T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

# ÇAM ODUNU TOZU İÇEREN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİPROPİLEN VE FARKLI KATKILAR İLE HAZIRLANAN HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eslem KAVAS

**Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Polimer Malzeme Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

**HAZİRAN 2024**

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

# ÇAM ODUNU TOZU İÇEREN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİPROPİLEN VE FARKLI KATKILAR İLE HAZIRLANAN HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Eslem KAVAS**
**(21420591019)**
**ORCID: 0000-0002-4456-505X**

**Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Polimer Malzeme Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Pınar TERZİOĞLU**
**ORCID: 0000-0003-4114-7044**

**HAZİRAN 2024**

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 21420591019 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Eslem KAVAS, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ÇAM ODUNU TOZU İÇEREN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİPROPİLEN VE FARKLI KATKILAR İLE HAZIRLANAN HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Pınar TERZİOĞLU**
Bursa Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Meral AKKOYUN KURTLU**
Bursa Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Dr. Öğr. Üyesi ÖZGE ÇELİK**
Bursa Uludağ Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**
**Savunma Tarihi : 10 Haziran 2024**

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.

## 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: Eslem KAVAS

İmzası:

***Bilime ışık tutanlara,***

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam ve eğitim yolculuğumda, akademik bilgi birikimi ve mesleki tecrübeleriyle ihtiyaç duyduğum her zaman özveri ile destek sunan değerli danışmanım Doç. Dr. Pınar TERZİOĞLU'na tüm emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim sürecinde ve çalışmalarımın yürütülmesi konusunda tüm imkanları sağlayan Ermetal Otomotiv A.Ş ve Plasmot Mobilya ve Otomotiv Plastikleri San. Tic. A.Ş.'ye teşekkür etmek isterim. Ayrıca, çalışma hayatımda iyi ki yollarım kesişti dediğim Plasmot Mobilya ve Otomotiv Plastikleri San. Tic. A.Ş. Genel Müdürü Gökhan AYDIN'a ve AR-GE Laboratuvar Sorumlusu Orhan BULUT'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda sağladıkları teknik destekler için Burpol Polimer Plastik San. Tic. A.Ş.' ye teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim ve sosyal hayatımında yaşadığım tüm sorunlarda desteklerini esirgemeyen ve yoluma devam etmem için bana güç veren arkadaşıma bir teşekkürü borç bilirim.

Son olarak, hayatımın her alanında beni destekleyen ve cesaretlendiren sevgili aileme içten teşekkürlerimi sunmak isterim. Bana olan inancınız ilerlememin ardındaki itici güç oldu.

Haziran 2024

Eslem KAVAS
Polimer Malzeme
Mühendisi

**İÇİNDEKİLER**

**Sayfa**

**ÖNSÖZ** ix
**İÇİNDEKİLER** x
**KISALTMALAR** xii
**SEMBOLLER** xiv
**ÇİZELGE LİSTESİ** xv
**ŞEKİL LİSTESİ** xvi
**ÖZET** xvii
**SUMMARY** xviii
**1. GİRİŞ** 1
1.1 Tezin Amacı 5
**2. GENEL BİLGİLER** 6
2.1 Plastik Kompozitlerde Kullanılan Polimerler 6
2.2 Polipropilen 7
2.3 Geri Dönüştürülmüş Polipropilen 9
2.4 Polimer Dolgu Malzemeleri 10
2.4.1 Kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) 11
2.4.1.1 Polipropilen $CaCO_3$ kompozitler 11
2.4.2 Talk 12
2.4.2.1 Polipropilen talk kompozitler 13
2.4.3 Cam elyaf 13
2.4.3.1 Polipropilen cam elyaf kompozitler 14
2.5 Odun Plastik Kompozitler 15
2.6 Odun Plastik Kompozit Üretim Yöntemleri 16
2.6.1 Ekstrüzyon 17
2.6.2 Termoform-sıkıştırmalı kalıplama 17
2.6.3 Enjeksiyon kalıplama 18
2.6.4 Üç Boyutlu (3B) baskı 18
2.7 Odun Plastik Kompozitlerde Kullanılan Odun Türleri 19
2.7.1 Çam odunu 20
2.7.1.1 Çam odunun anotomik, fiziksel ve mekanik özellikleri 20
2.7.2 Çam ağacı türlerinin odun plastik kompozitlerde kullanımı 21
**3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR** 23
3.1 Malzemeler 23
3.2 Odun Plastik Kompozitinin Hazırlanması 23
3.3 Odun Plastik Kompozitinin Dolgular ile Birleştirilip Kompozitlerin Üretimi 25
3.4 Karakterizasyon Çalışmaları 27
3.4.1 Eriyik akış indeksi 27
3.4.2 Yoğunluk tayini 28
3.4.3 Çekme özellikleri tayini 29
3.4.4 Eğilme özellikleri tayini 29

3.4.5 İzod darbe dayanımı tayini ..... 29
3.4.6 Yük altında sapma sıcaklığı (HDT) tayini ..... 30
3.4.7 Vicat yumuşama sıcaklığı tayini ..... 30
3.4.8 Diferansiyel taramalı kalorimetre ..... 30
**4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA ..... 31**
4.1 Eriyik Akış İndeksi Sonuçları ..... 31
4.2 Yoğunluk Tayini Sonuçları ..... 31
4.3 Çekme Testi Sonuçları ..... 32
4.4 Eğilme Testi Sonuçları ..... 34
4.5 İzod Darbe Dayanımı Test Sonuçları ..... 36
4.6 Yük Altında Sapma Sıcaklığı Test Sonuçları (HDT) ..... 37
4.7 Vicat Yumuşama Sıcaklığı ..... 39
4.8 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Test Sonuçları ..... 40
**5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER ..... 42**
**KAYNAKLAR ..... 44**
**ÖZGEÇMİŞ ..... 51**

**KISALTMALAR**

**3B** : Üç Boyutlu Baskı
**$Al(OH)_3$** : Alüminyum Hidroksit
**$Al_2O_3$** : Alüminyum Oksit
**ATR** : Azaltılmış Toplam Yansıma
**$CaCO_3$** : Kalsiyum Karbonat
**CAD** : Bilgisayar Destekli Tasarım
**DSC** : Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
**EVOH** : Etilen Vinil Alkol
**EWP** : Mühendislik Ahşap Ürünleri
**FT-IR** : Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
**HDPE** : Yüksek Yoğunluklu Polietilen
**HDT** : Yük Altında Eğilme Sıcaklığı
**HIPS** : Yüksek Darbe Dayanımlı Polistiren
**LDPE** : Düşük Yoğunluklu Polietilen
**LLDPE** : Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen
**MAH** : Maleik Anhidrid
**MAPP** : Maleik Anhidrid Aşılanmış Polipropilen
**MFI** : Eriyik Akış İndeksi
**$Mg(OH)_2$** : Magnezyum hidroksit
**MgO** : Magnezyum Oksit
**OPK** : Odun Plastik Kompozitler
**PA 66** : Nylon 66
**PCL** : Polikabrolaktam
**PE** : Polietilen
**PET** : Polietilen Teraftalat
**PHB** : Poli(3-Hidroksibutirat)
**PHBV** : Polihidroksibütirateko-Valerat
**PLA** : Polilaktik Asit
**PMMA** : Poli Metilmetakrilat
**PP** : Polipropilen

**PS** **:** Polistiren

**PVC** **:** Polivinil Klorür

**R-PP** **:** Geri Dönüştürülmüş Polipropilen

**$Sb_2O_3$** **:** Antimon Oksit

**SEM** **:** Taramalı Elektron Mikroskobu

**$SiO_2$** **:** Silikon Dioksit

**SMA** **:** Stiren Maleik Anhidrid

**WPC** **:** Ahşap Plastik Kompozit

**XRD** **:** X-Işını Kırınım Yöntemi

**YYPE** **:** Yüksek Yoğunluklu Polietilen

**ZnO** **:** Çinko Oksit

**SEMBOLLER**

| | |
|---|---|
| **%** | **:** Yüzde Sembolü |
| **°C** | **:** Santigrat Derece |
| **cm** | **:** Santimetre |
| **dk** | **:** Dakika |
| **g** | **:** Gram |
| **g/cm$^3$** | **:** Yoğunluk Birimi |
| **kj/m²** | **:** Enerji Birimi |
| **$m_1$** | **:** Kompozit Numunenin Havadaki Ağırlığı |
| **$m_2$** | **:** Kompozit Numunenin Alkol İçerisinde Ağırlığı |
| **mm** | **:** Milimetre |
| **N** | **:** Newton |
| **Tc** | **:** Kristallenme Sıcaklığı |
| **Tm** | **:** Erime Sıcaklığı |
| **W** | **:** Polipropilenin Kompozit İçerisindeki Ağırlık Oranı |
| **Xc** | **:** Kristalinite Oranı |
| **ρ** | **:** Yoğunluk Sembolü |
| **$\rho_1$** | **:** Kompozit Numunenin Yoğunluğu |
| **$\rho_2$** | **:** Alkolün Yoğunluğu |
| **$\Delta H$m** | **:** Erime Entalpisi |

## ÇİZELGE LİSTESİ

**Çizelge 2.1 :** Odun plastik kompozitlerde kullanılan polimerlerin sınıflandırılması. . 7
**Çizelge 2.2 :** Dolgu maddelerinin sınıflandırılması. ..... 10
**Çizelge 3.1 :** Ekstrüzyon bölge sıcaklıkları. ..... 24
**Çizelge 3.2 :** Odun plastik kompozit kompozisyonu. ..... 25
**Çizelge 3.3 :** Hibrit kompozitlerin kompozisyonu. ..... 26
**Çizelge 4.1 :** Eriyik akış indeks sonuçları. ..... 31
**Çizelge 4.2 :** Kompozitlerin yoğunluk sonuçları. ..... 32
**Çizelge 4.3 :** Kompozitlerin çekme test sonuçları. ..... 33
**Çizelge 4.4 :** Kompozitlerin eğilme test sonuçları. ..... 35
**Çizelge 4.5 :** Kompozitlerin darbe dayanımı test sonuçları. ..... 36
**Çizelge 4.6 :** Kompozitlerin yük altında sapma sıcaklığı test sonuçları. ..... 38
**Çizelge 4.7 :** Vicat yumuşama sıcaklığı test sonuçları. ..... 39
**Çizelge 4.8 :** Hibrit kompozitlerin termal test sonuçları. ..... 41

## ŞEKİL LİSTESİ

**Şekil 2.1 :** Polipropilen monomer ünitesi. ..... 7
**Şekil 2.2 :** PP polimerinin taktisitesi (a) İzotaktik, (b) Sindiyotaktik ve (c) Ataktik. . 8
**Şekil 2.3 :** Rastgele ve blok kopolimerize PP moleküllerinin yapısı ( P:Polipropilen E:Etilen). ..... 9
**Şekil 2.4 :** Kalsiyum karbonatın kimyasal yapısı. ..... 11
**Şekil 2.5 :** Talkın kimyasal yapısı..... 13
**Şekil 2.6 :** Cam elyafın kimyasal yapısı. ..... 14
**Şekil 2.7 :** Odun plastik kompozit şematik gösterimi. ..... 15
**Şekil 2.8 :** Plastik ekstrüzyon şematik gösterimi. ..... 17
**Şekil 2.9 :** Termoform şematik gösterimi. ..... 17
**Şekil 2.10 :** Enjeksiyon kalıplama şematik gösterimi. ..... 18
**Şekil 2.11 :** 3B baskı şematik gösterimi. ..... 18
**Şekil 2.12 :** OPK üretiminde kullanılan bazı kaynaklar (a) sedir, (b) çam, (c) köknar, (d) kırmızı akçaağaç, (e) kavak, (f) okaliptüs, (g) tarımsal atıklar, (h) kentsel evsel atık. ..... 19
**Şekil 2.13 :** Türkiye görülen çam ağacı türleri (a) Kızılçam (Pinus brutia), (b) Sarı çam (Pinus sylvestris), (c) İğne yapraklı çam-fıstık çamı (Pinus Pinea), (d) Kara çam (Pinus nigra) ve (e) Halep çamı (Pinus halepensis). ..... 20
**Şekil 2.14 :** Kızıl çam iç odun görseli..... 21
**Şekil 3.1 :** Odun plastik kompozit üretimi şematik gösterimi. ..... 23
**Şekil 3.2 :** Odun plastik kompozit malzemelerinin karışımı. ..... 24
**Şekil 3.3 :** Çift vidalı ekstrüder makinesi. ..... 25
**Şekil 3.4 :** Odun plastik kompozit filament görseli ve filament kesme makinesi. .... 25
**Şekil 3.5 :** 50 Ton Asian enjeksiyon makinesi. ..... 26
**Şekil 3.6 :** Kalıplanmış numune görselleri (a) HK0, (b) HK1, (c) HK2, (d) HK3, (e) HK4 ve (f) HK5..... 27
**Şekil 3.7 :** Eriyik akış indeks cihazı..... 28
**Şekil 3.8 :** Yoğunluk tespit düzeneği. ..... 28
**Şekil 3.9 :** Çekme ve eğilme test cihazı. ..... 29
**Şekil 3.10 :** Darbe test cihazı. ..... 29
**Şekil 3.11 :** HDT ve Vicat test cihazı. ..... 30
**Şekil 3.11 :** DSC test cihazı. ..... 30
**Şekil 4.1 :** Kompozitlerin (a) çekme mukavemeti (b) kopma gerilmesi (c) kopma uzaması değişimleri. ..... 34
**Şekil 4.2 :** Kompozitlerin (a) eğilme modülü, (b) eğilme mukavemeti. ..... 36
**Şekil 4.3 :** Kompozitlerin darbe dayanımı. ..... 37
**Şekil 4.4 :** Kompozitlerin yük altında sapma sıcaklığı. ..... 38
**Şekil 4.5 :** Kompozitlerin vicat yumuşama sıcaklığı. ..... 39
**Şekil 4.6 :** Kompozitlerin DSC termogramları. ..... 40

# ÇAM ODUNU TOZU İÇEREN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİPROPİLEN VE FARKLI KATKILAR İLE HAZIRLANAN HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

## ÖZET

Son yıllarda atıkların geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılmasına yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. Hem ekolojik hem de ekonomik faydalar, geri dönüştürülmüş malzemelerin daha fazla kullanılmasına yol açmaktadır. Plastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan polimerlerden biri de polipropilendir. Geri dönüştürülmüş polimerler, teknik özelliklerinin azalması nedeniyle otomobil, tekstil ve ambalaj gibi sektörlerde yüksek oranlarda kullanılamamaktadır. Bu nedenle geri dönüştürülmüş malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi ve plastik malzemelere doğal katkılar ekleyerek plastik miktarını azaltmaya yönelik çalışmaların yapılması ile yeni malzemelerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı çam odunu tozu ve talk içeren geri dönüştürülmüş polipropilen (R-PP) ile plastik ektrüzyon yöntemi üretilen odun plastik kompozitlerin içerisine farklı oranlarda kalsiyum karbonat eklenerek elde edilen hibrit kompozitlerin özelliklerinin incelenmesidir. Çalışmanın sonucunda polipropilen ve doğal çam odunu tozu ile plastik miktarını azaltarak daha çevreci kompozitler üretilmesi ve kalsiyum karbonat ile otomotivde kullanabilecek özelliklere sahip hibrit kompozitlerin sektöre kazandırılması hedeflenmiştir. Kompozitlerin üretimi ekstrüzyon ve enjeksiyon olarak iki aşama ile üretilmiştir. İlk olarak, talk içeren geri dönüştürülmüş polipropilen ve mikronize çam odunu tozu çift vidali ekstrüder ile homojen olarak karıştırılıp granül hale getirilip kompozit üretimi yapılmıştır. İkinci aşamada ise üretilen kompozitin içerisine kalsiyum karbonat (ağırlıkça %5-20) eklenerek enjeksiyonlu kalıplama yöntemi ile şekillendirilmiştir. Üretilen hibrit kompozitlerin çekme, eğilme, darbe testi, yük altında eğilme sıcaklığı (HDT), Vicat yumuşama sıcaklığı, yoğunluk, eriyik akış indeksi ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) tayini yapılarak özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda çam odunu tozu ilavesinin kompozitlerin viskozite ve yoğunluğunu arttırdığı tespit edilmiştir. Çam odunu tozu ve kalsiyum karbonat katkısının çekme mukavemeti, kopma gerilmesi, eğilme modülü ve eğilme mukavemetini arttırırken kopma noktasındaki birim uzama ve darbe dayanımını düşürdüğü görülmüştür. Kompozitlerin termal dayanımlarının odun tozu ilavesiyle iyileştiği ve erime sıcaklıklarının değişmediği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Geri dönüştürülmüş polipropilen, Odun plastik kompozitler, Ektrüzyon, Enjeksiyon kalıplama, Talk, Kalsiyum karbonat.

# EVALUATION OF THE PROPERTIES OF HYBRID COMPOSITES BASED ON RECYCLED POLYPROPYLENE CONTAINING PINE WOOD FLOUR AND DIFFERENT ADDITIVES

## SUMMARY

In recent years, there has been a rapid increase in efforts to recycle and reuse waste materials. Both ecological and economic benefits have led to the increased utilization of recycled materials. One of the widely used polymers in the plastics industry is polypropylene. However, the use of recycled polymers is limited in sectors such as automotive, textiles, and packaging due to the reduction in their technical properties. Therefore, it is necessary to improve the properties of recycled materials and to develop new materials by adding natural additives to plastic materials to reduce the amount of plastic used.The aim of this study is to investigate the properties of hybrid composites obtained by adding different amounts of calcium carbonate to recycled polypropylene containing pine wood flour and talc, produced using the plastic extrusion method. The goal of the study is to develop more environmentally friendly composites by reducing the amount of plastic used with polypropylene and natural pine wood flour and to introduce hybrid composites with characteristics suitable for automotive applications through the addition of calcium carbonate. The production of the composites was carried out in two stages: extrusion and injection molding. First, recycled polypropylene containing talc and micronized pine wood flour was homogeneously mixed using a twin-screw extruder and then granulated to produce the composite. In the second stage, calcium carbonate concentrate (5-20 % wt.) was added to the extruded composite and shaped using the injection molding method. The produced hybrid composites were then subjected to various tests to analyze their properties, including tensile, flexural, impact test, Heat Deflection Temperature (HDT), Vicat softening temperature, density, melt flow index, and differential scanning calorimetry (DSC). As a result of these studies, it was determined that pine wood dust increases viscosity and density. The addition of pine wood dust and calcium carbonate was found to enhance the tensile strength, breaking stress, flexural modulus, and flexural strength of the composites, while reducing the elongation at break and impact resistance. It was also observed that the thermal resistance of the composites improved with the addition of wood flour, while their melting temperatures remained unchanged.

