



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TARIMSAL ATIK KATKILI PLA ESASLI YEŞİL KOMPOZİTLERİN
ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra ASLAN

Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK 2023

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TARIMSAL ATIK KATKILI PLA ESASLI YEŞİL KOMPOZİTLERİN
ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kübra ASLAN
19278603025
ORCID:**

Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyokompozit Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Şeyma DUMAN
ORCID:**

OCAK 2023

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 19278603025 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Kübra ASLAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TARIMSAL ATIK KATKILI PLA ESASLI YEŞİL KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Şeyma DUMAN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. M. Said FİDAN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi H. Kübra AKBEN
Yeditepe Üniversitesi

Teslim Tarihi : 23.01.2023
Savunma Tarihi : 06.01.2023



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 220Y015 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 220Y015 numaralı “Tarımsal Atık Katkılı PLA Esaslı Yeşil Kompozitlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu” projesi ile desteklenmiştir.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Kübra ASLAN

İmzası :

(Handwritten signature area)



Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca tez yönetimimi üstlenen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Şeyma DUMAN'a teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarım boyunca her türlü laboratuvar kullanımı konusunda yardımcı olan Yük. Müh. Hazal YILMAZ DOĞAN'a ve tüm Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarı üyelerine teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca attığım her adımda olduğu gibi yüksek lisans sürecimde de yanımda olan, her zaman destekleyen ve motive eden, beni olmaktan gurur duyduğum bir şekilde yetiştiren canım aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2023

Kübra ASLAN
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ... ..	1
2. AMBALAJ HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	2
2.1 Ambalajda Bozunmalar	2
2.1.1 Ambalajda kütle transferi (migrasyon)	3
2.1.2 Ambalaj filmi yoluyla difüzyon	4
2.1.3 Ambalaj filmlerinin geçirgenliği.....	4
2.1.3.1 Plastik ambalaj malzemelerinde geçirgenlik.....	5
2.1.3.2 Geçirgenliği etkileyen faktörler	5
2.1.4 Ambalaj filmlerinin optik ve yüzey özellikleri	6
2.1.5 Ambalaj filmlerinin anmikrobiyal ve antifungal özellikleri	7
2.1.6 Ambalaj malzemelerine uygulanan testler	8
2.1.6.1 Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	9
2.1.6.2 X-ışını kırınımı (XRD)	9
2.1.6.3 Optik geçirgenlik testi	9
2.1.6.4 Termogravimetrik analiz (TGA)	9
2.1.6.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	9
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	11
3.1 Kompozit Malzemeler	11
3.1.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	11
3.1.1.1 Matris malzemeye göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması	11
3.1.1.2 Takviye edici malzemeye göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması	13
3.2 Biyokompozitler	14
3.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	15
4. AMBALAJDA BİYOKOMPOZİT VE BİYONÖZÜNÜR POLİMERLER ..	16
4.1 Yeşil Kompozitler	16
4.2 Biyobozunur Polimerler	17
4.3 Polilaktik Asit (PLA)	18
4.4 Tarımsal Atık Malzemeler	19
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
5.1 Kullanılan Malzemeler	21
5.2 PLA Çözeltilisinin Hazırlanması.....	21

5.3 Kestane Kabuğu ve Sarıçam Tozu Katkılı PLA Çözeltilisinin Hazırlanması	24
5.3.1 Öğütme işlemi	24
5.3.2 Kestane kabuğu ve sarıçam tozu katkılı PLA filmlerinin hazırlanması....	26
5.4 Karakterizasyon Çalışmaları	28
5.4.1 Kalınlık ölçümü.....	28
5.4.2 SEM ile yüzey morfolojisinin incelenmesi	28
5.4.3 FTIR analizi	29
5.4.4 Termal analizler	29
5.4.5 Mekanik testler.....	29
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	30
6.1 Kalınlık Ölçümü Sonuçları.....	30
6.2 SEM Analiz Sonuçları.....	32
6.3 FTIR Analiz Sonuçları	33
6.4 Termal Analiz Sonuçları	35
6.5 Mekanik Test Sonuçları.....	37
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ.....	47

KISALTMALAR

PLA	: Polilaktik Asit
TGA	: Termogravimetrik Analiz
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi



SEMBOLLER

dk	: Dakika
g/cm³	: Yoğunluk
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
µm	: Mikrometre
%	: Yüzde
GPa	: Gigapaskal
kg	: Kilogram
kJ	: Kilojoule
kJ/mm²	: Darbe dayanımı
m	: Metre
mm	: Milimetre
mm²	: Milimetre kare
MPa	: Megapaskal
°C	: Santigrat derece

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 6.1 : Saf PLA filmlerinin kalınlık ölçümü.....	30
Çizelge 6.2 : Sarıçam tozu katkılı PLA filmlerinin kalınlık ölçümü.	11
Çizelge 6.3 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA filmlerinin kalınlık ölçümü	11
Çizelge 6.4 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerinde maksimum gerilme ve uzama değerleri.	11
Çizelge 6.5 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerinde maksimum gerilme ve uzama değerleri.	40

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Matris malzemeye göre sınıflandırma.....	11
Şekil 3.2 : Takviye elamanının geometrik yapısına göre metal matrisli kompozitler.	12
Şekil 3.3 : Seramik matrisli kompozitlerin sınıflandırılması.	12
Şekil 3.4 : Takviye göre kompozit malzemeler a) Elyafı b) Parçacıklı c) Tabakalı d) Karma.	14
Şekil 4.1 : PLA'nın bazı sentez yöntemlerinin şematik gösterimi	18
Şekil 4.2 : PLA'nın dünya çapındaki üretim kapasitelerinin gelişimi	19
Şekil 5.1 : Saf PLA	21
Şekil 5.2 : Saf PLA çözeltisi.	22
Şekil 5.3 : Electro-Mag M221 marka model manyetik karıştırıcıda görünüm.	22
Şekil 5.4 : Manyetik karıştırıcı sonrası PLA'nın görünümü.	22
Şekil 5.5 : Ultrasonik prob sonikatörde çözeltinin karışımı.	23
Şekil 5.6 : PLA'nın petri kaplarındaki görüntüsü.....	23
Şekil 5.7 : PLA'nın petri kaplarındaki görüntüsü.....	24
Şekil 5.8 : Öğütücü değirmen (pulverisette 14) Fritsch marka model cihaz	24
Şekil 5.9 : a) Kestane kabuğu b) 6000 rpm'de 0,4 mikronluk elekten gerilmiş görüntüsü c) 16000 rpm'de 0,8 mikronluk elekten gerilmiş görüntüsü.....	25
Şekil 5.10 : a) Sarıçam parçası b) 16000 rpm'de 0,8 mikronluk elekten geçirilmiş görüntüsü c) 500 mikronluk elekte büyük tanelerin ayırma işlemi d) Sarıçam tozu.....	25
Şekil 5.11 : Sarıçam ilaveli PLA'nın görünümü	26
Şekil 5.12 : Sarıçam katkılı PLA'nın görünümü	27
Şekil 5.13 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA'nın görünümü.....	28
Şekil 6.1 : PLA filmin SEM görüntüsü	32
Şekil 6.2 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozitler filmlerin SEM görüntüsü: (a) P10S-10KX, (b) P10S-2KX, (c) P0,25S-10KX ve (d) P0,25S-2KX.....	32
Şekil 6.3 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin SEM görüntüsü: (a) P2,5K-10KX, (b) P2,5K-2KX, (c) P0,25K-10KX ve (d) P0,25K- 2KX.....	33
Şekil 6.4 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerinin FTIR grafiği	34
Şekil 6.5 : Sarıçam kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerinin FTIR grafiği	11
Şekil 6.6 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin DSC grafiği	35
Şekil 6.7 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin DSC grafiği	35
Şekil 6.8 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin TGA grafiği	36
Şekil 6.9 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin TGA grafiği.....	37
Şekil 6.10 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin maksimum gerilme grafiği	38

Şekil 6.11 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin maksimum uzama grafiği	38
Şekil 6.12 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin maksimum gerilme grafiği.....	39
Şekil 6.13 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin maksimum uzama grafiği.....	40



TARIMSAL ATIK KATKILI PLA ESASLI YEŞİL KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Büyük çoğunluğu petrol türevli olan polimerler, ambalaj endüstrisinde tüketim ömürlerini tamamladıktan sonra çevre ortamlarında atık haline gelmektedir. Petrol esaslı polimerlerin bozunmaya uğramadıkları ve çevreye zarar verdikleri bilinmektedir. Ortaya çıkan bu sorun günümüzde yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyo esaslı, biyobozunur ve çevreci polimerlere yönelinmesine neden olmuştur. Biyopolimerler, biyoyumluluk ve biyobozunurluk özelliklerinin yanı sıra fiziksel ve mekanik davranışları sebebiyle biyomedikal, ambalaj ve otomotiv endüstrisinde petrol esaslı polimerlere alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Polilaktik asit (PLA), birçok uygulama alanında tercih edilen yüksek çekme dayanımı ve sertliği, iyi biyobozunurluğu, kolay işlenebilirliği ile petrol esaslı polimerler ile kıyaslanabilir özelliklere sahip olan alifatik bir polyesterdir. Ayrıca PLA'nın yüksek şeffaflığa ve iyi mekanik özelliklere sahip olması onun tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Fakat bu özelliklerinin dışında petrol türevli polimerlere kıyasla düşük termal stabilite, yüksek kırılma ve zayıf bariyer özellikleri gibi bazı dezavantajlara sahip olması onun özelliklerinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Artvin ve Bursa bölgelerinden temin edilen sırasıyla sarıçam ve kestane kabukları öğütülerek toz haline getirilmiş olup, farklı oranlarda PLA'ya ilave edilerek çözelti döküm yöntemi ile yeşil kompozit ambalaj filmlerinin üretimi ve karakterizasyonu amaçlanmıştır. Saf PLA çözeltisi ve ağırlıkça %0,25, 0.5, 1, 2,5, 5, 10 oranlarında sarıçam veya kestane kabuğu tozları PLA çözücüsüne katkılanarak elde edilen kompozit çözelti petri kaplarına dökülmüş ve 30 oC'de 72 saat bekletilerek saf PLA ve kompozit ambalaj filmleri elde edilmiştir. Oluşturulan filmlerin karakterizasyon testleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Kalınlık ölçümleri sarıçam ve kestane kabuğu tozu katkısının PLA esaslı yeşil kompozit filmlerin kalınlığını artırdığı görülmüştür. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi sonucunda, kompozit filmlerde katkıların varlığı tespit edilmiştir. Mekanik test sonuçları incelendiğinde, PLA esaslı yeşil kompozitlerin mekanik özelliklerinin saf PLA'ya kıyasla azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: PLA, Sarıçam, Kestane kabuğu, Ambalaj, Yeşil Kompozit.

CHARACTERIZATION AND PRODUCTION OF PLA BASED GREEN COMPOSITES WITH AGRICULTURAL WASTE ADDITIVES

SUMMARY

Polymers, the majority of which are petroleum-derived, become waste in the environmental environment after completing their consumption life in the packaging industry. It is known that petroleum-based polymers do not decompose and harm the environment. This emerging problem has led to the tendency towards bio-based, biodegradable and environmentally friendly polymers obtained from renewable resources. Biopolymers have started to be used as an alternative to petroleum-based polymers in the biomedical, packaging and automotive industries due to their biocompatibility and biodegradability properties as well as their physical and mechanical behavior.

Poly(lactic acid) (PLA) is an aliphatic polyester preferred in many application areas, with high tensile strength and hardness, good biodegradability, easy processability, and comparable properties with petroleum-based polymers. In addition, the high transparency and good mechanical properties of PLA increase its preferability. However, apart from these properties, it has some disadvantages such as low thermal stability, high brittleness and weak barrier properties compared to petroleum-derived polymers, which necessitates the improvement of its properties.

In this thesis, it was aimed to produce and characterize green composite packaging films by solution casting method by grinding scotch pine and chestnut shells obtained from Artvin and Bursa regions, respectively, by grinding them into powder. Pure PLA solution and composite solution obtained by adding 0.25, 0.5, 1, 2.5, 5, 10 wt% scotch pine or chestnut bark powders to PLA solvent were poured into petri dishes and kept at 30 °C for 72 hours to obtain pure PLA and composite packaging films. Characterization tests of the films were made and the results were evaluated. Thickness measurements showed that scotch pine and chestnut bark powder additive increased the thickness of PLA-based green composite films. As a result of scanning electron microscopy (SEM) analysis, the presence of additives in composite films was determined. When the mechanical test results were examined, it was determined that the mechanical properties of PLA-based green composites decreased compared to pure PLA.

Keywords: PLA, Scotch Pine, Chestnut bark, Packaging, Green Composite.

1. GİRİŞ

Hızlı sanayileşme sonrası doğaya olan tehdit giderek artarken, üretim ve tüketim faaliyetleri, çevre ile ilgili önemli problemlere sebep olmaktadır. Özellikle tüketicilerin tek kullanımlık ürünleri tercih etmeleri bu tehdidi giderek artmaktadır. Tek kullanımlık ürünlerin çoğunu plastikler oluşturduğundan doğada ki zararı düşünüldüğünde ciddi sonuçlara sebebiyet vermektedir. Bunun nedeni plastik malzemelerin petrol türevi ürün olmasından kaynaklıdır. Doğaya atık olarak bırakılan plastikler, uzun yıllar boyu bozulmadan kalabilmektedir. Hem maliyet açısından hem de doğaya verdiği zarar açısından oldukça geliştirilmeye yönelik malzemelerdir. Günümüz şartlarında rekabet edebilmek için imalatın, azami emniyet ve asgari maliyetle yapılması gerektiği bilincinde olan üreticiler, şu an bulunduğumuz pazar içerisinde ürün ambalaj malzemelerinin yaşadığımız çevreyi daha az kirletmesi için ambalaj tasarımlarında değişikliğe gitmiştir. Çevre dostu yeşil malzemeler doğal çevremizi en az kirleten, doğal kaynakları ise tüketmeyen ambalaj tasarımlarından oluşmaktadır. Yenilenebilir ya da geri dönüştürülebilir bu ambalaj tasarımları bilinçli tüketici için tercih sebebi olmaktadır. Ambalaj malzemesi gıdaların ürün muhafazasında baştan sona (ambalajlama, depolama ve dağıtım boyunca) önemli bir rol oynamaktadır. Ambalajlamanın temel amacı gıdayı bozan dış etkenlerden korumak ve raf ömrünü uzatmaktır. Ve bunun içinde farklı katkılar kullanılarak ambalajlar üretilmektedir. Plastik ambalajların kaliteli olmaları, işlenebilme özelliği kolay olması sebebiyle gıda ambalajında genel olarak kullanılmaktadır. Ancak geçmişte olan ve gelecekte de risk olarak plastik atıkların çevreye olan zararlı etkilerine bakıldığında, gıda sektörünü doğa dostu biyobozunur ambalaj kullanımına yöneltmiştir [1].

Biyobozunur ambalaj malzemeleri, yenilenebilir kaynaklardan (mısır, nişasta vb.) üretilen ve biyolojik olarak doğal yolla çözünebilen PLA, çeşitli uygulamalar (biyomedikal, ambalaj, tekstil, teknik ürünler vb.) için kullanılmaktadır. Çeşitli özelliği nedeniyle PLA, biyopolimerler arasında önemli bir yere sahip olup, gelecekte umut verici biyopolimerler arasına yer almaktadır [2].

2. AMBALAJ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Ambalaj, herhangi bir fiziksel dış etkene karşı korumak amacıyla kullanılan malzemedir. Ambalaj tüketiciye ürünün içeriği hakkında verdiği bilgi ile gerekli kolaylığı sağlamaktadır. Paket üzerinde yazan tarih, ürünün bilgileri, üretici firma, bakanlık izni gibi ürünü tüketen kişiye gerekli bilgilendirme paket üzerinde yapılmaktadır [3]. Aynı zamanda ambalaj, ürünün içeriğine göre belirlenmektedir. Süt ürününü cam veya karton ambalajda muhafaza edilirken, kola pet şişe veya teneke kutularda saklanmaktadır. Ürün içeriğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ambalaj ürünleri, plastik, cam, karton ve metal ürünler olarak farklı kategorilerde karşımıza çıkmaktadır. Çoğunlukla tüketilen malzeme grubu plastikler olup, geri dönüştürülmesi zor olan plastiklerdir. Petrol türevi olan plastikler uygulama kolaylığı açısından kolay olsa da çevreye bıraktığı iz ise kaçınılmazdır. Uzun yıllar boyu doğada çözünmeden kalması hem çevre kirliliği hem de doğada yaşayan canlıların yaşamlarına zarar verebilmektedir. Ambalaj ürünlerinde, tek kullanımlık ürünlerde (plastik tabak, bardak, çata vs.) uygulama kolaylığı açısından tercih edilse de doğada yok olma süresi uzun yıllar aldığından ciddi sorunlara neden olmaktadır.

