carneiro, O. (Ed.).**, 2012, Design of Extrusion Forming Tools, Smithers Rapra, 37-59p.
- Cemeroğlu, B.**, 2013, Gıda Analizleri, Bizim Grup Basımevi: Ankara, 480s.
- Cerruti, P., Santagata, G., d'Ayala, G. G., Ambrogi, V., Carfagna, C., Malinconico, M. and Persico, P.**, 2011, Effect of a Natural Polyphenolic Extract on the Properties of a Biodegradable Starch-Based Polymer, *Polymer Degradation and Stability*, 96(5), 839-846p.
- Chandak, A., Dhull, S. B., Punia Bangar, S. and Rusu, A. V.**, 2022, Effects of Cross-Linking on Physicochemical and Film Properties of Lotus (*Nelumbo nucifera* G.) Seed Starch, *Foods*, 11(19), 3069p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chang, C. J., Venkatesan, M., Cho, C. J., Chung, P. Y., Chandrasekar, J., Lee, C. H., Wang, H. T., Wong, C. M. and Kuo, C. C.,** 2022, Thermoplastic Starch with Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate) Blends Foamed by Supercritical Carbon Dioxide, *Polymers*, 14(10), 1952p.
- Chen, F. and Chi, C.,** 2021, Development of Pullulan/Carboxylated Cellulose Nanocrystal/Tea Polyphenol Bionanocomposite Films for Active Food Packaging, *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 405-413p.
- Cheng, J., Gao, R., Zhu, Y. and Lin, Q.,** 2024, Applications of Biodegradable Materials in Food Packaging: A Review, *Alexandria Engineering Journal*, 91, 70-83p.
- Chivrac, F., Pollet, E. and Avérous, L.,** 2009, Progress in Nano-Biocomposites Based on Polysaccharides and Nanoclays, *Materials Science & Engineering. R. Reports: A Review Journal*, 67(1), 1–17p.
- Corradini, P., Auriemma, F. And De Rosa, C.,** 2006, Crystals and Crystallinity in Polymeric Materials, *Accounts of chemical research*, 39(5), 314-323p.
- Czepiel, M., Bańkosz, M. and Sobczak-Kupiec, A.,** 2023, Advanced Injection Molding Methods, *Materials*, 16(17), 5802p.
- da Silva, T. B. V., Moreira, T. F. M., de Oliveira, A., Bilck, A. P., Gonçalves, O. H., Ferreira, I. C., Barros, L., Barreiro, M. F., Yamashita, F., Shirai, M. A. and Leimann, F. V.,** 2019(a), Araucaria Angustifolia (Bertol.) Kuntze Extract as a Source of Phenolic Compounds in TPS/PBAT Active Films, *Food & Function*, 10(12), 7697-7706p.
- da Silva, J. B. A., Santana, J. S., de Almeida Lucas, A., Passador, F. R., de Sousa Costa, L. A., Pereira, F. V. and Druzian, J. I.,** 2019(b), PBAT/TPS-Nanowhiskers Blends Preparation and Application as Food Packaging, *Journal of Applied Polymer Science*, 136(26), 47699p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- da Silva, N. M. C., Correia, P. R. C., Druzian, J. I., Fakhouri, F. M., Fialho, R. L. L. and de Albuquerque, E. C. M. C.**, 2017, PBAT/TPS Composite Films Reinforced with Starch Nanoparticles Produced by Ultrasound, *International Journal of Polymer Science*, 2017, 1-10p.
- Dai, L., Zhang, J. and Cheng, F.**, 2019, Effects of Starches From Different Botanical Sources and Modification Methods on Physicochemical Properties of Starch-Based Edible Films, *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 897-905p.
- Dammak, M., Fourati, Y., Tarrés, Q., Delgado-Aguilar, M., Mutjé, P. and Boufi, S.**, 2020, Blends of PBAT with Plasticized Starch for Packaging Applications: Mechanical Properties, Rheological Behaviour and Biodegradability, *Industrial Crops and Products*, 144, 112061p.
- Dang, K. M., Yoksan, R., Pollet, E. and Avérous, L.**, 2020, Morphology and Properties of Thermoplastic Starch Blended with Biodegradable Polyester and Filled with Halloysite Nanoclay, *Carbohydrate Polymers*, 116392p.
- Das, A., Ringu, T., Ghosh, S. and Pramanik, N.**, 2023, A Comprehensive Review on Recent Advances in Preparation, Physicochemical Characterization, and Bioengineering Applications Of Biopolymers, *Polymer Bulletin*, 80(7), 7247-7312p.
- de Matos Costa, A. R., Crocitti, A., Hecker de Carvalho, L., Carroccio, S. C., Cerruti, P. and Santagata, G.**, 2020, Properties of Biodegradable Films Based on Poly (Butylene Succinate)(PBS) and Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate)(PBAT) Blends, *Polymers*, 12(10), 2317p.
- Dejene, B. K. and Geletaw, T. M.**, 2024, Development of Fully Green Composites Utilizing Thermoplastic Starch and Cellulosic Fibers From Agro-Waste: A Critical Review, *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 63(5), 540-569p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dev, B., Rahman, A., Alam, R., Repon, R. and Nawab, Y.,** 2023, Mapping the Progress in Natural Fiber Reinforced Composites: Preparation, Mechanical Properties, and Applications, *Polymer Composites*, 44(7), 3748-3788p.
- Diyana, Z. N., Jumaidin, R., Selamat, M. Z., Ghazali, I., Julmohammad, N., Huda, N. and Ilyas, R. A.,** 2021, Physical Properties of Thermoplastic Starch Derived From Natural Resources and Its Blends: A Review, *Polymers*, 13(9), 1396p.
- Dutta, D. and Sit, N.,** 2022, Comparison of Properties of Films Prepared from Potato Starch Modified by Annealing and Heat–Moisture Treatment, *Starch-Stärke*, 74(11-12), 2200110p.
- Dybka-Stępień, K., Antolak, H., Kmiotek, M., Piechota, D. and Koziróg, A.,** 2021, Disposable Food Packaging and Serving Materials—Trends And Biodegradability, *Polymers*, 13(20), 3606p.
- Ebrahimi, P., Shokramraji, Z., Tavakkoli, S., Mihaylova, D. and Lante, A.,** 2023, Chlorophylls As Natural Bioactive Compounds Existing in Food By-Products: A Critical Review, *Plants*, 12(7), 1533p.
- Eslami, Z., Elkoun, S., Robert, M. and Adjallé, K.,** 2023, A Review of the Effect of Plasticizers on the Physical and Mechanical Properties of Alginate-Based Films, *Molecules*, 28(18), 6637p.
- Fadiji, T., Rashvand, M., Daramola, M. O. and Iwarere, S. A.,** 2023, A Review on Antimicrobial Packaging for Extending the Shelf Life of Food, *Processes*, 11(2), 590p.
- Fan, L. and Song, J.,** 2008, Microbial Quality Assessment Methods for Fresh-Cut Fruits and Vegetables, *Stewart Postharvest Review*, 4(3), 1-9p.
- FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division,** 2022, <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc9205en>, (Erişim Tarihi: 01.04.2024).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ferri, J. M., Garcia-Garcia, D., Sánchez-Nacher, L., Fenollar, O. and Balart, R.,** 2016, The Effect of Maleinized Linseed Oil (MLO) on Mechanical Performance of Poly (Lactic Acid)-Thermoplastic Starch (PLA-TPS) Blends, *Carbohydrate polymers*, 147, 60-68p.
- Fidelis, J. C. F., Monteiro, A. R. G., Scapim, M. R. S., Monteiro, C. C. F., Morais, D. R., Claus, T., Visentainer, J. V. and Yamashita, F.,** 2015, Development of an Active Biodegradable Film Containing Tocopherol and Avocado Peel Extract, *Italian Journal of Food Science*, 27(4), 468-475p.
- Floros, J. D. and Matsos, K. I.,** 2005, Introduction to Modified Atmosphere Packagin, *Innovations in food packaging*, Academic Press, 159-172p.
- Fourati, Y., Tarrés, Q., Mutjé, P. and Boufi, S.,** 2018, PBAT/Thermoplastic Starch Blends: Effect of Compatibilizers on the Rheological, Mechanical and Morphological Properties, *Carbohydrate polymers*, 199, 51-57p.
- Gamage, A., Thiviya, P., Mani, S., Ponnusamy, P. G., Manamperi, A., Evon, P., Merah, O. and Madhujith, T.,** 2022, Environmental Properties and Applications of Biodegradable Starch-Based Nanocomposites, *Polymers*, 14(21), 4578p.
- Gao, C., Yu, L., Liu, H. and Chen, L.,** 2012, Development of Self-Reinforced Polymer Composites, *Progress in Polymer Science*, 37(6), 767-780p.
- Gao, Y., Guo, X., Liu, Y., Fang, Z., Zhang, M., Zhang, R., You, L., Li, T. And Liu, R. H.,** 2018, A Full Utilization of Rice Husk to Evaluate Phytochemical Bioactivities and Prepare Cellulose Nanocrystals, *Scientific Reports*, 8(1), 10482p.
- Giannakourou, M. C. and Tsironi, T. N.,** 2021, Application of Processing and Packaging Hurdles for Fresh-Cut Fruits and Vegetables Preservation, *Foods*, 10(4), 830p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Golachowski, A., Zięba, T., Kapelko-Żeberska, M., Drożdż, W., Gryszkin, A. and Grzechac, M.**, 2015, Current Research Addressing Starch Acetylation. *Food chemistry*, 176, 350-356p.
- Graciano-Verdugo, A. Z., Soto-Valdez, H., Peralta, E., Cruz-Zárate, P., Islas-Rubio, A. R., Sánchez-Valdes, S., Sánchez-Escalante, A., González-Méndez, N. and González-Ríos, H.**, 2010, Migration of A-Tocopherol From LDPE Films to Corn Oil and Its Effect on the Oxidative Stability, *Food research international*, 43(4), 1073-1078p.
- Grehan, L., Killion, J. A., Devine, D. M., Kenny, E. K., Devery, S., Higginbotham, C. L. and Geever, L. M.**, 2014, The Development of Hot Melt Extruded Biocompatible Controlled Release Drug Delivery Devices, *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 63(9), 476-485p.
- Gui, H., Zhao, M., Zhang, S., Yin, R., Hu, C., Fan, M. and Li, L.**, 2022, Active Antioxidant Packaging from Essential Oils Incorporated Polylactic Acid/Poly (butylene adipate-co-terephthalate)/Thermoplastic Starch for Preserving Straw Mushroom, *Foods*, 11(15), 2252p.
- Gunning, M. A., Geever, L. M., Killion, J. A., Lyons, J. G. and Higginbotham, C. L.**, 2014, Melt Processing of Bioplastic Composites Via Twin Screw Extrusion And Injection Molding, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 53(4), 379-386p.
- Gupta, V., Biswas, D. and Roy, S.**, 2022, A Comprehensive Review of Biodegradable Polymer-Based Films and Coatings and Their Food Packaging Applications, *Materials*, 15(17), 5899p.
- Gurunathan, T., Mohanty, S. and Nayak, S. K.**, 2015, A Review of The Recent Developments in Biocomposites Based on Natural Fibres and Their Application Perspectives, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 77, 1-25p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hamamcı, B., Çiftçi, M. and Aktaş, T.,** 2018, Yeşil Kompozitlerde Biyopolimerlerin Kullanımının Önemi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 12-24s.
- Haque, M. M. U.,** 2021, Property Improvements of Wood and Wood-Plastic Composites. *Wood Polymer Composites: Recent Advancements and Applications*, 67-92p.
- He, X., Zhang, F., Li, C., Ding, W., Jin, Y., Tang, L. and Huang, R.,** 2024, Effect of Starch Plasticization on Morphological, Mechanical, Crystalline, Thermal, and Optical Behavior of Poly (butylene adipate-co-terephthalate)/Thermoplastic Starch Composite Films, *Polymers*, 16(3), 326p.
- Hii, S. L., Tan, J. S., Ling, T. C. and Ariff, A. B.,** 2012, Pullulanase: Role in Starch Hydrolysis and Potential Industrial Applications, *Enzyme research*, 1-14p.