**Keywords:** Recycled polypropylene, Wood plastic composites, Extrusion, Injection molding, Talc, Calcium carbonate.

# 1. GİRİŞ

Kompozit genel olarak farklı iki ya da daha fazla malzemenin çeşitli yöntem ve ya uygulamalarla bir araya getirilermesi ile elde edilen malzemeleri ifade etmektedir. Kompozitler, genellikle bir matris (materyalin ana yapıyı oluşturan kısmı) ve takviye edici malzemelerden oluşur. Kompozit malzemelerin avantajları arasında hafiflik, yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, korozyon direnci ve özel gereksinimlere uygun olarak tasarlanabilme gibi özellikler bulunabilmektedir.

Dünya çapında nüfus patlaması, ucuz ve kolayca bulunabilen plastiklerin çoğunlukla kullanılmasına neden olmuştur. Günümüz koşullarında, plastikler gıda ambalajlama, oyuncaklar, mobilyalar, konteynerler, borular, otomobil ve meşrubat ve su şişeleri gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Plastik atıkların yönetilmesi için geri dönüşüm süreci en iyi yoldur. Genellikle plastiklerin geri dönüşümü toplanma, ayırma ve temizleme ile gerçekleştirilir ve bu işlem plastik eritme işlemi ile takip edilir. Bu süreç, yeni bir bileşen üretir ve bu, orijinal formuyla aynı olabilir veya olmayabilir. Mekanik geri dönüşüm ve kimyasal geri dönüşüm, atık plastikler için ana iki geri dönüşüm tekniğidir. Mekanik geri dönüşümde atık plastiklerin geri kazanılması termofiziksel işlemlerle gerçekleştirilir. Atık plastik atıklarını farklı uygulamalar için kompozit malzemeler elde etmek için geri dönüştürülmüş plastik atıkların kullanımına yönelik birçok araştırma çabası gösterilmiştir (Singh ve diğ. 2022).

Atık plastiklere odun lifleri, keten veya sisal gibi doğal liflerin eklenmesi, elde edilen kompozitleri hem mekanik özellikler hem de ekonomik açıdan uygun kılar. Odun lif takviyeli ham termoplastik kompozitlerin mekanik özelliklerine dair geniş bir yayın literatürü mevcuttur. Bu çalışmalar, kompozitlerin mekanik özelliklerini ve lifler ile polimer arasındaki arayüzey bağlanması üzerinde çeşitli çiftleşme ajanlarının etkilerini incelemiştir. Uygun bir çiftleşme ajanının, bu kompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli kazançlar elde etmek için önemli olduğu bildirilmiştir (Jayaraman ve Bhattacharyya 2004) . Plastik kompozitlere odun lifleri eklenmesiyle ortaya odun kompozitleri/ odun plastik kompozitleri terimi ortaya çıkmıştır.

Odun kompozitleri terimi son derece yeni bir terimdir. Orman ürünleri endüstrisinde partiküllerin, liflerin ya da daha geniş parçaların çeşitli yapıştırıcılar veya bağlayıcılar ile birleştirilmesi ile geliştirilmiş olan ürünler değişik isimlerle anılmaktadır. Odun kompozitler, odun benzeri bir malzemenin farklı türdeki odun malzemelerle veya farklı türdeki malzemelerle yapıştırıcılar kullanılarak birleştirilmesiyle elde edilen malzemeleri ifade eder. Kompozit malzemeler, levhalara ek olarak kalıplanmış ürünleri ve odun ile diğer malzemelerin birleşiminden yapılan ürünleri de içerir. Bu ürünler lif levhadan lamine malzemelere kadar çeşitlilik gösterir. Odun özellikleri türler arasında, ana malzeme farklılığı veya ana malzemenin farklı kısımlarından gelen farklılılardan dolayı değişebilmektedir. Kompozit malzemeler mobilya sektöründe, inşaat sektöründe, iç ve dış mekanlarda geniş bir uygulama alanına sahiptir. Hammadde olan ahşabın fiziksel formu, levhanın yoğunluğu, kullanılan tutkalın türü ve miktarı değiştirilerek, suya, yangına ve farklı ortamlara karşı dayanıklılığı arttırıcı maddeler eklenerek bu ürünlerin özellikleri iyileştirilebilmektedir. Günümüzde bazı kompozit malzemeler bir arada gruplandırılarak "Mühendislik Ahşap Ürünleri" olarak anılmaktadır. Örneğin kontraplak, çeşitli yapı levhaları, lamine ahşap malzeme, sunta, MDF gibi kompozitler son dönemde “mühendislik ürünü ahşap ürünler” olarak adlandırılmaktadır (Güller, 2021).

Çeşitli bağlayıcılarla bir arada tutulan plastik, odun ve inorganik bileşikler içeren odun plastik kompozitler (OPK) geniş bir uygulama alanına sahiptir. Birçok çalışma OPK malzemelerinin lignoselülozik ve inorganik muadillerine göre boyutsal olarak daha stabil olduğunu ve birçok plastikten daha iyi teknolojik özelliklere sahip olduğunu bulmuştur. Özellikle kullanılan plastiğin geri dönüştürülmüş kaynaklardan elde edildiği ve lignoselülozik malzemenin doğada tamamen yok olduğu dikkate alınırsa odun plastik bileşikleri doğaya daha az zarar veren malzemeler olarak göz önünde durmaktadır. OPK malzemelerin üretilmesinde yapımında özellikle atık malzemeler kullanıldığı için geleceğin malzemesi olarak tanımlanmaktadır. Üretilen polimer kompozitler odun, plastik ve diğer katkı maddelerinden oluşur. Özellikle plastik madde lignoselülozik maddeyi kapsüle ettiği için çevresel nem, ısı ve kimyasal etkilerinden korunarak daha dayanıklı hale gelmesi sağlanabilir (Altuntaş ve diğ, 2022).

Odun plastik kompozit, hem plastiğin hem de ahşabın optimum performansını ve maliyet avantajlarını birleştiren bir malzemedir. Bu katkılar sayesinde orman

endüstrisi firmaları atıkları değerlendirirken odun-plastik kompozitlere olan ilgilerini arttırmışlardır. Odun plastik kompozitler park ve bahçe gibi dış mekan mobilyalarında ve insanların sosyal alanlarını oluşturan birçok farklı mekanda halen her gün kullanılmaktadır. Bu büyümenin nedeni kompozitlerin nem direnci, çürüme ve mantarlara karşı dayanıklılık gibi avantajlarının kullanımlarını arttırmasıdır. Ancak plastik ve odun çok hassas yanıcı malzemelerdir. Yerleşim alanlarında kullanımı giderek artan odun-plastik kompozitlerin yangına dayanıklılığının her geçen gün iyileştirilmesi gerekmektedir. Plastiklerin yangına dayanıklılığı iyi bilinmektedir (Altuntaş ve diğ, 2016).

Odun plastik kompozit çalışmaların çoğunluğu, bir polimer matris ve lignoselülozik yapıdaki dolgu maddesinin kullanılmasıyla üretilen kompozit malzemeleri içermektedir. Bu kompozitler, lignoselülozik malzemenin hem bir termoplastik matris içinde dolgu maddesi olarak kullanıldığı hem de bir bağlayıcı olarak görev yaptığı iki temel tipten oluşmaktadır.Matrisin sürekli olup olmaması, kompozit malzemenin işlenebilirliğini belirleyebilir. Genel olarak, sürekli bir termoplastik matris varsa, geleneksel termoplastik işleme ekipmanları kullanılarak kompozitler işlenebilir. Ancak matris sürekli değilse, farklı işleme yöntemleri gerekebilir.Yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu, bu tür kompozit malzemelerin özellikleri, üretim yöntemleri, işlenebilirlik ve dayanıklılık gibi konuları ele almaktadır. Bu alandaki araştırmaların, odun plastik kompozitlerinin endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliğini ve performansını artırmaya yönelik önemli bilgiler sağladığı söylenebilir (Bal ve diğ,2022).

Odun plastik kompozit malzemelerin, zemin kaplamaları, otomobil parçaları, park ve bahçe malzemeleri gibi farklı alanlarda kullanılması, onların çok yönlü ve talep gören malzemeler olduğunu göstermektedir.

Lignoselülozik dolguların diğer dolgu maddelerine göre daha ucuz ve kolayca bulunabilir olması, odun plastik kompozitlerin maliyet etkinliğini arttırmaktadır. Odun plastik kompozitler, boyutsal stabilite, dayanıklılık ve biyotik canlılara karşı direnç gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikler, çeşitli uygulamalarda güvenilir ve dayanıklı sonuçlar elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Odun plastik kompozitlerin yaygınlaştırılması, petrol esaslı plastiklerin kullanımının azalmasına katkıda bulunarak çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir adımdır. Yüksek direnç özellikleri nedeniyle, odun plastik kompozitler özellikle dış mekân uygulamalarında

tercih edilmektedir. Bu avantajlar, odun plastik kompozitlerin endüstriyel uygulamalarda giderek daha fazla kabul görmesine ve çeşitli sektörlerde kullanım alanlarının genişlemesine katkıda bulunmaktadır.

Odun plastik kompozitlerin avantajlarına ek olarak bazı dezavantajları bulunmaktadır ve bu dezavantajların genellikle odunun doğal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Odun plastik kompozitler genellikle düşük yoğunluktadır, bu da bazı uygulamalarda istenmeyen bir özelliktir. Odun, düşük termal kararlılık gösterir, bu da odun plastik kompozitlerin yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında bozulma eğiliminde olabileceği anlamına gelmektedir. Odun plastik kompozitler, doğal odunun nem emme eğilim özelliğini taşır, bu da malzemenin çeşitli uygulamalarda stabilitesini etkileyebilmektedir. Doğal olarak fungal saldırılara karşı duyarlı olabilir, bu da odun plastik kompozitlerin belirli koşullar altında bozulabileceği anlamına gelmektedir. OPK'lar, içerdikleri odun esaslı malzemeler nedeniyle yanıcı olabilmektedir. Bu, sahada kullanılan ürünlerin yangın tehlikelerine maruz kalma riskini artırabilmektedir. Özellikle kurumsal ve ticari yapıların güvenlik standartlarına uyum sağlamak için odun plastik kompozit ürünlerin alevi geciktirici bileşiklerle işlenmesi gerekebilmektedir. Ek olarak, odun plastik kompozitlerin üretiminde borlu bileşiklerin bol miktarda kullanıldığı belirtilmektedir. Bu, çevresel ve sağlık konularında dikkat gerektirmektedir. Bu dezavantajlar, odun plastik kompozitlerin belirli uygulamalarda daha dikkatli bir şekilde kullanılmasını ve geliştirilmiş özelliklere sahip yeni formülasyonların araştırılmasını gerektirmektedir.

Altuntaş ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada toz formda alçak yoğunluklu polietilen ve odun unu kullanılarak, ekstrüder kullanılmadan düz presleme yöntemi ile odun plastik kompozit levhalar üretilmişlerdir. Odun plastik kompozitlerin mekanik özelliklerinin odun unu yüzdesine bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Odun unu yüzdesinin artması, kompozit malzemenin yoğunluğunu arttırmıştır. Odun unu yüzdesinin artmasıyla eğilme direncinde bir artış görülmüştür, odun ununun kompozite eklenmesi bu özelliği olumlu yönde etkilemiştir. Ancak, bu artış belirli bir noktadan sonra tekrar azalma eğilimine geçmiştir. Bu durum, optimum odun unu yüzdesinin bulunduğunu ve aşırı odun unu miktarının mekanik direnci azaltabileceğini göstermektedir. Çekme direnci ve kopmada uzamada odun unu yüzdesinin artışıyla birlikte genellikle azalma eğilimi göstermektedir. Bu durum, odun ununun çekme direncini ve kopmada uzamayı olumsuz yönde etkileyebileceğini göstermiştir. Ancak, çekmede elastikiyet

modülünün artması ile malzemenin elastik özelliklerinin artabileceğini bildirilmiştir. Dolgu maddesi yüzdesinin artması, genellikle kompozit malzemenin sertliğini artırmıştır. %10 yükleme ile kopma uzama yüzdesinde hızlı bir azalma, malzemenin belirli bir yük altında daha düşük deformasyon yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. Bu gözlemler odun plastik kompozitlerin mekanik özelliklerinin karmaşıklığını yansıtmakta ve belirli uygulamalar için en uygun bileşimleri bulma ihtiyacını vurgulamaktadır. Bu tür çalışmalar, malzemenin performansını optimize etmek ve belirli kullanım koşullarına uygun hale getirmek için önemlidir.

Narlıoğlu ve diğ. (2018), odun plastik kompozitler alanında yapılan literatür çalışmalarında karaçam odunu içeren polipropilen kompozitlere yapılan çekme testi ve darbe direnci sonucunda karaçam odun ununun oranının artmasıyla düşüş meydana geldiği bildirilmiştir.

Barbosa ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada kullanılan polipropilen saf polimer olup oluşturulan kompozitlerin özelliklerinde düşüş gözlemlendiği bildirilmiştir. Geri dönüştürülmüş polipropilen ve saf polimer arasında karşılaştırma yapıldığında ise geri dönüştürülmüş PP'nin saf PP'ye göre mekanik düşük olduğu bildirilmiştir.

Çavuş ve Mengeloğlu (2016), odun plastik kompozitlerde sentetik bazlı mineral dolgu maddesi ekleyerek oluşturdukları kompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Polipropilen içerisine odun unu ve sentetik bazlı mineral dolgu maddesi ilavesinin modül değerlerini iyileştirirken çekme mukavemeti, uzama ve darbe değerlerini azalttığını bildirmişlerdir.

### 1.1 Tezin Amacı

Literatürde yapılan çalışmalar sonucunda odun plastik kompozitlerin ve geri dönüştürülmüş polipropilenin mekanik özelliklerinin saf polimerlere göre düşük olduğu saptanmıştır. Bu tez çalışmasında çam odunu tozu ve %10 talk içeren geri dönüştürülmüş polipropilen ile plastik ektrüzyon yöntemi ile üretilen OPK'lerin içerisine farklı oranlarda kalsiyum karbonat eklenerek enjeksiyon ile kalıplanmasıyla hibrit kompozitler elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu katkıların son ürün üzerindeki sinerjik etkisini belirlemek amacı ile teknik (çekme, eğilme, izod darbe dayanımı, HDT, vicat yumuşama sıcaklığı ve termal) özellikleri incelenerek otomotiv sektörü için potansiyel kullanım alanlarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

# 2. GENEL BİLGİLER

## 2.1 Plastik Kompozitlerde Kullanılan Polimerler

Kompozit malzemelerin geliştirilmesi için kullanılabilecek ana bileşenler polimer, metal ve seramiktir. Diğer tüm kompozit malzemeler arasında polimer kompozitler, yüksek mukavemet/ağırlık oranları nedeniyle farklı endüstrilerde mükemmel perspektiflere sahiptir. Polimer kompozitler genellikle karbon fiberler ve cam fiberler kullanılarak üretilirler (Khalid ve diğ. 2022).

Plastik kompozitlerde matris olarak epoksi, polietilen (PE), polipropilen (PP), Nylon 66 (PA 66), polietilen teraftalat (PET) gibi yaygın polimerler kullanılarak üretilirler. Odun plastik kompozitlerde de kullanılan polimerler için önemli bir kısıtlama bulunmaktadır. Odun dolguyu termal olarak bozmayacak işlem koşullarına (erime sıcaklığı, basınç) ihtiyaç duyulmaktadır. Odun 220 °C civarında bozunmaya başlayacağı için odun plastik kompozitlerde genel amaçlı polimerler kullanılır. Çalışmalar PE, PP , polivinil klorür (PVC) , polistiren (PS) ve poli metilmetakrilat (PMMA) üzerine odaklanmıştır. Bu polimerlerin mekanik özellikleri odun liflerinin eklenmesiyle geliştirilebilmektedir, ancak ortaya çıkan kompozitlerin çoğu mühendislik uygulaması için beklenen mekanik özelliklere sahip değildir. Bu sebeple kompozitlerin geliştirilmesi için çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Bu polimerlere ek olarak, farklı uygulamalar ve kullanım alanları için PA 66, PET, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek darbe dayanımlı polistiren (HIPS), stiren maleik anhidrid (SMA) ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Sentetik polimerler haricinde polilaktik asit (PLA), polikabrolaktam (PCL), polibütilen süksinat-bütilen karbonat (PBSC), poli(3-hidroksibutirat) (PHB) ve polihidroksibütirateko-valerat (PHBV) gibi biyobozonur polimerler ve bu polimerlerin bileşimleriyle çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Termoplastik polimerlere ek olarak termoset polimerlerle de odun plastik kompozit geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Epoksi, polivinil ester, polyester, poliüretanlar, fenolik, formaldehit, vb. odun plastik kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan termoset polimerlerdir (Rayaz Khan ve diğ.,2020; Gardner ve diğ.,2015; Kim ve Pal, 2010).