Plastik ürünlerin özellikle ambalaj ürünlerinde kullanılması uygun olmayan işleme koşulları ve dış etkene bağlı gıda ürününün yapısını bozma eğiliminde olabilmektedir. İnsan sağlığını olumsuz etkileyebilecek bir içeriği sahip olduğunda, ambalaj malzemesinin içeriğindeki madde gıdaya geçmemeli, gıda yapısında yapısını bozacak bir etkisi olmamalı ve gıdaların tat, koku gibi özelliklerini değiştirmemelidir [4].

2.1 Ambalajda Bozunmalar

Ambalajlamada kullanılan malzemeler kimyasal olarak aktif olmadıklarında gıda ürünü ile sürekli bir etkileşim halinde olurlar. Bu etkileşim sonucu toksik etkisi olabilecek bileşikler gıdaya bulaşabilmektedir. Ve gıda ambalajında bozunmalara sebebiyet verebilmektedir [4].

2.1.1 Ambalajda kütle transferi (migrasyon)

Ambalaj; her türlü gıdayı üreticiden tüketiciye ulaşıncaya kadar geçen süre boyunca ve tüketim süresine dek koruyacak özellikte olmalıdır. Ambalaj malzemelerinin bazıları kimyasal, fiziksel yapısına ve dış etmenlere de bağlı olarak gıda ürününe işleme eğiliminde olabilmektedir. Gıdalara nüfuz eden ambalajlar, gıdalarda yapısal bozulmalara yol açabilmektedir. Özellikle ambalaj ürünü olarak plastik esaslı malzemelerin yaygın kullanılması, elverişli olmayan işleme koşulları ve değişik ortam ısıları neticesinde migrasyonu meydana getirir. Zararlı olan bu bileşenlerin gıdaya nüfus etmesi insan sağlığı açısından da olumsuz etkilere yol açabilir, gıdanın özellikleri etkilenebilir ve toksik etki, kanserojen olabilirler [5].

Migrasyon, gıda ürününden ambalaj malzemesine, ambalaj malzemesinden gıdaya geçen bir kütle aktarımıdır. Bu maddeler ise migrant olarak tanımlanır. Ambalaj malzemesinden gıdaya olan transfer, toksik bileşenlerin gıdaya olan göçü gıdanın güvenliği konusunda ciddi bir risk taşımaktadır. Yine aynı şekilde zararlı maddenin gıdaya göçü, gıda maddesinin bozulmasına yol açabilmektedir. Ambalaj malzemesinden gıdaya olan transfer gıda için bozucu etkiye sahip olabildiği gibi, kimi zamanda olumlu sonuçlar doğurabilmektedir. Öte yandan anti mikrobiyal maddelerin ve antioksidanların gıda üretiminde belirli oranda gıdaya katkı maddesi olarak göç etmesi ürünün raf ömrünü uzatmaktadır [6]. Gıda üretiminde gıda ambalajın maksadı, içerisindeki ürünün mikrobiyal – kimyasal kontaminasyonlardan, nemden, ışıktan ve oksijenden korunmasıdır. Bu şartlar sağlanırken ambalaj malzemesinin de insan sağlığını tehdit etmemesi gerekmektedir [7].

Tüketicilerin sağlığını korumak ve gıdalara migrasyonla bir madde geçişini engellemek adına plastik malzemelere yönelik iki farklı migrasyon sınırı oluşturulmuştur: İlki ambalaj malzemelerinden gıdaya geçen bütün maddeler için oluşturulmuş bir sınırdır. Toplamda 10 mg madde/dm² (ambalaj ürününün alanı) geçmemesi gerekir. Bir diğeri ise özgül migrasyon sınırıdır. Gıdaya nüfuz edebilen tüm madde için toksikoloji değerlendirilmesine göre sabitlenmiştir. Özgül migrasyon limiti genel olarak Avrupa Bilimsel Gıda Komitesi tarafından belirlenen tolere edilebilir ya da kabul edilebilir günlük alım göz önünde bulundurularak oluşturulur. [8]. Gıdalara ve spesifik olarak sıvı gıdalara eser miktarda

da olsa, bir ambalaj materyalinden migrasyonun gerçekleřtięi izlenebilmektedir. Bunlar;

- Eser miktarda cam kaplardan silikat intikali
- Korozyon neticesinde metal ambalajların metal intikali
- Kâğıt özlü materyallerden çözünebilir yapıdaki yardımcı maddelerin, dolgu maddelerinin intikali

Plastiklerin yapılarındaki türlü bileşiklerde işlem esnasında veya gıda maddeleriyle dokunmanın devam ettiği zaman içerisinde gıdalara aktarım olabilir [9].

2.1.2 Ambalaj filmi yoluyla difüzyon

Gıdalar özelliklerine göre nem, koku, oksijen, ısı ve ışık gibi koşulların etkisiyle fiziksel, biyolojik, mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmalara uğrayabilmektedir. Bu sebeple ambalaj malzemesi seçiminde ambalajlanacak gıdanın hassas olduğu etmenler dikkate alınarak ambalaj malzemesinin nem, koku, oksijen, ışık, karbondioksit ve aroma maddeleri geçirgenlik özelliklerinin bilinmesi gerekir [10-11]. Gıda sektöründe genel olarak kullanılan plastik ambalaj ürünü bir diğer ambalaj ürününe kıyasla düşük moleküllü bileşikleri (gaz, sıvılar, su buharı, organik buharlar) geçirme özelliğine sahiptir. Uzun raf ömrü ve ürün kalitesinin artması için, plastik olarak üretilen ambalaj ürünlerinin geçirgenlik değerlerinin bilinmesi ve bu gıda alanında dikkate alınması gerekmektedir [11-12-14-17].

2.1.3 Ambalaj filmlerinin geçirgenliği

Polimer yüzeyinde bulunan çözünmüş maddelerin dış atmosferden iç atmosfere veya iç atmosferden dış atmosfere taşınmasıyla gerçekleşen bir kütle transferidir. Kütle transferi, geçirgenlikte genellikle üç farklı aşamayı içermektedir. Bunlardan ilki absorbsiyon ve çözünürlüktür. Absorbsiyon ve çözünürlükte, bir molekülün polimerde başka bir yere taşınabilmesi için ilk etapta bulunduğu ortamda çözünmesi gerekmektedir. Maddelerin çözünmemesi durumunda difüzyonun gerçekleşme olanağı yoktur. Çözünme durumu termodinamik bir prosestir ve çözünürlük polimer yüzeyinde bulunan toplam çözünen molekülün miktarı ile bu süreç için gereken miktar arasındaki farktır. Polimer üzerinde mevcut olan çözünmüş moleküller belirli bir doyma noktasına ulaştığı sırada, polimer içine yayınma yoluyla geçmeye başlar [10-12]. İkinci aşama ise difüzyondur. Polimer üzerinde absorbe olan molekülün kısmi

basınç ve yoğunluğa bağlı olarak dış atmosferden iç atmosfere geçme ya da tam tersi durum söz konusudur. Difüzyon; polimer yüzeyine nüfus etmiş çözünen moleküllerin, daha az yoğunluğa doğru hareketleri ile denge konsantrasyonun meydana gelmesine denir [12-15]. Üçüncü aşama ise desorpsiyondur. Desorpsiyon (scalping), absorpsiyonun tam tersi işlemdir. Moleküllerin polimerden evaporasyonu veya ayrılmasıdır [10-12].

2.1.3.1 Plastik ambalaj malzemelerinde geçirgenlik

Ambalajlama sürecinde önemli ve de dikkat edilmesi gereken kavramlar, ambalaj ürününün gaz (etilen, oksijen, azot karbondioksit), su buharı, aroma maddesi, ışık, koku geçirgenlik özellikleridir. Kontrol edilmesi gereken en önemli değişken oksijendir. Çünkü gıda ürününde birçok mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal tepkimelerin başlamasına neden olmaktadır. Polimerlerin gaz geçirgenliği basınçla ilişkilidir. Sıcaklığın artmasıyla gazlarda çözünürlüğü en aza indirgemesine karşı, polimer filminde madde geçişine uygun hale gelmesini sağlamaktadır [10-14-16]. Polimerlerde ışık geçirgenliği de önemli bir etkidir. Ortamda oksijenin varlığı oksidatif reaksiyona başlamasına ve hızlanmasına sebep olur. Buna bağlı ürünlerde ise kimyasal olarak bozulmalara neden olmaktadır.

Gıdaların ambalajlama ve depolama sürecinde nem alışverişi kontrol altına alınmalıdır. Çünkü, nem oranı ve sıcaklık derecesi değişmeyen ortamda bekletildikleri taktirde su alırlar ya da su verirler. Bu bağlamda kullanılacak ambalaj ürününün su buharı geçirgenliği dikkate alınarak uygun bir şekilde malzeme seçimi yapılabilmektedir [12-16]. Koku maddeleri ve aroma geçirgenliği, ambalajlanmış gıda maddesinde farklı bir aromanın gıdaya nüfus etmesine ya da gıda da aroma kaybına sebep olabilmektedir. Ambalaj materyallerinin aroma geçirgenliği çözünürlüğe ve sıcaklık derecesine bağlı olarak değişmektedir [16-17].,

2.1.3.2 Geçirgenliği etkileyen faktörler

Gıda moleküllerinin polimer filmlerinden geçişini etkileyen bazı etkenler bulunmaktadır. Bu etkenler;

a) Polimerik etkenler: Polimer matrikslerinin polaritesi, kimyasal bileşimi kristal-amorf yapısı, serbest hacim (boşluk) miktarı, fiziksel yaşlandırma ve gerdirilme işlemi, yoğunluğu, kullanılan dolgu maddeleri geçirgenliği etkilemektedir [10-16]. Polar yapıya sahip polimerlerin yine aynı özelliğe sahip molekülleri çekme özelliği

yüksektir. Polar polimer matrikslerinde, polar organik moleküllerin daha çok çözünmelerine bağlı olarak difüzyon katsayısında bir artış görülebilmektedir. Serbest hacim polimer matrikslerinde bulunan boşlukları ifade etmekte olup bu boşluklar polimerlerden geçiş yapmak isteyen maddeler için yol oluşturmaktadır. Serbest hacim miktarının artmasıyla birlikte difüzyon dolayısıyla geçirgenlikte artacaktır. Polimerler kristal ve amorf yapılardan oluşmaktadır. Kristal yapı arttıkça geçirgenlik düşmektedir. Fiziksel yaşlandırma ve gerdirilme işlemi ile yoğunluğun yüksek olması serbest hacim oranını azaltacağından geçirgenliği düşürürken, dolgu maddelerinin kullanımı geçirgenliği arttırmaktadır.

b) Çevresel etkenler: Bağıl nem ve sıcaklık önemli etmenlerdir. Küçük moleküllerin geçirgenliğini sıcaklık etkilemektedir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte molekül hareketliliği artar ve bununla birlikte yoğunlukta azalma olmaktadır. Polimer filmi ise difüzyona daha uygun hale gelir. Sıcaklığın sabit bağıl nemin değişken olduğu ortamlarda tutulan gıdaların, denge nem miktarları ortamın bağıl nemine bağlı olarak artmaktadır. Bu sebeple su buharı geçirgenliğinde ortamın bağıl nem miktarı önemli bir değişkendir [12-16].

c) Gıda ile ilgili etkenler: Molekül büyüklüğü ve konsantrasyon önemli etmenlerdir. Konsantrasyon oranlarıyla difüzyon gerçekleşmektedir. Yüksek konsantrasyona sahip moleküllerin, düşük konsantrasyona sahip alana doğru geçiş yaparak dengeye ulaşmaya çalışırlar. Difüzyon katsayı, büyük moleküle sahip gaz bileşenlere göre küçük moleküle sahip gaz bileşenleri daha yüksektir [16].

Ambalaj malzemesi ambalajlanacak gıdaya uygun olmalı ve geçirgenlik özellikleri iyi bilinmelidir. Plastik ambalaj malzemeleri çeşitlerinin çokluğu ve geçirgenlik değerlerinin farklı olması sebebiyle, ambalajlama yapılacak gıda maddesine en uygun malzemenin seçimi için gıda maddesi ile etkileşimlerinin iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. [17].

14-17].

2.1.4 Ambalaj filmlerinin optik ve yüzey özellikleri

Ambalajın bir diğer görevi ise içinde bulunan yiyecekleri zararlı ışıklardan korumaktır. İçinde bulunan gıdanın raf ömrü ve gıda kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Gıda ambalajlarında optik geçirgenlik, özellikle UV-A, UV-B, UV-C geçirgenliği, gıda kalitesini etkileyen önemli bir parametredir [18].

Genellikle düşük sıcaklıklarla yürütülen ve de gıda üzerinde düşük sıcaklığın olumsuz etkilerini azaltılmaya çalışılan bir yöntemdir. UV ışık; ışık yelpazesinde, X ışınından uzun, görünür ışıktan kısa, dalga boyuna sahiptir. UV ışık, dalga boyuna göre; uzak-UV (10-200 nm) ve yakın-UV (200-400 nm) olarak ikiye ayrılmaktadır.

Yakın-UV ise;

- UV-A (uzun UV, siyah ışık; 315-400 nm)
- UV-B (orta UV, 280-315 nm)
- UV-C (kısa UV, germisidal UV; 200-280 nm) [19].

Yüksek enerjisi olması ve kısa dalga boyu sebebiyle UV-C; protozoa, bakteri, virüs, maya, küf gibi mikroorganizmalara karşı mikrop öldürücü etkiye sahiptir [20]. UV ışık, mikroorganizmaların çoğalmasını önleyerek inaktivasyonunu sağlamaktadır. UV-C uygulamasında, düşük dozlar verilerek mikroorganizma gelişimini önlemek için yeterli olmaktadır. Ve bu dozlarda uygulanan ürüne zararlı etki oluşturmamaktadır [21].

2.1.5 Ambalaj filmlerinin antimikrobiyal ve antifungal özellikleri

Petrol kaynaklı sentetik polimere karşı biyobazlı polimerlerin geliştirilmesi, ambalaj filmlerinde kalite, tazelik, ürünlerin uzun süre muhafazası, besin değerinin korunması ve raf ömrü gibi özellikleri iyileştirilmesi açısından oldukça önemlidir.

Gıdalarda taşıma, depolama sırasında özellikle çabuk bozulabilen ürünlerin mikro organizmaların oluşumuna neden olabilecek, raf ömürleri atmosferde bulunan oksijen nedeniyle de oluşmaktadır. Ve bunlardan her biri birbiriyle bağlantılı veya bağlantılı olmadan da tatlarında acılaşma, kokularında ve renginde bozulmalara neden olabilmektedir [22]. Geleneksel ambalajlama yöntemleri gıdadaki olası riskin en aza indirilmesi, tüketicilerin beklentilerini iyi karşılanması, istenildiği şekilde bu yöntemlerle olmadığı için pazar payı da düşünülerek alternatif olarak akıllı ambalaj ve aktif ambalaj malzemeleri geliştirilmiştir [23]. Aktif ambalajlama sisteminin içinde yer alan Antibakteriyel ambalajlamada antibakteriyel ajan olarak esansiyel yağlar, inorganik bileşikler kullanılmıştır. Amaç, bunlarda olası mikroplara karşı korumaktır. Yalnız antibakteriyel ajanların gıda üzerine direk olarak uygulanması sorunlara neden olabileceği için polimer filmlerinden ürüne yavaş bir şekilde taşınmasını sağlayan aktif ambalajlama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem ise Aktif Ambalajlama adı

verilmiştir [24]. Gıda ambalajı, özellikle antimikrobiyal ambalaj, mikroorganizmaların, bakterilerin oluşumunu engellemek veya minimuma indirerek ürünleri korumak, enfeksiyonlara neden olabilecek herhangi bir etkiyi ortadan kaldırmak adına yapılan çalışmalardır [25].

Son zamanlarda hazır gıdaların tüketimi artış gösterdiğinden dolayı ambalajlama tekniklerinde de yeniliğe gidilmiştir. Bununla ilgili yapılan çalışmalardan;

Gıdaların raf ömrünü uzatmak amacıyla yapılan soğukta muhafaza yöntemlerinin yanında ambalajlama yöntemlerinin de (aktif ambalajlama, modifiye atmosferde ambalajlama gibi) uygulanması gıda maddesinin daha uzun süre taze kalmasını sağlamaktadır [26].

Yapılan bir çalışmada, PLA' ya sinemaldehit eklenerek film oluşturulmuştur. Organik bir bileşik olan sinemaldehitin antimikrobiyal özellik içermektedir. Yapılan film, belirli oranlarda sinemaldehitin eklendiği antibakteriyel PLA filmleridir. Staphylococcus aureus ve Escherichia coli bakterilerine karşı antibakteriyel etkisi incelenmiştir. %10' luk sinemaldehit eklenen filmde herhangi bir etki olmazken, %20, %30 eklenenlerde antibakteriyel etki gözlemlendiği görülmüştür [27]. Başka bir diğer örnek ise, çay penofolleridir. Küfe, mantara bakteri oluşumuna karşı en iyi doğal antimikrobiyal özelliğe sahiptir [28].