- Hossain, M. T., Shahid, M. A., Akter, S., Ferdous, J., Afroz, K., Refat, K. R. I. and Samad, M. A. B.,** 2024, Cellulose and Starch-Based Bioplastics: A Review of Advances and Challenges for Sustainability, *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 1-21p.
- Hu, G. H. and Lambla, M.,** 2006, Fundamentals of Reactive Extrusion: An Overview, *Materials Science and Technology*.
- Huang, J., Wang, Z., Fan, L. and Ma, S.,** 2022(a), A Review of Wheat Starch Analyses: Methods, Techniques, Structure and Function, *International Journal of Biological Macromolecules*, 203, 130-142p.
- Huang, X., Liu, H., Ma, Y., Mai, S. and Li, C.,** 2022(b), Effects of Extrusion on Starch Molecular Degradation, Order–Disorder Structural Transition and Digestibility—A Review, *Foods*, 11(16), 2538p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Idumah, C. I. and Obele, C. M.**, 2021, Understanding Interfacial Influence On Properties of Polymer Nanocomposites, *Surfaces and Interfaces*, 22, 100879p.
- Inkson, B. J.**, 2016, Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization, In *Materials characterization using nondestructive evaluation (NDE) methods*, Woodhead publishing, 17-43p.
- Ivanič, F., Kováčová, M. and Chodak, I.**, 2019, The Effect of Plasticizer Selection on Properties of Blends Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate) with Thermoplastic Starch, *European Polymer Journal*, 116, 99-105p.
- İncedayı, B.**, 2009, Farklı Uygulamaların Minimal İşlem Görmüş (Fresh-Cut) Bazı Sebzelerin Kalitesi Uzerine Etkileri (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Janghu, S., Kumar, V. and Yadav, A. K.**, 2024, Post-Harvest Management of Fruits and Vegetables.
- Janssen, L. and Moscicki, L. (Eds.)**, 2009, Thermoplastic starch: a green material for various industries. John Wiley & Sons.
- Jesrani, H.**, 2015, <https://medium.com/@hpjesrani/compression-molding-639f826ef1da>, (Erişim Tarihi: 15.04.2024).
- Jesson, D. A. and Watts, J. F.**, 2012, The Interface and Interphase in Polymer Matrix Composites: Effect on Mechanical Properties and Methods For Identification, *Polymer Reviews*, 52(3), 321-354p.
- Jiang, T., Duan, Q., Zhu, J., Liu, H. and Yu, L.**, 2020, Starch-Based Biodegradable Materials: Challenges and Opportunities, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(1), 8-18p.
- Jin, F. L., Zhao, M., Park, M. and Park, S. J.**, 2019, Recent Trends of Foaming in Polymer Processing: A Review, *Polymers*, 11(6), 953p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jinnai, H.**, 2022, Electron Microscopy For Polymer Structures, *Microscopy*, 71(Supplement_1), 148-164p.
- Johnson, L. A., Hardy, C. L., Baumel, C. P. and White, P. J.**, 2001, Identifying Valuable Corn Quality Traits for Starch Production, *Cereal Foods World*, 46(9), 417-423p.
- Jomova, K., Raptova, R., Alomar, S. Y., Alwasel, S. H., Nepovimova, E., Kuca, K. and Valko, M.**, 2023, Reactive Oxygen Species, Toxicity, Oxidative Stress, and Antioxidants: Chronic Diseases And Aging, *Archives of toxicology*, 97(10), 2499-2574p.
- Kamarudin, S. H., Mohd Basri, M. S., Rayung, M., Abu, F., Ahmad, S. B., Norizan, M. N., Osman, S., Sarifuddin, N., Desa, M. S. Z. M., Abdullah, U. H., Tawakkal, I. S. M. A. and Abdullah, L. C.**, 2022, A Review On Natural Fiber Reinforced Polymer Composites (NFRPC) For Sustainable Industrial Applications, *Polymers*, 14(17), 3698p.
- Kanwal, A., Zhang, M., Sharaf, F. and Li, C.**, 2022, Polymer Pollution and Its Solutions with Special Emphasis on Poly (Butylene Adipate Terephthalate (PBAT)). *Polymer Bulletin*, 1-28p.
- Karakuş, E. ve Ayhan, Z.**, 2019, Gıda Atıklarından Çevre Dostu Biyobozunur Ambalaj Malzemesi Üretimi, *Gıda*, 44(6), 1008-1019p.
- Karakuş, K. ve Mengeloğlu, F.**, 2015, Termoplastik Nişasta Esaslı Polimer-Kompozit Köpük Üretimi, *Kastamonu University Journal Of Forestry Faculty*, 15(2), 252-260p.
- Kargwal, R., Garg, M. K., Singh, V. K., Garg, R. and Kumar, N.**, 2020, Principles of Modified Atmosphere Packaging For Shelf Life Extension of Fruits and Vegetables: An Overview of Storage Conditions, *IJCS*, 8(3), 2245-2252p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kılınç, M., Tomar, O. ve Çağlar, A.**, 2017, Biyobozunur gıda ambalaj malzemeleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(3), 988-996s.
- Kibria, M. G., Masuk, N. I., Safayet, R., Nguyen, H. Q. and Mourshed, M.**, 2023, Plastic Waste: Challenges and Opportunities to Mitigate Pollution and Effective Management, *International Journal of Environmental Research*, 17(1), 20p.
- Kim, S., Yang, S. Y., Chun, H. H. and Song, K. B.**, 2018, High Hydrostatic Pressure Processing For The Preparation of Buckwheat and Tapioca Starch Films, *Food Hydrocolloids*, 81, 71-76p.
- Kinikar, R. and Kuchekar, A.**, 2022, Recent Advances in Hot Melt Extrusion and its Applications, *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, 42(1), 31-45p.
- Koukounaras, A., Siomos, A. S. and Sfakiotakis, E.**, 2009, Impact of Heat Treatment on Ethylene Production and Yellowing of Modified Atmosphere Packaged Rocket Leaves, *Postharvest Biology and Technology*, 54(3), 172-176p.
- Kramer, M. E.**, 2009, Structure and Function of Starch-Based Edible Films and Coatings, In *Edible Films And Coatings For Food Applications*, Springer, New York, NY, 113-134p.
- Lafleur, P. G., and Vergnes, B. (Eds.)**, 2014, *Polymer extrusion*. John Wiley & Sons.
- Lai, W. F.**, 2021, Design of Polymeric Films For Antioxidant Active Food Packaging, *International Journal of Molecular Sciences*, 23(1), 12p.
- Lapomarda, A., De Acutis, A., De Maria, C. and Vozzi, G.**, 2021, Pectin-Based Scaffolds For Tissue Engineering Applications. In *Pectins-The New-Old Polysaccharides*. IntechOpen.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Le, X. H. and Millar, A. H.**, 2023, The Diversity of Substrates For Plant Respiration and How To Optimize Their Use, *Plant Physiology*, 191(4), 2133-2149p.
- Leelaphiwat, P., Pechprankan, C., Siripho, P., Bumbudsanpharoke, N. and Harnkarnsujarit, N.**, 2022, Effects of Nisin and EDTA on Morphology and Properties of Thermoplastic Starch and PBAT Biodegradable Films For Meat Packaging, *Food Chemistry*, 369, 130956p.
- Li, T. T., Feng, L. F., Gu, X. P., Zhang, C. L., Wang, P. and Hu, G. H.**, 2021, Intensification of Polymerization Processes by Reactive Extrusion, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(7), 2791-2806p.
- Lindström, T. and Österberg, F.**, 2020, Evolution of Biobased and Nanotechnology Packaging—A Review, *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 35(4), 491-515p.
- Liu, D., Zhang, C., Pu, Y., Chen, S., Liu, L., Cui, Z. and Zhong, Y.**, 2022, Recent Advances in Ph-Responsive Freshness Indicators Using Natural Food Colorants to Monitor Food Freshness, *Foods*, 11(13), 1884p.
- Liu, P., Sun, S., Hou, H. and Dong, H.**, 2016, Effects of Fatty Acids with Different Degree of Unsaturation on Properties of Sweet Potato Starch-Based Films, *Food Hydrocolloids*, 61, 351-357p.
- Løkke, M. M., Seefeldt, H. F. and Edelenbos, M.**, 2012, Freshness and Sensory Quality of Packaged Wild Rocket, *Postharvest Biology and Technology*, 73, 99-106p.
- Lourenço, S. C., Moldão-Martins, M. and Alves, V. D.**, 2019, Antioxidants of Natural Plant Origins: From Sources to Food Industry Applications, *Molecules*, 24(22), 4132p.
- Luzi, F., Torre, L., Kenny, J. M. and Puglia, D.**, 2019, Bio-And Fossil-Based Polymeric Blends and Nanocomposites for Packaging: Structure–Property Relationship, *Materials*, 12(3), 471p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lyons, J. G., Hallinan, M., Kennedy, J. E., Devine, D. M., Geever, L. M., Blackie, P. and Higginbotham, C. L.,** 2007, Preparation of Monolithic Matrices for Oral Drug Delivery Using A Supercritical Fluid Assisted Hot Melt Extrusion Process, *International Journal of Pharmaceutics*, 329(1-2), 62-71p.
- Mangaraj, S., Yadav, A., Bal, L. M., Dash, S. K. and Mahanti, N. K.,** 2019, Application of Biodegradable Polymers in Food Packaging Industry: A Comprehensive Review, *Journal of Packaging Technology and Research*, 3, 77-96p.
- Marinho, V. A., Pereira, C. A., Vitorino, M. B., Silva, A. S., Carvalho, L. H. and Canedo, E. L.,** 2017, Degradation and Recovery in Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate)/Thermoplastic Starch Blends, *Polymer Testing*, 58, 166-172p.
- Martin, C.,** 2016, Twin Screw Extruders as Continuous Mixers for Thermal Processing: A Technical and Historical Perspective, *Aaps Pharmscitech*, 17(1), 3-19p.
- Martinez, L. M., Rando, B., Agante, L. and Abreu, A. M.,** 2021, True Colors: Consumers' Packaging Choices Depend on The Color of Retail Environment, *Journal of Retailing and Consumer Services*, 59, 102372p.
- Martins, C., Vilarinho, F., Silva, A. S., Andrade, M., Machado, A. V., Castilho, M. C., Sá, A., Cunha, A., Vaz, M. F. and Ramos, F.,** 2018, Active Polylactic Acid Film Incorporated with Green Tea Extract: Development, Characterization and Effectiveness, *Industrial Crops and Products*, 123, 100-110p.
- Matila,** 2024, "Blown Film Extrusion" <https://www.matilataiwan.com/en/product-categories/blown-film-machine> , (Erişim Tarihi: 25.04.2024).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mehboob, S., Ali, T. M., Sheikh, M. and Hasnain, A.,** 2020, Effects of Cross Linking and/or Acetylation on Sorghum Starch and Film Characteristics, *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 786-794p.
- Melikoğlu, A. Y., Hayatioğlu, N., Hendekçi, M. C., Tekin, İ. and Ersus, S.,** 2022, Development and Characterization of Edible Films Based on Carboxymethyl Cellulose Enriched with Pomegranate Seed Oil and The Coating of Strawberries, *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7), e16607p.
- Melikoğlu, A. Y., Tekin, İ., Hayatioğlu, N. and Ersus, S.,** 2023, Development of Environmentally Friendly Composite Packaging Films From Safflower (*Carthamus Tinctorius* L.) Plant Wastes, *Food Bioscience*, 55, 102991p.
- Mohanty, S. and Nayak, S. K.,** 2009, Starch Based Biodegradable PBAT Nanocomposites: Effect of Starch Modification on Mechanical, Thermal, Morphological and Biodegradability Behavior, *International Journal of Plastics Technology*, 13(2), 163-185p.
- Mokhena, T. C., Sefadi, J. S., Sadiku, E. R., John, M. J., Mochane, M. J. and Mtibe, A.,** 2018, Thermoplastic Processing Of PLA/Cellulose Nanomaterials Composites, *Polymers*, 10(12), 1363p.