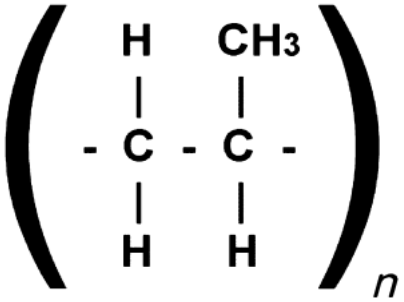
**Çizelge 2.1 :** Odun plastik kompozitlerde kullanılan polimerlerin sınıflandırılması.

| **Odun Plastik Kompozitlerde Kullanılan Polimer** | | |
|---|---|---|
| **Termoset** | **Termoplastik** | |
| | **Doğal** | **Sentetik** |
| Epoksi, polivinil ester, polyester, poliüretanlar, fenolik, formaldehit | PLA, PCL, PBSC, PHB, PHBV | PE, PP, PVC, PS, PMMA, PA 66, PET, HDPE, LDPE, HIPS, SMA |

## 2.2 Polipropilen

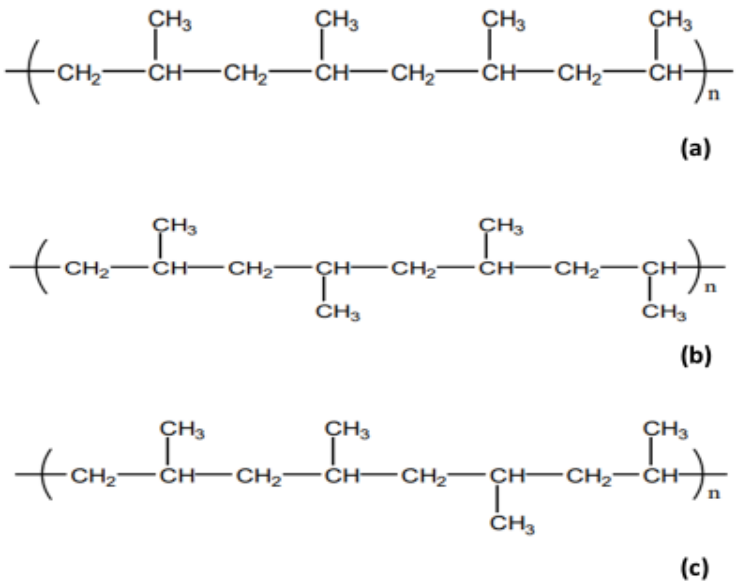
Polipropilen altmış yıldan fazla süredir pazarda sürekli büyümekte olan bir polimerdir. Polipropilen (PP) ilk olarak K.Ziegler'in çalışmalarını takiben G. Natta tarafından üretilmiştir, propilen monomerinin (Şekil 2.1) polimerizasyonu ile 1954 yılında 10.000 ila 20.000 monomer birimi oluşan bir yapıda olacak şekilde üretilmiştir. PP pazarı, küresel polimer talebinin %25'inden fazlasını oluşturan dünyanın en büyük ikinci polimer sektörüdür. Küresel talep polipropilenin büyümesine öncülük ediyor olup 2030 yılında 120 milyon tona yakın bir talep olması beklenmektedir.

Polipropilenin kimyasal yapısı her bir omurga karbon birimi üzerinde bir metil grubu bulunacak şekildedir.




**Şekil 2.1 :** Polipropilen monomer ünitesi.

Polimerizasyon sırasında bu metil grubunun stereomerkez etrafına yerleştirilmesi, isotaktik, sindiyotaktik ve ataktik olmak üzere üç farklı taktik oluşur (Şekil 2.2). Bu formdaki PP'yi polimerize etmek için stereospesifik veya Ziegler-Natta katalizörleri kullanılır. Polimer zincirinin bir tarafına sürekli olarak yerleştirilen metil grupları izotaktik polipropilen oluşturur. Bu metil grupları bir taraftan diğerine değiştiğinde polimer sindiyotaktik olarak isimlendirilir. Rastgele bir metil grubu sıralaması ataktik bir polimer oluşturur. Polimerin taktik özelliği, polimerin özelliklerini kısmen tanımlar. Sadece izotaktik PP, kullanışlı bir plastik malzeme için gerekli özelliklere sahiptir.

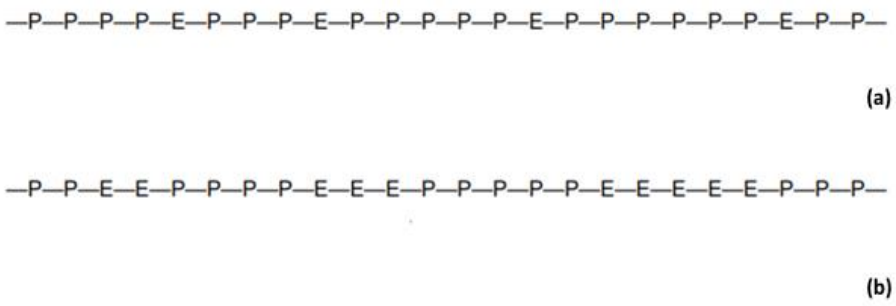



**Şekil 2.2 :** PP polimerinin taktisitesi (a) İzotaktik, (b) Sindiyotaktik ve (c) Ataktik.

PP düşük maliyetli bir mühendislik plastiği olarak adlandırılır. Düşük yoğunlukta daha yüksek sertlik ve mekanik strese maruz kalmadığında daha yüksek sıcaklıklara çok iyi direnç gösterir. Buna ek olarak, PP iyi yorulma direnci, iyi kimyasal direnç, iyi çevresel stres çatlama direnci, iyi deterjan direnci, iyi sertlik, temas şeffaflığı ve işleme kolaylığı ile birlikte enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon yoluyla iyi işlenebilirlik sunmaktatır.

Modifiye edilmemiş PP'nin diğer rakip termoplastiklere kıyasla en önemli dezavantajları daha yüksek kalıp büzülmesi, daha yüksek termal genleşme ve özellikle ortam altı sıcaklıklarda daha düşük darbe dayanımına sahip olmasıdır.

Homopolimer PP'lere ek olarak kopolimer PP'lerde bulunmaktadır. Rastgele kopolimer ve heterofazik veya blok kopolimer olmak üzere iki temel türde kopolimer bulunmaktadır. Propilen monomerleri, kopolimerler oluşturmak üzere diğer monomerlerle polimerize edilebilir. Propilen olmayan monomerlerin rastgele eklenmesi rastgele bir kopolimer oluştururken, iki monomerin alternatif zincirlerine sahip yapılar blok kopolimerler oluşturabilir (Şekil 2.3). Genel olarak diğer monomerlerin eklenmesi saf polipropilenin kristal yapısını bozar. Bu nedenle kopolimerler homopolimerlerden daha esnektir ancak iyi bir mukavemete sahiptirler. İkinci bir monomerin eklenmesi, farklı kimyasalların polimerin reaktivitesini, yüzey kimyasını veya reolojisini değiştirmesine olanak tanır (Karger-Kocsis, 2019; Calhoun, 2016; Tripathi, 2002).




**Şekil 2.3 :** Rastgele ve blok kopolimerize PP moleküllerinin yapısı ( P:Polipropilen E:Etilen).

## 2.3 Geri Dönüştürülmüş Polipropilen

Plastiklerin ambalaj, otomotiv ve inşaat endüstrisi gibi birçok mevcut uygulamada çevresel etkinin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Çevreye yönelik endişeler malzemelerin ve özellikle plastiklerin geri dönüşümüne olan ilgiyi artırmıştır. Diğer malzemelere göre plastiklerin geri dönüştürülme oranı %1'dir. Bu sebeple plastiklerin geri dönüştürülmesine ve geri dönüştürülmüş plastiklerin özelliklerini geliştirmek amacıyla yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Polipropilenin geri dönüşümü teknik olarak mümkündür ve otuz yılı aşkın bir süredir belirli sanayi ürünleri ve sanayi hurdaları için uygulanmaktadır. PP şişelerin geri dönüşümü, 2010 yılında 35.4 milyon pounda yükselmesine rağmen, hala PET ya da YYPE'den daha düşüktür. Polipropilen atıklar geri dönüştürüldüğünde özellikle

mekanik isterler olmak üzere bir çok özelliği saf polimere daha düşük olur. PP'nin mühendislik kullanımına uygun özel bir termoplastik haline dönüştürülmesi için büyük çaba sarf edilmektedir. Bu nedenle araştırma çalışmaları, PP'nin mekanik performansını yükseltmeye odaklanmıştır (Poulakis ve diğ.,1997; Xanthos, 2012; Poulakis ve Papaspyrides, 1997).

Polipropilenin özelliklerinin dolgu maddeleri ve takviyelerle daha da genişletilmesi mümkündür. PP'de $CaCO_3$, talk, odun, doğal lifler, cam elyaf ve uzun karbon liflerine kadar büyük miktarda dolgu maddesi kullanılmaktadır (Karger-Kocsis, 2019).

## 2.4 Polimer Dolgu Malzemeleri

Partikül dolgulu polimerler, yapı endüstrisinden otomotiv parçalarına ve ev eşyalarından sıhhi filmlere kadar her türlü uygulamada çok büyük miktarlarda kullanılmaktadır. Dolgu maddelerinin kullanımı günümüzde yerleşik bir teknolojidir. Avrupa'da 30 milyon tondan fazla dolgu maddesi tüketimi bulunmaktadır. Parçacıklı polimerlerin, değiştirilmemiş muadillerine göre birçok avantajı vardır.

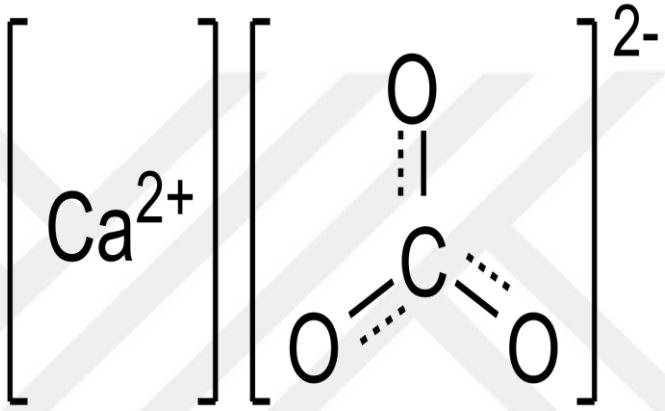
Dolgu maddeleri sertliği ve ısıl sapma sıcaklığını arttırır, büzülmeyi azaltır ve kompozitlerin görünümünü iyileştirir. Verimlilikleri, azaltılmış özgül ısı ve artan termal iletkenlik nedeniyle çoğu işleme teknolojisiyle de artırılabilir. Dolgu maddeleri genellikle matris polimerin sahip olmadığı alev direnci veya iletkenlik gibi yeni işlevsel özellikler oluşturmak için polimere eklenir ve esasen yeni malzemeler oluşturulur. Takviye edici dolgu maddelerinin geliştirilmesinde, proses veya malzeme modifikasyonlarının amacı, partiküllerin en-boy oranını artırmak ve kimyasal olarak farklı polimer matris ile uyumluluklarını ve arayüzey yapışmalarını iyileştirmektir (Karger-Kocsis ve Karger- Bárány, 2019; Xanthos, 2010).

**Çizelge 2.2 :** Dolgu maddelerinin sınıflandırılması.

| **Dolgu Maddeleri** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Oksitler | Hidroksitler | Silikatlar | Metaller | Organikler | Doğal polimerler | Sentetik polimerler |
| MgO, $SiO_2$, $Sb_2O_3$, $Al_2O_3$ ve ZnO | $Al(OH)_3$ ve $Mg(OH)_2$ | Talk, mika, kaolin, wollastonit, montmorillonit, feldispat ve asbest | Bor ve çelik | Karbon, grafit, karbon fiberler, grafit fiberler | Selüloz lifleri, odun unu ve lifleri, keten, pamuk, | Poliamid, polyester, aramid ve polivinil alkol lifleri |

### 2.4.1 Kalsiyum karbonat ($CaCO_3$)

Kalsiyum karbonat (Şekil 2.4), polimer uygulamalarında kullanılan başlıca mineral dolgu maddelerinden biridir ve dünya tüketimi yılda on milyon tonun üzerindedir. Bol miktarda bulunan doğal bir malzemedir; her tür polimerde dolgu maddesi olarak kullanım için ideal özelliklere sahiptir. Termoplastiklerde, termosetlerde ve elastomerlerde yaygın olarak kullanılırlar. Toksik değildir, nispeten yumuşaktır ve kolayca ince bir boyuta kadar öğütülebilir. Polimer uygulamalarında kullanılan sentetik (çökeltilmiş) formlar nano boyut aralığında (100 nm'nin altında) olan $CaCO_3$ kullanılır (Roger ve Paynter, 2017).




**Şekil 2.4 :** Kalsiyum karbonatın kimyasal yapısı.

$CaCO_3$ maliyet olarak oldukça ucuz bir dolgu malzemesidir ve yüksek yüklemelerle kullanılabilir. $CaCO_3$ stearik asit gibi yağ asitleri ile işlenerek dolgu maddesi yüzeyi hidrofobik hale getirilir. Bu yüzey kaplamasının temel amacı, yükleme esnasında partikül aglomerasyonunu azaltmak için yapılır. Polimer matrisi içinde daha iyi dağılması, mekanik özelliklerde, özellikle de darbe mukavemetinde herhangi bir iyileşme için bir ön koşuldur (Fuad ve diğ, 2010) .

#### 2.4.1.1 Polipropilen $CaCO_3$ kompozitler

Thenepalli ve diğ. (2015), polipropilen kompozitler için kalsiyum karbonat dolgu maddeleri hakkındaki yaptıkları derleme çalışması sonucunda, parlak görünümde olan kalsiyum karbonat katkısının önümüzdeki yıllarda otomobil endüstrisindeki genişleme ve artan taleple birlikte, plastik endüstrisinde (tamponlar ve otomobillerin diğer gövde parçaları) büyük ölçüde artacağını bildirmişlerdir.

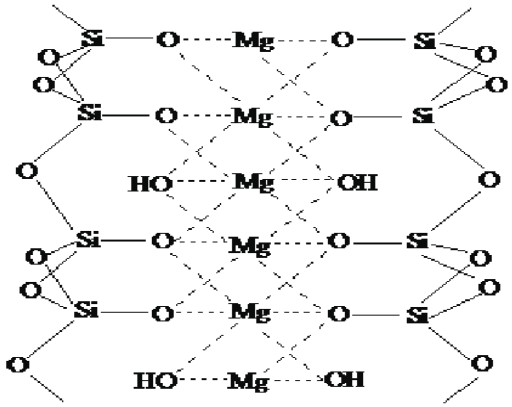
Budiyantoro ve diğ. (2018) $CaCO_3$ dolgu yüzdesinin PP'nin çekme özellikleri üzerindeki etkisi araştırmıştır. Elastik modül, akma gerilmesi ve darbe dayanımı, dolgu maddesi içeriğinin artmasıyla azaldığını, çekme akma dayanımının, dolgu maddesinin dağılımından etkilendiğini ve sertlik değeri dolgu maddesi ilavesi ile arttırdığını bildirmişlerdir.

Kloziński ve diğ. (2023) modifiye edilmiş ve edilmemiş kalsiyum karbonatın kalsiyum karbonatın reolojik özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için gerçekleştirdikleri çalışmada polimer kompozitlerin akışlarda (akış dirençleri, akış ve viskozite eğrilerinin davranışı, güç yasası indeksi), değişen dolgu derecesi, uygulanan dolgu tipi ve ölçüm kesme hızı aralığından kaynaklanan bir davranış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Maryna ve Inna (2023), cam elyaf ve kalsiyum ile güçlendirilmiş polipropilen ile araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Araştırmaları sonucunda, kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için dolgu maddelerinin kullanılabileceğini, cam elyaf konsantrasyonunun artırılmasının Young modülü, akma dayanımı, yorulma dayanımı ve kırılma tokluğunda artışa neden olduğunu ve kalsiyum karbonat partikülleri ile güçlendirilmiş polipropilen için, sadece elastik modül artarken, diğer özelliklerin aynı seviyede kaldığını raporlamışlardır.

### 2.4.2 Talk

Talk, $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$ kimyasal bileşimine (Şekil 2.5) sahip doğal bir mineraldir. Yaygın olarak polimerlerde dolgu maddesi olarak kullanılır. Talkın ana kullanım alanı polipropilen gibi termoplastiklerdir. Talkın ana faydaları, kalsiyum karbonat gibi aynı miktarda bloklu (düşük en-boy oranlı) bir dolgu maddesi ile gözlemlenenden daha fazla sertlik ve ısı bozulma sıcaklığı artışıdır. Saf talk renksiz veya beyazdır, ancak gri, yeşil veya sarı parıltılı olabilir. Hidrofobik talk epitomu yani mükemmel su itici özelliğe sahip talk minerali nedeniyle PP, PE gibi polimerlerde kolayca çözülür ve 900°C'ye kadar sıcaklıklara dayanabilir (Dulebova ve Garbacz, 2017; Roger ve Paynter,2017).




**Şekil 2.5 :** Talkın kimyasal yapısı.

### 2.4.2.1 Polipropilen talk kompozitler

Purgleitner ve diğ. (2023) enjeksiyon kalıplama işleme parametrelerinin, takviyeli (cam elyaf + talk) ve takviyesiz polipropilenin kaynak çizgileri olan ve olmayan numunelerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kaynak çizgileri olan numunelerin mekanik özelliklerinin işleme parametrelerinden etkilenebileceğini, ancak etkinin sınırlı olduğunu ve makine sıcaklığı ile çekme modülü ve mukavemeti arasında pozitif korelasyonlar olduğunu bulmuşlardır. Takviye partiküllerinin kaynak hattı bölgesinde eriyik akış cephesi boyunca hizalandığı tespit etmişler ve kaynak hattı numunelerinin mekanik performansının zayıfladığını raporlamışlardır.

Castillo ve diğ. (2013) polipropilen (PP)/talk kompozitleri, farklı talk morfolojilerinin nihai mekanik özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Talk morfolojisinin ana etkilerinin kompozitlerin modülü, akma dayanımı ve kopma uzaması üzerinde olduğunu ve talkın makro kristalin morfolojisi, mikro kristalinden daha iyi mekanik özelliklere neden olduğunu bildirmişlerdir.

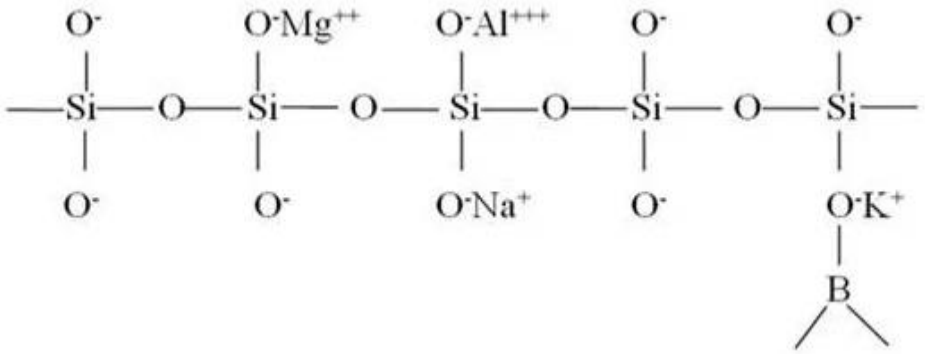
Maiti ve Sharma (1992), talk dolgulu izotaktik polipropilen kompozitlerin çekme ve darbe özellikleri ağırlıkça %0-60 dolgu içeriklerinde incelemişlerdir. Dolgu miktarının artmasıyla çekme modülünde artış, çekme akma dayanımında ve kopma gerilmesinde azalış olduğunu bildirmişlerdir.