2.1.6 Ambalaj malzemelerine uygulanan testler

Ambalajın temel amacı içindeki malzemeyi korumaktır. Ambalaj ile ambalaj içerisindeki ürünün etkileşim sonucu herhangi bir reaksiyona maruz kalmaması, oksijen ve ışık geçirgenliği olmaması gerekir. İnsan sağlığına zarar veren herhangi bir etkinin (zehirlenme, kanserojen etki vs.) ve de aynı zamanda ürün muhafazasında herhangi bir sorun ile karşılaşmamak için ambalaj ürünlerine birtakım testler yapılmaktadır [29]. Bunlardan en temel yapılan testlerden olan karakterizasyon testi başta gelmektedir.

Ambalaj malzemelerinde seri üretime geçilmeden uygunluğunun test edilmesi gerekmektedir. Bunun içinde gerekli testlerin yapılması gerekir. Yapılan testlerin bir kısmı aşağıda yer alsa da yazılanlar harici ambalaj türüne göre ve içeriğindeki katkı malzemelerine göre yapılan testler değişiklik göstermektedir.

2.1.6.1 Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Ürünlerin kimyasal yapısını belirlemek için yapılan test yöntemidir. Moleküllerin, görünür bölge ile mikrodalga bölgesi arasında kalan bölgede kendilerine ait dalga boylarında absorpsiyon yapma özelliğine dayanır. Kızılötesi ışınları 12800 ile 10 cm⁻¹ dalga sayılı veya 0,78 ile 1000 µm dalga boylu kısmını kapsar. Işının frekansı molekülün doğal titreşim frekansına uyarsa, moleküler titreşimin genliğinde bir değişme meydana getiren net bir enerji alışverişi gerçekleşir; bu da ışının absorpsiyonu demektir [30].

2.1.6.2 X-ışını kırınımı (XRD)

Biyonanokompozit filmlerin kristalografik fazını ve kristallik indeksini (CI) incelemek için kullanılan test yöntemidir [30]. Kristal atomlarını dizilimi ve arasındaki uzaklığı hakkındaki bilgi bu yöntemle elde edilir. Bundan dolayı x-ışınları kırınımı (XRD) maddenin ne olduğunu anlamak adına yapılan testtir [30].

2.1.6.3 Optik geçirgenlik testi

Ambalaj filmlerinde optik geçirgenlik, UV-A, UV-B, UV-C geçirgenliği, gıda kalitesini, gıda ürünün bozulmasını, herhangi bir kimyasal reaksiyona neden olabilecek etkiyi görmek adına yapılan test yöntemidir [29].

2.1.6.4 Termogravimetrik analiz (TGA)

Ambalaj filmlerinin filmlerin termal özelliklerini analiz etmek için uygulanan yöntemdir [30]. Bir malzemenin kütlesini, kontrol altına alınmış bir atmosferde ve kontrollü sıcaklık altında zamanın bir fonksiyonu olarak malzemenin ağırlığındaki ve miktarındaki değişim hızını ölçen bir yöntemdir. Test edilecek olan numuneyi cihazın hassas terazisine içine konularak TGA fırınına yerleştirilir. Numune gerekli olan sıcaklıkta tutulurken ya da programlanmış sıcaklığa ısıtılırken kütlede meydana gelen değişimler kaydedilir.

2.1.6.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Mikroyapı Karakterizasyonu, numune yüzeyindeki kompozisyonu hakkında bilgi almak için yapılan test yöntemidir. Elektronlar numune yüzeyindeki atomlarla etkileşime girerek numunenin içeriği hakkında bilgiler içeren sinyaller üretir. Üretilen sinyaller ile yüzey taranarak görüntü oluşturulur.

Ambalaj filmlerinin fiziksel özelliklerini ve mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan diğer testler ise; kalınlık ölçümü, yoğunluk, nem oranı ve çekme testleridir.

Filmlerin mekanik özellikleri, ürünün paketlenmesi, taşınması ve depolanması sırasında dışardan gelebilecek etkiye karşıda koruması önemlidir. Bu yüzden ambalaj ürününün kalitesi her koşulda önem arz etmektedir.



3. KOMPOZİT MALZEMELER

3.1 Kompozit Malzemeler

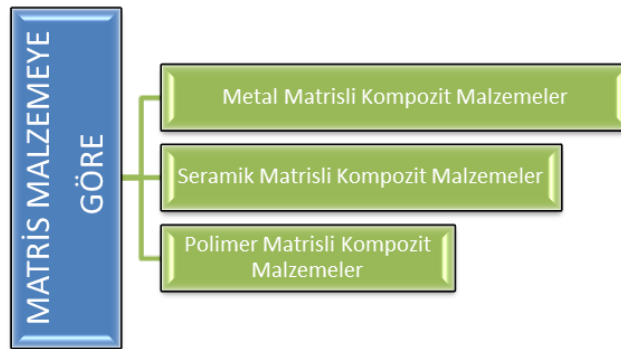
Kompozit malzemeler geniş bir kullanım alanına sahip olup, bu bağlamda her alanda yaşamımızın bir parçası haline gelmiştir. Yaşadığımız binalarda, bindiğimiz otomobilden ve toplu taşıma araçlarına, denizde, havada, savunmada, tarımda çok yönlü malzeme olarak sorunlara çözüm üretmekte ve karşımıza çıkmaktadır. Geçmişten günümüze kadar gelen kompozit malzeme, birden fazla malzemenin makro boyutta birleşerek hem yapı itibariyle hem özellik bakımından farklılık gösteren yeni malzemeye kompozit denir. Buradaki asıl amaç, tek başına uygun olmayan, birleştiği anda kullanılacak alana uygun özellikleri gösterebilecek hale getirmek, yeni özellik katmaktır.

3.1.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, yapısında mevcut olan matris ve takviye fazlarından oluşmaktadır.

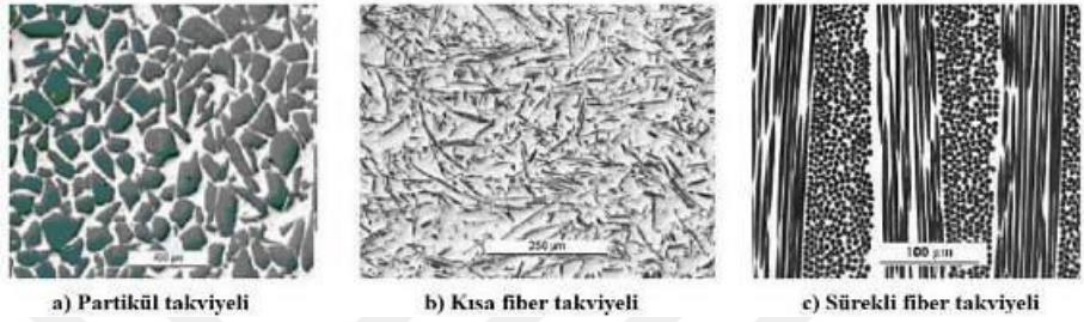
3.1.1.1 Matris malzemeye göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Matris malzemeler, genel olarak üretim yöntemine ve kullanım amacına göre farklı şekilde ayrılmaktadır. Seramik, polimer ve metal malzemelerden oluşur [31].



Şekil 3.1 : Matris malzemeye göre sınıflandırma.

Metal matrisli kompozit malzemeler; içeriğinde metal ve metal alışımları barındıran kompozit malzeme çeşitidir. Genellikle malzeme içeriğini güçlendirmek adına yapılmaktadır. Yapısında ikinci bir takviye faz bulunur. Buradaki amaç, içerisine ilave edilen takviye malzemeler ile yeni özellik katarak üstün özellik kazandırmaktır. Metaller içerisinde Al ve alaşımları genel olarak hafif olduğu ve de işlenebilirliği kolay olduğundan tercih sebebidir. Oksidasyona karşı direnci iyidir.



Şekil 3.2 : Takviye elamanının geometrik yapısına göre metal matrisli kompozitler [32].

Kompozit malzemelerin kolay şekillendirme özelliği, ısıya karşı dayanımı, aşınma ve korozyon direncinin yüksek olması, mukavemetinin yüksek olması, düşük sürtünme direnci ve yorulma direncinin iyi olması gibi birçok avantajları bulunmaktadır [32].

Avantajlarının yanında üretim yöntemleri, malzemenin kırılgan yapıda olabilmesi yüksek maliyeti gibi dezavantajları mevcuttur [33].

Seramik matrisli kompozit malzemeler; seramik malzemeler, yapısı gereği sert, gevrek olması dezavantajlı olsa da hafif, yüksek sıcaklığa dayanımlı ve oksidasyon direncinin yüksek olması bir o kadar da avantajlı yöndedir. SMK malzemeler yüksek sıcaklığa dayanımı olduğundan, genellikle de yüksek sıcaklıktaki malzemelerle çalışılmakta ve lifli ürünlerle takviye edilmektedir. Aşağıda Şekil 3.3'te görüldüğü gibi kendi içinde sınıflara ayrılır [31].



Şekil 3.3 : Seramik matrisli kompozitlerin sınıflandırılması.

Örneğin, seramik malzemelerin kırılma tokluğu düşük olduğundan bunu arttırma yönünde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Seramik matris içine ikinci bir fazı ilave ederek homojen bir şekilde dağılımını sağlayarak iyileştirme yapılmaktadır [34].

Polimer matrisli kompozit malzemeler; genel olarak en çok kullanılan kompozit malzeme sınıfında yer almaktadır. Kullanım alanı geniş olduğundan ve de diğer kompozit malzemelere göre iyi özellik gösterdiğinden dolayı tercih sebebidir. Matris malzemesinin polimer olması, korozyona karşı direnci iyi, kolay şekillendirilebilir olması açısından işlenmesi kolay olmaktadır. Düşük çarpma enerjisi, geri dönüşüm zorlukları mevcut olmak ile birlikte, termal direncinin düşük, termal genleşmenin yüksek olması dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. En büyük dezavantajı ise petrokimya ürünü olmasıdır. Kaynak açısından bulunması sınırlı olan malzemelerdir. Polimer matrisli kompozit malzemeler termoset ve termoplastik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [31].

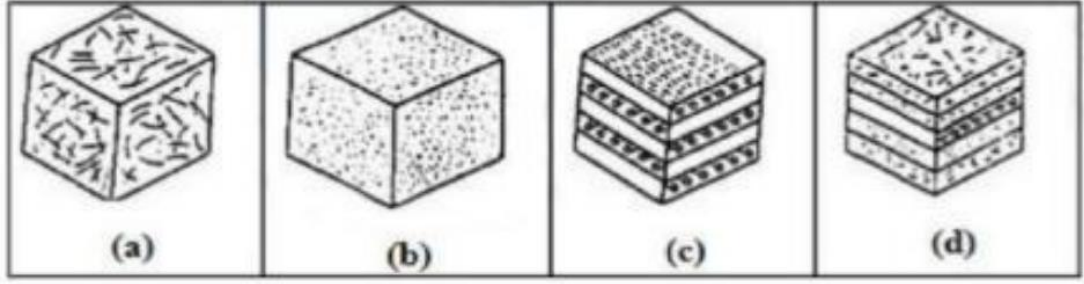
Termoset polimerler, çapraz bağ yaptıklarından, ısıtıldıklarında önce jel daha sonra katı yapı oluşturarak, sert ve rijit haline gelmektedir. Isıtıldıklarında sadece bir kez şekil alabilmektedir. Geri dönüştürülemeyen polimerdir. PES (Polyesterler), epoksi, Si (silikon), PA (poliamid) PU (poliüretan) örnek olarak verilebilir.

Termoplastik polimerlerde moleküller zincir halindedir. Sıcaklık verilerek sıvı hale dönüşebilir. Yani ısı ile şekil değiştirme kabiliyetleri yüksektir. Tekrar tekrar yapısı bozulmadan ısıtılarak şekil değiştirilebilir [35]. PA (Poliamid), PC (Polikarbonat), PP (Polipropilen), ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren), PVC (Polivinil Klorür) şeklinde termoplastiğe örnek olarak verilmektedir [36].

3.1.1.2 Takviye edici malzemeye göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompoziti oluşturan takviye malzemesine göre sınıflandırmada 4 ayrı grupta incelenmektedir:

- Elyaf takviyeli kompozitler
- Parçacık takviyeli kompozit malzemeler
- Tabakalı kompozitler
- Karma kompozitler



Şekil 3.4 : Takviye göre kompozit malzemeler a) Elyaflı b) Parçacıklı c) Tabakalı d) Karma [37].

Elyaf takviyeli kompozitler; Takviye malzemesi olarak en yaygın bilineni ve de sektörde en yaygın kullanılanı camdır. Ardından boron elyaf ve karbon elyaf onu takip etmektedir. Matris malzeme olarak da plastik reçineler kullanılmaktadır.

Parçacık takviyeli kompozitler; bu kompozitlerde içine matris malzemesinin parçacık halinde ilave edilmesiyle oluşmaktadır. Amaç hem maliyeti azaltmak hem de mekanik özellikleri iyileştirmek için kullanılmaktadır.

Tabakalı kompozitler; takviye elemanının koyuluş biçimine göre verilen isimdir. Yani elyaf malzemesinin üst üste konularak oluşturulan yapıya denir. Bu yöntemle hazırlanan kompozit malzemeler çok daha yüksek mukavemetli olduğu görülmüştür.

Karma (hibrid) kompozitler; birden fazla takviye fazının bulunmasıdır. Bu alanda farklı yapıda kompozitler geliştirilmesinde uygulanan yöntemdir [31-38].

3.2 Biyokompozitler

Kompozitler iki ayrı bileşenden meydana geldiğinden dolayı (matris fazı ve takviye fazı) bunlardan en az birinin doğal, yenilebilir kaynaklardan elde edilmesiyle oluşan yeni malzemeye biyokompozit denir [39]. Yeşil kompozit olarak da anılan ve kendini çevreci çalışmalarda da tanıtan kompozit malzemenin yenilenebilir kaynaklardan meydana gelmesi üzerinde durulmaktadır [39]. Sentetik liflerin yerine doğal liflerin kullanılması esasına dayanmaktadır. Kullanılan doğal lifler keten, kenaf, kenevir vb. şekilde sıralanabilir. Örnek verecek olursak, mevcut orman kaynaklarının azalması, azalan kaynak karşısında kereste fiyatlarının artması odun lifi harici farklı yöntem arayışına itmiştir. Bunlardan biri buğday sapıdır. Kanada’ da buğday sapı atıklarından yapılan kompozit levhalar kalite olarak bu malzeme üreticilerinin tarım atıklarını kullanma isteklerini artırmaktadır [40]. Bizde buna bağlı olarak gelişen teknoloji ve

artan çevre kirliliği sorunu ile çalışmalar yapılmış ve hala yapılmaktadır. Hem doğaya zarar vermeyen hem de var olan mevcut kaynaklarımızın tüketimini azaltmak, artan maliyeti ortadan kaldırmak adına çalışmalar devam etmektedir.

3.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler, günümüz itibariyle artık çok daha yaygın kullanılır hale gelmiştir. Otomotiv sektöründe kompozit malzemelerin kullanımı, hafif olması, hafif olmasıyla beraber araçlardaki yakıt tasarrufuyla doğanın daha fazla kirlenmemesi için tercih sebebidir. İnşaat sektörü için kullanılan malzemeler hem dayanım hem de sağlamlık açısından tercih edilmektedir. İnşaat sektörünün birçok alanında kullanıldığı görülmektedir. İç ve dış kaplamalar, beton vs. buna örnek olarak verilebilir. Bununla beraber enerji sektöründe, savunma sanayinden havacılığa, sağlık sektöründen yapı malzemelerine, spor aletleri, müzik aletleri, medikal uygulamalara pek çok alanda kendine yer edinmiştir.

4. AMBALAJDA BİYOKOMPOZİT VE BİYOBOZUNUR POLİMERLER

4.1 Yeşil Kompozitler

Yeşil malzeme diye adlandırılan malzemeler çevreye zarar vermeyen her alanda geliştirilebilen ve de son zamanlarda kullanımı oldukça artan doğa dostu malzemelerdir.

Yeşil malzemeler, sürdürülebilir, ekolojik, çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilir. Burada amaç, atık oluşumunun engellenmesi ya da en aza indirgenmesi, oluşan atıkların geri dönüştürülmesi, bunun içinde minimum enerji harcanması ve yaşamımız boyunca oluşabilecek karbon ayak izini azaltmaya yardımcı olması yönündedir. Şuan yapılan çalışmalar inşaat sektöründe, yapı elemanlarında kullanılmaya başlanmıştır. İlk yapılan çalışmalardan, binalar daha önce, estetik, konfor, ekonomi gibi kriterler göz önünde bulundurulurken şimdi ise ne kadar çevre dostu olduğu yönünde yenisi eklenmiştir. Aslında bizi bu alanda daha da düşündüren ve iten küresel ısınmanın artması, yaşanan iklim değişiklikleridir. Son zamanlarda sera gazının da artmasının en büyük sebeplerinden biri insan faktörünün olmasıdır. Buna bağlı olarak çeşitli arayışlar içine girilmiş ve çalışmalara yapılmaya başlanmıştır.