- Moshood, T. D., Nawanir, G., Mahmud, F., Mohamad, F., Ahmad, M. H. and AbdulGhani, A.,** 2022(a), Sustainability of Biodegradable Plastics: New Problem or Solution to Solve The Global Plastic Pollution, *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 100273p.
- Moshood, T. D., Nawanir, G. and Mahmud, F.,** 2022(b), Sustainability of Biodegradable Plastics: A Review on Social, Economic, and Environmental Factors, *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(6), 892-912p.
- Muñoz-Gimena, P. F., Oliver-Cuenca, V., Peponi, L. and López, D.,** 2023, A Review on Reinforcements and Additives in Starch-Based Composites For Food Packaging, *Polymers*, 15(13), 2972p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mücke, N., da Silva, T. B. V., de Oliveira, A., Moreira, T. F. M., Venancio, C. D. S., Marques, L. L. M., Valderrama, P., Gonçalves O. H., da Silva-Buzanello, R. A., Yamashita, F., Shirai, M. A., Genena, A. K. and Leimann, F. V.,** 2021, Use of Water-Soluble Curcumin in TPS/PBAT Packaging Material: Interference On Reactive Extrusion And Oxidative Stability of Chia Oil, *Food and Bioprocess Technology*, 14(3), 471-482p.
- Neelam, K., Vijay, S. and Lalit, S.,** 2012, Various Techniques for the Modification of Starch and the Applications of Its Derivatives, *International Research Journal of Pharmacy*, 3(5), 25-31p.
- Nguyen, D. M., Do, T. V. V., Grillet, A. C., Thuc, H. H. and Thuc, C. N. H.,** 2016, Biodegradability of Polymer Film Based on Low Density Polyethylene and Cassava Starch, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 115, 257-265p.
- Nunes, M. A., Marinho, V. A., Falcão, G. A., Canedo, E. L., Bardi, M. A. and Carvalho, L. H.,** 2018, Rheological, Mechanical and Morphological Properties of Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate)/Thermoplastic Starch Blends And Its Biocomposite with Babassu Mesocarp, *Polymer Testing*, 70, 281-288p.
- Nwabueze, T. U. and Iwe, M. O.,** 2007, Energy Consumption In Single-Screw Extrusion Processing Of Full Fat African Breadfruit (*Treculia Africana*) Blends, *Journal of Food Process Engineering*, 30(3), 375-392p.
- Onoğur Altuğ, T. ve Elmacı, Y.,** 2011, Gıdalarda Duyusal Değerlendirme. Sidas Medya, İzmir.
- Ormanli, E., Bayraktar, O., Şahar, U., Tavman, S. and Kumcuoglu, S.,** 2023, Development And Characterization of Films Based on Okra Polysaccharides and Whey Protein Isolate, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 264-277p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Othman, S. A. and Fadzil, N. F.**, 2021, Implementation of Nanofiller for Bioplastic Reinforcement: A Review, *International Journal of Advanced Research in Technology and Innovation*, 3(2), 19-27p.
- Özkan, G. and Bilek, S. E.**, 2015, Enzyme-Assisted Extraction of Stabilized Chlorophyll From Spinach, *Food chemistry*, 176, 152-157p.
- Paluch, M., Ostrowska, J., Tyński, P., Sadurski, W. and Konkol, M.**, 2022, Structural and Thermal Properties of Starch Plasticized with Glycerol/Urea Mixture, *Journal of Polymers and the Environment*, 1-13p.
- Paulo, A. F. S., Balan, G. C., Ströher, G. R., Yamashita, F., Bittencourt, P. R. S., Sakanaka, L. S., Katsuda, M. S. and Shirai, M. A.**, 2021, Influence of Free and Microencapsulated Oregano Oil on Starch and Poly (Butylene Co-Terephthalate Adipate) Active Film Properties, *Polymer Bulletin*, 1-19p.
- Phiri, R., Rangappa, S. M., Siengchin, S., Oladijo, O. P. and Dhakal, H. N.**, 2023, Development of Sustainable Biopolymer-Based Composites for Lightweight Applications From Agricultural Waste Biomass: A Review, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 436-450p.
- Phothisarattana, D., Wongphan, P., Promhuad, K., Promsorn, J. and Harnkarnsujarit, N.**, 2022, Blown Film Extrusion of PBAT/TPS/ZnO Nanocomposites For Shelf-Life Extension of Meat Packaging, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 214, 112472p.
- Piagentini, A. M., Mendez, J. C., Guemes, D. R. and Pirovani, M. E.**, 2005, Modeling Changes of Sensory Attributes for Individual and Mixed Fresh-Cut Leafy Vegetables, *Postharvest Biology and Technology*, 38(3), 202-212p.
- Piagentini, A.M. and Güemes, D.R.**, 2002, Shelf Life Of Fresh-Cut Spinach As Affected By Chemical Treatment and Type of Packaging Film, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 19(04),383-389p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Piñeros-Hernandez, D., Medina-Jaramillo, C., López-Córdoba, A. and Goyanes, S.**, 2017, Edible Cassava Starch Films Carrying Rosemary Antioxidant Extracts For Potential Use As Active Food Packaging, *Food hydrocolloids*, 63, 488-495p.
- Ponnusamy, P. G. and Mani, S.**, 2022, Material and Environmental Properties of Natural Polymers and Their Composites For Packaging Applications—A Review, *Polymers*, 14(19), 4033p.
- Popelka, A., Zavahir, S. and Habib, S.**, 2020, Morphology Analysis. In *Polymer science and innovative applications*, Elsevier, 21-68p.
- Qian, M., Liu, D., Zhang, X., Yin, Z., Ismail, B. B., Ye, X. and Guo, M.**, 2021, A Review of Active Packaging in Bakery Products: Applications and Future Trends, *Trends in Food Science & Technology*, 114, 459-471p.
- Rahardiyan, D., Moko, E. M., Shun, T. J. and Keong, L. C.**, 2023, Thermoplastic Starch (TPS) Bioplastic, The Green Solution For Single-Use Petroleum Plastic Food Packaging—A Review, *Enzyme and Microbial Technology*, 110260p.
- Raj, V. A., Sankar, K., Narayanasamy, P., Moorthy, I. G., Sivakumar, N., Rajaram, S. K., Karuppiah, P., Shaik, M. R., Alwarthan, A., Oh, T. H. and Shaik, B.**, 2023, Development and Characterization of Bio-Based Composite Films for Food Packing Applications Using Boiled Rice Water and Pistacia vera Shells, *Polymers*, 15(16), 3456p.
- Ramírez-Centeno, S., Marcos-Fernández, A., Aparicio-Saguilán, A., Navarro-Crespo, R., Báez-García, J. E., Páramo-Calderón, D. E. and Ramírez-Hernández, A.**, 2020, Modified Starch With Bis (2-Hydroxyethyl) Terephthalate: Synthesis, Characterization and Elaboration of Films, *Journal of Polymer Research*, 27(9), 1-12p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Raquez, J. M., Narayan, R. and Dubois, P.,** 2008, Recent Advances in Reactive Extrusion Processing of Biodegradable Polymer-Based Compositions, *Macromolecular Materials and Engineering*, 293(6), 447-470p.
- Rathner, R., Leimhofer, C., Roland, W., Hammer, A., Löw-Baselli, B., Steinbichler, G. and Hild, S.,** 2022,. Improving Layer Adhesion of Co-Extruded Polymer Sheets by Inducing Interfacial Flow Instabilities, *Polymers*, 14(3), 587p.
- Ren, L., Fu, Y., Chang, Y., Jiang, M., Tong, J. and Zhou, J.,** 2017, Performance Improvement of Starch Films Reinforced With Starch Nanocrystals (SnCs) Modified by Cross-Linking, *Starch-Stärke*, 69(1-2), 1600025p.
- Rhim, J. W. and Wang, L. F.,** 2014, Preparation and Characterization Of Carrageenan-Based Nanocomposite Films Reinforced with Clay Mineral And Silver Nanoparticles, *Applied Clay Science*, 97, 174-181p.
- Rivadeneira-Velasco, K. E., Utreras-Silva, C. A., Díaz-Barrios, A., Sommer-Márquez, A. E., Tafur, J. P. and Michell, R. M.,** 2021, Green Nanocomposites Based on Thermoplastic Starch: A Review, *Polymers*, 13, 3227p.
- Rodsamran, P. and Sothornvit, R.,** 2015. Renewable Cellulose Source: Isolation and Characterisation of Cellulose From Rice Stubble Residues, *International Journal of Food Science and Technology*, 50:1953-1959p.
- Romano, R., Pizzolongo, F., De Luca, L., Cozzolino, E., Rippa, M., Ottaiano, L. Mormile, P., Mori, M. and Di Mola, I.,** 2022, Bioactive Compounds and Antioxidant Properties of Wild Rocket (*Diplotaxis Tenuifolia* L.) Grown under Different Plastic Films and with Different UV-B Radiation Postharvest Treatments, *Foods*, 11(24), 4093p.
- Roy, S., Ghosh, T., Zhang, W. and Rhim, J. W.,** 2024, Recent Progress in PBAT-Based Films and Food Packaging Applications: A Mini-Review, *Food Chemistry*, 437, 137822p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rydz, J., Šišková, A. and Andicsová Eckstein, A.**, 2019, Scanning Electron Microscopy and Atomic Force Microscopy: Topographic and Dynamical Surface Studies of Blends, Composites, and Hybrid Functional Materials For Sustainable Future, *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-16p.
- Saberi, A., Kouhjani, M., Yari, D., Jahani, A., Asare-Addo, K., Kamali, H. and Nokhodchi, A.**, 2023, Development, Recent Advances, and Updates In Binary, Ternary Co-Amorphous Systems, and Ternary Solid Dispersions, *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 104746p.
- Samsudin, H. and Hani, N. M.**, 2017, Use Of Starch in Food Packaging. In Starch-Based Materials in Food Packaging, Academic Press, 229-256p.
- Schäfer, C., Meyer, S. P. and Osswald, T. A.**, 2018, A Novel Extrusion Process For The Production of Polymer Micropellets, *Polymer Engineering & Science*, 58(12), 2264-2275p.
- Semerci, A. İ.**, 2021, Ekstrüder Vidaları İçin Krom Oksit Esaslı Fleksikord Alev Sprey Kaplamalarının Üretimi ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi), 67s.
- Seydibeyoğlu, M. Ö., Dogru, A., Wang, J., Rencheck, M., Han, Y., Wang, L., Seydibeyoğlu, E. A., Zhao, X., Ong, K., Shatkin, J. A., Es-haghi, S. S., Bhandari, S., Ozcan, S. & Gardner, D. J.**, 2023, Review on Hybrid Reinforced Polymer Matrix Composites With Nanocellulose, Nanomaterials, and Other Fibers, *Polymers*, 15(4), 984p.
- Shaikh, S., Yaqoob, M. and Aggarwal, P.**, 2021, An Overview of Biodegradable Packaging in Food Industry, *Current Research in Food Science*, 4, 503-520p.
- Shakeel, Q., Shaheen, M. R., Ali, S., Ahmad, A., Raheel, M. and Bajwa, R. T.**, 2022, Postharvest Management of Fruits and Vegetables. In *Applications of Biosurfactant in Agriculture*, Academic Press, 1-16p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shi, M., Gu, J., Wu, H., Rauf, A., Emran, T. B., Khan, Z., Mitra, S., Aljohani, A. S. M., Alhumaydhi, F. A., Al-Awthan, Y., Bahattab, O., Thiruvengadam, M. and Suleria, H. A., 2022,** Phytochemicals, Nutrition, Metabolism, Bioavailability, and Health Benefits in Lettuce—A Comprehensive Review, *Antioxidants*, 11(6), 1158p.
- Shrestha, P., 2023.** <https://microbenotes.com/starch/>, (Erişim Tarihi: 01.04.2024).
- Siddiqui, S. A., Yang, X., Deshmukh, R. K., Gaikwad, K. K., Bahmid, N. A. and Castro-Muñoz, R., 2024,** Recent Advances in Reinforced Bioplastics For Food Packaging—A Critical Review, *International Journal of Biological Macromolecules*, 130399p.
- Simco-Ion, 2024,** “Cast Film Extrusion”, <https://www.simco-ion.co.uk/industry-solutions/plastics-industry/cast-film-extrusion/> , (Erişim Tarihi: 25.04.2024).