### 2.4.3 Cam elyaf

Elyaf takviyeli plastikler, mühendislik toplumunda yaygın olarak tanınan malzeme gruplarıdır. Cam elyaf takviyeli polimer kompozitler çeşitli üretim teknolojileriyle hazırlanmıştır ve çeşitli uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Başlangıçta,

eski Mısırlılar ısıyla yumuşatılmış camdan çekilen cam elyaflarla kaplar yapmışlardır. Cam elyaflar (Şekil 2.6) ilk olarak 1930'larda yüksek sıcaklıkta elektrik uygulamaları için üretilmiştir.Cam elyafların başlıca uygulamaları arasında uçak, otomobil, robotlar ve deniz mühendisliğinin yapısal parçaları bulunmaktadır (Mudhukrishnan ve diğ,2016; Sathishkumar ve diğ,2014).

Kompozitlerin mekanik davranışı, elyaf mukavemetine ve Young modülüne, stabiliteye ve matris mukavemetine bağlıdır. diğer polimer matrisli kompozitlere kıyasla çok yüksek mukavemeti sayesinde en ucuz ve en popüler kompozitlerdir. Cam elyaflarda $SiO_2$, sürekli elyaflar veya kesikli elyaflar türünde de eklenebilir. (Morampudi,2021).




**Şekil 2.6 :** Cam elyafın kimyasal yapısı.

### 2.4.3.1 Polipropilen cam elyaf kompozitler

Thomas (2005), ağırlıkça % 0-73 aralığında cam elyaf içeriğine sahip uzun cam elyaf takviyeli polipropilenin mekanik performansına ilişkin gerçekleştirdiği çalışmada kompozit mukavemet ve darbe direnci, ağırlıkça % 40-50 takviye içeriği aralığında maksimum performans sergilediğini raporlamıştır.

Hartikainen ve diğ. (2009), talk veya kalsiyum karbonat dolgu maddeleri ile doldurulmuş uzun süreksiz cam elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin mekanik davranışı incelenmişlerdir. Uzun süreksiz cam elyaf takviyeli PP'de hibrit dolgu maddesi olarak talk kullanımının, kalsiyum karbonat bazlı ilgili hibrit kompozite kıyasla daha iyi bir gerilme mukavemeti ve tokluğa yol açtığını saptamışlardır. Ayrıca, düşük elyaf içeriğinde matrisin baskın bir role sahip olduğu, yüksek elyaf yüklemesinde ise elyafların etkisinin daha belirgin olduğunu bildirmişlerdir.

## 2.5 Odun Plastik Kompozitler

Toplum tarafından kabul edilen ve bilimsel araştırmalarla kanıtlanmış olan odun, insan sağlığına uygun bir malzemedir. Burada odun malzemenin doğru ve bilinçli kullanımına dikkat edilmelidir. Odun plastik kompozitler ormanlardan elde edilen odun lifleri veya diğer bitkisel lifler ile plastik reçinelerin birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. OPK'lar odun kullanımını azaltarak ormanları korumaya fayda sağlar ve kullanılan odunların geri dönüştürülmüş olması kaynakların verimli kullanılmasına öncülük etmektedir. OPK'ların üretimi (Şekil 2.7) esnasında çevreye zarar veren kimyasalların kullanımı kısıtlıdır. Bu sebeple OPK'lar ile daha çevre dostu ürünlerin elde edilmesi mümkündür. Termoplastik odun plastik kompozitlerin geri dönüşümü mümkün olduğundan yeniden kullanılabilmektedir. OPK'lar hava koşullarına ve çürümeye karşı dayanıklı olduğundan standart odunlara göre daha uzun ömürlüdür.Bu avantajlar göz önünde bulundurulduğunda OPK'lar mobilya,inşaat gibi sektörlerde yaygın hale gelmektedir (Solak, S. 2020). Literatürde çok sayıda OPK ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

**Şekil 2.7 :** Odun plastik kompozit şematik gösterimi.

Fabiyi ve McDonald (2010), kavak, Douglas köknar, kara akasya, ak meşe ve kızılçam odun tozu türleri ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanılarak ekstrüzyon ile üretilen odun plastik kompozitlerin hava koşullarına karşı direnci ve dayanıklılığı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar odun türünün odun plastik kompozit performansında önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Uygun odun türü seçiminin genel performansı iyileştirmek için yararlı bir araç olabileceğini raporlamışlardır. Renk stabilitesinin ve mekanik özelliklerin önemli olduğu uygulamalarda hibrit kavak ve kızılçam tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir. OPK performansını artıran özelliklerden yararlanmak amacıyla odun karışımlarını optimize etmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır.

Kim ve diğ. (2009), A. cyclops (akasya), E. grandis (okaliptüs), P. radiata (çam) ve Q. alba (meşe) gibi odun türleri kullanarak hazırladıkları LLDPE/EVOH OPK'ların mekanik ve dinamik mekanik özellikleri ve kristalleşme kinetiği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.Çalışmalarının sonucunda türler arasında mekanik özelliklerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olmasına rağmen, farklılıkların az olduğunu ve tüm odun türleri ile polimer matrisi arasında benzer moleküler etkileşimler olduğunu bu sebeple çoğu odun türü tozlarının OPK üretimi için hammadde olarak kullanılabileceğini raporlamışlardır.

Mohammed ve Meincken (2021), iç mekan kaplama veya tavan malzemesi için minimum gereksinimleri karşılayan özelliklere sahip OPK'lar üretmek için ön işleme ve pahalı modifiye ediciler eklenmesine gerek kalmadan düşük dereceli geri dönüştürülmüş polietilen ve A. saligna'nın tüm ağaç biyokütlesinin kullanılmasının fizibilitesini göstermek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada %60 biyokütle oranıyla üretilen ve 30 dakika boyunca 180 ◦C'de preslenen levhalar, iç mekan uygulamaları için mekanik ve fiziksel özellikler arasında en iyi dengeyi gösterdiğini bildirmişlerdir.

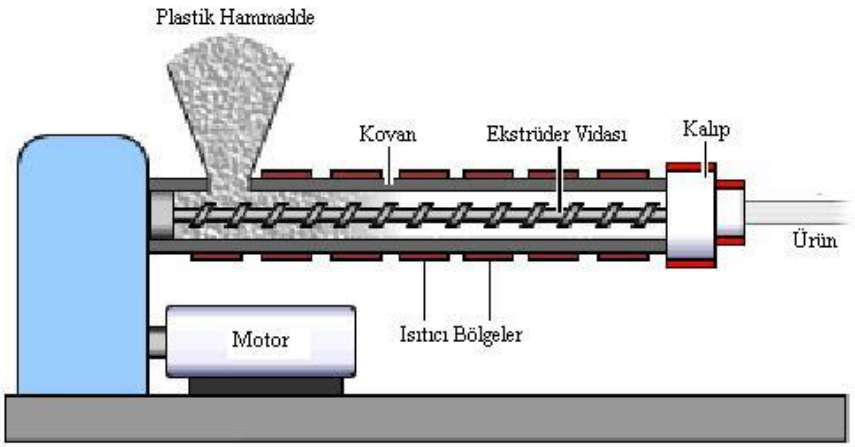
Lazrak ve diğ. (2019), FT-IR spektroskopisi yöntemi ve X-ışını kırınımı kullanarak farklı oranlarda geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen ve deniz çamı unu içeren kompozitleri incelemiştir. FTIR/ATR spektroskopisi ve XRD ile karakterize edilen odun/polietilen yapısı, polimerlerin esas olarak odun hücresinde yarı kristal formda bulunduğunu ve ahşaba fiziksel olarak bağlandığını görmüşlerdir. SEM sonucunda odun unu kompozit matrisine büyük miktarlarda dahil edildiğinde, morfoloji ve yüzey özelliklerinin önemli ölçüde değiştiği bulunmuşar ve bununla birlikte, kompozit yüzeylerin pürüzlülüğünün polietilen ilavesi ile iyileştiğini bildirmişlerdir.

## 2.6 Odun Plastik Kompozit Üretim Yöntemleri

Polimer tipi (termoset veya termoplastik), üretim yönteminin seçiminde en etkili parametredir. Odun plastik kompozitlerin geliştirilmesi için genellikle termoform, ekstrüzyon, sıkıştırmalı kalıplama, el yatırması, enjeksiyon kalıplama ve 3B baskı gibi gelişmiş üretim yöntemleri kullanılmaktadır (Rayaz Khan ve diğ, 2020).

### 2.6.1 Ekstrüzyon

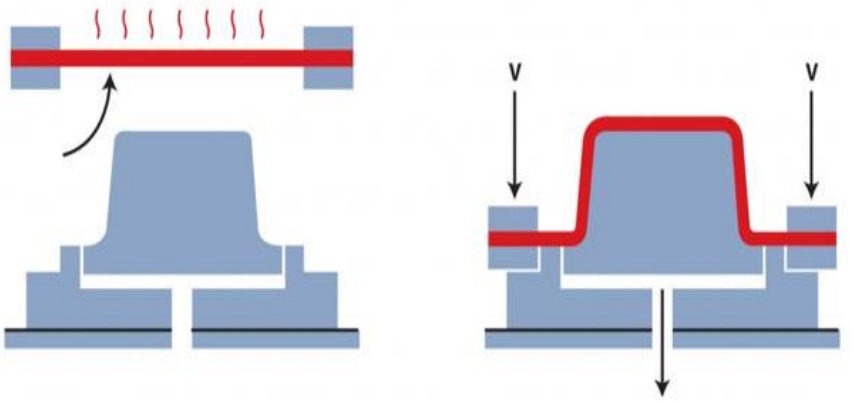
Ekstrüderin birincil amacı polimeri eritmek ve polimer, odun ve katkı maddelerini birleştirme olarak adlandırılan bir işlemde karıştırmaktır (Şekil 2.8). Profil ekstrüzyonu için karıştırılan eriyik kalıptan geçirilir. WPC profillerini işlemek için kullanılan dört ana tip ekstrüzyon sistemi vardır. Bunlar tek vidalı, birlikte dönen çift vidalı, ters dönen çift vidalı ve Woodtruder™'dir.




**Şekil 2.8 :** Plastik ekstrüzyon şematik gösterimi.

### 2.6.2 Termoform-sıkıştırmalı kalıplama

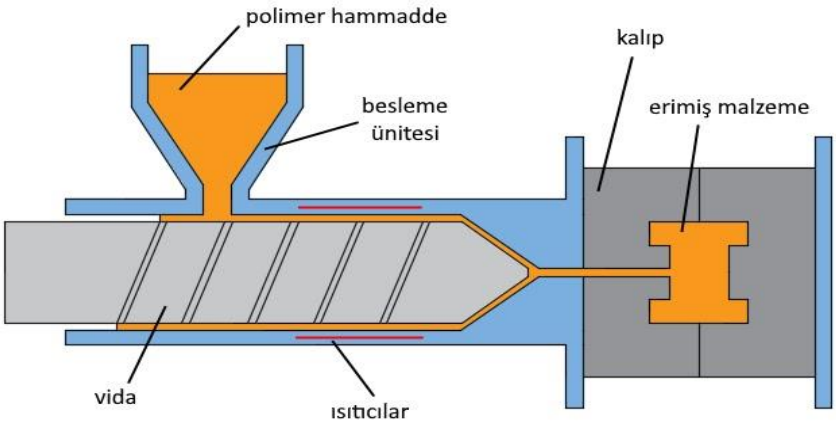
Odun-plastik kompozitlerin sıkıştırma kalıplaması veya termoformu uzun yıllardır araştırılmaktadır ve otomobil kompozit parçalarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sınırlı geometriler ve plaka üretimi için uygun bir yöntemdir (Şekil 2.9).



**Şekil 2.9 :** Termoform şematik gösterimi.

### 2.6.3 Enjeksiyon kalıplama

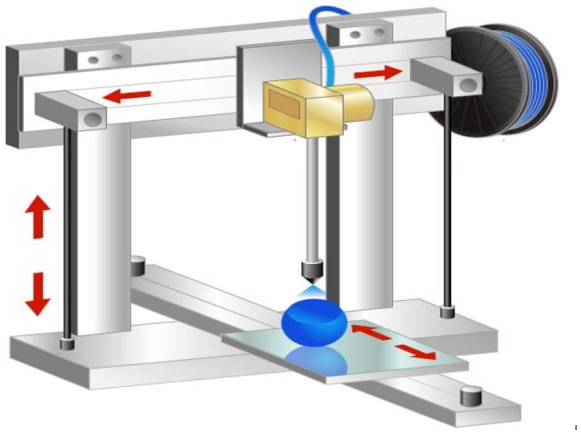
Enjeksiyon kalıplama odun-plastik kompozitlerin enjeksiyon kalıplaması, karmaşık geometriler içeren ve ayrıca son işlem adımı gerektirmeyen parçalar üretmek için kullanılır (Şekil 2.10). Odun plastik kompozitler için enjeksiyon kalıplama sürecini hedefleyen araştırmalar, ekstrüzyon işlemeye kıyasla sınırlıdır. Bu yöntemle farklı geometriler ve kullanım alanlarına üretimler yapılabilmektedir (Gardner ve diğ, 2015).




**Şekil 2.10 :** Enjeksiyon kalıplama şematik gösterimi.

### 2.6.4 Üç Boyutlu (3B) baskı

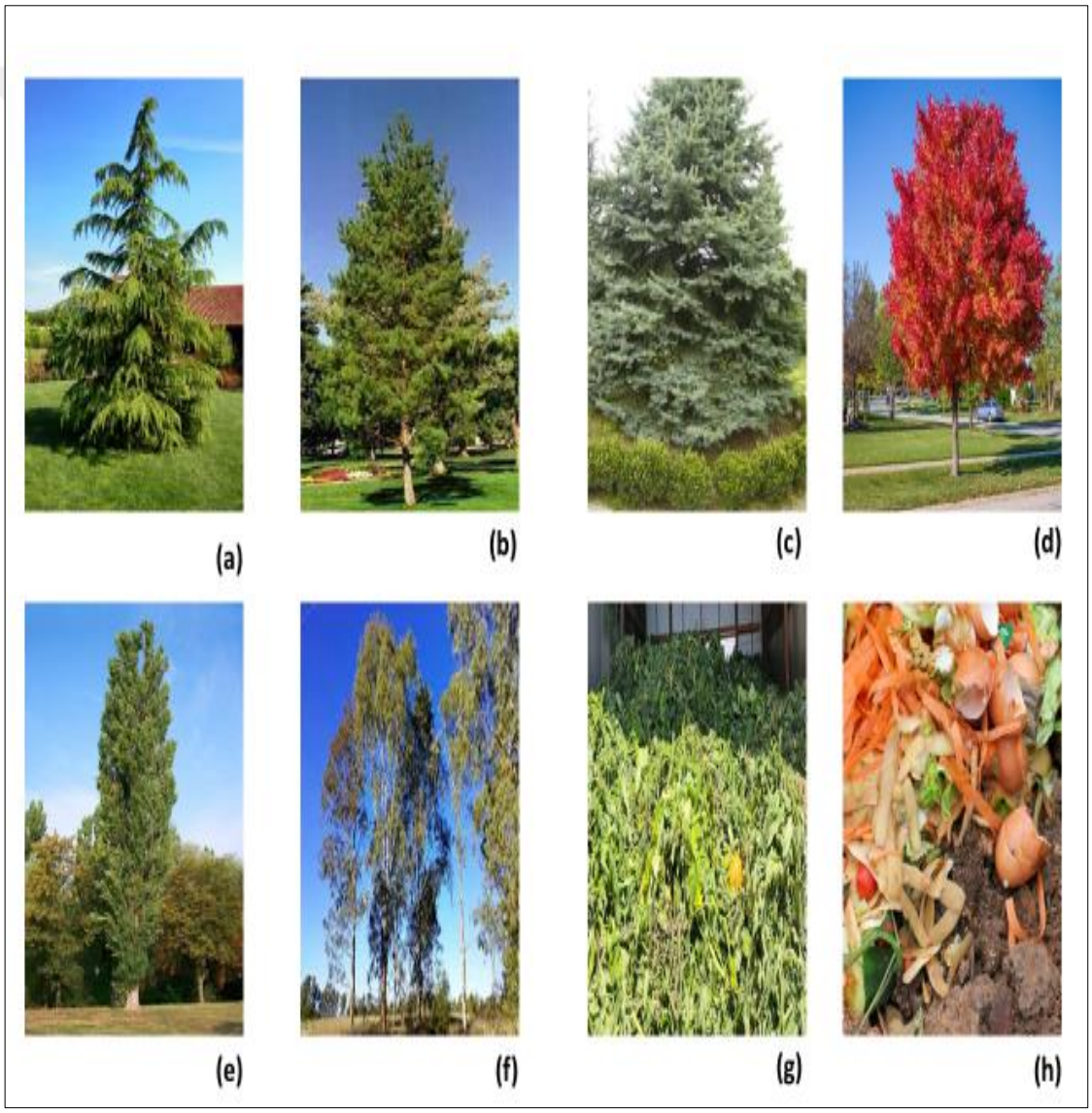
3B baskı (Şekil 2.11), daha yeni ve gelişmiş fabrikasyon metodolojisi olarak odun plastik kompozitlerin hazırlanması için kullanılmaktadır.Bu teknik, pahalı araçlar ve malzeme kaybı olmadan ürün tasarımlarının oluşturulması ve test edilmesinde nesnelerin hızlı prototiplenmesi için çok kullanışlıdır. Bu tekniğin ana avantajları doğrudan CAD verilerini kullanarak parçaları tek adımda geliştirmektir (Rayaz Khan ve diğ, 2020).