Biyokompozit ise, yenilebilir kaynaklardan elde edilen veya biyolojik maddelerden kaynaklanan hem takviyelerden hem de polimer matris fazından oluşan farklı türde biyo-kompozit malzemeler olarak tanımlanmakta, geri dönüştürülebilir veya biyolojik olarak parçalanabilen hafif kompozit malzemelerdir. Yaşadığımız çağ her alanda gelişmekte ve de gelişmeye devam etmektedir. İlerleyen teknolojiyle de artık bugün doğal yaşama zararı azaltma yönünde de çalışmalar ön planda tutulmakta aynı zamanda hız kazanmaktadır [41].

Daha sağlıklı yaşam, enerji tasarrufu, enerjide dışa bağımlılığın azalması, çevreye olan zararın en aza indirgenmesi ve sera gazının etkisinin azalması gibi avantajları arasında yer almaktadır.

Polimer-tarımsal atık yeşil kompozitleri, çevre ile uyumlu, doğa dostu biyobozunur ambalaj ürünleri geliştirmek için çalışmalar varlığını sürdürmektedir. Bu çalışmalardan katkı maddelerinin ilavesi ile biyobozunur olmayan ürünlerin biyolojik olarak parçalanabilir hale gelmesini amaçlamaktadır [42].

Yapılan çalışmalardan biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin yanı sıra atık diye nitelendirdiğimiz gıdalardan arta kalanlar da değerlendirilmektedir. Genel olarak atık diye nitelendirilen tarım ürünleri, bu alanda yeni bir malzemenin var oluşu için yeni bir adım olabilmektedir. Burada polimerlerin çevreye zarar vermeden yok olması amaçlanmaktadır. Doğadan elde ettiğimiz malzemenin yine doğada çözünürken gübre olarak tekrar doğaya geri dönmesidir. Petrol esaslı polimerlerde ise geri dönüştürme imkanı kısıtlıdır. Bu yüzden kullandıktan sonra çevreye atılan atıklar hem çevreye hem de ekolojiyi olumsuz anlamda etkilemektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar doğal çevreye uyumlu minimum enerji tüketimiyle ve yüksek verimle üretilen malzemeler olacaktır. Endüstriyel alanda kullanılan plastiklere karşı şuan ve gelecekte çok daha yaygın bir şekilde bu polimerleri görmemiz mümkün olacaktır [43].

4.2 Biyobozunur Polimerler

Biyobozunur polimer, doğaya ve canlı yaşamına zarar veren petrol kaynaklı polimerlerle imal edilen ürünlere alternatif olarak daha çevreci plastikler geliştirilmeye başlanmıştır. Nişasta, selüloz gibi bitkisel kaynaklı ürünler kullanılarak doğada atık oluşturmayan, doğal süreç içerisinde mikroorganizmalar tarafından parçalanın polimerlerdir. Burada asıl bozunma fiziksel, kimyasal ve biyolojik etmenlerin hepsinin bir arada olması gerekmektedir. En çok tüketilen sektör ambalaj sektörü olduğundan biyobozunur olması bu alanda bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır [44].

Biyobozunur polimerler, doğal ve sentetik olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğal biyobozunur polimerler, kullanılan yenilenebilir kaynaklar arasında selüloz, nişasta, protein gibi doğal kaynaklı polimerler hammadde olarak tercih edilmektedir [45].

Sentetik biyobozunur polimerler ise poli(laktik asit) (PLA), poli(glikolik asit) (PGA), poli(laktik glikolik asit) (PLGA), poli(hidroksibütirat) (PHB) ve poli(kaprolaktan) (PCL) gibi alifatik polyesterlerdir [46].

Düşük yoğunluğa sahip olması, bozunabilir olması, çevre dostu olması, geri dönüştürülebilir olması, toksik özelliğe sahip olmaması, üretim yapılırken düşük enerji

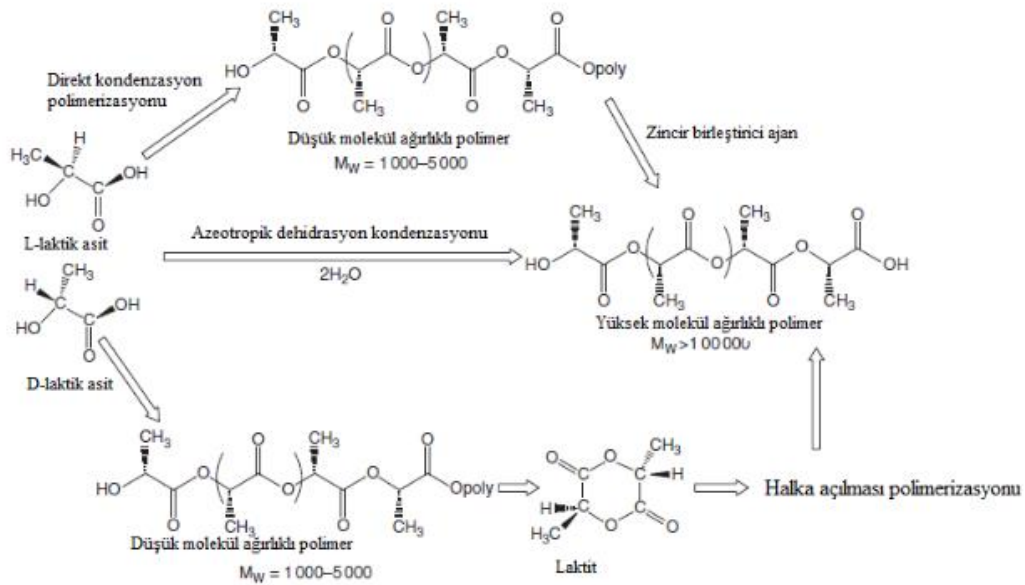
kullanımı avantajları olarak sayılsa da, uzun süreli kullanıma uygun olmaması, üretimin az olmasından dolayı pahalı olması dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Biyobozunur polimerlerin (biyopolimer) büyük miktarı bütün organizmaların büyüme döngüleri sırasında kimyasal veya biyolojik olarak sentezlenmektedir. Biyobozunur polimerlerin senteze göre dört ayrı kategoride sınıflandırılmaktadır.

- Tarımsal kaynaklardaki agro-polimerler gibi biyokütlelerden elde edilen polimerler, ör. nişasta, selüloz,
- Mikrobiyal üretimden elde edilen polimerler, ör. Polihidroksil alkanotlar,
- Tarımsal kaynaklardan elde edilen monomerler kullanılarak kimyasal olarak sentezlenen polimerler, ör. Poli (laktik asit),
- Monomerleri fosil kaynakların kimyasal sentezinden elde edilen polimerler [47].

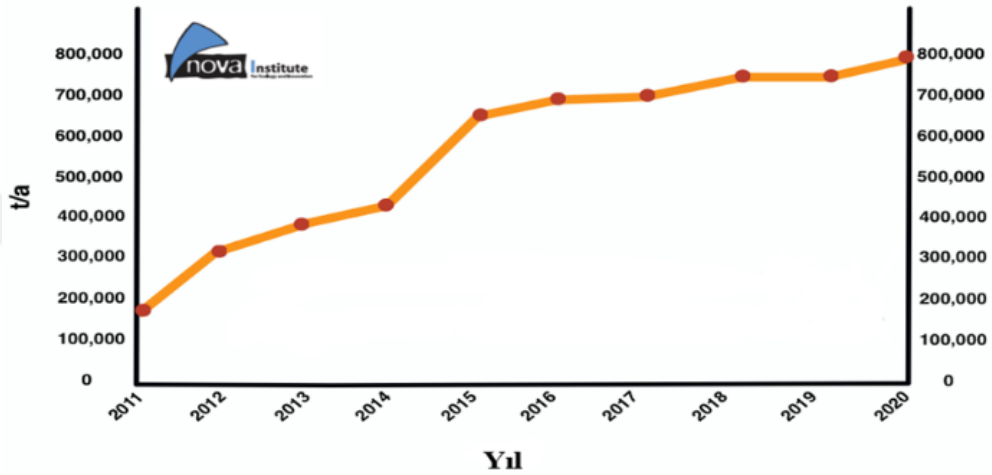
4.3 Polilaktik Asit (PLA)

Polilaktik asit (PLA), laktik asitten üretilen sentetik, alifatik yani benzen halkası içermeyen bir polyesterdir[48]. Laktik asit ve laktit genel anlamda aşağıda belirtilen yöntemlerle polimerleştirilerek poli(laktik asit) veya poli(laktit) elde edilir. Laktik asitten kondenzasyon polimerizasyonu (PC = polycondensation) elde edilen polimerler polilaktik asit, laktitten halka açılması polimerizasyonu (ROP = ring opening polymerization) elde edilen polimerler polilaktit olarak adlandırılır.



Şekil 4.1 : PLA'nın bazı sentez yöntemlerinin şematik gösterimi [49].

Mısır ve şeker pancarı gibi yenilebilir kaynaklardan, bitkilerin sentezlenmesi sonucu elde edilir. En çok tercih edilen biyobozunur malzemelerdendir. Toprakta belirli mikroorganizmaların varlığında hidroliz yoluyla parçalanıp, bozunarak toprağa karışan bir polimer türüdür [50]. PLA' nın yenilebilir kaynaklardan üretililebiliyor olması, biyobozunur olması gibi özellikleri üretimine olan ilgiyi üzerine çekmesiyle, kullanımının artması ve PLA' nın üretiminde küresel kapasite 2020 yılı itibari ile 800kt/y lık bir hacme ulaştığı belirtilmiştir.



Şekil 4.2 : PLA' nın dünya çapındaki üretim kapasitelerinin gelişimi [51].

PLA pek çok alanda çeşitli özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Bu yüzden kullanım alanı oldukça geniştir. PLA' lar yeşil gıdalarda ürün tazeliğini korumak adına oksijen geçirgenliği olan bir polimerdir. Biyomedikal alanında, cerrahi dikiş ipliği, implant ve ambalaj ürünlerinde kullanılmaktadır [51]. Polilaktik asitin en büyük avantajı biyobozunur olması ve yenilebilir kaynaklardan elde ediliyor olmasıdır. Bunun yanı sıra biyo uyumluluk gibi özelliğe sahip olması da, ziraat ürünlerinde, medikal ürünlerinde kullanılmasına olanak tanımıştır. Avantajlarının yanında en büyük dez avantajı ise üretim için maliyetin fazla olmasıdır [52].

4.4 Tarımsal Atık Malzemeler

Ülkemizde ve de dünya genelinde tarım hasadı yapıldıktan sonra kalan kısımlar atık olarak bırakılmaktadır. Yediğimiz gıdalarda da atık olarak ayrılan, çöpe atılan ürünler, çevreci kesim tarafından değerlendirmek adına çalışmalar düzenlemiştir. Çevre bilincinin artmasıyla biyobozunur polimerlerin kullanımı da artış göstermiştir.

Medikal uygulamalarda, ambalaj alanında atık sorunun önüne geçmek adına yenilebilir kaynaklardan elde edilen ve doğal ortamda parçalanabilen biyobozunur polimer (PLA) kullanılarak bu malzemelerin geliştirilmesi gerekmektedir. Atık olarak ayrılan ve tekrar geri kazandırılan ürünlerin büyük bir kısmını, fındık, ceviz, muz, kestane, portakal, limon kabukları genel olarak oluşturmaktadır. Farklı sektörlerde de kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle ambalaj alanında kullanılmasıyla doğaya atık olarak atılan ürünlerde bozunmanın doğal yolla olması beklenen hedeftir.



5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Kullanılan Malzemeler

Tez çalışmasında, ilk olarak takviyesiz PLA ambalaj filmlerinin üretimini gerçekleştirmek amacıyla Luminy LX175 PLA granül ve çözücüsü olan kloroform satın alınmıştır. Alınan PLA'nın özellikleri; yüksek viskozite, düşük akış, amorf ve şeffaf reçine olmasıdır. Katkı malzemeleri olarak kestane kabuğu tozu ve sarıçam tozu kullanılmıştır. Bursa Kafkas firmasından temin edilen kestane, kızımtrak kabuklu ve sert yapraklı bir meyvedir. Daha soğuk bölgelerde yetişen ve dayanımı oldukça yüksek ağaç olan ömürleri kısa sarıçamlar ise, Artvin'den tedarik edilmiştir.

5.2 PLA Çözeltisinin Hazırlanması

Yapılan deneysel çalışmada 150 ml'lik kloroform çözücüsüne saf PLA (Şekil 5.1) hassas terazide 7,5 gr olacak şekilde tartılarak kloroform çözücüsü içine ilave edilmiştir. Kloroform çözücüsüne dahil edilen PLA granülleri, manyetik karıştırıcıda 800 rpm hızında homojen bir dağılım sağlanması amacıyla 1 saat boyunca 50 °C'de karıştırıldı. 1 saat sonunda elde ettiğimiz PLA çözeltisinin görünümü Şekil 5.2'de gösterilmektedir. PLA Electro-Mag M221 marka/model (Şekil 5.3) manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır.



Şekil 5.1 : Saf PLA.



Şekil 5.2 : Saf PLA çözeltisi.



Şekil 5.3 : Electro-Mag M221 marka model manyetik karıştırıcıda görünüm.



Şekil 5.4 : Manyetik karıştırıcı sonrası PLA'nın görünümü.

Karıştırıcıdan alınan çözelti Bandelin marka/model ultrasonik prob sonikatörde (Şekil 5.5) 30 dk. %45 genlikte tamamen homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırıldı. Ultrasonik prob sonikatörden alınan PLA çözeltisinin dinlendirilmesi ve oluşan baloncukların yok olması amacıyla oda sıcaklığında 15 dk boyunca dinlendirildi. Cam petri kaplarına bir şırınga yardımıyla 5 ml, 10 ml, 15 ml, 20 ml, 25 ml ve 30 ml olacak şekilde döküldü. Dökülen çözelti 30 °C'ye ayarlanan etüvde 4 gün boyunca kurutuldu (Şekil 5.6 ve Şekil 5.7).



Şekil 5.5 : Ultrasonik prob sonikatörde çözeltinin karışımı.



Şekil 5.6 : PLA'nın petri kaplarındaki görüntüsü.



Şekil 5.7 : PLA'nın petri kaplarındaki görüntüsü.

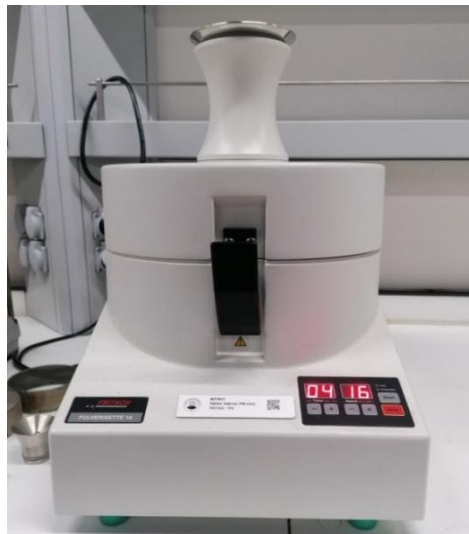
Elde edilen farklı kalınlıklardaki takviyesiz PLA ambalaj malzemelerinin ideal kalınlığı 20 ml olarak belirlenmiş ve takviyeli ambalaj malzemelerinin çalışmalarına bu çözelti miktarıyla devam edilmiştir.

5.3 Kestane Kabuğu ve Sarıçam Tozu Katkılı PLA Çözeltisinin Hazırlanması

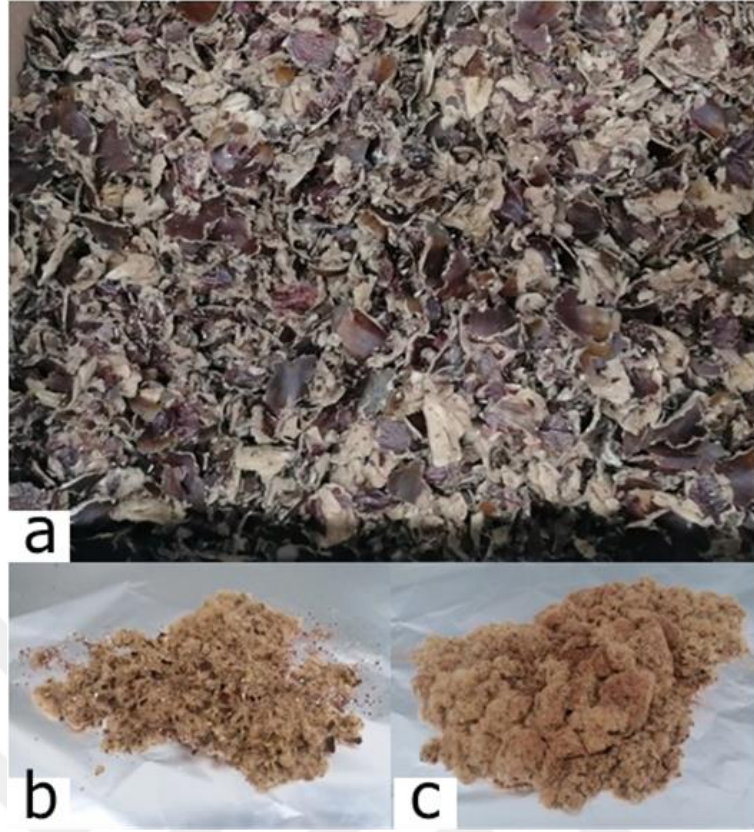
Hazırlamış olduğumuz saf PLA çözeltisi sonrası katkılılar için aynı yöntem uygulanarak çalışma yapıldı. Bunun için öncelikle öğütme işlemini gerçekleştirdik.