- Sindhu, R. and Khatkar, B. S., 2007,** Development of Edible Films From Native and Modified Starches of Common Buckwheat, *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 5(3), 9-12p.
- Singh, A. K., Kim, J. Y. and Lee, Y. S., 2022,** Phenolic Compounds in Active Packaging and Edible Films/Coatings: Natural Bioactive Molecules and Novel Packaging Ingredients, *Molecules*, 27(21), 7513p.
- Singh, B., Rachna, Hussain, S. Z. and Sharma, S., 2015,** Response Surface Analysis and Process Optimization of Twin Screw Extrusion Cooking of Potato-Based Snacks, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(3), 270-281p.
- Siroha, A. K., Bangar, S. P., Sandhu, K. S., Lorenzo, J. M. and Trif, M., 2022,** Octenyl Succinic Anhydride Modified Pearl Millet Starches: An Approach for Development of Films/Coatings, *Polymers*, 14(12), 2478p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Srivastava, V., Singh, S. and Das, D.**, 2023, Rice Husk Fiber-Reinforced Starch Antimicrobial Biocomposite Film For Active Food Packaging, *Journal of Cleaner Production*, 421, 138525p.
- Statista**, 2024, <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>, (Erişim Tarihi: 01.04.2024)
- Su, B., Xie, F., Li, M., Corrigan, P. A., Yu, L., Li, X. and Chen, L.**, 2009, Extrusion Processing of Starch Film. *International Journal of Food Engineering*, 5(1).
- Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T. and Upadhyay, A.**, 2020, Film Formation and Deposition Methods of Edible Coating on Food Products: A Review, *Food Research International*, 136, 109582p.
- Sun, D., Wu, S., Li, X., Ge, B., Zhou, C., Yan, X., Ruan, R. and Cheng, P.**, 2024, The Structure, Functions and Potential Medicinal Effects of Chlorophylls Derived from Microalgae, *Marine Drugs*, 22(2), 65p.
- Surendren, A., Mohanty, A. K., Liu, Q. and Misra, M.**, 2022, A Review of Biodegradable Thermoplastic Starches, Their Blends and Composites: Recent Developments and Opportunities For Single-Use Plastic Packaging Alternatives, *Green Chemistry*, 24(22), 8606-8636p.
- Sykacek, E., Hrabalova, M., Frech, H. and Mundigler, N.**, 2009, Extrusion of Five Biopolymers Reinforced With Increasing Wood Flour Concentration on A Production Machine, Injection Moulding and Mechanical Performance, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(8), 1272-1282p.
- Szewczyk, K., Chojnacka, A. and Górnicka, M.**, 2021, Tocopherols and Tocotrienols—Bioactive Dietary Compounds; What is Certain, What is Doubt, *International journal of molecular sciences*, 22(12), 6222p.
- Tadmor, Z. and Gogos, C. G.**, 2013, *Principles of polymer processing*. John Wiley & Sons.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tanetrungroj, Y. and Prachayawarakorn, J.**, 2018, Effect of Dual Modification on Properties of Biodegradable Crosslinked-Oxidized Starch and Oxidized-Crosslinked Starch Films, *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 1240-1246p.
- Tekin, I. and Ersus, S.**, 2021, Electrically Assisted Ionic Gelling Encapsulation of Enzymatically Extracted Zinc-Chlorophyll Derivatives From Stinging Nettle (*Urtica urens* L.), *Journal of Food Process Engineering*, 44(7), e13743p.
- Thomas, J.**, 2020, A Methodological Outlook on Bioplastics From Renewable Resources, *Open Journal of Polymer Chemistry*, 10(2), 21-47p.
- Thunwall, M., Kuthanova, V., Boldizar, A. and Rigdahl, M.**, 2008, Film Blowing of Thermoplastic Starch, *Carbohydrate Polymers*, 71(4), 583-590p.
- Tiveron, A. P., Melo, P. S., Bergamaschi, K. B., Vieira, T. M., Regitano-d'Arce, M. A. and Alencar, S. M.**, 2012, Antioxidant Activity of Brazilian Vegetables and its Relation With Phenolic Composition, *International Journal of Molecular Sciences*, 13(7), 8943-8957p.
- Torales, A. C., Gutiérrez, D. R. and Rodríguez, S. D. C.**, 2020, Influence of Passive and Active Modified Atmosphere Packaging on Yellowing And Chlorophyll Degrading Enzymes Activity in Fresh-Cut Rocket Leaves, *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100569p.
- Tuntiworadet, T. and Yoksan, R.**, 2023, Property Improvement of A Thermoplastic Starch/Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate) Blown Film By The Addition of Sodium Nitrite, *International Journal of Biological Macromolecules*, 242, 124991p.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu,** 2022, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2022-45504>, (Erişim Tarihi: 01.04.2024).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Uglov, A., Nikolaev, S., Belov, S., Padalitsa, D., Greenkina, T., Biagio, M. S. and Cacciatori, F. M.**, 2022, Surrogate Modeling For Injection Molding Processes Using Deep Learning, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 65(11), 305p.
- Utracki, L. A.**, 2003, Introduction to Polymer Blends. *Polymer blends handbook*, 1.
- Valente, M., Rossitti, I. and Sambucci, M.**, 2023, Different Production Processes For Thermoplastic Composite Materials: Sustainability Versus Mechanical Properties and Processes Parameter, *Polymers*, 15(1), 242p.
- Vasile, C. and Baican, M.**, 2021, Progresses in Food Packaging, Food Quality, And Safety—Controlled-Release Antioxidant and/or Antimicrobial Packagin, *Molecules*, 26(5), 1263p.
- Venkatesan, R., Alagumalai, K. and Kim, S. C.**, 2023, Preparation and Performance of Biodegradable Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate) Composites Reinforced With Novel AgSNO₂ Microparticles For Application in Food Packaging, *Polymers*, 15(3), 554p.
- Versino, F., Lopez, O. V., Garcia, M. A. and Zaritzky, N. E.**, 2016, Starch-Based Films and Food Coatings: An Overview, *Starch-Stärke*, 68(11-12), 1026-1037p.
- Versino, F., Ortega, F., Monroy, Y., Rivero, S., López, O. V. and García, M. A.**, 2023, Sustainable and Bio-Based Food Packaging: A Review On Past and Current Design Innovations, *Foods*, 12(5), 1057p.
- Vieyra, H., Molina-Romero, J. M., Calderón-Nájera, J. D. D. and Santana-Díaz, A.**, 2022, Engineering, Recyclable, and Biodegradable Plastics in The Automotive Industry: A Review, *Polymers*, 14(16), 3412p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Vynckier, A. K., Dierickx, L., Voorspoels, J., Gonnissen, Y., Remon, J. P. and Vervaet, C.**, 2014, Hot-Melt Co-Extrusion: Requirements, Challenges and Opportunities For Pharmaceutical Applications, *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 66(2), 167-179p.
- Wangprasertkul, J., Siri wattanapong, R. and Harnkarnsujarit, N.**, 2021, Antifungal Packaging of Sorbate and Benzoate Incorporated Biodegradable Films For Fresh Noodles, *Food Control*, 123, 107763p.
- Wei, D., Wang, H., Xiao, H., Zheng, A. and Yang, Y.**, 2015, Morphology and Mechanical Properties of Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate)/Potato Starch Blends in The Presence of Synthesized Reactive Compatibilizer or Modified Poly (Butylene Adipate-Co-Terephthalate), *Carbohydrate Polymers*, 123, 275-282p.
- Xu, D. P., Li, Y., Meng, X., Zhou, T., Zhou, Y., Zheng, J., Zhang, J. J. and Li, H. B.**, 2017, Natural Antioxidants in Foods and Medicinal Plants: Extraction, Assessment and Resources, *International Journal of Molecular Sciences*, 18(1), 96p.
- Xu, W.**, 2023, A Study on The Synthesis, Modification and Current Market Status Of PBAT, In *E3S Web of Conferences* (Vol. 385, p. 04007). EDP Sciences.
- Yakışık, H.**, 2023, Plastik Atıklar ve Sürdürülebilirlik: Türkiye’de Plastik Atık Yönetimi, *Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 9(2), 36-55s.
- Yalçın, E., Masatcıoğlu, M. T. ve Cındık, B.**, 2020, Normal, Mumlu (Waxy) ve Yüksek Amilozlu Nişastalar ve Gıdalardaki Fonksiyonel Özellikleri, *Gıda*, 45(6), 1261-1271p.
- Yang, H. S. and Gardner, D. J.**, 2011, Mechanical Properties of Cellulose Nanofibril-Filled Polypropylene Composites, *Wood and Fiber Science*, 143-152p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yao, S. F., Chen, X. T. and Ye, H. M.**, 2017, Investigation of Structure and Crystallization Behavior of Poly (Butylene Succinate) by Fourier Transform Infrared Spectroscopy, *The Journal of Physical Chemistry B*, 121(40), 9476-9485p.
- Yap, S. Y., Sreekantan, S., Hassan, M., Sudesh, K. and Ong, M. T.**, 2020, Characterization and Biodegradability of Rice Husk-Filled Polymer Composites, *Polymers*, 13(1), 104p.
- Ye, J., Hu, X., Luo, S., Liu, W., Chen, J., Zeng, Z. and Liu, C.**, 2018, Properties of Starch After Extrusion: A Review, *Starch-Stärke*, 70(11-12), 1700110p.
- Yoksan, R., Dang, K. M., Boontanimitr, A. and Chirachanchai, S.**, 2021, Relationship Between Microstructure and Performances of Simultaneous Biaxially Stretched Films Based on Thermoplastic Starch and Biodegradable Polyesters, *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 141-150p.
- Yoruç, A. B. H. ve Uğraşkan, V.**, 2017, Yeşil Polimerler ve Uygulamaları, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 318-337p.
- Yu, X., Chen, L., Jin, Z. and Jiao, A.**, 2021, Research Progress of Starch-Based Biodegradable Materials: A Review, *Journal of Materials Science*, 56, 11187-11208p.
- Zappia, A., De Bruno, A., Piscopo, A. and Poiana, M.**, 2019, Physico-Chemical And Microbiological Quality of Ready-To-Eat Rocket (*Eruca Vesicaria* (L.) Cav.) Treated With Organic Acids During Storage in Dark and Light Conditions, *Food Science and Biotechnology*, 28, 965-973p.
- Zarski, A., Bajer, K. and Kapuśniak, J.**, 2021, Review of The Most Important Methods of Improving The Processing Properties of Starch Toward Non-Food Applications, *Polymers*, 13(5), 832p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Zhai, X., Li, M., Zhang, R., Wang, W. and Hou, H.,** 2023, Extrusion-Blown Starch/PBAT Biodegradable Active Films Incorporated with High Retentions of Tea Polyphenols and The Release Kinetics into Food Simulants, *International Journal of Biological Macromolecules*, 227, 851-862p.
- Zhang, L., Liu, Z., Sun, Y., Wang, X. and Li, L.,** 2020, Effect of A-Tocopherol Antioxidant on Rheological and Physicochemical Properties of Chitosan/Zein Edible Films, *LWT*, 118, 108799p.
- Zhang, M. C., Guo, B. H. and Xu, J.,** 2016, A Review on Polymer Crystallization Theories, *Crystals*, 7(1), 4p.
- Zikmund, M.,** 2017, https://is.muni.cz/el/econ/jaro2017/MPH_LSCM/um/Martin_Zikmund_Packaging_2017.pdf , (Erişim Tarihi: 25.04.2024).
- Zou, Y. and Yang, T.,** 2019, Rice Husk, Rice Husk Ash and Their Applications. In *Rice Bran and Rice Bran Oil*, AOCS Press, 207-246p.