**Şekil 2.11 :** 3B baskı şematik gösterimi.

## 2.7 Odun Plastik Kompozitlerde Kullanılan Odun Türleri

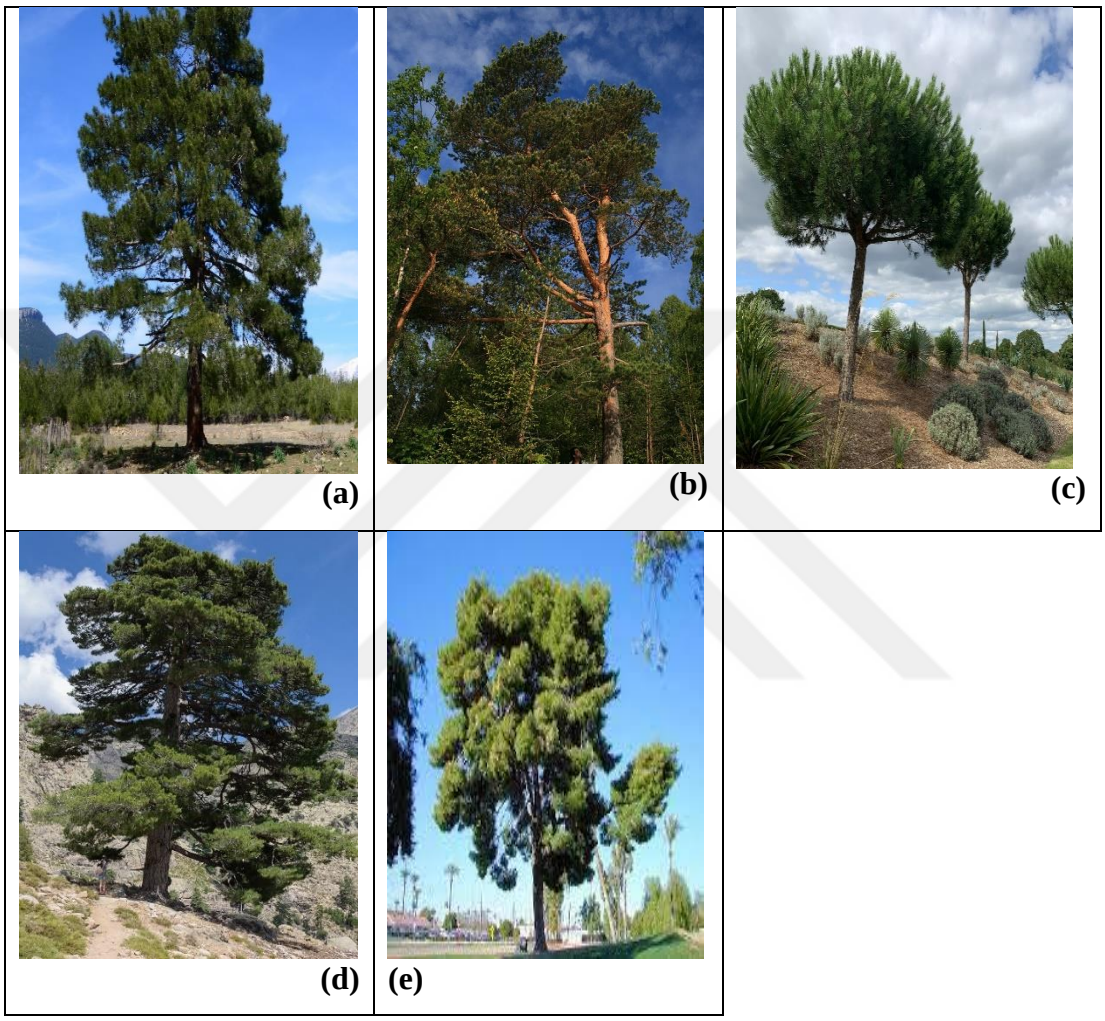
OPK'ler genellikle orman endüstrisinde üretilir. Odun unu, ahşap atölyelerinde ve fabrikalarda, mobilya, kapı ve pencere imalatında yan ürün olarak kullanılmaktadır (Özmen, 2014). OPK'ların üretiminde; beyaz sedir, çam türleri,ladin-köknar, kırmızı akçaağaç, kavak, okaliptüs, tarımsal atıklar (buğday samanı, pirinç samanı, ayçiçeği sapı, yer fıstığı kabuğu, ceviz kabuğu, fındık, biber sapı vb.), kentsel evsel hacimli atıklardan elde edilen odun dahil olmak üzere farklı lignoselülozik malzemeler (Şekil 2.12) kullanılmıktadır (Radhod ve diğ.,2023,; Redhwi ve diğ.,2023; Solak, S., 2020;Başboğa ve diğ., 2022).




**Şekil 2.12 :** OPK üretiminde kullanılan bazı kaynaklar (a) sedir, (b) çam, (c) köknar, (d) kırmızı akçaağaç, (e) kavak, (f) okaliptüs, (g) tarımsal atıklar, (h) kentsel evsel atık.

### 2.7.1 Çam odunu

Tükiye'de iklim ve coğrafi koşulların çeşitliliği sayesinde bir çok çam ağacı türü bulunur. Kızılçam (Pinus brutia), sarı çam (Pinus sylvestris), iğne yapraklı çam-fıstık çamı (Pinus Pinea), kara çam (Pinus nigra) ve halep çamı (Pinus halepensis) Türkiye görülen çam ağacı türleridir (Şekil 2.13).




**Şekil 2.13 :** Türkiye görülen çam ağacı türleri (a) Kızılçam (Pinus brutia), (b) Sarı çam (Pinus sylvestris), (c) İğne yapraklı çam-fıstık çamı (Pinus Pinea), (d) Kara çam (Pinus nigra) ve (e) Halep çamı (Pinus halepensis).

#### 2.7.1.1 Çam odunun anotomik, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kızıl çamların anotomik özellikleri incelendiğinde odun kısmı kırmızımsı beyaz renkte öz odun kısmıda kırmızımsı morumsu renktedir (Şekil 2.14). Yapısında reçine kanalları bulunmaktadır. İğne yapraklı çamlarda odun kısmı sarımsı beyaz iken öz odun kısmı kırmızı kahverengidir ve reçine kanalları yaz odunu içerisindedir.Sarı çamlarda odun kısmı sarımsı iç odun kısmı kırmızı kahverengidir ve çok sayıda reçine

kanalı içermektedir. Karaçamlar ise kendi içinde de türlere ayrılmaktadır ve genellikle odun kısmı sarımsı-kırmızımsı iken öz odun kısmı karmızı-kahvedir ve çok sayıda reçine kanalı içermektedir.

**Şekil 2.14 :** Kızıl çam iç odun görseli.

Genel olarak çam ağacı türlerinin fiziksel özellikleri incelendiğinde tam kuru yoğunlukları 0,38 ila 0,54 g/cm$^3$ arasında iken hava kurusu yoğunlukları 0,42 ila 0,59 g/cm$^3$ aralığındadır.

Çam ağacı türlerinin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve çekme dirençleri incelendiğinde ise eğilme dirençleri 82-120 N/mm$^2$ aralığındadır ve en yüksek eğilme direncini kara çam türü göstermektedir. Elastikiyet modüllerine bakıldığında ise literatürde kara çam için 7061,7 N/mm$^2$ sarı çam için 12000 N/mm$^2$ tespit edilmiştir. Çekme dirençleri 41 ila 118 N/mm$^2$ arasında değişmektedir en düşük çekme direnci iğne yapraklı çam ağacında tespit edilirken en yüksek çekme dirençleri sırasıyla kara çam, sarı çam , halep çamı ve kızıl çam türlerinde tespit edilmiştir (As ve diğ., 2014).

### 2.7.2 Çam ağacı türlerinin odun plastik kompozitlerde kullanımı

Literatürde çam ağacı tozu ve polimer matris içeren çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bhaskar ve diğ. (2011), saf ve geri dönüştürülmüş polipropilen içerisine farklı oranlarda çam odun unu eklemişler ve kompozitlerin mekanik ve MFI özelliklerini değerlendirmişlerdir. Yapılan çalışmada kompozitlerin farklı özelliklerinin bağlayıcı madde (MAPP) ilavesiyle ve uygun bir kombinasyonu ile optimize edilebileceğini

gösterilmiştir. Geri dönüştürülmüş PP ile yapılan kompozit panellerin saf PP'den yapılanlara kıyasla mükemmel boyutsal kararlılık ve mekanik özellikler sergilemiştir. Geri dönüştürülmüş PP bazlı kompozitlerin çekme ve eğilme özelliklerinin eşdeğer veya biraz daha yüksek olduğu ve saf PP bazlı olanlara benzer bir eğilim izlediğini saptamışlardır. Çalışma sonucunda ise kompozitlerin yapı uygulamaları için avantajlı olduğunu bildirmişlerdir.

Moreno ve diğ. (2017), düşük yoğunluklu polietilen ambalaj ve çam odun atıklardan geliştirdikleri kompozitlerde mekanik, termal ve mikroskobik analiz sonuçlarını raporlamışlardır. Düşük elyaf içeriğine sahip kompozitler (%1,5-10) yüksek uzama ve daha düşük Young modülüne sahipken, elyaf içeriği %10'un üzerinde olan kompozitlerde Young modül değerinde artış saptanmışlardır. Kompozitler, termomekanik işlemin sıcaklık aralığında termal kararlılık göstermiştir bu nedenle, kompozitlerinin endüstriyel ölçekte hazırlanması bir zorluk teşkil etmediğini raporlamışlardır.

Ayrılmış ve diğ. (2010), çeşitli odun unu (çam ve kayın) ve çam kozalak unu karışımları ile güçlendirilmiş polipropilen kompozitlerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerin eğilme özelliklerinin ve su direncinin, artan kozalak unu içeriğinden olumsuz etkilendiğini bununla birlikte, OPK numunelerinin eğilme özelliklerini ve su direncinin, odun unundan yapılan OPK numunelerine kıyasla ağırlıkça % 10 çam kozalağı ilavesinden önemli ölçüde etkilenmediğini saptamışlardır. Yüksek oranda kozalak unu içeren OPK kompozitlerinin eğilme özellikleri ve su direncindeki azalmalar, çam kozalağındaki ekstraktiflerin çam odununa kıyasla daha yüksek içeriğine bağlandığı raporlamışlardır. Çalışmadan elde ettikleri bulgulara dayanarak, %10 kozalak unu içeren OPK'lar, yüksek su direncine ihtiyaç duyulan çatı kaplaması ve dış mekan zemin kaplaması gibi uygulamalar için pratik bir seçim olduğunu bildirmişlerdir.

# 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

## 3.1 Malzemeler

Bu çalışmada %10 talk içeren geri dönüştürülmüş polipropilen ($\rho$ = 0,97-1,00 g/cm$^3$) Burpolen 1020 T1 Black ticari ismi ile Burpol Polimer Plastik Geri Dönüşüm Sanayi Tic. Ldt. Şti. firmasından temin edilmiştir. Odun tozu olarak İr Talaş Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş. firmasından 0,800 mikronize doğal çam odunu tozu temin edilmiştir. Bağlayıcı olarak maleik anhidrit (MAH) modifiye edilmiş PP ($\rho$ = 0,92 g/cm$^3$) TOPFUSION® P100 EU ticari ismi ile Pimar Plastik A.Ş firmasından temin edilmiştir. $CaCO_3$ konsantresi olarak %80.45 oranında estetik kalsiyum karbonat içeren ($\rho$ = 1,86 g/cm$^3$) katkı MD 9200 katalog numarası Pimar Plastik Ltd. firmasından temin edilmiştir.

## 3.2 Odun Plastik Kompozitinin Hazırlanması

Odun plastik kompozit üretimi şematik gösterimi Şekil 3.1'de verilmektedir. İlk aşamada %10 talk içeren geri dönüştürülmüş polipropilen Motan marka plastik kurutma makinesinde 80$^o$C'de 2 saat kurutulmuştur. Mikronize çam tozu da etüvde 80$^o$C'de 2 saat kurutulmuştur.

**Şekil 3.1 :** Odun plastik kompozit üretimi şematik gösterimi.

Bu tez çalışmasında ektrüzyon yöntemi kullanılarak üretilecek olan odun plastik kompozite eklenecek olan mikronize çam odunu tozu literatür araştırmaları sonucunda belirlenmiştir. Narlıoğlu ve diğ. (2018), artan odun unu miktarının PP matrise ilavesiyle çekme direncinin giderek azaldığını eğilme ve elastikiyet modülü değerlerinde artış görüldüğünü, darbe direnci değerinide olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Buradan çıkışla odun plastik kompozit üretiminde matrise %10 oranında mikronize doğal çam tozu katılmasına karar verilmiştir. Bağlayıcı olarak ise %3 oranında MAH modifiye edimiş PP (MAPP) kullanılmıştır.

Kuruma işlemi biten hammaddeler polimer karıştırma ünitesine alınarak 40 rpm hızında 15 dk boyunca karıştırılmıştır (Şekil 3.2). Daha sonra kompozitler Plasmot Mobilya ve Otomotiv Plastikleri A.Ş'de bulunan çift vidalı ekstrüderde (Şekil 3.3). Çizelge 3.1'de verilen sıcaklıklarda filament olarak üretilmiş ve kesme makinesi (Şekil 3.4) ile kalıplanabilir hale getirilebilmek için granül haline getirilmiştir. Kompozit formülasyonu ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Şekil 3.2 :** Odun plastik kompozit malzemelerinin karışımı.

**Çizelge 3.1 :** Ekstrüzyon bölge sıcaklıkları.

| **Bölge Sıcaklıkları (°C)** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **Kafa** |
| 180 | 210 | 210 | 210 | 215 | 215 | 220 | 220 | 230 |

**Çizelge 3.2 :** Odun plastik kompozit kompozisyonu.

| Odun Plastik Kompozit Kompozisyonu (OPK) | | |
|---|---|---|
| **%10 Talk İçeren Geri Dönüştürülmüş PP (%)** | **MAPP (%)** | **Mikronize Doğal Çam Odunu Tozu (%)** |
| 87 | 3 | 10 |

**Şekil 3.3 :** Çift vidalı ekstrüder makinesi.

**Şekil 3.4 :** Odun plastik kompozit filament görseli ve filament kesme makinesi.

### 3.3 Odun Plastik Kompozitinin Dolgular ile Birleştirilip Kompozitlerin Üretimi

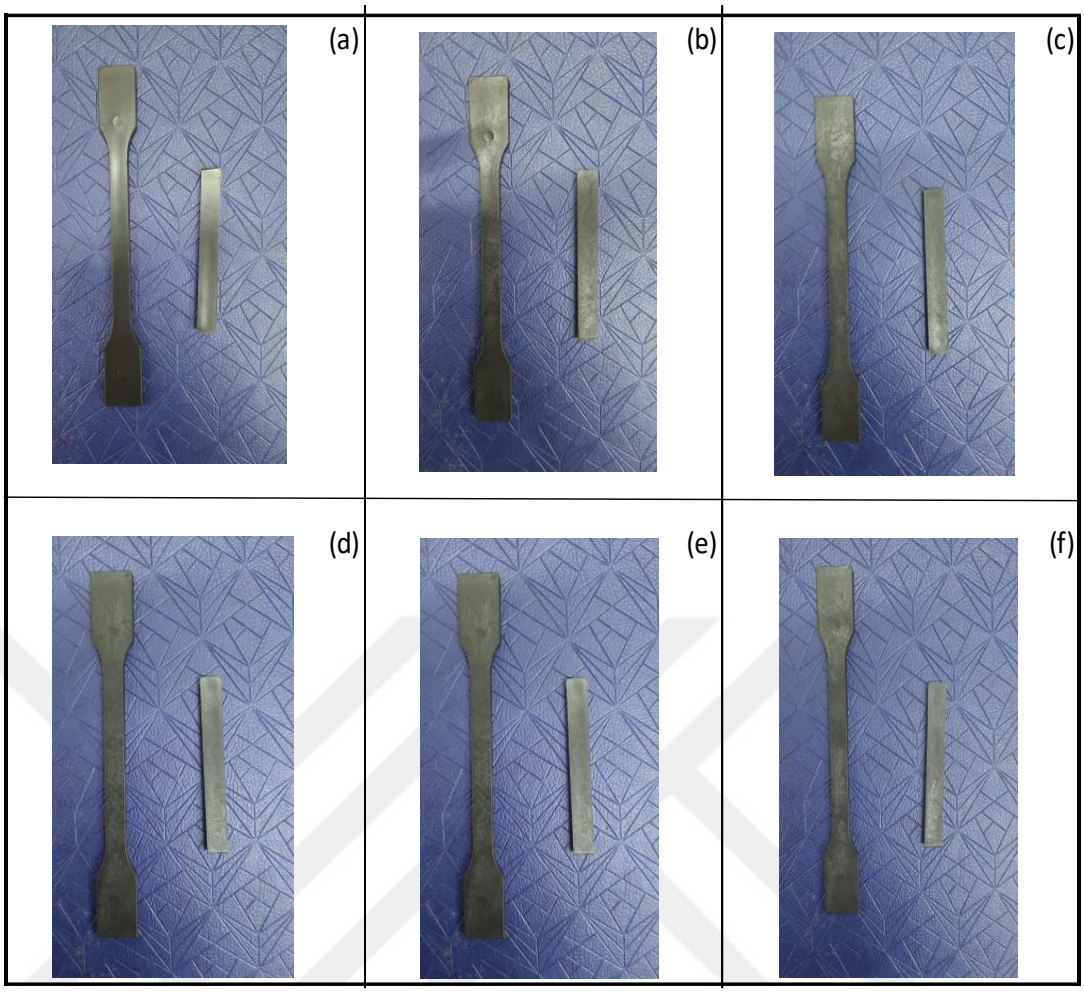
%10 talk içeren geri dönüştürülmüş polipropilen kontrol numunesi olarak (HK0) belirlenmişyir. %10 oranında mikronize doğal çam odunu tozu ve %10 oranında talk içeren odun plastik kompozite (HK1) farklı oranda konsantre $CaCO_3$ ilave edilerek

karışımlar hazırlanmıştır. Kompozisyonlar Çizelge 3.3'de gösterilmiştir. Her bir karışım 2 saat boyunca 80$^{o}$C'de etüvde kurutulmuştur. Hazırlanan karışımlar Plasmot Mobilya ve Otomotiv Plastikleri A.Ş'de bulunan 50 Ton Asian Enjeksiyon makinesi (Şekil 3.5) kullanılarak kalıplanmıştır. Elde edilen kompozitlerin dijital kamera fotoğrafları Şekil 3.6'da sunulmuştur.

**Şekil 3.5 :** 50 Ton Asian enjeksiyon makinesi.

**Çizelge 3.3 :** Hibrit kompozitlerin kompozisyonu.

| Numune Kodu | Mikronize Çam Odunu Tozu (%) | Talk (%) | $CaCO_3$ (%) |
|---|---|---|---|
| **HK0** | 0 | 10 | 0 |
| **HK1** | 10 | 10 | 0 |
| **HK2** | 10 | 10 | 5 |
| **HK3** | 10 | 10 | 10 |
| **HK4** | 10 | 10 | 15 |
| **HK5** | 10 | 10 | 20 |




**Şekil 3.6 :** Kalıplanmış numune görselleri (a) HK0, (b) HK1, (c) HK2, (d) HK3, (e) HK4 ve (f) HK5.

## 3.4 Karakterizasyon Çalışmaları

### 3.4.1 Eriyik akış indeksi

Eriyik akış indeksi termoplastik malzemelerin akıcılığını ve işlenebilirliğini belirlemek için kullanılan bir ölçümdür. Martis ve ekstrüzyon yöntemi ile üretilen kompozitin eriyik akış indeksi Ceast marka eriyik akış indeksi cihazı (Şekil 3.7) ile lSO 1133 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 3.7 :** Eriyik akış indeks cihazı.