5.3.1 Öğütme işlemi

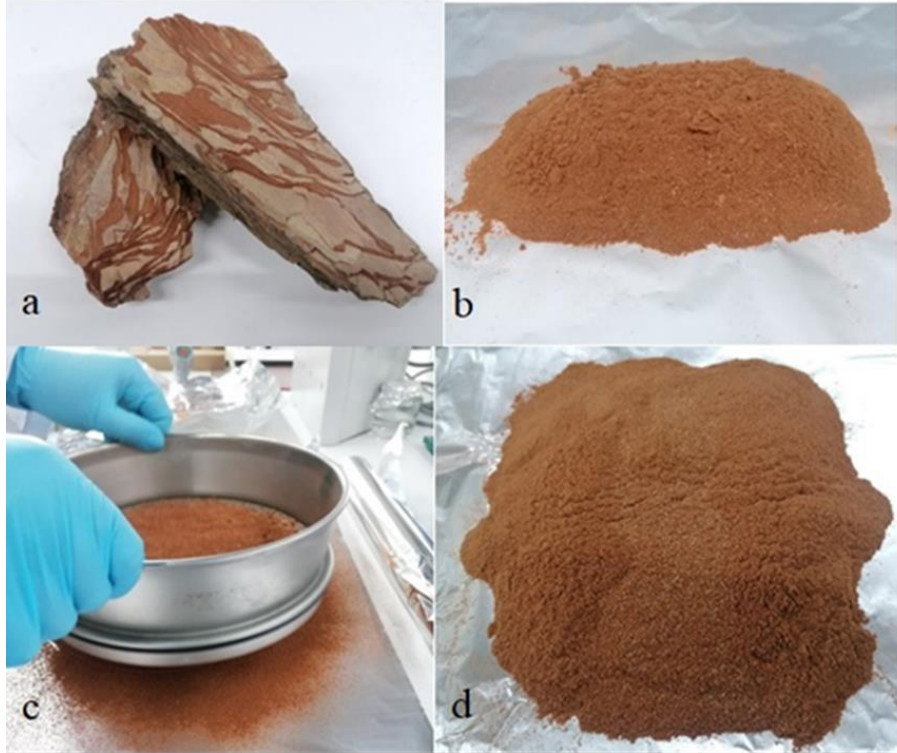
Sarıçam tozu ve kestane kabuklarının öğütme işlemi Bursa Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Kestane kabuğu ve sarıçamlar Fritsch marka öğütücü değirmen (pülverize) cihaz ile (Şekil 5.8) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.8 : Öğütücü değirmen (pulverisette 14) Fritsch marka model cihaz.



Şekil 5.9 : a) Kestane kabuğu b) 6000 rpm’de 0,4 mikronluk elekten gerilmiş görüntüsü c) 16000 rpm’de 0,8 mikronluk elekten gerilmiş görüntüsü.



Şekil 5.10 : a) Sarıçam parçası b) 16000 rpm’de 0,8 mikronluk elekten geçirilmiş görüntüsü c) 500 mikronluk elekte büyük tanelerin ayırma işlemi d) Sarıçam tozu.

Öğütme işleminde ilk olarak, 6000 rpm’de 4 dk 0.4 mikronluk elekten geçirilip boyut küçültme işlemi yapılmıştır. Ardından, 12000 rpm’de 4 dk 0,08 mikronluk elekten geçirilmiştir. Son olarak 16000 rpm’de 0,08 mikronluk elekten geçirilerek istenilen boyuta getirilmiştir (Şekil 5.9).

Sarıçam ise ilk olarak 16000 rpm’de 4 dk 0,08 mikronluk elekten geçirilerek istenilen boyuta getirildi (Şekil 5.10). Sarıçam sonrasında 500 mikronluk elekten geçirilerek kendi ve içindeki tanelerin çıkması sağlandı. Kestane kabuğu tüylü yapıda olduğu için aynı işlem uygulanamamıştır.

5.3.2 Kestane kabuğu ve sarıçam tozu katkılı PLA filminin hazırlanması

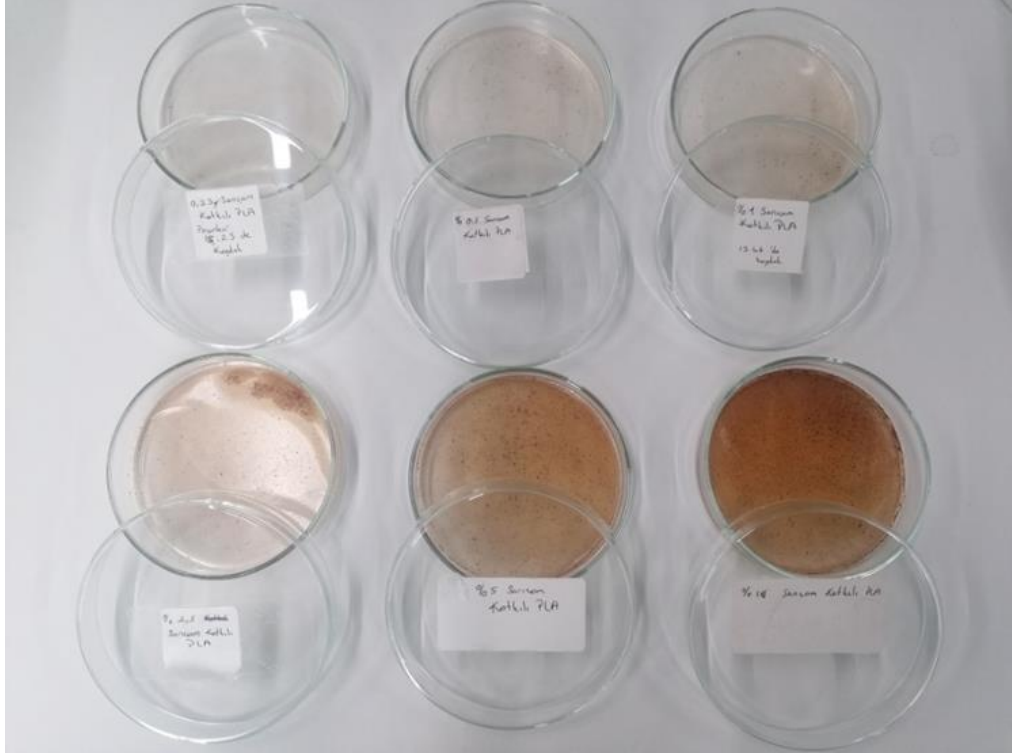
Sarıçam tozu katkılı PLA’nın hazırlanması: 5 gr PLA granülü hassas terazide tartıldı ve ardından 100 ml kloroform çözücüsü içine ilave edildi. Ardından çözelti, manyetik karıştırıcıda 50 °C’de 800 rpm hızında homojen bir dağılımın sağlanması amacıyla 1 saat boyunca karıştırıldı. Ardından çözeltiye, 0,25 gr (%5) gliserol ilave ederek 15 dakika daha karıştırılmıştır (Şekil 5. 11). Hazırlanan çözeltiye sarıçam tozu ağırlıkça %0.25, %0.5, %1, %2.5, %5 ve %10 olacak şekilde ilave edilmiştir. Ardından çözelti manyetik karıştırıcıda 50 °C’de 800 rpm hızında 1 saat boyunca karıştırılmıştır.



Şekil 5.11 : Sarıçam ilaveli PLA’nın görünümü.

Daha sonra ultrasonik prob sonikatörde homojen bir karışımın elde edilebilmesi amacıyla 30 dk boyunca %45 genlikte bekletilmiştir. Cihazdan alınan çözeltinin

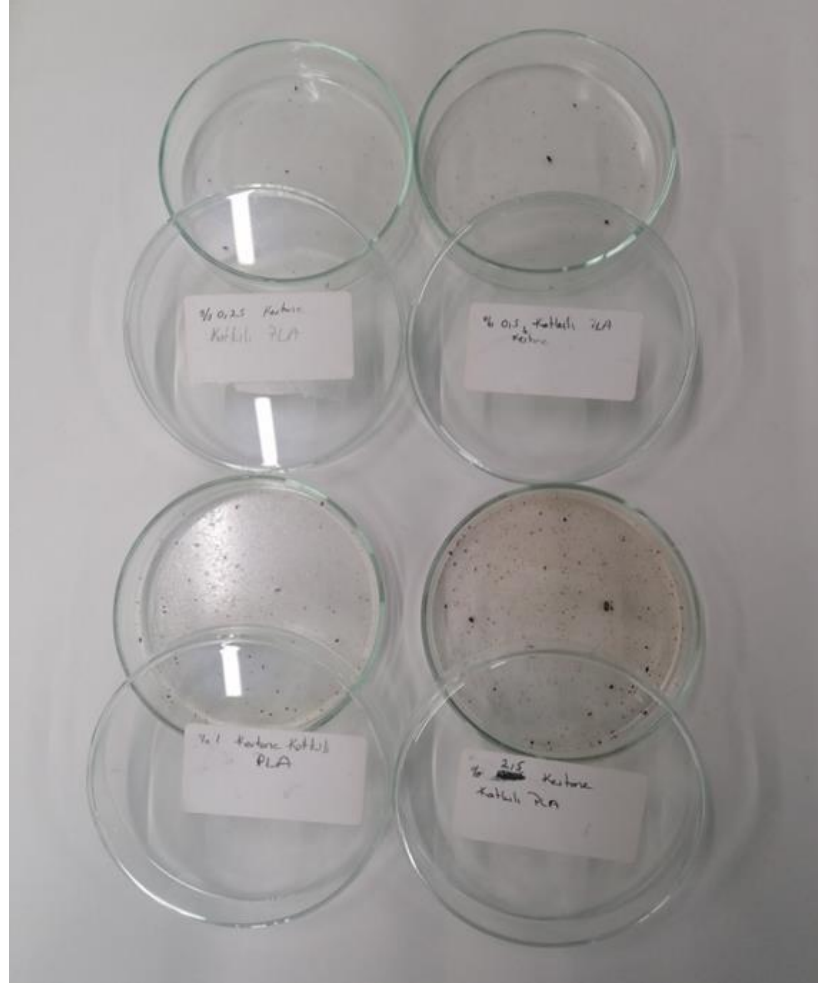
dinlendirilmesi ve oluşan baloncukların yok olması amacıyla oda sıcaklığında 15 dk dinlenmeye bırakılmıştır. Katkılı çözeltiler için belirlenen 20 ml çözelti miktarı bir şırınga yardımıyla cam petri kabına dökülmüştür. Ardından 30°C'deki etüvde 4 gün boyunca kuruması sağlanmıştır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 : Sarıçam katkılı PLA'nın görünümü.

Kestane kabuğu tozu katkılı PLA'nın hazırlanması: 5 gr PLA granülü hassas terazide tartıldı ve ardından 100 ml kloroform çözücüsü içine ilave edildi. Ardından çözelti, manyetik karıştırıcıda 50 °C'de 800 rpm hızında homojen bir dağılımın sağlanması amacıyla 1 saat boyunca karıştırıldı. Ardından çözeltiye, 0,25 gr (%5) gliserol ilave ederek 15 dakika daha karıştırılmıştır. Hazırlanan çözeltiye kestane kabuğu ağırlıkça %0,25, %0,5, %1, %2,5 olacak şekilde ilave edilmiştir. Ardından çözelti manyetik karıştırıcıda 50 °C'de 800 rpm hızında 1 saat boyunca karıştırılmıştır.

Daha sonra ultrasonik prob sonikatörde homojen bir karışımın elde edilebilmesi amacıyla 30 dk boyunca %45 genlikte bekletilmiştir. Cihazdan alınan çözelti, dinlendirilmesi ve oluşan baloncukların yok olması amacıyla oda sıcaklığında 15 dk dinlenmeye bırakılmıştır. Ardından, takviyeli çözeltiler için belirlenen 20 ml çözelti miktarı bir şırınga yardımıyla cam petri kabına dökülmüş ve 30 °C'deki etüvde 4 gün boyunca kuruması sağlanmıştır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA'nın görünümü.

5.4 Karakterizasyon Çalışmaları

5.4.1 Kalınlık ölçümü

Hazırlanan PLA filmlerinde, kalibrasyonu yapılmış mikrometre ile üç farklı noktadan ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçümleri yapılan filmlerin ortalamaları alınarak tabloda gösterilmiştir.

5.4.2 SEM ile yüzey morfolojisinin incelenmesi

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), incelenmesi gereken malzemelerin yüzeyinde sinyaller üretmek için bir elektron demeti ile incelenecek numunenin yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobudur. Elektron ile malzemedeki atomlar etkileşerek malzemenin kompozisyonu hakkında bilgi verir. Bizim yaptığımız bu çalışmada hazırlanan PLA filmlerini SEM cihazı ile inceleyerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.4.3 FTIR analizi

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FTIR) günümüzde adı sıkça duyulan ve birçok uygulamalarda kullanılan bir test yöntemidir. Daha çok molekül yapısının incelenmesinde kullanılan tekniktir. Bu analiz bir molekülün atomların titreşimine dayanır. Bir infrared spektrumu analiz örneğinden infrared ışınlarının geçmesiyle elde edilir [53]. Bu tez için biyo kompozitlerin kimyasal yapısında oluşan değişimler $4000 - 500 \text{ cm}^{-1}$ dalga boylarında 4 cm^{-1} çözünürlüğe sahip FTIR spektrumları incelenerek, PLA filmlerinin sonuçları değerlendirilmiştir.

5.4.4 Termal analizler

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), ve termogravimetrik analiz (TGA) en yaygın olarak kullanılan termal analiz tekniklerindendir.

DSC’ de numune ısıtılıp soğutulurken veya sabit sıcaklıkta tutulan numune de salınan enerji farkının ölçülmesidir. Sıcaklık ve zamana bağlı olarak bu değişim gösterilir. Burada kütlesi bilinen bir numune ısıtılarak değişimi izlenir ve değişimler kaydedilir. TGA ise bir malzemenin sıcaklığa bağlı olarak ağırlığındaki herhangi bir değişimi saptamak adına yapılan tekniktir. Ağırlıktaki değişim oranını zamanın veya sıcaklığın bir fonksiyonu olarak araştırır. Deney için kullanılacak numune sabit ısıtma hızında ısıtılır ve kütle değişimi ölçülür. Bizde bu çalışmamızda Bursa Teknik Üniversitesi bünyesindeki TA Instruments/SDT 650 marka cihaz kullanılmıştır. Analizler 10 ml/dak azot akış hızı altında $5 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ sıcaklık artışı ile $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ’den $500 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar ısıtılarak gerçekleştirilmiştir.

DSC analizinde üretilen filmlerden kesilerek elde edilmiş yaklaşık 20 mg ağırlığındaki örneklerin termal davranışları, TA Instruments/DSC250 Marka Model cihazı kullanılarak $20\text{-}250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında $5 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$ ısıtma hızında incelenmiştir. Deney sırasında DSC cihazında gaz olarak yüksek saflıkta azot kullanılmıştır. Malzemelerin camsı geçiş sıcaklığı (T_g), kristallenme sıcaklığı (T_c), erime sıcaklığı bir paket program yardımıyla hesaplanmıştır.

5.4.5 Mekanik testler

Mekanik testler kapsamında çekme ve eğilme testleri sırasıyla ASTM-D882 standardına uygun olarak Shimadzu universal marka test cihazında gerçekleştirilmiştir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmalara ait sonuçlar bu bölümde sunulmuş ve elde edilen bulgular üzerine tartışmalar yapılmıştır. İlk olarak PLA ambalaj filmleri üretilmiş FTIR testi, kalınlık ölçümleri, SEM analizi, termal analizler ve mekanik test yapılmış olup sarıçam ve kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozitlerin testleri gerçekleştirilerek özellikleri saf PLA ile karşılaştırılmıştır.