TEŞEKKÜR

Lisans ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, desteklerini hiç esirgemeyen saygıdeğer tez danışmanım Doç. Dr. Seda ERSUS'a emekleri ve hayatımdaki varlığı için sonsuz teşekkür ederim.

Tezin tüm aşamalarını büyük bir özveriyle takip eden ve değerli vakitlerini ayırarak tezin gelişmesi konusunda büyük katkı sağlayan tez izleme komitesi hocalarım Doç. Dr. Sırma YEĞİN ve Dr. Öğr. Üyesi Zeki HEPÇİMEN'e çok teşekkür ederim. Doktora savunma jürimde yer alan değerli vakitlerini ayıran hocalarım Prof. Dr. Mehmet Yekta GÖKSUNGUR ve Doç. Dr. Fatih Mehmet YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Yakın zamanda kaybettiğimiz kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal DEMİRAĞ'a aklıma emanet ettiği her güzel an ve bilgi için çok teşekkür ederim.

Süreç boyunca değerli arkadaşlıklarını ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli ekip arkadaşlarım Yük. Müh. Ayça AKYÜZ, Yük. Müh. Zülal AKSOY CAF, Büşra YILMAZ, Berfu AZAK, Eylül Elif METİNER ve Şeyma ÖZDEMİR ÜNAL'a çok teşekkür ederim. Ayrıca hayatımın hep bir köşesinde yer alan ve varlıkları ile güç bulduğum kıymetli dostlarım Dilara KETENOĞLU, Yük. Müh. Kübra Azel BAYAR, Emine ALTINSOY, Yük. Müh. Bahar BAKAR, Dr. Berna ÖZTÜRK, Dr. Damla BAYANA ve Büşra Zümrüt ÖCAL'a çok teşekkür ederim.

Üretimlerim sırasında kıymetli bilgilerini benimle paylaşan Dr. Arzu YALÇIN MELİKOĞLU'na ve FTIR analizlerim sırasında yardımını esirgemeyen Dr. Korcan KORBA'ya çok teşekkür ederim. Film üretimlerimi gerçekleştirdiğim Mazhar Zorlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi öğretmenlerine ve öğrencilerine çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca aldığım her kararda koşulsuz yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen çok değerli ailem; annem Emine TEKİN, babam Göksal TEKİN, kardeşim Ecem TEKİN ve halam Ziynet TEKİN'e çok teşekkür ederim.

Hayatı daha yaşanması kılan, her yorulduğumda elimden daha güçlü tutan kıymetli yol arkadaşım Özgür ÇİMENÖĞLU'na çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının bir kısmı Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından desteklenmiştir (Takip No: FGA-2022-23428, Proje No: 23428). Desteklerinden dolayı Ege Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım boyunca, YÖK 100/2000 Doktora Burs Programı (Gıda Üretimi, İşleme ve Teknolojisi) ve TÜBİTAK 2211/A Yurt İçi Genel Doktora Burs Programı tarafından burs almaya hak kazandım. Maddi desteklerinden dolayı ve genç araştırmacıların her daim yanlarında oldukları için Yüksek Öğretim Kurulu (YÖK) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na çok teşekkür ederim.

28 / 05 / 2024

İdil TEKİN



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: İdil TEKİN

Öğrenim Bilgisi

Doktora	Ege Üniversitesi-İZMİR-Gıda Mühendisliği (2018-)
Erasmus	Católica Portuguesa University, Escola Superior de Biotecnologia CBQF (2016-2017)
Yüksek Lisans	Ege Üniversitesi-İZMİR-Gıda Mühendisliği – Meyve-Sebze İşleme Anabilim Dalı (2015-2018) (3,24/4,00)
Lisans	Ege Üniversitesi-İZMİR-Gıda Mühendisliği (2010-2015) (3,17/4,00) Ege Üniversitesi-İZMİR-Biyomühendislik (Yandal) (2013-2016)

Erasmus

Çalışma Konusu: Studies on the improvement of *Saccharomyces cerevisiae* viability using microencapsulation (2017)

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Raquel Madureira

Yüksek Lisans Tezi

Tez Konusu: Isırgan otundan enzimatik ekstraksiyonla elde edilen Zn-klorofil türevlerinin elektriksel yöntemler ile mikrokapsülasyonu (2018)

Danışman: Doç. Dr. Seda ERSUS

Doktora Tezi

Tez Konusu: Termoplastik nişasta (TPS) / poli(bütlen adipat-ko-tereftalat) (PBAT) biyobazlı aktif ambalaj filmi üretimi ve gıda raf ömrüne etkilerinin belirlenmesi

Danışman: Doç. Dr. Seda ERSUS

Makaleler

ERSUS BİLEK, S., **TEKİN, İ.**, ÖZCAN, K., YILMAZ, F. M., 2016. Türkiye’de Yetiştirilen Kırmızı Pancarın Doğal Renklendirici Olarak Değerlendirilmesi, Gıda Teknolojisi, 20:3, 74-77.

ERSUS BİLEK, S., **TEKİN, İ.**, ÖZCAN, K., 2017. Maviyemiş (*Vaccinium corymbosum*) Renk Maddelerinin Mikroenkapsülasyonu, VII. Bahçe Ürünlerinde Muhafaza ve Pazarlama Sempozyumu, 04-07 Ekim 2016, Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Meyve Bilimi Dergisi, 1(Özel): 129-132.

TEKİN, İ., BİLEK, S. 2018. Klorofilin doğal renklendirici olarak gıdalarda kullanımı, Gıda Teknolojisi Dergisi, 22:1, 76-80s.

BİLEK, S., **TEKİN, İ.**, ÖZCAN, K., YILMAZ, F. M., 2018. Türkiye’de Yetiştirilen Kırmızı Pancarın Doğal Renklendirici Olarak Değerlendirilmesi, Gıda Bileşenleri, Geliştiricileri ve Yardımcı Maddeler Kataloğu, 82-85s.

BİLEK, S. E., DEĞİRMENCİ, A., **TEKİN, İ.**, & YILMAZ, F. M., 2019. Combined effect of vacuum and different freezing methods on the quality parameters of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*). Journal of Food Measurement and Characterization, 1-12.

TEKİN, İ., & ERSUS, S., 2021. Electrically assisted ionic gelling encapsulation of enzymatically extracted zinc-chlorophyll derivatives from stinging nettle (*Urtica urens* L.). Journal of Food Process Engineering, e13743.

MELİKOĞLU, A. Y., HAYATİOĞLU, N., HENDEKÇİ, M. C., **TEKİN, İ.**, & ERSUS, S., 2022. Development and characterization of edible films based on carboxymethyl cellulose enriched with pomegranate seed oil and the coating of strawberries. Journal of Food Processing and Preservation, e16607.

AKYÜZ, A., **TEKİN, İ.**, & ERSUS, S., 2022. Comparison Of Different Methods In The Extraction Of Phenolic Compounds From Bay Leaf (*Laurus Nobilis* L.). Journal Of Apitherapy and Nature, 5(1), 27-34.

METİNER, E. E., ERSUS, S., YILMAZ, B., AKSOY, Z., AKYÜZ, A., & **TEKİN, İ.**, 2023. Pastörizasyon İşlemi Uygulanan Kuru Trabzon Hurmalarının

Depolama Süresince Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. Meyve Bilimi, 10(1), 48-54.

TEKİN, İ., ÖZCAN, K., & ERSUS, S., 2023. Optimization of ionic gelling encapsulation of red beet (*Beta vulgaris* L.) juice concentrate and stability of betalains. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 51, 102774.

MELİKOĞLU, A. Y., **TEKİN, İ.,** HAYATİOĞLU, N., & ERSUS, S., 2023. Development of environmentally friendly composite packaging films from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plant wastes. *Food Bioscience*, 55, 102991.

AKYÜZ, A., **TEKİN, İ.,** AKSOY, Z., & ERSUS, S., 2023. Determination of Process Parameters and Precipitation Methods for Potential Large-Scale Production of Sugar Beet Leaf Protein Concentrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.

HAYATİOĞLU, N., **TEKİN, İ.,** & ERSUS, S. (2024). Optimization of Cellulose Extraction Parameters and Production of Nanocellulose from Black Carrot Juice Wastes. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2), 547-560.

ERSUS, S., **TEKİN, İ.,** VİSALİ, R., ALLAHVERDİYEVA, Z., ASKEROVA, İ., HASANOVA, A., ... & ALİYEVA, D. (2024). Aromatik bitki ekstraktları ile zenginleştirilmiş fonksiyonel elma suyu üretimi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 61(1), 103-111.

TEKİN, İ. & ERSUS, S., 2024, Development of thermoplastic starch/poly(butylene adipate-co-terephthalate) biobased active packaging films and potential usage in the food industry, *Journal of Applied Polymer Science* (In Press).

Ulusal Düzeydeki Toplantılarda Yapılan Sunumlar

ÖZCAN, K., **TEKİN, İ.**, ERSUS BİLEK, S., 2016. Limon Suyu Kapsülü, EİB IV. Gıda Ar-Ge Proje Pazarı, 24 Mayıs 2016, İzmir (Poster Bildiri).

ERSUS BİLEK, S., **TEKİN, İ.**, ÖZCAN, K., 2016. Maviyemiş (*Vaccinium corymbosum*) Renk Maddelerinin Mikroenkapsülasyonu, VII. Bahçe Ürünlerinde Muhafaza ve Pazarlama Sempozyumu, 4-7 Ekim 2016, Isparta (Sözlü Bildiri).

TEKİN, İ., AKYÜZ, A., ERSUS BİLEK, S., 2017. Moleküler Tarçın-Zencefil-Bal Kürecikleri Üretimi, 10. Gıda Mühendisliği Kongresi, 9-11 Kasım 2017, Antalya (Poster Bildiri).

AKYÜZ, A., **TEKİN, İ.** & ERSUS, S., 2020, Alternatif Bitkisel Protein Kaynakları, Poster Sunumu, Türkiye 13. Gıda Kongresi, 21 Ekim 2020, 23 Ekim 2020, Çanakkale (Poster Bildiri).

ERSUS, S., **TEKİN, İ.**, AKYÜZ, A. & YALÇIN MELİKOĞLU, A., 2020, Mikrodalga Destekli Ekstraksiyon Kosullarının Bezelye Kabuğu, Nar Çekirdeği ve Nar Kabuğundan Fenolik Bileşik Ekstraksiyonu Üzerine Etkisi, Poster Sunumu, Türkiye 13. Gıda Kongresi 21-23 Ekim, 21 Ekim 2020, 23 Ekim 2020, Çanakkale (Poster Bildiri).

ERSUS, S., METİNER, E.E., YILMAZ, B., AKSOY, Z., AKYÜZ, A & **TEKİN, İ.**, 2022, Pastörizasyon İşlemi Uygulanan Kuru Trabzon Hurmalarının Depolama Süresince Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi, Ulusal Meyvecilik Sempozyumu, 27-30 Eylül Eğirdir, Isparta (Sözlü Bildiri).

AKYÜZ, A., **TEKİN, İ.**, AKSOY, Z. & ERSUS, S., 2022, Gıda Endüstrisinde Vegan Ürünlerin Yeri ve Önemi, Sürdürülebilir Gıda Sistemleri Kongresi, 10-12 Kasım 2022, Manisa (Poster Bildiri).

TEKİN, İ., AKYÜZ, A., & ERSUS, S., 2022, Yeni Nesiller İçin Sağlıklı ve Yenilikçi Atıştırmalıklar, Sürdürülebilir Gıda Sistemleri Kongresi, 10-12 Kasım 2022, Manisa (Poster Bildiri).

TEKİN, İ., HAYATIOĞLU, N., YALÇIN MELİKOĞLU, A., ERSUS, S., Balcı, U. & Sayer, S. 2022, Kara Havuç Ekstresinin Renk Pigmenti Olarak Plastik Ambalaj Filmi Üretiminde Kullanımı, Sürdürülebilir Gıda Sistemleri Kongresi, 10-12 Kasım 2022, Manisa (Poster Bildiri).

Uluslararası Düzeydeki Toplantılarda Yapılan Sunumlar

TEKİN, İ., BİLEK, S., Extraction and Stabilization of Chlorophyll From Plants, 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner ve Eczacılık Bilimleri Konferansı (ICAFOP 2019) 16 -18 Nisan ,2019, Trabzon (Oral Presentation).

TEKİN, İ., BİLEK, S., Ascorbic Acid Degradation in Frozen Cherry Tomatoes, 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner ve Eczacılık Bilimleri Konferansı (ICAFOP 2019) 16 -18 Nisan ,2019, Trabzon (Poster Presentation).