### 3.4.2 Yoğunluk tayini

Kompozitlerin yoğunluk ölçümleri ISO 1183 standardına göre daldırma metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kompozit numunelerin yoğunluğu ($\rho_1$) kompozitin havadaki ağırlığı ($m_1$), etil alkol içerisindeki ağırlığı ($m_2$) ve alkolün yoğunluğu ($\rho_2$) ölçülmesiyle Denklem 3.1 kullanılarak elde edilmiştir.

$$\rho_1 = \frac{m_1 \times \rho_2}{m_2} \tag{3.1}$$

**Şekil 3.8 :** Yoğunluk tespit düzeneği.

### 3.4.3 Çekme özellikleri tayini

Çekme testi, plastiklerin ve plastik kompozitlerin çekme mukavemeti (N/mm²), kopma gerilmesi (N/mm²) ve kopma noktasındaki birim uzama (%) değerlerini tespit etmek için yapılır. Kompozitlerin çekme özellikleri Zwick Z020 universal test cihazı (Şekil 3.9) kullanarak ile ISO 527 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

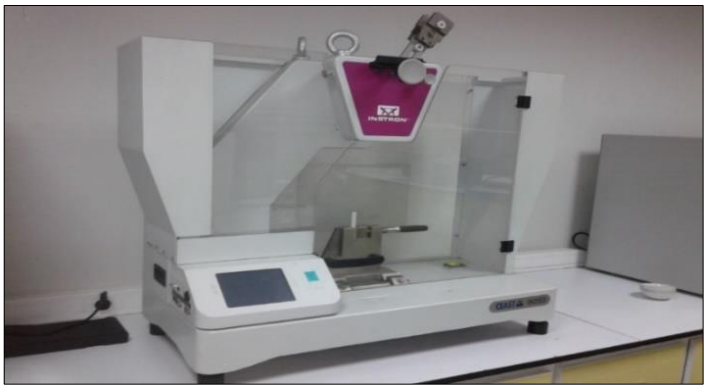
**Şekil 3.9 :** Çekme ve eğilme test cihazı.

### 3.4.4 Eğilme özellikleri tayini

Eğilme testi, plastiklerin ve plastik kompozitlerin eğme modülü (N/mm²) ve eğilme mukavemetini (N/mm²) belirlemek için yaplır. Kompozitlerin eğilme özellikleri, Zwick Z020 universal test cihazı ile ISO 178 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

### 3.4.5 İzod darbe dayanımı tayini

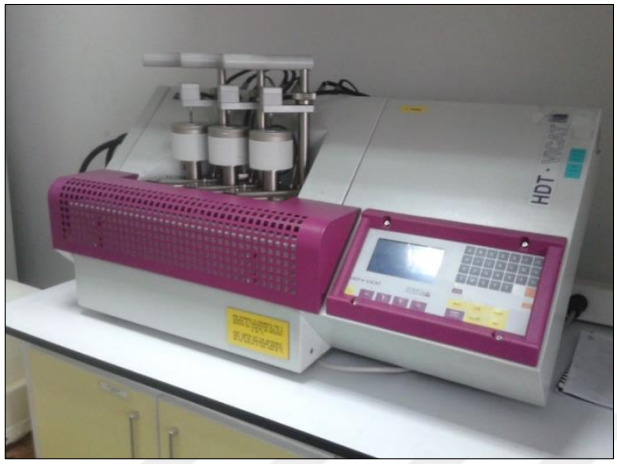
İzod darbe dayanımı testi ve plastik kompozitlerin darbe dayanımı (kj/m²) değerini tespit etmek için yapılır. Kompozitlerin darbe dayanım testleri, Ceast Izod darbe cihazı (Şekil 3.10) ile ISO 180/A standardına göre gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.10 :** Darbe test cihazı.

### 3.4.6 Yük altında sapma sıcaklığı (HDT) tayini

Kompozitlerin yük altında sapma sıcaklığı testleri, Ceast HDT cihazı (Şekil 3.11) ile ISO 75-2/A standardına göre gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.11 :** HDT ve Vicat test cihazı.

### 3.4.7 Vicat yumuşama sıcaklığı tayini

Kompozitlerin Vicat yumuşama sıcaklığının belirlenmesi testleri, Ceast Vicat cihazı ile ISO 306/B50A standardına göre gerçekleştirilmiştir.

### 3.4.8 Diferansiyel taramalı kalorimetre

Diferansiyel taramalı kalorimetre malzemelerin termal özelliklerini incelemek için kullanılır. Kompozitlerin termal özellikleri Shimadzu DSC-60 Plus cihazı (Şekil 3.11) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler 30 ºC'den 300 ºC'ye kadar 20 ºC/dk ısıtma hızında ısıtılarak analiz edilmiştir.

**Şekil 3.11 :** DSC test cihazı.

# 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

## 4.1 Eriyik Akış İndeksi Sonuçları

Talk (% 10) içeren geri dönüştürülmüş granül polipropilen (G-HK0) ve içerisine mikronize çam tozu (%10) eklenmesiyle hazırlanan granül (G-HK1) numunelerin eriyik akış indeks sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Talk içeren geri dönüştürülmüş polipropilen (HK0)'ne çam tozu ilavesi ile eriyik akış indeksinin düştüğü gözlemlenmiştir. HK0 numunesinin HK1 numunesine kıyasla daha az viskoziteye sahip olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, HK1 numunesinin HK0'a kıyasla daha yüksek bir moleküler ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir (Bhaskar ve diğ.,2011).

**Çizelge 4.1 :** Eriyik akış indeks sonuçları.

| Numune Kodu | G-HK0 | G-HK1 |
|---|---|---|
| **MFI (g/10 dk)** | 11,21 | 6,97 |

## 4.2 Yoğunluk Tayini Sonuçları

Kompozitlerin yoğunlukları ISO 1183 standardına göre daldırma metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2'de verilmiştir. Literatürde çam tozu yoğunluğunun 1,4 g/cm$^3$ iken talk ve kalsiyum karbonatın 2,7 g/cm$^3$ olarak bildirilmiştir (Mirmehdi ve diğ.,2014). Kompozitlerin yoğunluğu 1,050-1,195 g/cm$^3$ aralığında değişmektedir. Beklenildiği gibi HK0 numunesi en hafif malzemedir. Sonuçlar incelendiğinde, çam odunu tozu ve artan oranda kalsiyum karbonat ilavesiyle kompozitlerin yoğunluğunun sürekli arttığı saptanmıştır. Çünkü kompozitlerin yoğunluğu plastik matristeki takviye içeriği ile ilişkilidir (Hernández-Jiménez ve diğ.,2022).

**Çizelge 4.2 :** Kompozitlerin yoğunluk sonuçları.

| Numune Kodu | Çam Odunu Tozu (%) | Talk (%) | $CaCO_3$ (%) | Yoğunluk ($g/cm^3$) |
|---|---|---|---|---|
| **HK0** | 0 | 10 | 0 | 1,050 |
| **HK1** | 10 | 10 | 0 | 1,064 |
| **HK2** | 10 | 10 | 5 | 1,065 |
| **HK3** | 10 | 10 | 10 | 1,089 |
| **HK4** | 10 | 10 | 15 | 1,182 |
| **HK5** | 10 | 10 | 20 | 1,195 |

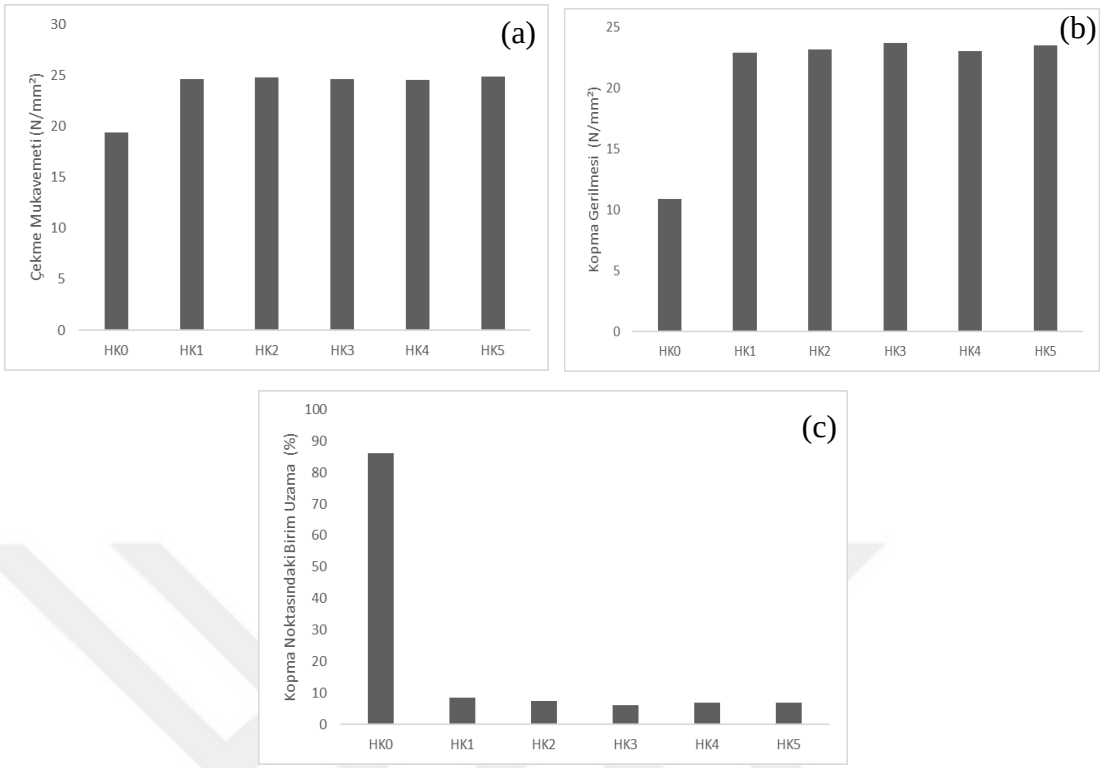
### 4.3 Çekme Testi Sonuçları

Hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri genel olarak hem matrisin hem de katkıların özelliklerinden, katkı-matris ara yüzey etkileşimlerinden ve katkının matris içindeki dağılımından etkilenmektedir. Bu kısımda, R-PP esaslı kompozitlerin mekanik özellikleri, farklı tipte dolgu maddelerinin kullanılmasının bir fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir. R-PP esaslı hibrit kompozitlerin çekme mukavemeti, kopma gerilmesi ve kopma noktasındaki birim uzama değerleri Çizelge 4.3'de ve Şekil 4.1'de yer almaktadır. Kompozitlerin çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde kontrol numunesi olan R- PP/talk esaslı numunenin (HK0) çekme mukavemeti değeri 19,41 ± 0,30 $N/mm^2$ olarak belirlenmiştir. Maleik anhidritle modifiye edilmiş PP'nin (MAPP) matrislere dahil edilmesi, takviyeli PP kompozitlerde arayüzey etkileşimini iyileştirmek için etkili bir yöntemdir (Yamaguchi ve diğ, 2023). MAPP ve odun tozu ilavesiyle elde edilen kompozitlerin (HK1) çekme mukavemeti artış göstererek 24,64 ± 0,30 $N/mm^2$ değerine ulaşmıştır. Bu durum MAPP ve çam odunu tozunun hidroksil grupları ile PP matrisi arasındaki iyi etkileşimlerden kaynaklanmaktadır (Hamou ve diğ., 2023; Elamin ve diğ., 2020). Stres transferinin düzgün olduğu söylenebilir. Çam odunu tozu ile birlikte farklı oranlarda kalsiyum karbonat ilavesiyle elde edilen kompozitlerin çekme mukavemeti değerlerinde anlamlı bir değişim gözlemlenmemiştir. Hongzhen ve diğ. (2017) HDPE bazlı hazırladıkları odun plastik kompozitlerin içerisine ekledikleri farklı oranlarda $CaCO_3$ ilavesi ile az bir değişiklik olduğu bildirilmiştir. Elde edilen sonuçların literatür çalışmalarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

Kompozitlerin kopma gerilmesi değerleri inceleniğinde ise talk içeren kontrol numunesine (HK0) çam tozu ilavesiyle değerin 10,89 ± 2,60 N/mm$^2$'den 22,88± 0,60 N/mm$^2$'ye arttığı görülmüştür. HK1 numunesine en düşük oranda (%5) $CaCO_3$ ilavesi ile kopma gerilmesi artarak 23,15 ± 0,64 N/mm$^2$'ye ulaşmıştır. Artan oranda $CaCO_3$ ilavesi ile elde edilen kompozitlerin kopma gerilmesi değerlerinin değişmediği saptanmıştır. Kompozitlerin kopma uzaması değerlerine bakıldığında ise odun tozu ve kalsiyum karbonat ilavesiyle değerin keskin bir şelilde % 85,99± 3,88 'den % 6-8 aralığına düştüğü görülmüştür. Salemane ve diğ. (2006) odun tozu boyutu (<38, 38-150, 300-600 μm) ve miktarının (ağırlıkça %10-30) PP ve PP/MAPP kompozitlerindeki etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada, MAPP ilavesi ile kompozitlerin çekme özelliklerinin iyileştiği raporlanmıştır. Ayrıca kontrol numunesine odun tozu (<38 μm hariç) ilavesiyle hazırladıkları PP esaslı kompozitlerde odun tozu ilavesiyle kopma uzaması değerinin azaldığını ve kopma gerilmesi değerinin artığını bildirmişlerdir. Kopma uzamasındaki azalma, matriste odun tozu varlığının, polimer zincirlerinin hareketliliğini kısıtlayarak numunenin deforme olma yeteneğini azalttığını gösterir. Sonuç olarak, malzeme parçalarının kolayca birbirinin üzerinden kayması zorlaşmaktadır. Leong ve diğ. (2004) PP/talk/$CaCO_3$ esaslı hibrit kompozitler geliştirerek mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Saf PP'ye talk ve kalsiyum karbonatın ayrı ayrı ve birlikte eklenmesi ile elde edilen tüm numunelerin kopma uzaması değerinin kontrol numunesinden düşük olduğunu saptamışlardır. Yapılan literür çalışmalarla karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların uyumlu olduğu anlaşılmıştır. Bu bağlamda, çekme testi sonuçları talk dolgulu R-PP'ye odun tozu ve $CaCO_3$ eklenmesi , kompoziti daha ucuz hale getirmenin yanı sıra, hibrit kompozitin çekme mukavemetini ve kopma gerilmesini sinerjik olarak arttırma gibi eşsiz bir avantaja sahip olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.3 :** Kompozitlerin çekme test sonuçları.

| Numune Kodu | Çekme Mukavemeti (N/mm²) | Kopma Gerilmesi (N/mm²) | Kopma Uzaması (%) |
|---|---|---|---|
| **HK0** | 19,41 ± 0,30 | 10,89 ± 2,60 | 85,99 ± 3,88 |
| **HK1** | 24,64 ± 0,30 | 22,88 ± 0,60 | 8,42 ± 0,14 |
| **HK2** | 24,76 ± 0,15 | 23,15 ± 0,64 | 7,31 ± 0,72 |
| **HK3** | 24,61 ± 0,39 | 23,68 ± 0,41 | 6,08 ± 0,88 |
| **HK4** | 24,50 ± 0,24 | 23,05 ± 0,38 | 6,85 ± 0,83 |
| **HK5** | 24,84 ± 0,24 | 23,47 ± 0,24 | 7,01 ± 0,82 |




**Şekil 4.1 :** Kompozitlerin (a) çekme mukavemeti (b) kopma gerilmesi (c) kopma uzaması değişimleri.

### 4.4 Eğilme Testi Sonuçları

R-PP/talk esaslı, odun tozu ve kalsiyum karbonat takviyeli numunelerin eğilme modülü ve eğilme mukavemeti değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. R-PP/talk esaslı kontrol numunesinin eğilme modülü ve eğilme mukavemetinin sırasıyla 1221,96 ± 16,43 N/mm² ve 30,56 ± 0,28 N/mm² olarak belirlenmiştir. Eğilme modülü, bükülme sırasında malzemenin sertliğini ölçer. Böylelikle R-PP/talk esaslı numunenin tüm numuneler arasında en yüksek esnekliğe sahip olduğu anlamına gelir. Talk içeren R-PP içerisine MAPP ve odun tozu ilavesiyle eğilme modülü ve eğilme mukavemetinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.2). Hibrit R-PP kompozitlerin tamamı, R-PP/talk esaslı numuneye göre üstün eğilme özelliklerine sahiptir. En yüksek eğilme modülü değerleri %10 ve %15 $CaCO_3$ içeren numunelerde tespit edilmiştir. Bu durum bazı araştırmalarla desteklenmektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada, PP/Etilen-propilen-dien monomeri (EPDM)/talk esaslı kompozitler bambu lifleri ile güçlendirilmiş ve bu da eğilme mukavemeti ve modülünde önemli bir artışa neden olmuştur (Inacio ve diğ., 2017). Stark ve diğ. (2003) ise çalışmalarında PP içerisine

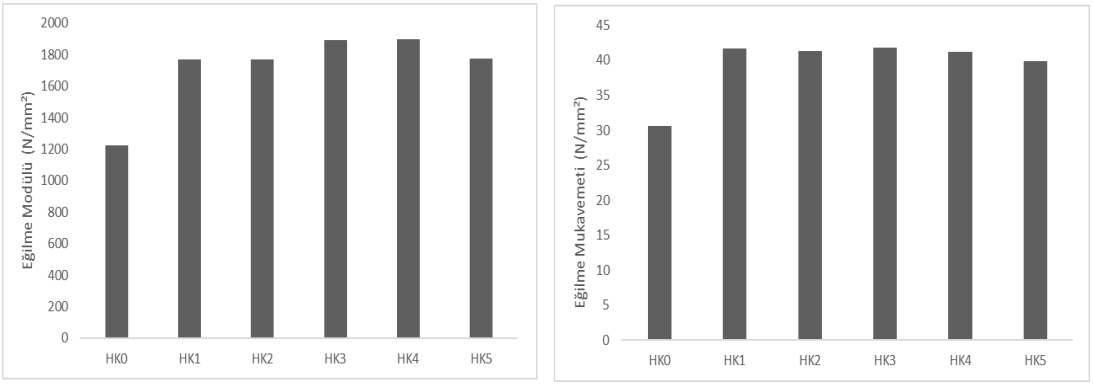
odun tozu ilavesiyle eğilme modulü ve eğilme mukavemeti değerinin arttığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.4 incelendiğinde hibrit kompozitlere kalsiyum karbonat ilavesinin %15 oranınına kadar eğilme modülü değerinin arttırdığı, %20 oranında kalsiyum karbonat eklenmesiyle de değerlerin az bir miktar düştüğü gözlemlenmiştir. Sivarao ve diğ. (2009) çalışmalarında % 20 ve % 20'den fazla $CaCO_3$ ilavesiyle birleşmeler nedeniyle eğilme modülünün azaldığı saptamışlardır. $CaCO_3$'ın polipropilenin mekanik özelliklerine etkisini araştıran benzer bir çalışmada da %5, %10 ve %15 $CaCO_3$ dolgu maddesi içeren kompozitler, saf polipropilenden daha yüksek değerlerle eğilme mukavemeti açısından çok iyi bir performans sergilediği raporlanmıştır (Webb ve diğ., 2024). Bu az miktarlarda $CaCO_3$ eklemenin malzemenin deformasyona karşı direnç yeteneğini olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Daha yüksek yüzdelerde $CaCO_3$ eklendikçe eğilme mukavemeti azalmıştır. En düşük eğilme mukavemeti, eğilme mukavemeti 20,16 $N/mm^2$ olan %30 $CaCO_3$ dolgulu polipropilen numunelerde görülmüştür. Bu değerin %5 $CaCO_3$ içeren numuneden %34 ve saf polipropilen (%0 $CaCO_3$) esaslı numuneden %18 daha düşük olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarda başlangıçta belli bir orana kadar $CaCO_3$ ilavesinin mukavemeti arttırdığını ve daha sonra daha fazla dolgu maddesi eklendikçe giderek azaldığını da bulduğu için bu çalışmada elde edilen bulguları desteklemektedir (Jing ve diğ.,2018 ; Webb ve diğ., 2024).