6.1 Kalınlık Ölçümü Sonuçları

Mikrometre ölçümleri elde edilen takviyesiz ve takviyeli PLA nanokompozit filmlerinin farklı oranlarına bağlı olarak kalınlık değerlerini incelemek ve kıyaslama yapmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler, mikrometre cihazı (Asimeto Dijital mikrometre) ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılırken, bu takviyesiz ve takviyeli nanokompozit filmlerin 3 farklı kısmından ölçüm yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Elde edilen takviyesiz (saf) PLA nanokompozit filmlerinin kalınlık analizi yapılması amacıyla farklı 5 ml, 10 ml, 15 ml, 20 ml, 25 ml ve 30 ml değerlerinde çalışılmıştır. Ortalaması alınarak hesaplanan kalınlık değerleri Çizelge 6.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1 : Saf PLA filmlerinin kalınlık ölçümü.

Dökülen ml miktarları	Ortalama Film Kalınlığı
5 ml saf PLA	0,096 mm
10 ml saf PLA	0,110 mm
15 ml saf PLA	0,166 mm
20 ml saf PLA	0,170 mm
25 ml saf PLA	0,210 mm
30 ml saf PLA	0,270 mm

Bu kalınlık değerleri incelendiğinde, beklendiği üzere ml miktarı arttıkça elde edilen filmlerin kalınlığı da kademeli olarak artmış ve ideal kalınlık olarak belirlenen 20 ml

saf PLA için bu değer 0,170 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen takviyeli sarıçam tozu katkılı PLA filmlerin eklenen katkı oranlarına bağlı olarak elde edilen filmlere ait kalınlık değerleri Çizelge 6.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.2 : Sarıçam tozu katkılı PLA filmlerinin kalınlık ölçümü.

Katkı Oranları	Ortalama Film Kalınlığı
%0,25	0,200 mm
%0,5	0,213 mm
%1	0,220 mm
%2,5	0,226 mm
%5	0,286 mm
%10	0,290 mm

Bu kalınlık değerleri incelendiğinde, eklenen sarıçam tozu takviyesinin miktarına bağlı olarak film kalınlığında kademeli olarak artış gözlemlenmiştir. Eklenen sarıçam tozu takviyesinin en yüksek olduğu ağırlıkça %10’luk oranda bu değer maksimuma ulaşmış ve 0,290 mm olarak ölçülmüştür. Diğer bir takviye malzemesi olan kestane kabuğu katkılı PLA nanokompozit filmlerinin katkı oranlarına bağlı olarak elde edilen filmlere ait kalınlık değerleri Çizelge 6.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.3 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA filmlerinin kalınlık ölçümü.

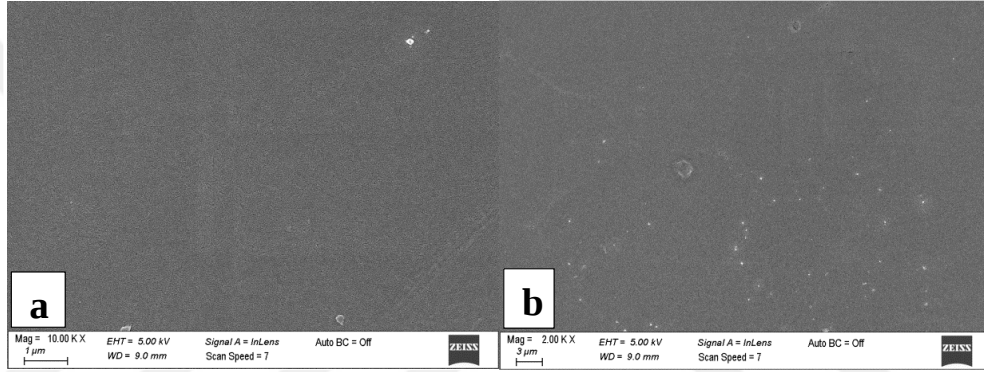
Katkı Oranları	Ortalama Film Kalınlığı
%0,25	0,200 mm
%0,5	0,213 mm
%1	0,220 mm
%2,5	0,226 mm

Bu kalınlık değerleri incelendiğinde ise, tıpkı sarıçam tozu takviyesi gibi eklenen takviye oranına bağlı olarak elde edilen takviyeli PLA nanokompozit filmlerinin kalınlığında kademeli olarak artış gözlemlenmiştir. Eklenen kestane kabuğu takviyesinin en yüksek olduğu ağırlıkça %2.5’lik oranda bu değer maksimuma ulaşmış ve 0.260 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen takviyeli nanokompozit filmlerin

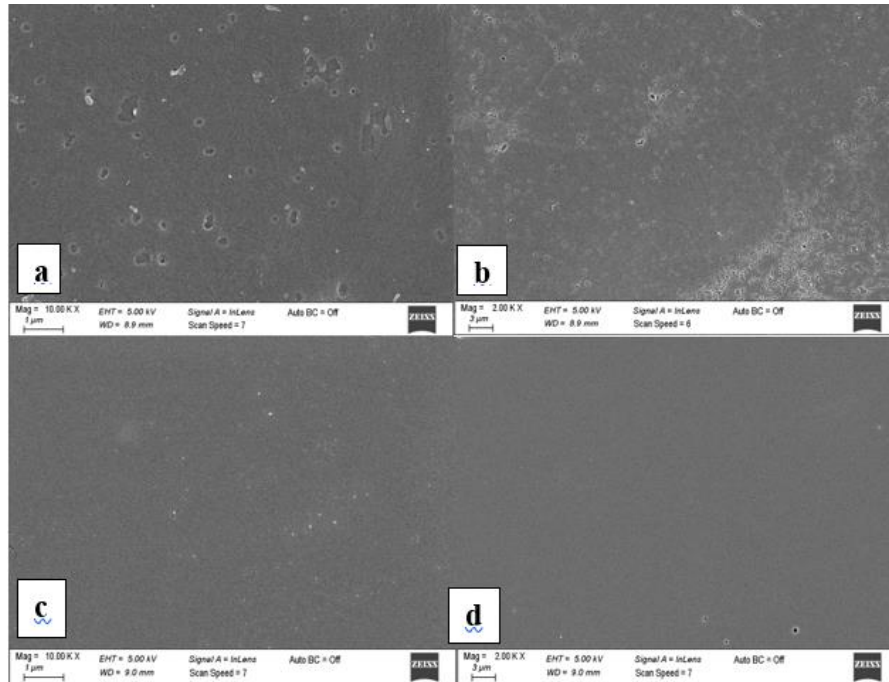
sonuçlarına bakıldığında, literatürde yapılan çalışmalara benzer şekilde eklenen takviye miktarının artmasına bağlı olarak kestane kabuğu ve sarıçam tozu katkılı PLA nanokompozit filmlerin kalınlığının kademeli olarak arttığı sonucuna varılmıştır [54].

6.2 SEM Analiz Sonuçları

PLA filmlerin SEM analizleri için Gemini SEM 300 marka cihaz kullanılmıştır. Numuneler analiz öncesinde küçük parçacıkla halinde kesildikten sonra altın-paladyum ile kaplanarak test cihazına yerleştirilmiştir. SEM ile elde edilen PLA filmlerinin morfolojik özellikleri Şekil 6.1’de incelenmiştir. Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozitler filmlerin SEM görüntüsü Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

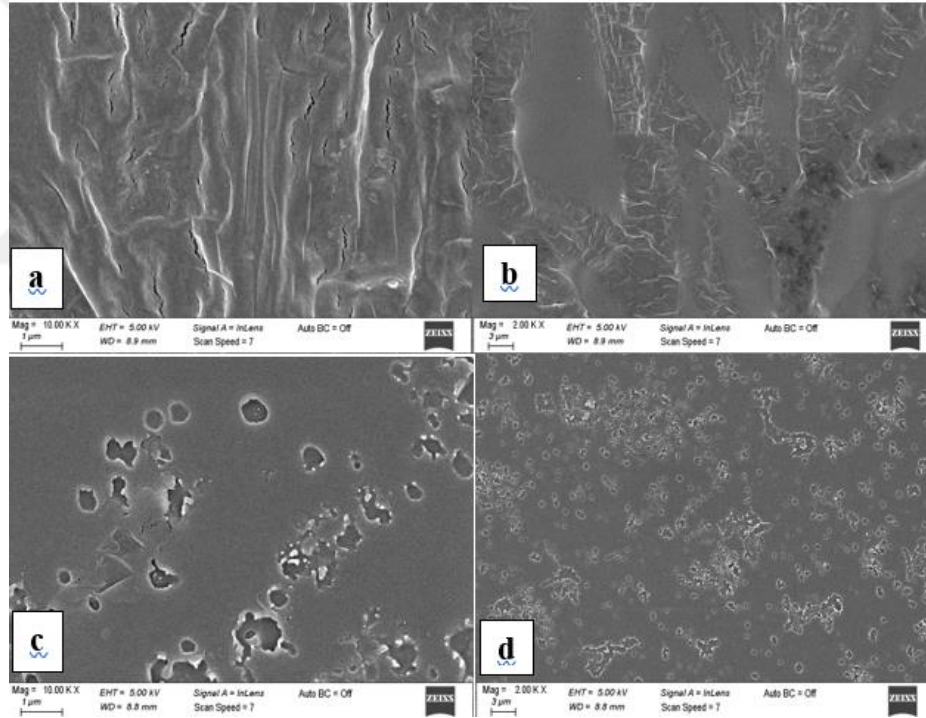


Şekil 6.1 : PLA filmin SEM görüntüsü.



Şekil 6.2 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozitler filmlerin SEM görüntüsü: (a) P10S-10KX, (b) P10S-2KX, (c) P0,25S-10KX ve (d) P0,25S-2KX.

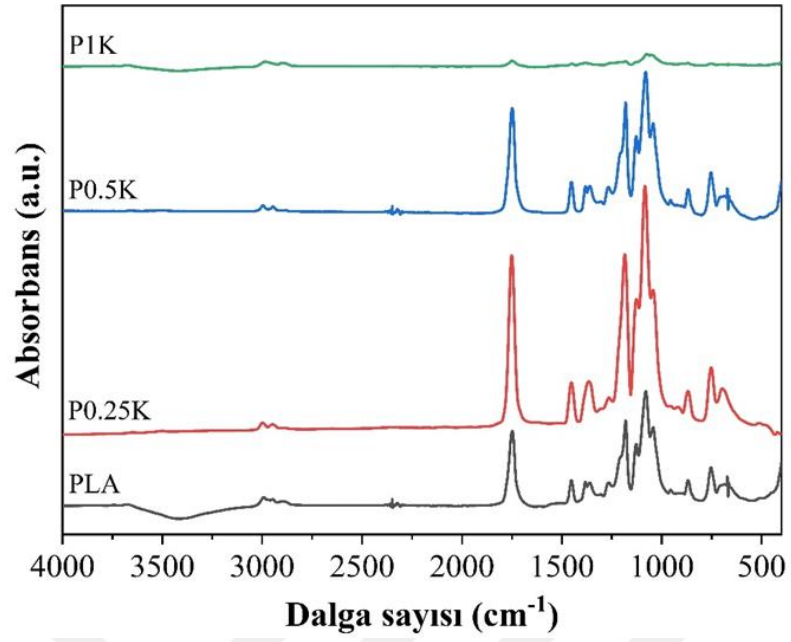
Şekil 6.1'e bakıldığında ilk olarak saf PLA'nın SEM görüntüsü verilmiştir. SEM görüntülerine bakıldığında film yüzeyinde herhangi bir çatlak oluşumunun gözlemlenmediği homojen bir dağılım sergilediği görülmüştür. Şekil 6.2'ye bakıldığında %10 katkılı sarıçam tozu katkılı PLA daha yoğun %0,25 sarıçam tozu katkılı PLA toz partiküllerinin daha seyrek olduğu gözlemlenmiştir. Film yüzeyinde delik veya çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Şekil 6.3'e bakıldığında % 2,5 oranında katılan kestane kabuğu tozlarının ipliksi dağılım sergilediği gözlemlenmiştir. % 0,25 oranında katılan kestane kabuğu tozlarında ise partiküllü yapı olduğu görülmüştür. Toz oranı arttıkça homojen bir dağılım elde edilmiştir. PLA filmlerinin iç yapısı karakterize edildiğinde herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamıştır. İç yapısında bazı kısımlarda boşluklu bir yapı olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın genelde iç yapının homojen olduğu görülmüştür [55, 56].



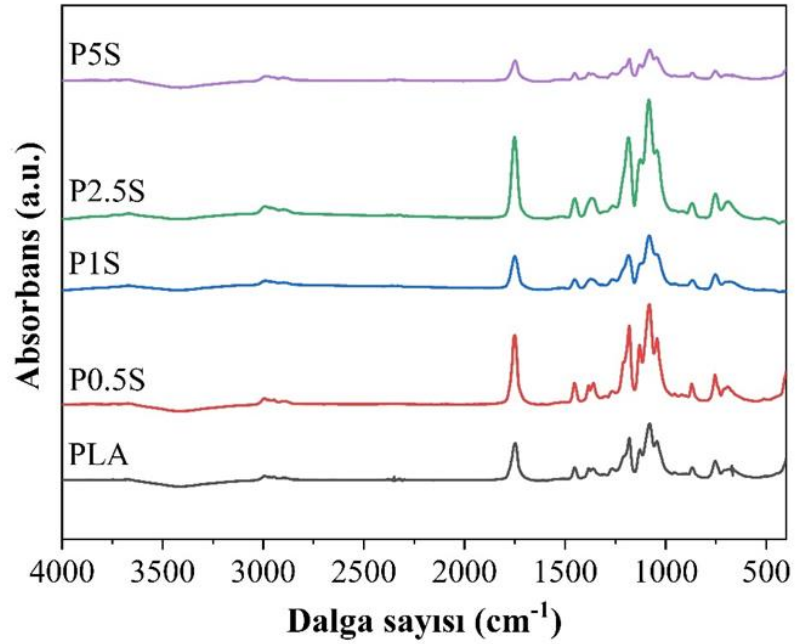
Şekil 6.3 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin SEM görüntüsü: (a) P2,5K-10KX, (b) P2,5K-2KX, (c) P0,25K-10KX ve (d) P0,25K-2KX.

6.3 FTIR Analiz Sonuçları

PLA, kestane kabuğu ve sarıçam tozu birleşimindeki kimyasal bağın yapısı FTIR spektroskopisi ile incelenmiştir. FTIR spektrumları Şekil 6.4 ve 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.4 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerinin FTIR grafiği.



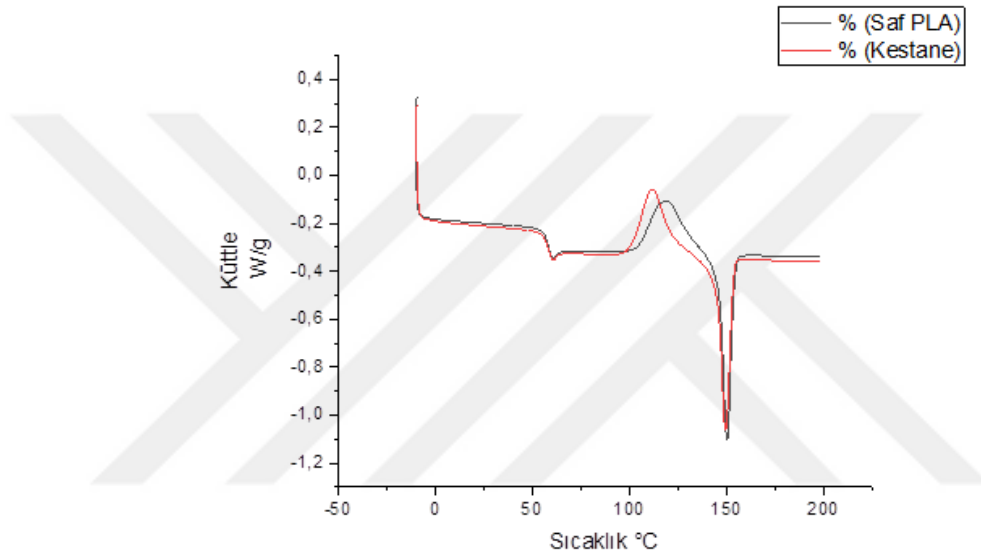
Şekil 6.5 : Sarıçam kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerinin FTIR grafiği.