ERSUS, S., AKYÜZ, A. & **TEKİN, İ.** (2019). Hydroxymethyl Furfural Formation in Grape and Pomegranate Juices over Heating Treatments, 1st International/11thNational Food Engineering Congress, 7-9 November, Antalya (Poster presentation).

AKYÜZ, A., **TEKİN, İ.** & ERSUS, S. (2019). Comparison of different extraction methods of phenolic compounds from bay leaf (*Laurus nobilis* L.), 1st International/11thNational Food Engineering Congress, 7-9 November, Antalya (Oral Presentation).

TEKİN, İ. & ERSUS, S., (2022). Evaluation of Thermoplastic Starch as a Food Packaging Material and Determination of Some Process Parameters, IV-INTERNATIONAL BAKU CONFERENCE ON SCIENTIFIC RESEARCH held on November 30-December 01, 2022, Baku-Azerbaijan Baku Odlar Yurdu University (Oral Presentation).

PLESLIĆ, S., STULIĆ, V., VUKUŠIĆ PAVIČIĆ, T., ZADRAVEC, M., ERSUS, S., AKYUZ, A., **TEKİN, İ.**, AKSOY, Z., OZTOP, M. H. & MALTAR-STRMEČKI, N. (2022). Comparative study on physicochemical properties of tomato juices with non-irradiated and irradiated supplements: olive powder and sugar-beet leaves protein, 2022 Annual Conference and Exhibition: Functional Foods, Nutraceuticals, Natural Health Products, and Dietary Supplements (ISNFF), Istanbul, 02-05 October (Oral Presentation).

TEKİN, İ. & ERSUS, S., (2023). Utilization of Natural Colorants for Enhancing the Visual Appeal of Rose Jam, INTERNATIONAL FLOWER CONFERENCE held on May 11-12, 2023, Baku-Azerbaijan Cooperation University (Oral Presentation).

BASDEMİR, E., CANTURK, E., OZTOP, M. H., ERSUS, S., AKYUZ, A. & **TEKİN, İ.** (2023) Observing The Wetting Of A Tomato Leather-Cheese Sandwich By Magnetic Resonance Imaging (MRI), 7th International ISEKI-Food Conference (ISEKI-Food 2023), Paris, 5-7 July (Oral Presentation).

TEKİN, İ. & ERSUS, S., 2024, Rice Husk Reinforced Biobased Blown Films: Assessing the Performance of Thermoplastic Starch and Poly(butylene adipate-co-terephthalate) Blends, International Sustainability in Life Congress (SUIC), held on May 19-22, 2024, Kuşadası, İZMİR (Oral Presentation).

TEKİN, İ., AKYÜZ, A., AKSOY, Z. & ERSUS, S., 2024, Determination of Physicochemical Properties of Faba Bean, Sunflower, and Pumpkin Seed Plant Protein Concentrates, International Sustainability in Life Congress (SUIC), held on May 19-22, 2024, Kuşadası, İZMİR (Poster Presentation).

AKYÜZ, A., **TEKİN, İ.**, AKSOY, Z. & ERSUS, S., 2024, Comparison of Some Assisted Extraction Methods To Improve Protein Yield From Sugar Beet Leaves, International Sustainability in Life Congress (SUIC), held on May 19-22, 2024, Kuşadası, İZMİR (Oral Presentation).

Projeler ve Projelerde Aldığı Görevler

Proje No	Projedeki Görevi	Proje Adı	Başlama-Bitiş Tarihi	Destek Miktarı (TL)
TÜBİTAK 2209/A 1919B011400573	Yürütücü	Dondurma Yöntemi ve Depolamanın Dondurulmuş Kiraz Domatesin Kalitesi Üzerine Etkileri	2014-2015	2.476
BAP 17/MÜH/022	Araştırmacı	Isırgan Otundan Enzimatik Reaksiyonla Elde Edilen Zn-Klorofil Türevlerinin Elektriksel Yöntemler ile Mikroenkapsulasyonu	2017-2020	5.750
TÜBİTAK (1001) 118O370	Gönüllü Bursiyer	Aspir (Carthamus tinctorius L.) Bitkisi Atıklarından Çevre Dostu Biyokompozit ve Nano-Biyokompozit Ambalaj Malzemelerinin Geliştirilmesi	2018-2020	-
EU-PRIMA 2032	Gönüllü Bursiyer	Functionalized Tomato Products (FunTomP)	2021/2025	-
GAP FGA-2022-23428	Araştırmacı	Termoplastik Nişasta ve Poli(Bütlen AdipatkoTeraftalat) Bazlı Aktif Ambalaj Filmi Üretimi, Minimal İşlem Görmüş Gıda Ürünlerinde Kullanılabilirliğinin ve Biyobozunurluğunun Belirlenmesi	2022-2024	50.705,60
TÜBİTAK (1002) 122O275	Bursiyer	Maş Fasulyesinden Bitkisel Protein İzolatı ve Polisakkarit Konjugatı ile Vegan Mayonez Üretimi	2022-2023	Bideb Burslusu

Ödüller/Burslar

İDİL TEKİN, Araştırma Burs ve Destekleri Müdürlüğü, 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı, 2014- 1.

İDİL TEKİN, ERASMUS+ Bursu, Eylül 2016- Şubat 2017, Porto/Portekiz.

İDİL TEKİN, 2018 Eylül-2022 Eylül, 100/2000 YÖK Doktora Bursu, Gıda Mühendisliği Anabilim dalı, Gıda Üretimi, İşleme ve Teknolojisi alanında (Yüksek Lisans Dereceli Doktora).

İDİL TEKİN, Etkinlik Destekleri ve Eğitim Bursları Müdürlüğü, 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı, 2019- 2, 01.06.2019- 31.05.2023.

İDİL TEKİN, Etkinlik Destekleri ve Eğitim Bursları Müdürlüğü, 2250-Lisansüstü Bursları Performans Programı, 2023- 1.

İDİL TEKİN, Etkinlik Destekleri ve Eğitim Bursları Müdürlüğü, 2250-Lisansüstü Bursları Performans Programı, 2023- 2.

Patentler

TR201921946- Aspir Bitkisi (*Carthamus tinctorius* L.) Atıklarından Alfa-Selüloz ve Selüloz Nanokristallerinin Eldesi (Türk Patent). Patent Başvuru Sahipleri: EGE ÜNİVERSİTESİ, Patent Buluş Sahipleri: Arzu Yalçın Melikoğlu, Seda Ersus, Serap Cesur, Nergiz Hayatioğlu, İdil Tekin.

Verilen Uygulamalı Dersler

Üniversite Adı	Akademik Yıl	Dönem	Ders Adı
Ege Üniversitesi	2018-2019	Güz	- Kütle ve Enerji Denklikleri (4 sa) - Genel Kimya (2 sa) - Gıda Kalite Sağlama (2 sa)
Ege Üniversitesi	2018-2019	Bahar	Meyve ve Sebze Teknolojisi (8 sa)
Ege Üniversitesi	2019-2020	Güz	Kütle ve Enerji Denklikleri (6 sa)
Ege Üniversitesi	2019-2020	Bahar	Meyve ve Sebze Teknolojisi (8 sa)
Ege Üniversitesi	2020-2021	Güz	Kütle ve Enerji Denklikleri (6 sa)
Ege Üniversitesi	2020-2021	Bahar	Meyve ve Sebze Teknolojisi (8 sa)
Ege Üniversitesi	2021-2022	Güz	- Kütle ve Enerji Denklikleri (6 sa) - Isı ve Kütle Transferi (3 sa) - Süt Teknolojisi (2 sa)
Ege Üniversitesi	2021-2022	Bahar	Meyve ve Sebze Teknolojisi (8 sa)
Ege Üniversitesi	2022-2023	Güz	Bilgisayar (4 sa)

EKLER

Ek 1 Optimizasyonda elde edilen kompond ve filmler (ÜÇY)

Ek 2 Optimizasyonda elde edilen kompond ve filmler (α -T)

Ek 3 Optimizasyonda elde edilen kompond ve filmler (PK)

Ek 4 Optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlere ait renk ve opasite değerleri

Ek 5 PBAT örneklerine ait DSC eğrisi

Ek 6. TPS örneklerine ait DSC eğrisi

Ek 7. TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol) örneklerine ait DSC eğrisi

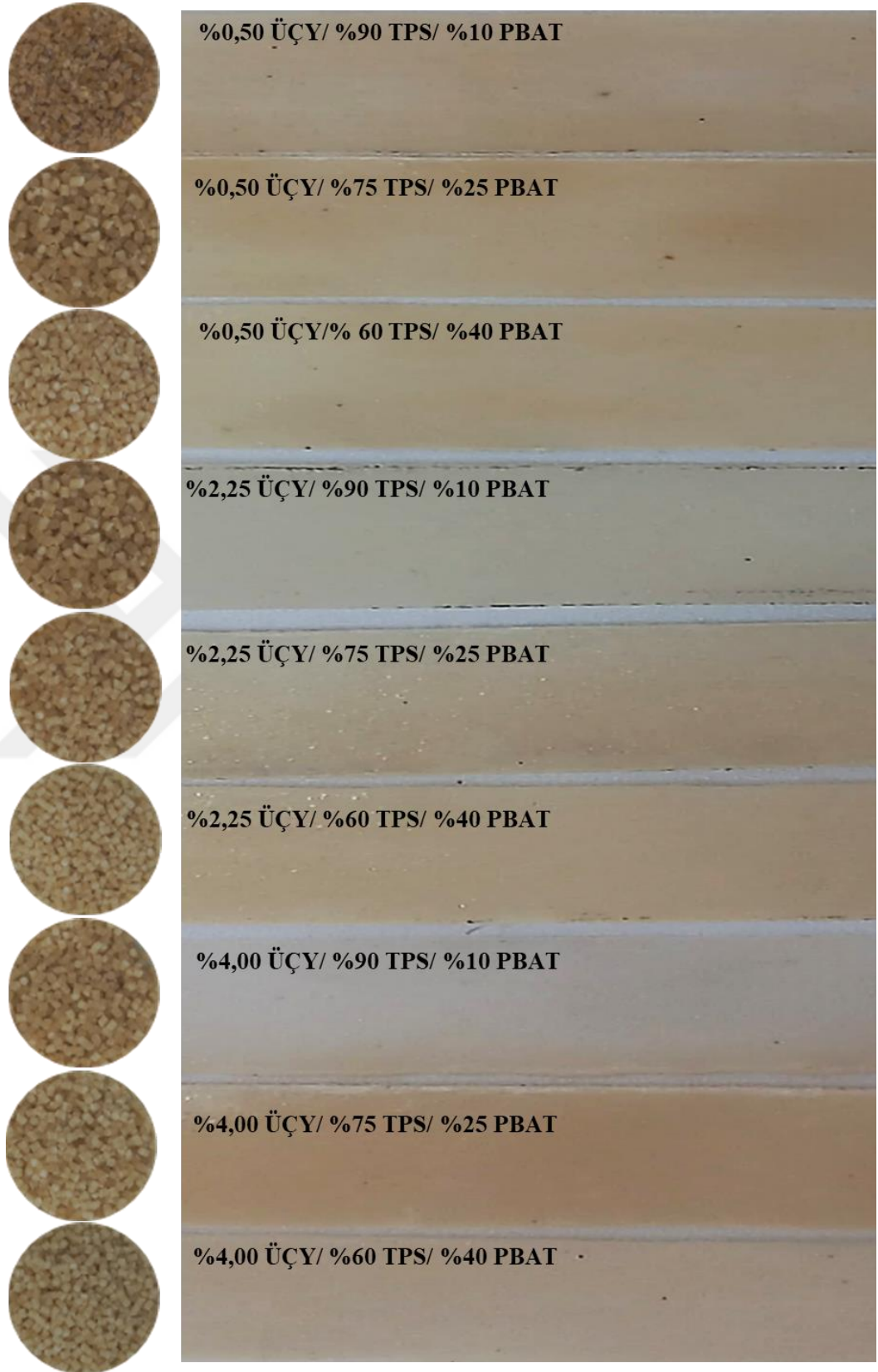
Ek 8. TPS/PBAT/ÜÇY (Optimum) örneklerine ait DSC eğrisi