Eğilme mukavemeti bir malzemenin deformasyona direnme yeteneğini ifade ettiğinden (Webb ve diğ., 2024), bu çalışmanın sonuçları çam odunu tozu, MAPP ve $CaCO_3$ eklemenin geri dönüştürülmüş polipropilenin deforme olma ihtimalini azaltacağını göstermektedir.

**Çizelge 4.4 :** Kompozitlerin eğilme test sonuçları.

| Numune Kodu | Eğilme Modülü ($N/mm^2$) | Eğilme Mukavemeti ($N/mm^2$) |
|---|---|---|
| **HK0** | 1221,96 ± 16,43 | 30,56 ± 0,28 |
| **HK1** | 1766,69 ± 53,54 | 41,65 ± 0,80 |
| **HK2** | 1765,63 ± 74,94 | 41,27 ± 0,67 |
| **HK3** | 1891,60 ± 30,27 | 41,79 ± 0,85 |
| **HK4** | 1896,27 ± 128,62 | 41,16 ± 0,65 |
| **HK5** | 1773,33 ± 114,57 | 39,89 ± 0,81 |



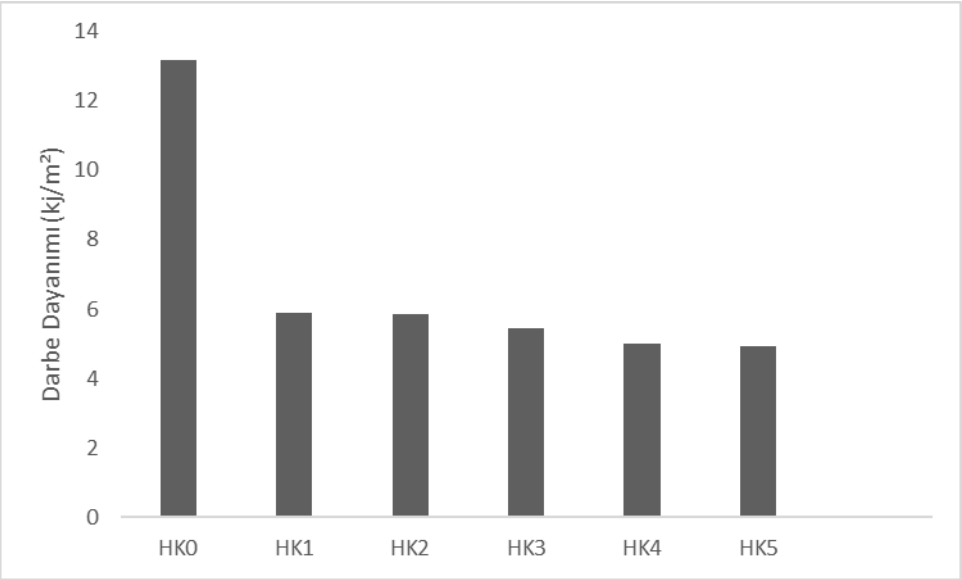

**Şekil 4.2 :** Kompozitlerin (a) eğilme modülü, (b) eğilme mukavemeti.

## 4.5 İzod Darbe Dayanımı Test Sonuçları

Hibrit kompozitlerin darbe dayanımı ISO 180/A standardına göre beş tekrar olarak gerçekleştirilmiştir ve değişimler Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Darbe dayanımı değerleri ise Çizelge 4.5'te verilmiştir. En yüksek darbe dayanımı kontrol numunesine aittir. Polimer matrise % 10 çam odunu tozu ve % 3 MAPP ilavesiyle darbe dayanımı değeri 13,18 kj/m$^2$'den 5,90 kj/m$^2$'ye düşmüştür. $CaCO_3$ miktarının etkisi incelendiğinde, %5, %10, %15 ve %20 $CaCO_3$ içeren numunelerin darbe dayanım değerleri sırasıyla, 5,86 kj/m$^2$, 5,43 kj/m$^2$, 4,99 kj/m$^2$ ve 4,91 kj/m$^2$'ye düşmüştür. Sonuç olarak çam odun tozunun ve artan oranlarda $CaCO_3$ katkısının darbe dayanım değerini azalttığı görülmüştür.

**Çizelge 4.5 :** Kompozitlerin darbe dayanımı test sonuçları.

| Numune Kodu | Darbe Dayanımı (kj/m²) |
|---|---|
| **HK0** | 13,18 ± 1,68 |
| **HK1** | 5,90± 0,50 |
| **HK2** | 5,86 ± 0,29 |
| **HK3** | 5,43 ± 0,45 |
| **HK4** | 4,99 ± 0,48 |
| **HK5** | 4,91 ± 0,56 |




**Şekil 4.3 :** Kompozitlerin darbe dayanımı.

Literatürde polimer matrikse sert dolgu (odun gibi) eklenmesiyle darbe dayanımının düştüğü bildirilmektedir (Ferreira ve diğ., 2022). Nygård ve diğ. (2008) çalışmalarında PP içerisine odun tozu, duvar kaplama elyafı ve kimyasal-termomekanik hamur elyafları kullanarak kompozitler hazırlamışlardır ve orijinal PP'ne kıyasla odun tozunun en fazla darbe dayanımı düşüren katkı olduğunu bildirmişlerdir. Budiyantoro ve diğ. (2018) ise çalışmalarında PP'nin içerisine artan oranlarda $CaCO_3$ ilavesinin darbe dayanımını düşürdüğünü bildirmişlerdir. Genel olarak, takviye ilavesi zayıf ara yüzey bölgeleri ve gerilim yoğunlaştırıcı merkezler oluşturarak darbe mukavemetini azaltır. Ek olarak, dolgu maddeleri ve takviyeler makromoleküler hareketliliği ve dolayısıyla emilim enerjisi yeteneğini azaltma eğilimindedir (Ferreira ve diğ., 2022). R-PP/talk esaslı hibrit kompozitlerin darbe dayanım sonuçlarının literatür çalışmalarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

### 4.6 Yük Altında Sapma Sıcaklığı (HDT) Test Sonuçları

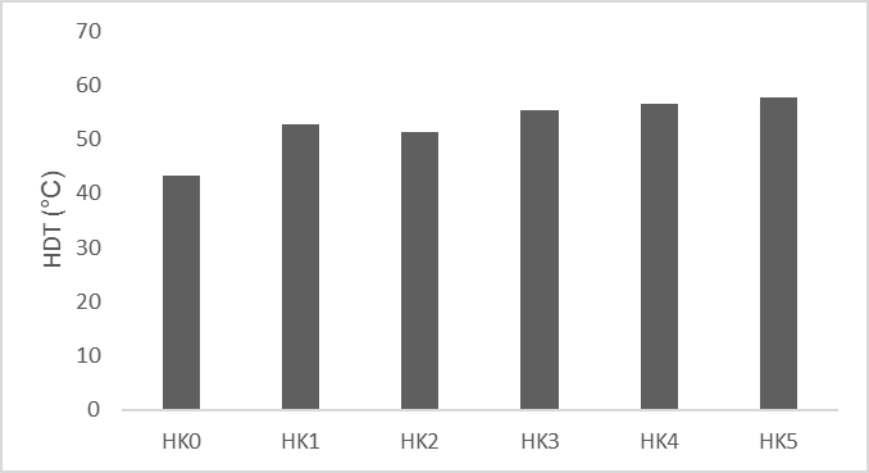
Bir polimer malzemenin yük altında sapma sıcaklığı, bir ürünün etkili tasarımı için temel bir özelliktir, çünkü yük ve sıcaklık altında önemli bir sapma meydana gelmeden, kullanımdaki malzemenin üst stabilite sınırını belirlemektedir (Sergi ve diğ., 2020). Ayrıca, HDT otomotiv endüstrisi için kompozit uygulanabilirliğinin ortak bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Wasti ve diğ., 2024). Hibrit kompozitlerin yük altında sapma sıcaklığı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.4'de şematize edilmiştir. Hibrit kompozitlerin yük altında sapma sıcaklığı çam odun tozu ve MAPP

ilavesi ile 43,2 ºC'den 52,8 ºC'ye artmıştır (Çizelge 4.6). Ferreira ve diğ. (2022) çalışmalarında PP içerisine ekledikleri Jatobá ağacı tozu ekleyerek hazırladıkları kompozitlerde HDT değerinin saf matrise göre arrtığını bildirmişlerdir. Kalsiyum karbonat konsantrasyonunun etkisini incelediğimizde yük altında sapma sıcaklığı değerlerinin arttarak %20 oranında katkı ile 57,7 ± 1,1 ºC'e ulaştığı görülmüştür (Çizelge 4.6).

HDT sonuçları incelendiğinde tüm hibrit kompozitlerin ısıl kararlılıklarında artış olmakla beraber özellikle HK4 ve HK5 için bu artış R-PP/talk esaslı numuneye (HK0) kıyasla daha belirgindir. Böylece hibrit kompozitlerin potansiyel uygulama aralığının geri dönüştürülmüş polimer/talk esaslı ürünlere göre daha geniş olacağı öngörülmektedir.

**Çizelge 4.6 :** Kompozitlerin yük altında sapma sıcaklığı test sonuçları.

| Numune Kodu | HDT (ºC) |
|---|---|
| **HK0** | 43,2 ± 0,3 |
| **HK1** | 52,8 ± 0,5 |
| **HK2** | 53,0 ± 1,1 |
| **HK3** | 55,2 ± 0,5 |
| **HK4** | 56,5 ± 0,8 |
| **HK5** | 57,7 ± 1,1 |



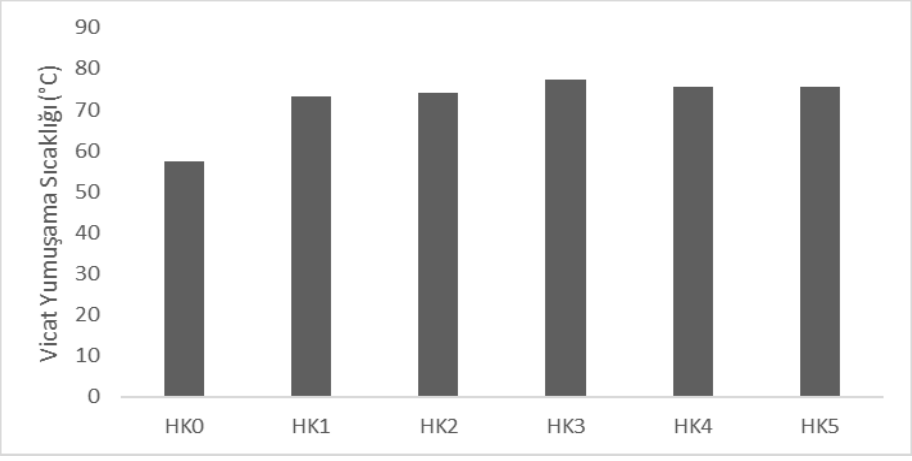

**Şekil 4.4 :** Kompozitlerin yük altında sapma sıcaklığı.

### 4.7 Vicat Yumuşama Sıcaklığı

Vicat yumuşama sıcaklığı, malzemenin termomekanik mukavemetini karakterize etmek için kullanılan önemli bir parametredir. HDT gibi polimerlerdeki katkı etkilerini ölçmek için yararlı bir özellik olmakla birlikte endüstriyel uygulamaların şekillendirilmesi ve projeksiyonu sırasında teknik açıdan önemlidir (Ferreira ve diğ., 2022). Hibrit kompozitlerin vicat yumuşama sıcaklığı değerleri Çizelge 4.7'te ve Şekil 4.5'de verilmiştir. Vicat yumuşama sıcaklığı R-PP/talk'a çam odun tozu ve MAPP ilavesi ile 57,5 ºC'den 73,2 ºC'ye artmıştır. Kalsiyum karbonat ilavesi ile yük altında sapma sıcaklığı değerlerinin 74,0± 0,3-77,3± 0,1 ºC aralığında olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde literatürde, PP gibi termoplastiklere odun tozu ilavesinin vicat yumuşama sıcaklığını arttırdığı bildirilmektedir (Devendrappa ve diğ., 2017; Diaye ve diğ., 2013; Ferreira ve diğ., 2022; Sombatsompop ve diğ., 2005). Ayrıca inorganik dolgu malzemelerinin de benzer etkiye sahip olduğu raporlanmıştır (Barczewski ve diğ., 2020).

**Çizelge 4.7 :** Vicat yumuşama sıcaklığı test sonuçları.

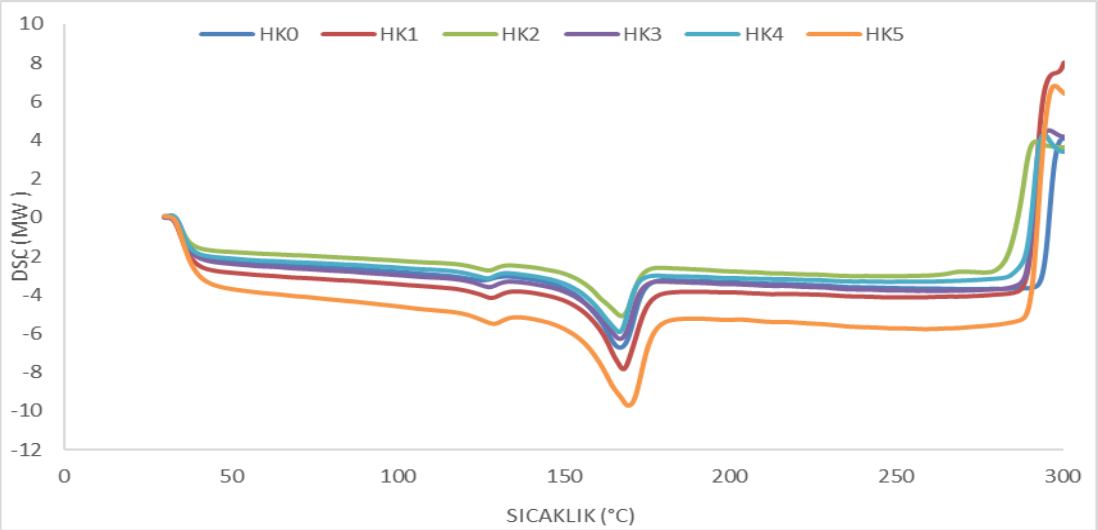
| Numune Kodu | Vicat (ºC) |
|---|---|
| **HK0** | 57,5± 0,2 |
| **HK1** | 73,2± 0,2 |
| **HK2** | 74,0± 0,3 |
| **HK3** | 77,3± 0,1 |
| **HK4** | 75,7± 0,1 |
| **HK5** | 75,7± 0,2 |




**Şekil 4.5 :** Kompozitlerin vicat yumuşama sıcaklığı.

### 4.8 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Test Sonuçları

Hibrit kompozitlerin DSC termogramları Şekil 4.6'de gösterilmiştir. Hibrit kompozitlerin kristalinite oranları ($\boldsymbol{X_c}$) denklem 4.2 kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 4.1' de bulunan ΔHm erime entalpisi, $\boldsymbol{w}$ değeri polipropilen malzemesinin kütlece kompozitte bulunma oranını ifade etmektedir. $\Delta H_{m100\%}$ değeri polipropilenin %100 kristalliğinin erime entalpisidir ve 138 g/j olarak literatürde bildirilmiştir (Ferreira ve diğ.,2022). Hibrit kompozitlerin kristalinite oranları, erime sıcaklıkları (Tm) ve kristalizasyon sıcaklıkları ($T_c$) Çizelge 4.8'de verilmiştir. Bu sayede kompozitlerin erime/kristalleşme davranışı belirlenmiştir.