FTIR spektrumları, saf PLA için 2990-2940 cm^{-1} (CH_3), 1760 cm^{-1} (C=O), 1180 cm^{-1} (C-O) ve 860 cm^{-1} (C-COO) piklerini göstermektedir [57]. Kestane kabuğuna ait FTIR spektrumlarında, 2900 cm^{-1} (C-H gerilme), 1730 cm^{-1} (C=O , karboksilik asit) ve 1236 cm^{-1} (SiO_3 , kükürt trioksit) pikleri gözlemlenmektedir [58]. Sarıçam tozuna ait FTIR spektrumlarında ise, 1737 cm^{-1} (C=O , karbonil), 1506-1510 cm^{-1} (C=O , C-COO)

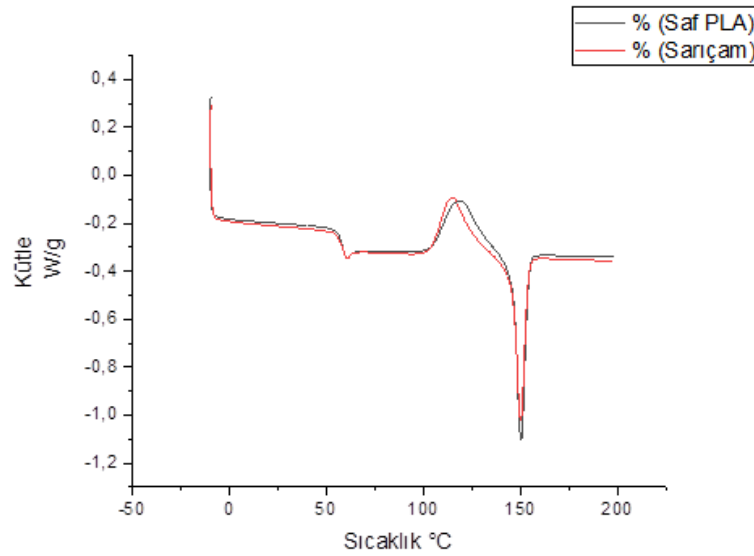
pikleri gözlemlenmektedir [59]. Bu elde edilen sonuçlara bakıldığında, takviye oranlarının düşük olması ve sahip oldukları pik aralıklarının benzerliği nedeniyle FTIR spektrumlarında gözle görülür bir fark elde edilememiştir.

6.4 Termal Analiz Sonuçları

Isıtmanın başlangıcında her iki grafik içinde hızlı ağırlık kaybı gözlemlenmiştir. Şekil 6.6. ve Şekil 6.7’de kestane kabuğu ve sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin DSC grafikleri verilmiştir.



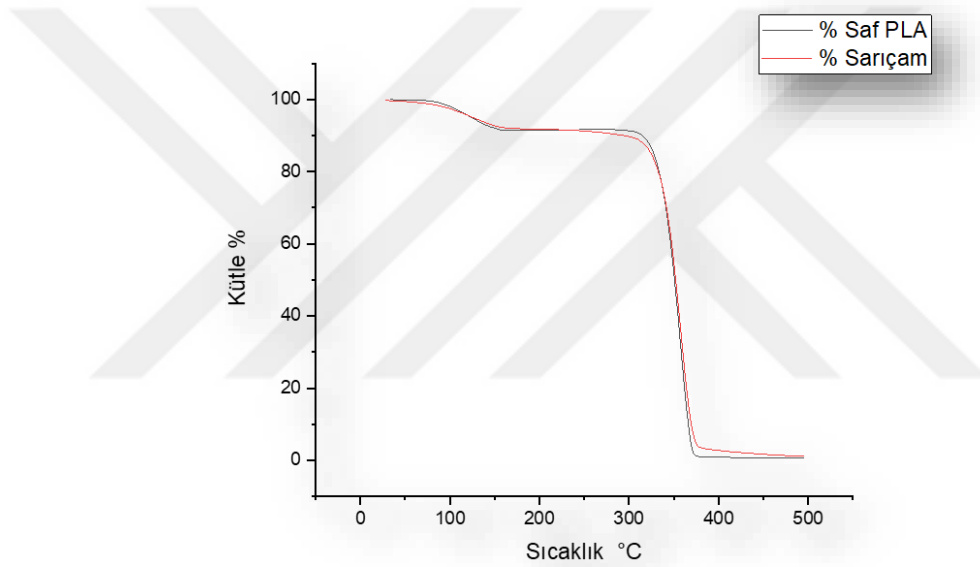
Şekil 6.6 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin DSC grafiği.



Şekil 6.7 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin DSC grafiği.

DSC analizinde her iki ürün içinde camsı geçiş sıcaklığı (T_g) 50 °C' dir. Kestane kabuğu tozu katkılı kompozitlerde kristallenmenin başladığı sıcaklık 100 °C, maksimum olduğu sıcaklık 120 °C, bittiği sıcaklık 125 °C civarındır. Saf PLA'da ise kristallenmenin başladığı sıcaklık 110 °C, maksimum olduğu 125 °C ve bittiği sıcaklık ise 150 °C'dir. Hem kestane kabuğu katkısı de hem de saf PLA'da erimenin başladığı sıcaklık 145 °C, maksimum olduğu sıcaklık 150 °C ve bittiği ise 160 °C civarındır.

Her iki ürün içinde camsı geçiş sıcaklığı (T_g) 50 °C' dir. Sarıçam katkılı kompozitlerde kristallenmenin başladığı sıcaklık 100 °C, maksimum olduğu sıcaklık 120 °C ve bittiği sıcaklık 145 °C civarındır. Saf PLA'da ise kristallenmenin başladığı sıcaklık 100 °C, maksimum olduğu 125 °C ve bittiği sıcaklık ise 150 °C' dir.

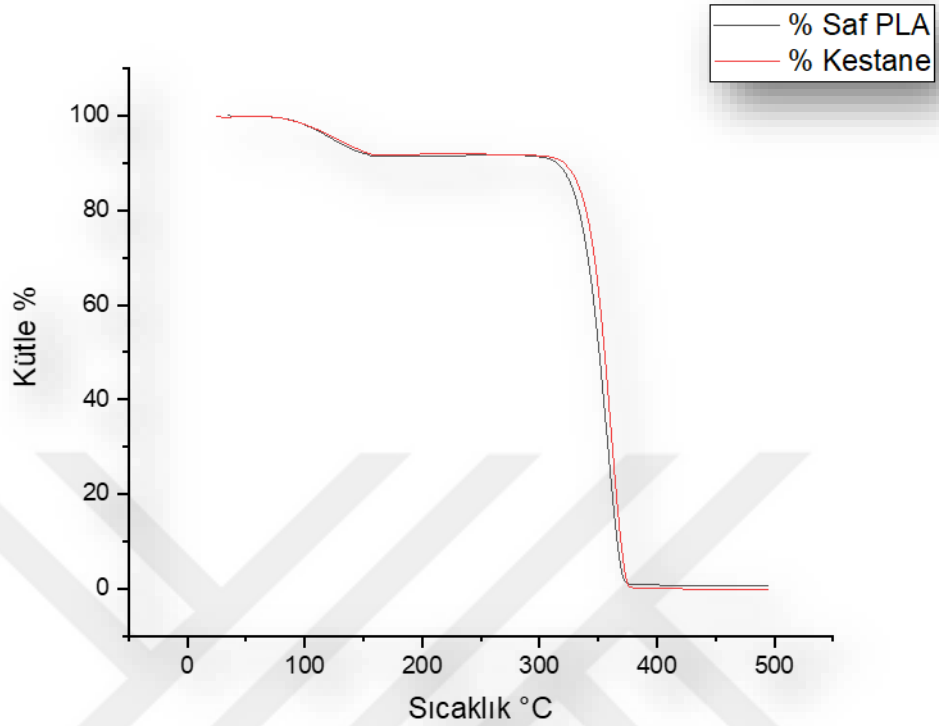


Şekil 6.8 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin TGA grafiği.

Katkısız PLA ve belirli oranlarda hazırlanan sarıçam katkılı PLA filmlerin TGA analizleri Şekil 6.8'de verilmiştir. Hazırlanan PLA filmlerinin bozunma davranışı iki adımda gerçekleşmiştir. Termal bozunma eğrisinde ilk başta 100 – 150 °C arası ilk bozunmanın başlaması ve %10'luk bir kütle kaybı meydana gelmiştir. Ardından 320 – 380 °C arasında %90 oranında kayıp gözlemlenmiştir.

Katkısız PLA ve belirli oranlarda hazırlanan kestane kabuğu tozu katkılı PLA filmlerinde ise TGA analizleri Şekil 6.9'da verilmiştir. Bozunma iki adımda gerçekleşmiştir. 100 – 150 °C arası ilk bozunmanın başlamasıyla %10'luk bir kütle kaybı meydana gelmiştir. Ardından 320 – 380 °C arasında yaklaşık %90 oranında

kayıp gözlemlenmiştir. Kütle kaybı PLA – Sarıçam grafiğinde 480 °C civarında 500 °C civarında ise ağırlık kaybının bittiği gözlemlenmiştir.

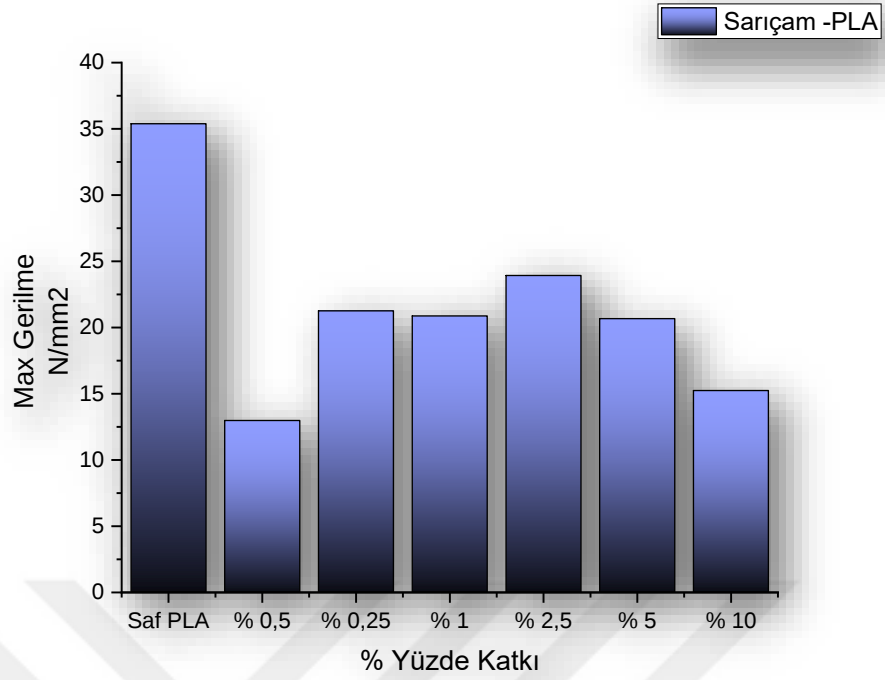


Şekil 6.9 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin TGA grafiği.

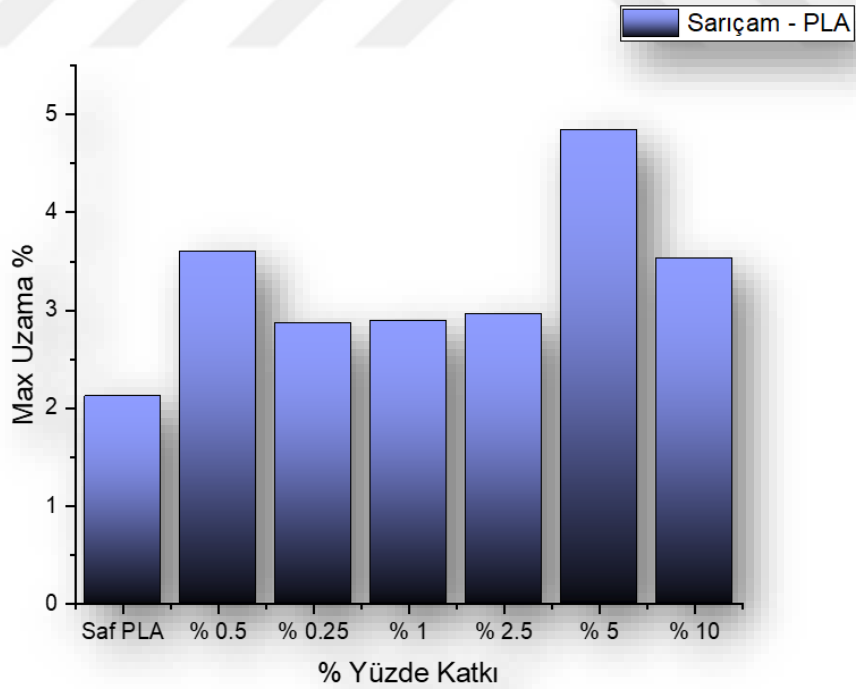
6.5 Mekanik Test Sonuçları

Sarıçam katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin çekme testi sonucundaki maksimum gerilme değerleri Şekil 6.10'da, gerilme ve maksimum uzama değerleri Çizelge 6.5'de verilmiştir. Şekil 6.10'da görüldüğü gibi ağırlıkça % 0,5 ilavesi ile maksimum gerilme değeri saf PLA ile karşılaştırıldığında ilk olarak yaklaşık % 60 civarı azalma görülmüştür. Katkılar sırayla % 0,25; 1 ve 2,5 oranında katıldığında kademeli olarak artış gözlemlenmiştir. Artışın ardından %5 ve %10 oranında katkıların ilavesi ile tekrar bir düşüş gözlemlenmiştir.

Şekil 6.11'da görüldüğü gibi ağırlıkça %0,5 ilavesi ile maksimum uzama değeri saf PLA ile karşılaştırıldığında ilk olarak belirli bir miktar arttığı görülmüştür. Katkılar sırayla %0,25; 1; 2,5; 5 ve 10 oranında katıldığında kademeli olarak artış gözlemlenmiştir. En iyi sonuç %5 oranında katılan sarıçam ile elde edilmiştir.



Şekil 6.10 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin maksimum gerilme grafiği.

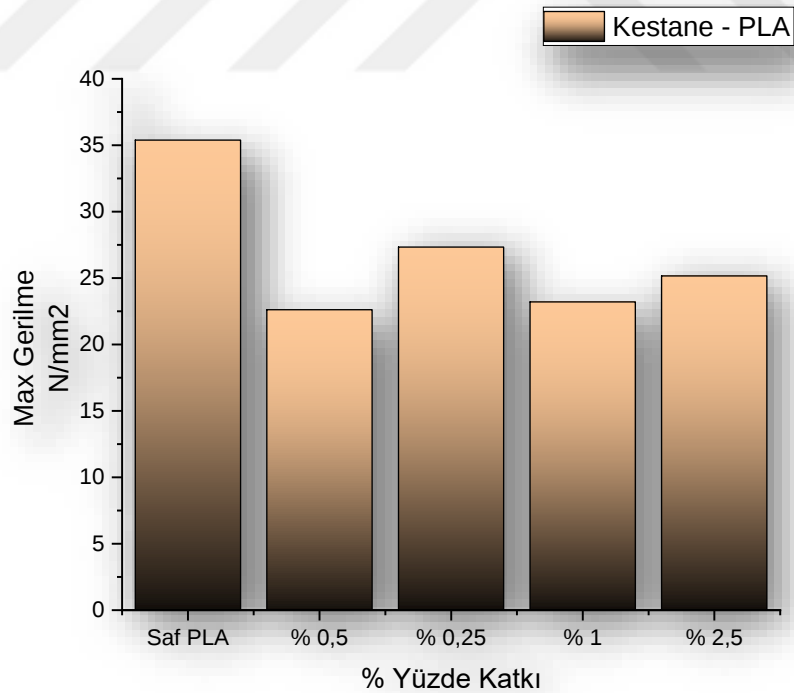


Şekil 6.11 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin maksimum uzama grafiği.

Çizelge 6.4 : Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerinde maksimum gerilme ve uzama değerleri.

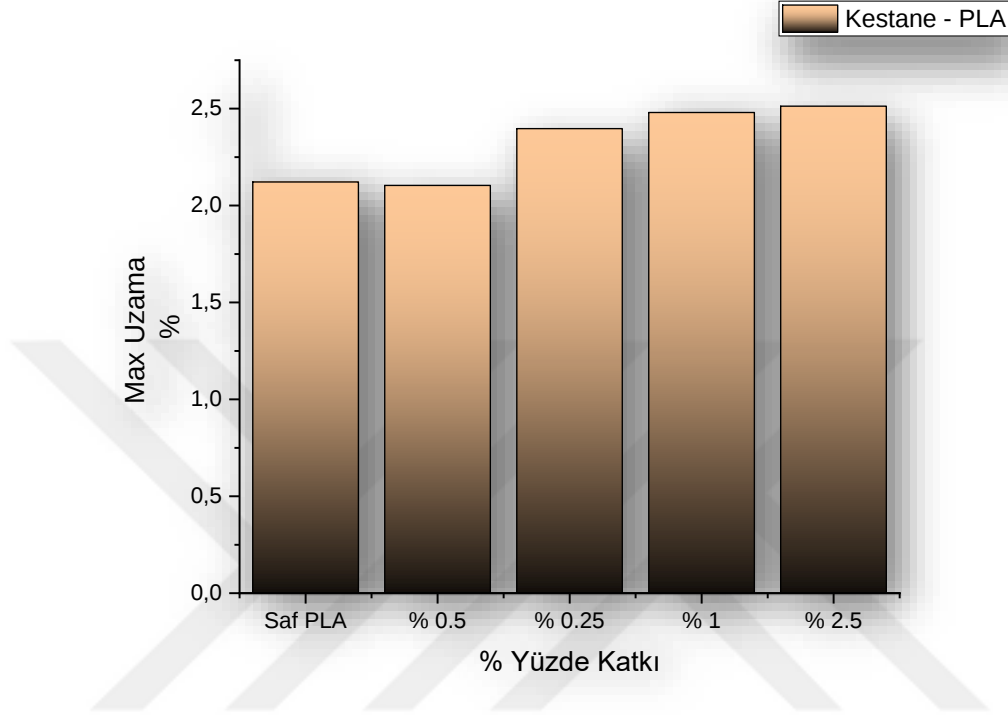
Sarıçam tozu katkı oranı, %	Maksimum uzama, %	Maksimum gerilme, N/mm ²	Elastik gerilme, 2 – 8 N/mm ²
0	2,12133	35,3802	2487,99
0,25	2,87122	21,251	1595,93
0,5	3,59644	12,9703	722,378
1	2,89689	20,8716	1440,95
2,5	2,96356	23,9275	1774,21
5	4,83811	20,6637	1062,86
10	3,52922	15,232	860,393

Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin çekme testi sonucundaki maksimum gerilme değerleri Şekil: 6.12’de, maksimum uzama ve gerilme değerleri Çizelge 6.6’da verilmiştir. Şekil 6.12’de görüldüğü gibi ağırlıkça % 0,5 ilavesi ile maksimum gerilme değeri saf PLA ile karşılaştırıldığında ilk olarak yaklaşık % 30 civarı azalma görülmüştür. Katkılar sırayla % 0,25- 1- 2,5 oranında katıldığında kademeli olarak artış gözlemlenmiştir.