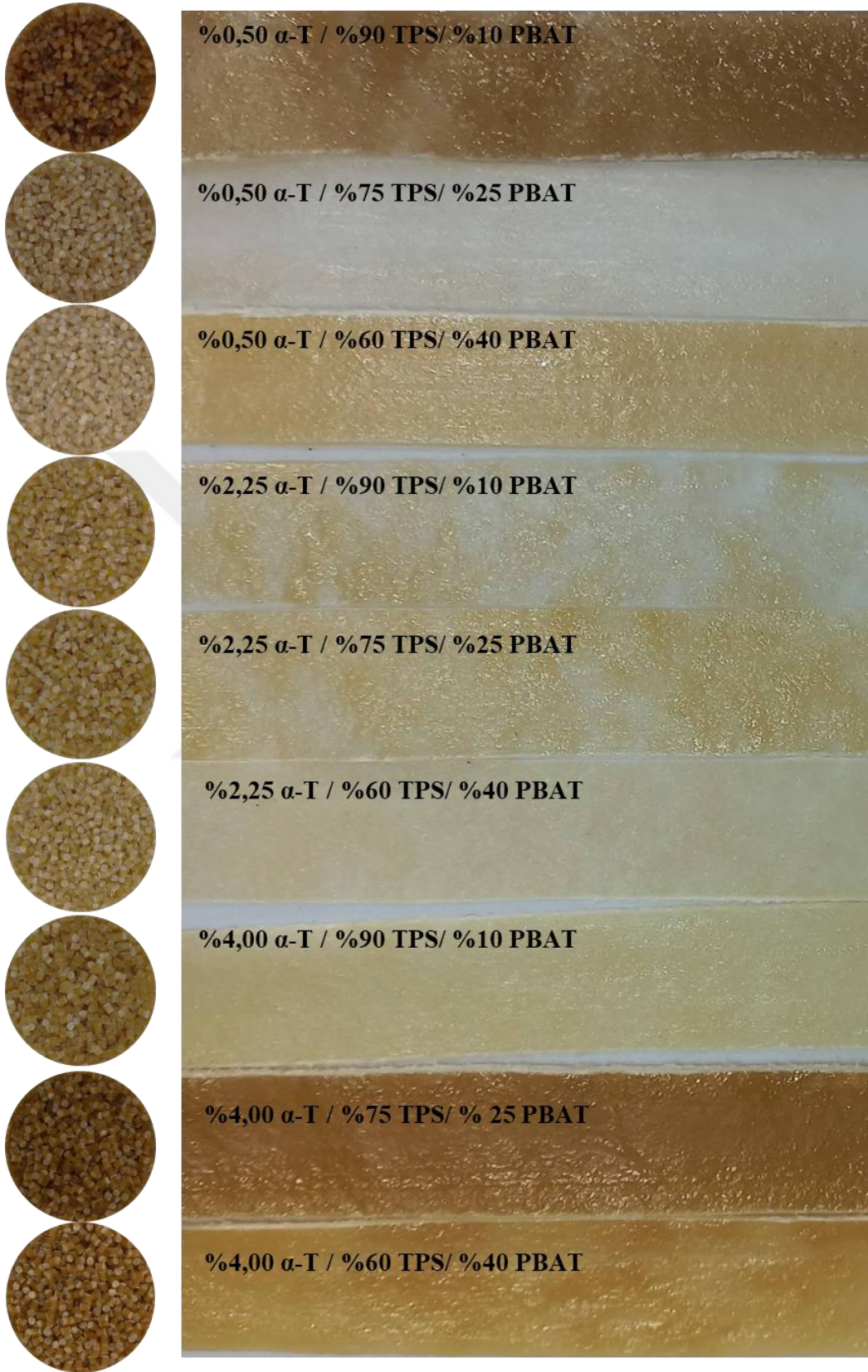
Ek 9. TPS/PBAT/ α -T (Kontrol) örneklerine ait DSC eğrisi

Ek 10. TPS/PBAT/ α -T (Optimum) örneklerine ait DSC eğrisi

Ek 11. TPS/PBAT/PK (Kontrol) örneklerine ait DSC eğrisi

Ek 12. TPS/PBAT/PK (Optimum) örneklerine ait DSC eğrisi

Ek 1. Optimizasyonda elde edilen kompond ve filmler (ÜÇY)

Ek 2. Optimizasyonda elde edilen kompond ve filmler (α -T)

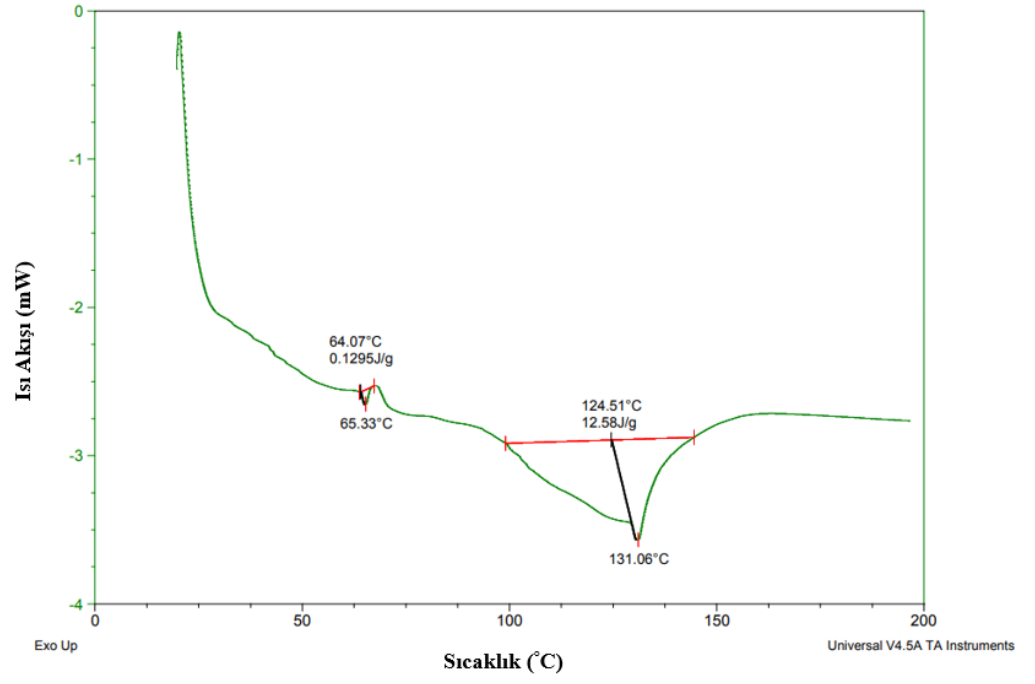
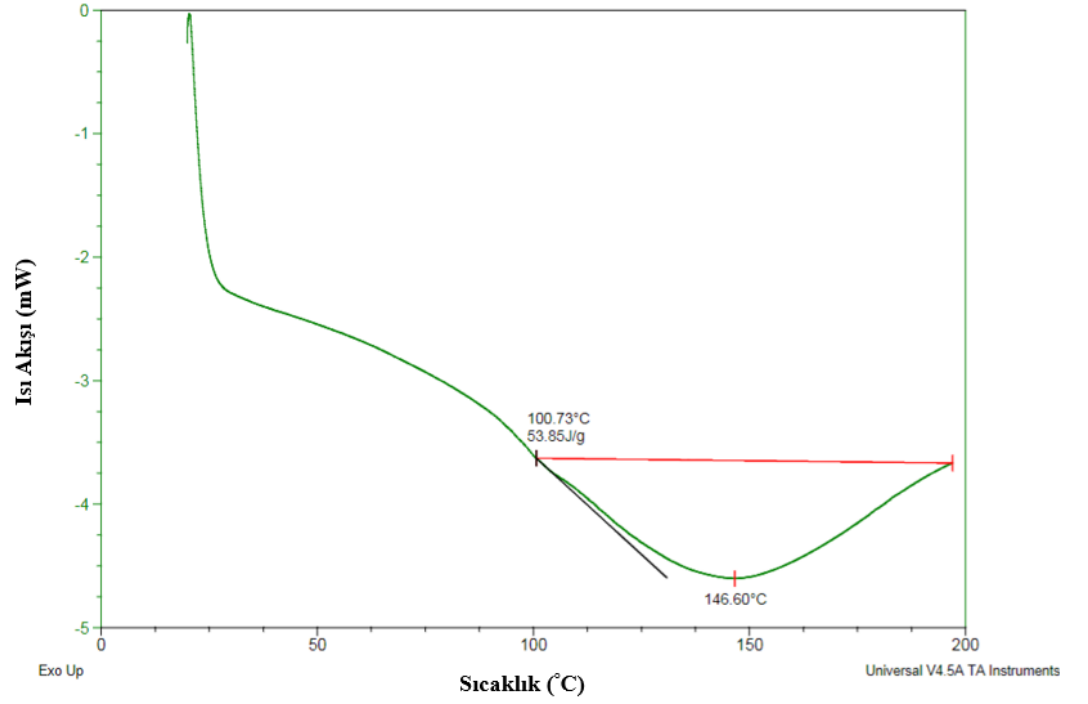
Ek 3. Optimizasyonda elde edilen komponent ve filmler (PK)

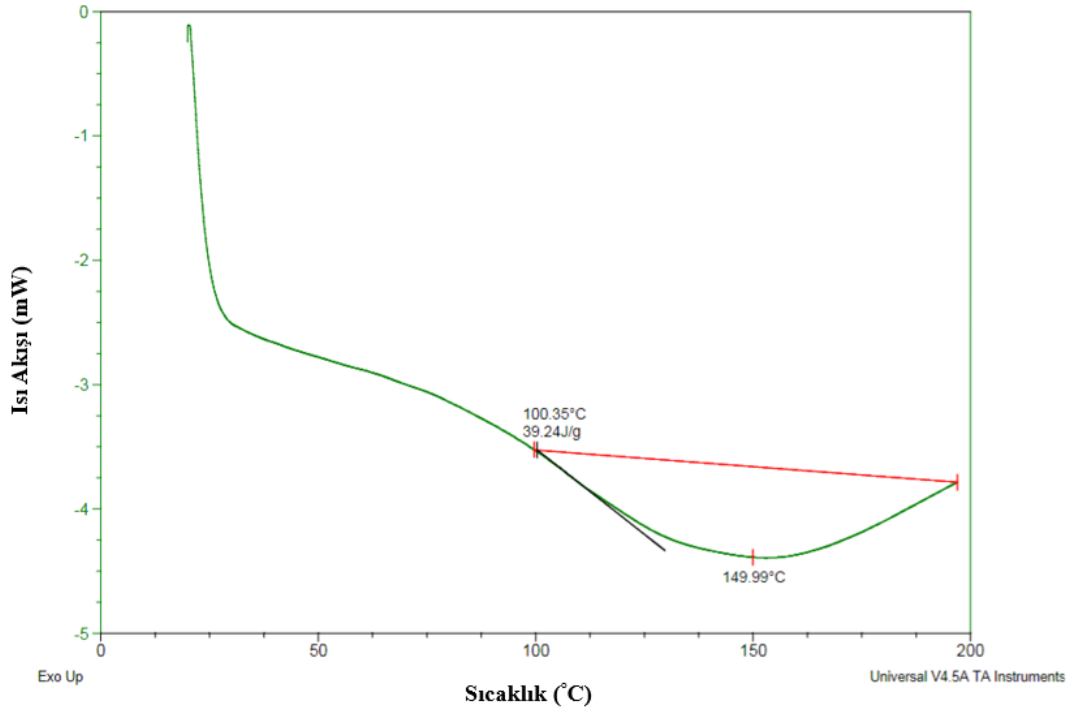
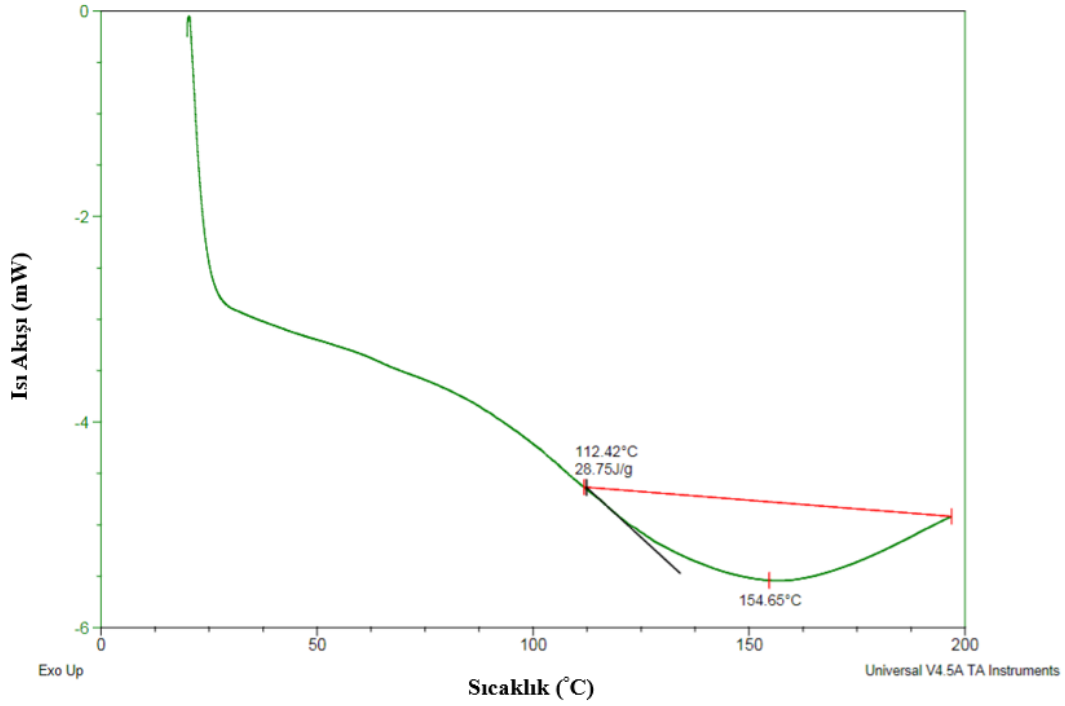
Ek 4. Optimum ve kontrol biyobazlı aktif filmlere ait renk ve opasite değerleri