Şekil 6.12 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin maksimum gerilme grafiği.

Şekil 6.13’de görüldüğü gibi ağırlıkça % 0,5 ilavesi ile maksimum uzama değeri saf PLA ile karşılaştırıldığında ilk olarak çok az miktarda düşüş gözlemlenmiştir. Katkılar sırayla % 0,25- 1- 2,5 oranında katıldığında kademeli olarak artış gözlemlenmiştir. En iyi sonuç % 2,5 oranında katılan kestane ile elde edilmiştir.



Şekil 6.13 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin maksimum uzama grafiği.

Çizelge 6.5 : Kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerinde maksimum gerilme ve uzama değerleri.

Kestane kabuğu tozu katkı oranı, %	Maksimum uzama, %	Maksimum gerilme, N/mm ²	Elastik gerilme, 2 – 8 N/mm ²
0	2,12133	35,3802	2487,99
0,5	2,10371	22,6088	1764,46
0,25	2,39686	27,33	1931,58
1	2,48	23,1985	1581,61
2,5	2,51278	25,1557	1746,8

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında, farklı kalınlıklarda saf PLA, kestane kabuğu ve sarıçam tozu katkılı yeşil kompozit filmlerin çözücü döküm yöntemi ile üretimi, yapısal ve mekanik özelliklerinin incelenmiştir. Mikrometre ile yapılan ölçümler incelendiğinde, atkı oranının artması ile yeşil kompozit filmlerin kalınlıklarının saf PLA filmlere kıyasla arttığı belirlenmiştir. FTIR analizi sonuçlarına göre, PLA ve sarıçam ve kestane kabuğu tozu katkılı yeşil kompozitlerin genel olarak benzer kimyasal yapıya sahip olduğu ve kimyasal etkileşimin bulunmadığı tespit edilmiştir. SEM ile elde edilen PLA esaslı filmlerinin morfolojik özellikleri incelendiğinde ise, film yüzeylerinde çatlak oluşumuna rastlanmamıştır. Sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozit filmlerin çekme testi sonucunda maksimum gerilme değerlerinde azalma görülmüştür. En iyi mekanik sonuca ağırlıkça %2,5 sarıçam tozu katkılı PLA yeşil kompozitte ulaşılmıştır. Maksimum uzama değerleri incelendiğinde ise, en iyi sonucun ağırlıkça %5 oranında sarıçam tozu katkılı yeşil kompozitte elde edilmiştir. Ağırlıkça %0,5 kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozitin maksimum gerilme değeri saf PLA'nınki ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %30 azalmıştır. Kestane kabuğu tozu katkısı sırasıyla %0,25; 1 ve 2,5 oranında katıldığında maksimum gerilme değeri kademeli olarak artmıştır. Maksimum uzama değerleri incelendiğinde ise, en iyi sonuç ağırlıkça %2,5 oranında kestane kabuğu tozu katkılı PLA yeşil kompozitte görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Çelik, İ., & Tümer, G.** (2016). Gıda ambalajlamada son gelişmeler. *Akademik Gıda*, 14 (2), 180-188.
- [2] **Terzioğlu, P., & Kalemtaş, A.** (2017). Kemik Doku Mühendisliği uygulamaları için polilaktik asit-hidroksiapatit kompozitler, *Putech and Composites*, 20-28.
- [3] **Ayar, S., & Kurtuluş, P.** (2008). *Ambalaj tercihlerinde ambalajın fonksiyonlarına ilişkin tüketici tutumlarının belirlenmesi: Saç jölesi ambalajı üzerine bir pilot araştırma*. (Yüksek lisans tezi), İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [4] **Altuntas, U., Yavuz, M., Yucetepe, A., & Ozcelik, B.** (2014). Gıda ambalajlarının güvenilirliği ve gıdaya toksik madde migrasyonu. *Dünya Gıda Dergisi*, 90-97.
- [5] **Esmer, Ö. K.** (2005). Karbondioksitli içeceklerin konulduğu pet polietilen tereftalat şişelerin bazı migrasyon özelliklerinin belirlenmesi: Etilen glikol migrasyonu ve toplam migrasyon. *Akademik Gıda*, 3 (2), 29-31.
- [6] **De Meulenaer, B.** (2002). *Chemical interactions between packaging materials and foodstuffs* (Doktora tezi), Ghent University.
- [7] **Hayta, P., Yenidoğan, S., Aydemir, C., & Mutlu, B.** (2018). Plastik-ambalaj malzeme bileşenlerinin migrasyonu. 6. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu, 309-317, İstanbul.
- [8] **URL-1** < <https://firatozel.wordpress.com/2011/09/22/gida-ambalajlarinda-migrasyon/>>, erişim tarihi 08.01.2022.
- [9] **Hayta, P., Yenidoğan, S., Aydemir, C., & Mutlu, B.** (2018). Plastik-ambalaj malzeme bileşenlerinin migrasyonu. 6. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyum Kitabı, 309-317.
- [10] **Oswin C. R.** (1982). The selection of plastics films for food packaging. *Food Chem*, 8 (2) 121–127.
- [11] **Birley A. W.** (1982). Plastics used in food packaging and the roles of additives. *Food Chem*, 8 (2) 81–84.
- [12] **Peppas, N. A., & Brannon-Peppas, L.** (1994). Water Diffusion and Sorption in Amorphous Macromolecular Systems and Foods. *Water in Foods* (s. 189-210). Pergamon.
- [13] **Taş, E., & Ayhan, Z.** (2006). Gıda-plastik ambalaj sistemlerinde geçirgenlik ve geçirgenliği etkileyen faktörler. *Türkiye*, 9, 24-26.
- [14] **Gasson, P. C.** (2003). Mechanics of sheet metal forming. *The Aeronautical Journal*, 107 (1071), 274-274.

- [15] **Klopffer, M. H., & Flaconnache, B.** (2001). Transport properties of gases in polymers: bibliographic review. *Oil & Gas Science and Technology*, 56 (3), 223-244.
- [16] **Duncan, B. C., Urquhart, J. M., & Roberts, S.** (2005). Review of measurement and modelling of permeation and diffusion in polymers, *National Physical Laboratory*, Teddington, Middlesex.
- [17] **Kartal, S., Aday, M. S., & Caner, C.** (2010). Meyve ve sebzelerde denge modifiye atmosfer ambalajlamaya etki eden faktörler. *Akademik Gıda*, 8 (6), 29-34.
- [18] **Yıldız, F.** (2013). *Gıda ambalaj malzemeleri araştırma projesi*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü.
- [19] **Koutchma T. N., Forney L. J. & Moraru C. I.** (2009). Ultraviolet light in food technology: Principles and Applications. D. W. Sun (Ed.), *Contemporary Food Engineering Series*. CRC Press.
- [20] **Keyser M., Müller I. A., Cilliers F. P., Nel W., & Gouws P. A.** (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 348–354.
- [21] **Rhim, J. W., Gennadios, A., Fu, D., Weller, C. L. & Hanna, M. A.** (1999). Properties of ultraviolet irradiated protein, *Lms. Lebensm. Wiss. Technol.*, 32, 129–133.
- [22] **Kılınç, B., & Çaklı, Ş.** (2001). Paketleme tekniklerinin balık ve kabuklu su ürünleri mikrobiyal florası üzerine etkileri. *Su Ürünleri Dergisi*, 18(1).
- [23] **Akkemik, Y., & Güner, A.** (2020). Gıda ambalaj sistemlerinde yeni yaklaşımlar: Akıllı ambalaj sistemleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 13(1), 9-22.
- [24] **Akgün, M., Başaran, İ., Suner, S. C., & Oral, A.** (2020). Geraniol and cinnamaldehyde as natural antibacterial additives for poly (lactic acid) and their plasticizing effects. *Journal of Polymer Engineering*, 40 (1), 38-48.
- [25] **Güvensen, N. C.** (2019). Gıda ambalajlamasında film oluşturan biyobozunur mikrobiyal polimerler: Ekzopolisakkaritler. *4 th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress Book*, 646-662.
- [26] **Hendek Ertop, M.** (2017). Use of edible film coatings in food products and giving functional property with the addition of natural additives, *Nutricon Food Quality, Safety, Health&Nutrition Symposium*, Skopje/Macedonia.
- [27] **Akgün, M., Başaran, İ., Suner, S. C., & Oral, A.** (2020). Geraniol and cinnamaldehyde as natural antibacterial additives for poly (lactic acid) and their plasticizing effects. *Journal of Polymer Engineering*, 40 (1), 38-48.
- [28] **Wang, L., Xu, J., Zhang, M., Zheng, H., & Li, L.** (2022). PLA/PBAT antimikrobiyal paketleme filmi kullanılarak soya proteini bazlı et analoglarının korunması. *Gıda Kimyası*, 380, 132022.

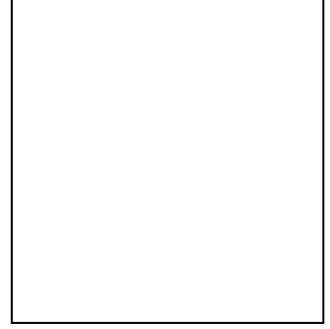
- [29] Yıldız, F., & İlalan, K. (t.y.). Gıda ambalaj malzemeleri araştırma projesi.
- [30] Sucinda, E. F., Majid, M. A., Ridzuan, M. J. M., Cheng, E. M., Alshahrani, H. A., & Mamat, N. (2021). Development and characterisation of packaging film from Napier cellulose nanowhisker reinforced polylactic acid (PLA) bionanocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 187, 43-53.
- [31] Kaya, A. İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45.
- [32] Kalemtaş, A. (2014). Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış. *Putech&Composites*, 22, 18-30.
- [33] Gülmez, S. (2018). Otomotiv endüstrisinde kullanılan polimer matrisli kompozit malzemeler, (Tezsiz Yüksek Projesi), Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli
- [34] Kalemtaş, A. (2015). *Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler*. Putech and Composites, 20-26.
- [35] Sönmez, M. (2009). *Polimer matrisli kompozitlerin endüstri ürünleri tasarımında önemi ve geleceği: Türkiye'den dört örnek firma üzerine bir inceleme*. (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [36] Şahin S. (2015). *Sürekli cam elyaf takviyeli polipropilen levhaların şekillendirilmesi ve karakterizasyonu*. (Yüksek lisans tezi), Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [37] Polat, B. (2019). *Cam takviyeli polimer matrisli termoplastik kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırılması*. (Yüksek lisans tezi), İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- [38] Sezgin, A. (t.y.). *Vakum infüzyon yöntemiyle alümina nanopartikül takviyeli hibrit kompozit malzemelerin üretilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi), Beykent Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [39] Çelik, M., & Kılıç, E. (2020). Bitkisel kaynaklı biyopolietilenin biyokompozit üretiminde ve polimer karışımlarında kullanımı. *Tekstil ve Mühendis*, 27 (119), 197-215.
- [40] Mengeloğlu, F., & Alma, M. H. (2002). Buğday saplarının kompozit levha üretiminde kullanılması. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2), 37-48.
- [41] Ali, A. V. C. I., Eker, A. A., & Bodur, M. S. (2021). Yeşil kompozit malzemelerin performans özellikleri ve otomotiv endüstrisinde kullanımı. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11 (4), 3035-3054.
- [42] URL-2 <<https://plastik-ambalaj.com/en/examples-of-the-reader/119-plastik-ambalaj-makale/2146-biyobozunur-g-da-ambalaj-olarak-aype-polikaprolakton-polimerik-kompozit-filmle>>, erişim tarihi 12.01.2022.
- [43] Hamamcı, B. (2018). Yeşil kompozitlerde biyopolimerlerin kullanımının önemi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 12-24.

- [44] **Düzakın, E.** (2021). Sürdürülebilir tasarım yaklaşımı açısından biyoplastiklerin incelenmesi. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 11 (1), 73-92.
- [45] **Kılınç, M., Tomar, O., & Çağlar, A.** (2017). Biyobozunur gıda ambalaj malzemeleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (3), 988-996.
- [46] **Kemaloğlu Doğan, Ş.** (2014). *Biyomalzeme olarak kullanılabilecek poli (Laktik Asit)/poliüretan polimer karışımları*, (Doktora tezi), Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [47] **Dursun, S., Erkan, N., & Yesiltas, M.** (2010). Dogal biyopolimer bazli (biyobozunur) nanokompozit filmler ve su ürünlerindeki uygulamalari. *Journal of Fisheries Sciences*, 4 (1), 50.
- [48] **Riley, A.** (2012). Basics of Polymer Chemistry for Packaging Materials. *Packaging Technology*, Woodhead Publishing, 262-286.
- [49] **Karagöz, F.** (2014). *Poli(D,L-Laktik Asit-Ko-Serin-Nh₂) kopolimerinin sentezi ve karakterizasyonu*. (Yüksek lisans tezi), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [50] **Koh, J. J., Zhang, X., & He, C.** (2018). Fully biodegradable Poly (lactic acid)/Starch blends: A review of toughening strategies. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 99-113.
- [51] **Ertane, E. G.** (2018). *Biyokarbonla güçlendirilmiş PLA'nın üretimi ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi), Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- [52] **Üner, İ., & Koçak, E.** (2013). Poli(Laktik asit)'in kullanım alanları ve nano lif üretimdeki uygulamaları. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(22), 79-88.
- [53] **Çatal, D.** (2019). *Mermer tozu ve kestane meyve kabuğu takviyeli polilaktik asit(PLA) biyokompozitlere ait özelliklerin incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi), Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [54] **Zhang, W., Zhang, Y., Cao, J. ve Jiang, W.** (2021). Improving the performance of edible food packaging films by using nanocellulose as an additive, *International Journal of Biological Macromolecules*, 166, 288–296.
- [55] **Devrim, G.** (2019). *Farklı liflerden üretilmiş kumaşların kullanım ve biyobozunurluk performansının incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [56] **Zaidova, F.** (2017). *Katkı Maddeleri Kullanılarak Polilaktik Asitin Fiziksel Ve Antimikrobiyal Özelliklerinin Arttırılması*. (Yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [57] **Argui, H., Suner, S.C., Periz, Ç.D., Ulusoy, S., Türker, G., Ben-Attia, M., Büyükkaya, F., Oral, A., Cokun, Y. ve Said, H.** (2021). Preparation of cypress (Cupressus sempervirens L.) essential oil loaded poly(lactic acid) nanofibers, *Open Chemistry*, 19, 796–805.
- [58] **Ince, M.** (2014). Comparision of Low-Cost and Eco-Friendly Adsorbent for Adsorption of Ni(II), *Atomic Spectroscopy*, 35, 223–233.

- [59] **Özcan, Z.E., Onat, S.M. ve Aydemir, D.** (2017.Sarıçam ve Uludağ Gökmar Odunlarının Bazı Özellikleri Üzerine Termal Muamelenin Etkileri, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Kübra ASLAN

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Nevşehir Hacı Bektaş-ı Veli Üniversitesi, Mimarlık Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- ICC Çözüm Grup Danışmanlık, Kalite Güvence Mühendisi, Mayıs 2018-Kasım 2018
- Demirhan Tel Mamülleri İnş. Gıda ve Plastik San. Tic. Ltd Şti, Kalite Mühendisi Kasım 2018-Nisan 2019
- Erbay Alüminyum Cephe Sistemleri Kalite Mühendisi Nisan 2019-Devam