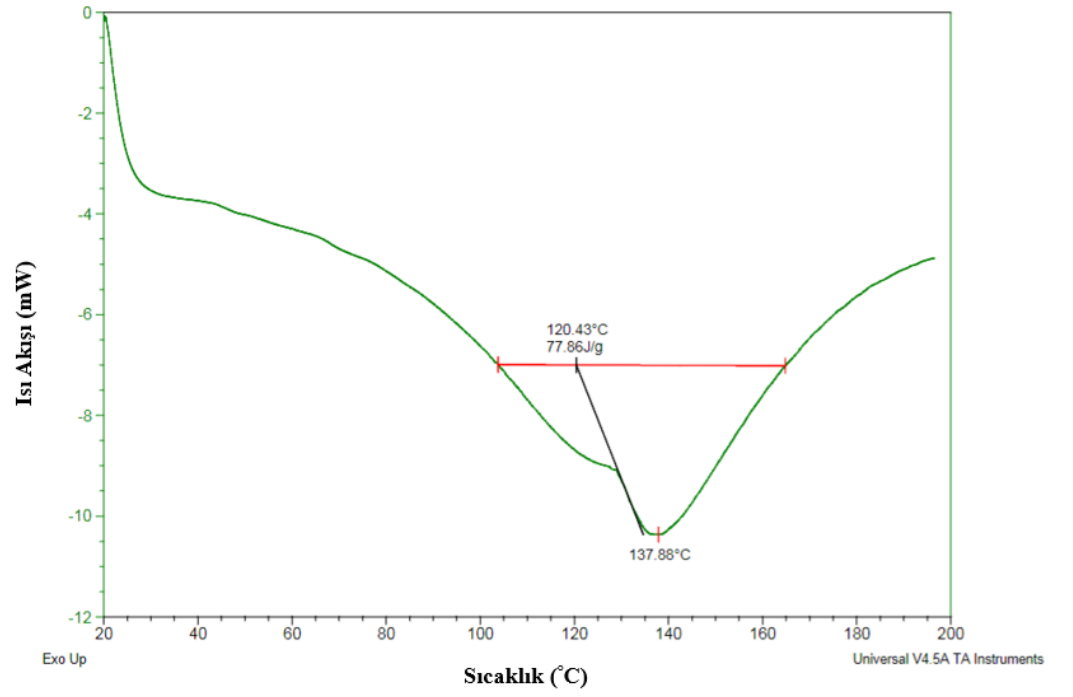
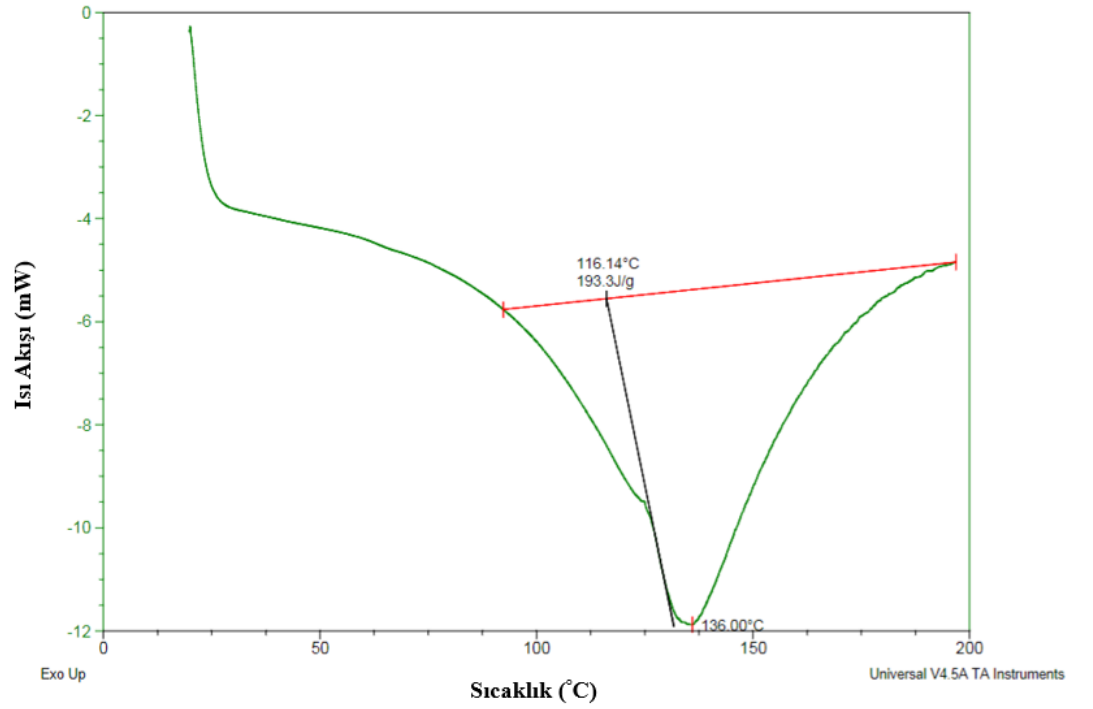
Örnek	L^*	a^*	b^*	h^o	C^*	WI	YI	Opasite (mm ⁻¹)
TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol)	57,08±0,02 ^b	6,21±0,04 ^c	17,59±0,07 ^c	1,23±0,00 ^b	18,65±0,05 ^c	80,23±0,05 ^d	44,02±0,16 ^c	12,45±0,18 ^b
TPS/PBAT/ ÜÇY (Optimum)	61,28±0,11 ^a	-1,14±0,02 ^e	0,72±0,02 ^f	-0,56±0,02 ^d	1,35±0,02 ^f	93,63±0,01 ^a	1,67±0,05 ^f	9,53±0,13 ^d
TPS/PBAT/ α -T (Kontrol)	56,21±0,04 ^d	6,74±0,03 ^b	18,26±0,07 ^b	1,22±0,00 ^c	19,47±0,06 ^b	79,44±0,06 ^e	46,42±0,18 ^a	12,42±0,09 ^b
TPS/PBAT/ α -T (Optimum)	41,51±0,02 ^f	-1,33±0,03 ^f	5,84±0,02 ^e	-1,35±0,01 ^e	5,99±0,01 ^e	90,28±0,01 ^b	20,11±0,07 ^e	10,40±0,15 ^c
TPS/PBAT/PK (Kontrol)	56,84±0,03 ^c	6,80±0,02 ^a	18,36±0,02 ^a	1,22±0,00 ^c	19,58±0,01 ^a	79,35±0,01 ^f	46,15±0,05 ^b	12,44±0,07 ^b
TPS/PBAT/PK (Optimum)	49,08±0,01 ^e	2,20±0,04 ^d	12,86±0,03 ^d	1,40±0,00 ^a	13,05±0,03 ^d	85,13±0,03 ^c	37,44±0,09 ^d	13,76±0,27 ^a

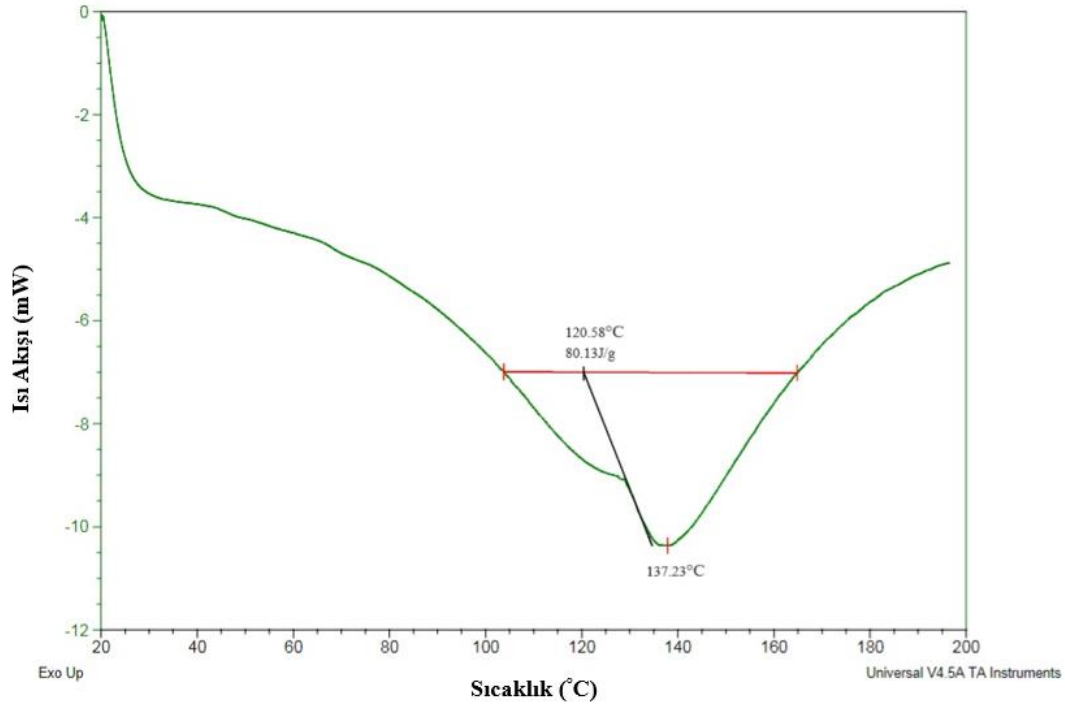
Veriler ortalama değerleri ve standart sapmaları temsil eder.

a, b, c, d, e, f, Her analize ilişkin farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil etmektedir (P<0,05).

Ek 5. PBAT örneklerine ait DSC eğrisi**Ek 6. TPS örneklerine ait DSC eğrisi**

Ek 7. TPS/PBAT/ÜÇY (Kontrol) örneklerine ait DSC eğrisi**Ek 8.** TPS/PBAT/ÜÇY (Optimum) örneklerine ait DSC eğrisi

Ek 9. TPS/PBAT/ α -T (Kontrol) örneklerine ait DSC eğrisi**Ek 10.** TPS/PBAT/ α -T (Optimum) örneklerine ait DSC eğrisi

Ek 11. TPS/PBAT/PK (Kontrol) örneklerine ait DSC eğrisi**Ek 12.** TPS/PBAT/PK (Optimum) örneklerine ait DSC eğrisi