**Şekil 4.6 :** Kompozitlerin DSC termogramları.

R-PP/talk esaslı numune Tm, Tc ve kristalinite oranı sırasıyla 166,53 °C, 126,03 °C ve %49,65 olarak belirlenmiştir. Belirlenen Tm değeri, PP kristal fazı α'nın karakteristik sıcaklığı ile uyumludur (~ 165 °C) (Ferreira ve diğ.,2022). Hibrit kompozitlerin erime sıcaklıklarına bakıldığında R-PP/talk esaslı numune ile benzer eğilim sergilediği görülmektedir. Literatürde $CaCO_3$ kullanılarak hazırlanan birleşimlerde de erime sıcaklıklarında belirgin değişimler olmadığı bildirilmiştir (Wan ve diğ.,2006). Tc değerleri incelendiğinde odun tozu/MAPP, ve kalsiyum karbonat içeren hibrit kompozitlerin Tc değerinin R-PP/talk esaslı numuneden yaklaşık 1-3 °C daha yüksektir. Tc'deki bu artış muhtemelen arayüzdeki PP zincirlerinin hareketliliğini ilave edilen katkıların kısıtlamasından kaynaklanmaktadır (Agarwal ve diğ., 2021). Ayrıca, literatürde yapılan bir çalışmada kenevir lifi ile güçlendirilmiş PP biyo-kompozitlerinin kristalleşme sıcaklığındaki artış, kenevir liflerinin yüzeyi ile PP

moleküler zincirleri arasındaki maleik anhidrit ile modifiye PP aracılığıyla ara yüzey etkileşiminin bir başka göstergesi şeklinde açıklanmıştır (Hamou ve diğ., 2023). Hibrit kompozitlerin Xc değerlerininde de odun unu ve kalsiyum karbonat ilavesiyle arttığı görülmektedir. PP matriste çekirdekleştirici ajanların varlığına bağlı olarak Xc değerlerinde artış olmaktadır (Guo ve diğ., 2021). Literatürde odun unu eklendiğinde çekirdeklenme aktivitesinin arttığı ve odun ununun çekirdekleştirici bir madde olarak hareket ettiği için PP matrisinin daha hızlı kristallenmesine neden olduğunu bildirilmiştir (Ares ve diğ.,2010; Batista ve diğ., 2019). Yapılan bir çalışmada da MgO-lignin katkılı PP kompozitlerin termal davranışları DSC analizi ile belirlenmiştir (Grząbka-Zasadzińska ve diğ., 2020). Elde edilen sonuçlar saf PP ile kıyaslandığında katkıların $T_C$ ve $X_C$ değerlerinde artışa neden olduğunu göstermiştir.

$$\boldsymbol{X_c} = \left(\frac{\Delta H_m}{w}\right) * \Delta H_{m100\%} \tag{4.2}$$

**Çizelge 4.8 :** Hibrit kompozitlerin termal test sonuçları.

| Numune Kodu | $T_m$(°C) | $T_c$ (°C) | $X_c$ (%) |
|---|---|---|---|
| **HK0** | 166,53 | 126,03 | 49,65 |
| **HK1** | 167,48 | 128,63 | 57,72 |
| **HK2** | 167,11 | 127,83 | 57,73 |
| **HK3** | 166,60 | 128,03 | 61,58 |
| **HK4** | 166,40 | 127,46 | 62,83 |
| **HK5** | 168,82 | 129,21 | 63,62 |

# 5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Yenilikçi polimer kompozitlerin geliştirilmesi uzun süredir geniş çapta araştırılan bir konu olmuştur. Yeni tip matris ve takviyeye dayalı polimer kompozitlerin üretimi, yeni işlevselliklere sahip malzemelerin elde edilmesine ve böylece kompozitlerin uygulama aralığınının artmasına olanak sağlar. Bu yaklaşımla yola çıkarak bu çalışma kapsamında, talk içeren geri dönüştürülmüş polipropilen, çam odunu tozu/maleik anhidrit modifiye PP ve kalsiyum karbonat içeren hibrit kompozitlerin üretimi ekstrüzyon ve enjeksiyonlu kalıplama yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Genel anlamda üretilen hibrit kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri incelenmiş ve geri dönüştürülmüş polipropilen içerisine eklenen çam odunu tozu ve kalsiyum karbonat katkısının bu özelliklere etkisi araştırılmıştır.

Tez çalışması sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Ekstrüzyon yöntemiyle hazırlanan çam odunu tozu ve maleik anhidrit modifiye PP ile zenginleştirilen (HK1) kompozitinin eriyik akış indeksinin %10 talk içeren geri dönüştürülmüş polipropilen (HK0) ile karşılaştığında 11,21 g/10 dk'dan 6,97 g/ 10 dk'ya düştüğü yani viskozitesinin arttığı anlaşılmıştır.
- Hibrit kompozitlerin yoğunluk değerlerine bakıldığında ise yoğunluk değerinin çam odun tozu ve kalsiyum karbonat etkisiyle artmıştır.
- Enjeksiyon yöntemi ile hazırlanan hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri incelendiğinde çekme mukavemeti odun tozu ilavesiyle 19,41 $N/mm^2$'den 24,64 $N/mm^2$'ye artış gösterirken farklı oranlarda kalsiyum karbonat ilavesiyle belirgin bir artış olduğu gözlemlenmemiştir. Kopma gerilmesi değerinde de 10,89 $N/mm^2$'den 22,88 $N/mm^2$'ye artış görülmüştür ancak çekme gerilmesinde de olduğu gibi $CaCO_3$ ilavesiyle belirgin artış olmamıştır. Kopma noktasındaki birim uzama değerleri ise çam odunu tozu ve kalsiyum karbonat ilavesiyle %85'den %6-8 aralığında keskin bir düşüş göstermiştir.
- Eğilme test sonuçlarına bakıldığında ise talk içeren geri dönüştürülmüş polipropilen içerisine odun tozu ilavesiyle eğilme modülü ve eğilme

mukavemetinin arttığı görülmüştür. Hibrit kompozitlerin darbe dayanımının çam odun tozu ve kalsiyum karbonat ilavesiyle azaldığı tespit edilmiştir. Matrisin darbe değeri çam odun tozu ilavesiyle 13,8 kj/m²'den 5,9 kj/m²'ye düşmüştür.

- Hibrit kompozitlerin termal özellikleri incelendiğinde ise çam odun tozu ilavesi ile yük altında sapma sıcaklığının 43,2 $^{o}$C'den 52,8 $^{o}$C'ye vicat yumuşama sıcaklığının 57,5 $^{o}$C'den 73,2 $^{o}$C'ye yükseldiği saptanmıştır. Kalsiyum karbonat ilavesi ile de vicat yumuşama sıcaklığı ve yük altında sapma sıcaklığı değerlerinin hafifçe arttığı belirlenmiştir. Diferansiyel taramalı kalorimetre sonuçlarında ise odun tozu ve kalsiyum karbonat ilavesi hibrit kompozitlerin kristalinite oranlarını arttırırken, erime sıcaklıklarını önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür. Özetle, çam odun tozu ve kalsiyum karbonat ilavelerinin, hibrit kompozitlerin termal özelliklerini iyileştirdiği ve hazırlanan hibrit kompozitlerin matrise göre sertliğinin arttığı görülmüştür.

Bu çalışma ile ahşap ve plastik endüstrisinden kaynaklanan atık malzemeleri kullanarak mühendislik malzemelerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesine yönelik bulgular elde edilmiştir. Sonuç olarak, hazırlanan hibrit kompozitler otomotiv plastiklerinde düşük yük taşıyan ve dayanıklılık gerektiren iç mekan parçalarında, darbe dayanımı arttırıldığında dış trim,tamponlar ve gövde parçalarında kullanılabilir. Yüksek çekme mukavemeti sayesinde kolçak ve konsol parçarında da kullanımı mümkündür. Hibrit kompozitlerin termal özelliklerinin iyileşmesi sayesinde ısı yalıtımı ve ses yalıtımı gereken alanlarda kullanım alanı bulabilir.

İlerleyen bilimsel araştırmalarda (i) farklı doğal ve sentetik dolgu malzemeleri eklenerek kompozitlerin darbe dayanımı değerlerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmaların yapılması, (ii) hazırlanan kompozitlerin hava şartları ve yaşlanma etkilerinin incelenerek farklı antioksidan katkıları geliştirme çalışmaları yapılması, (iii) hazırlanan kompozitlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla biyobozunurluk testlerinin gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

## KAYNAKLAR


**Agarwal, J., Mohanty, S. & Nayak, S.K.** (2021). Influence of cellulose nanocrystal/sisal fiber on the mechanical, thermal, and morphological performance of polypropylene hybrid composites. *Polymer Bulletin, 78,* 1609-1635. https://doi.org/10.1007/s00289-020-03178-4

**Altuntaş, E. & Arıkan, A.K.** (2022). Odun-Plastik Kompozit Malzemelerde Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Araştırılması. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 5 (2), 142-154.*

**Altuntaş, E., Karaoğul, E. & Alma, M.H.** (2017). Odun-Plastik Kompozitlerin Termal ve Yanma Özellikleri Üzerine Borlu Bileşiklerin Etkisi. *Türkiye Ormancılık Dergisi, 18(3): 247-250.*

**Altuntaş, E., Salan, T. & Alma, M.H.** (2016). Farklı Bor Bileşik Kullanılarak MDF-AYPE Odun Plastik Kompozitlerin Yangına Dayanıklılığının Araştırılması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(3), 19- 23.*

**Ares, A., Bouza, R., Pardo, S. G., Abad, M. J., & Barral, L.** (2010). Rheological, Mechanical and Thermal Behaviour of Wood Polymer Composites Based on Recycled Polypropylene. *Journal of Polymers and the Environment, 18(3), 318–325.* https://doi.org/10.1007/s10924-010-0208-x

**AS, N., Koç, H., Doğu, D., Atik, C., vd.** (2014). Türkiye'de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik , fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 51(1), 71-88.* https://doi.org/10.17099/jffiu.15049

**Ayrilmis, N., Buyuksari, U., & Dundar, T.** (2010). Waste pine cones as a source of reinforcing fillers for thermoplastic composites. *Journal of Applied Polymer Science, 117(4), 2324–2330.* https://doi.org/10.1002/app.32076

**Bal, B.C.** (2022). Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDYPE) ve Odun Unu ile Üretilen Kompozit Malzemenin Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi.*

**Barbosa, L. G., Matheus, P., & Ceni, G. H.** (2017). Analysis of Impact and Tensile Properties of Recycled Polypropylene." *International Journal Of Materials Engineering 7.6: 117-120.*

**Barczewski, M., Mysiukiewicz, O., Andrzejewski, J., Matykiewicz, D., Medycki, D., Klozinski, A., Skórczewska, K. & Szostak,M.** (2020). Thermo-mechanical and mechanical behavior of hybridisotactic polypropylene

glass fiber reinforcedcomposites (GFRC) modified with calciumcarbonate (CaCO3). *Polymer Engineering and Science, 60,* 1588–1603. https://doi.org/10.1002/pen.25404

**Başboğa, İ.H., Kılıç, İ., Atar, İ. & Mengeloğlu, F.** (2022). Tropik ağaç türü olan dahoma (Piptadeniastrum africanum) odununun odun plastik kompozit üretiminde kullanımı. *Ormancılık Araştırma Dergisi*.

**Bhaskar, J., Haq, S., & Yadaw, S.** (2011). Evaluation and testing of mechanical properties of wood plastic composite. *Journal of Thermoplastic Composite Materials, 25(4), 391-401.* https://doi.org/10.1177/0892705711406158

**Budiyantoro, C., Sosiati, H., Kamiel, B. P., & Fikri, M. L. S.** (2018). The effect of CaCO3 filler component on mechanical properties of polypropylene. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 432, 012043.* https://doi.org/10.1088/1757-899x/432/1/012043

**Cai, H., Yang, K., & Yi, W.** (2017). Effects of calcium carbonate on preparation and mechanical properties of wood/plastic composite. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 10(1), 184-190.*

**Calhoun, A.** (2016). Polypropylene. *Multilayer Flexible Packaging, 35-45.* https://doi.org/10.1016/b978-0-323-37100-1.00003-x

**Castillo, L. A., Barbosa, S. E., & Capiati, N. J.** (2013). Influence of talc morphology on the mechanical properties of talc filled polypropylene. *Journal of Polymer Research, 20, 1-9.*

**Çavuş, V. &Mengeloğlu, F.** (2022). Odun plastik kompozitlerin gerilme-gevşeme davranışlarının incelenmesi. *Turkish Journal of Forestry, 23(4), 299-304.* https://doi.org/10.18182/tjf.1139030

**Devendrappa, K. C., Guruchethan, A. M., Mirashi, D. N., & Suresuh, K.** (2017). Mechanical And Chemical Characterisation Of Wood Powder Polymer Composites. *IRJET Journal.*

**Diaye, D., Gueye, M. & Diop, B.** (2013). Characterization, physical and mechanical properties of polypropylene/wood-flour composites. *Arabian Journal of Science and Engineering, 38,* 59–68.

**Dulebova, L., & Garbacz, T.** (2017). The effect of particulate fillers on hardness of polymer composite. Advances in Science and Technology. *Research Journal, 11(3), 66-71.*

**Elamin, M.A.M., Li, S.X., Osman, Z.A., & Otitoju, T.A.** (2020). Preparation and characterization of wood-plastic composite by utilizing a hybrid compatibilizer system, *Industrial Crops and Products, 154,*112659. *https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112659.*

**Fabiyi, J. S., & McDonald, A. G.** (2010). Effect of wood species on property and weathering performance of wood plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 41(10), 1434-1440.* https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.06.004

**Ferreira, E.S.B., Luna, C.B.B., Araújo, E.M., Siqueira, D.D., & Wellen, R.M.R.** (2022). Polypropylene/wood powder composites: Evaluation of PP

viscosity in thermal, mechanical, thermomechanical, and morphological characters. *Journal of Thermoplastic Composite Materials, 35(1), 71-92. https://doi.org/10.1177/0892705719880958*

**Fuad, M.Y.A., Hanim, H., Zarina, R., Ishak, Z. A. M., & Azman H.** (2010). Polypropylene/calcium carbonate nanocomposites – effects of processing techniques and maleated polypropylene compatibiliser. *Express Polymer Letters, 4(10), 611-618.*

**Gardner, D.J., Han, Y. & Wang, L.** (2015). Wood–Plastic Composite Technology. Odun Kompozitleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. Curr Forestry Rep 1, 139-150.*

**Grząbka-Zasadzińska, A., Klapiszewski, Ł., Jesionowski, T. & Borysiak, S.** (2020). Functional MgO–Lignin Hybrids and Their Application as Fillers for Polypropylene Composites. *Molecules, 25(4),* 864. https://doi.org/10.3390/molecules25040864

**Guo, J., Liu, M., Wang, H. & Yu, Y.** (2021). Non-isothermal crystallization kinetics of polypropylene/bamboo fiber/nano-$TiO_2$ composites. *Polymer Composites, 42*, 2531–2543. https://doi.org/10.1002/pc.25999

**Hartikainen, J., Lindner, M., Harmia, T., & Friedrich, K.** (2004)**.** Mechanical properties of polypropylene composites reinforced with long glass fibres and mineral fillers. *Plastics, Rubber and Composites, 33(2-3),* 77-84. https://doi.org/10.1179/146580104225020893

**Hamou, K.B., Kaddami, H., Elisabete, F., & Erchiqui, F.,** (2023).Synergistic association of wood /hemp fibers reinforcements on mechanical, physical and thermal properties of polypropylene-based hybrid composites. *Industrial Crops and Products,192*,116052. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116052.

**Hernández-Jiménez, J.A., Jiménez-Amezcua, R.M., Lomelí-Ramírez, M.G., Silva-Guzmán, J.A., Torres-Rendón, J.G. & García-Enriquez, S.** (2022). Utilization of wood flour from white oak branches as reinforcement in a polypropylene matrix: physical and mechanical characterization. *Journal of Composites Science, 6(7)*,184. https://doi.org/10.3390/jcs6070184

**Inacio, A.L., Nonato, R.C., & Bonse, B.C.** (2017). Recycled PP/EPDM/talc reinforced with bamboo fiber: assessment of fiber and compatibilizer content on properties using factorial design. *Polymer Testing*, 61, 214-222.

**International Organization for Standardization.** (2004). ISO 75-2:2004 Plastics-Determination of temperature of deflection under load—Part 2: Plastics and ebonite. https://www.iso.org/standard/34506.html

**International Organization for Standardization.** (2009). ISO 180:2009 Plastics-Determination of Izod impact strength. https://www.iso.org/standard/42765.html

**International Organization for Standardization.** (2011). ISO 306/B50A:2011 Plastics-Thermoplastic materials-Determination of Vicat softening temperature (VST). https://www.iso.org/standard/42548.html

**International Organization for Standardization.** (2012). ISO 527-2:2012 Plastics-Determination of tensile properties-Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics. https://www.iso.org/standard/53797.html

**International Organization for Standardization.** (2018). ISO 1183:2018 Plastics-Methods for determining the density of non-cellular plastics-Part 1: Immersion method, liquid pyknometer method and titration method. https://www.iso.org/standard/68928.html

**International Organization for Standardization.** (2019). ISO 178:2019 Plastics-Determination of flexural properties. https://www.iso.org/standard/73690.html

**Jayaraman, K., & Bhattacharyya, D.** (2004). Mechanical performance of woodfibre–waste plastic composite materials. *Resources, Conservation and Recycling, 41(4), 307-319.* https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2003.12.001.

**Jing, Y., Nai, X., Dang, L., Zhu, D., Wang, Y., Dong, Y. & Li, W.** (2018). Reinforcing polypropylene with calcium carbonate of different morphologies and polymorphs. *Science and Engineering of Composite Materials, 25 (4),* 745-751.

**Karger-Kocsis, J., & Bárány, T. (Eds.).** (2019). Polypropylene Handbook. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12903-3

**Khalid, M.Y., Arif, Z.U., Ahmed, W., & Arshad, H.** (2022). Recent trends in recycling and reusing techniques of different plastic polymers and their composite materials. *Sustainable Materials and Technologies, 31, e00382.* https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00382.

**Kim, J.K., & Pal, K.** (2010). Overview of Wood-Plastic Composites and Uses. *Engineering Materials, 1-22*. doi:10.1007/978-3-642-14877-4_1

**Kim, J.W., Harper, D.P., & Taylor, A.M.** (2009). Effect of wood species on the mechanical and thermal properties of wood-plastic composites. *Journal of Applied Polymer Science, 112(3), 1378-1385*. https://doi.org/10.1002/app.29522

**Kloziński, A., Lewandowski, K., Mirowski, J., Barczewski, M., & Jakubowska, P.** *(2023).* Rheological properties of polypropylene composites with calcium carbonate under high shear rates. *Polimery, 68(7-8).*

**Lazrak, C., Kabouchi, B., Hammi, M., Famiri, A., & Ziani, M.** (2019). Structural Study of Maritime Pine Wood and Recycled High-Density Polyethylene (HDPEr) Plastic Composite Using Infrared-ATR Spectroscopy, X-Ray Diffraction, SEM and Contact Angle Measurements. *Case Studies in Construction Materials, e00227.* https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00227

**Leong, Y.W., Ishak, Z.A.M. & Ariffin, A.** (2004). Mechanical and thermal properties of talc and calcium carbonate filled polypropylene hybrid composites. *Journal of Applied Polymer Science, 91(5), 3327-3336.* https://doi.org/10.1002/app.13543

**Maiti, S. N., & Sharma, K.K.** (1992). Studies on polypropylene composites filled with talc particles. *Journal of Materials Science, 27(17), 4605-4613*. Doi:10.1007/bf01165994

**Maryna, R., & Inna, O. (2023).** Effects Of Dıfferent Type Of Fıllers On The Mechanıcal Propertıes Of Polypropylene. *In The 11 th International scientific and practical conference "Innovations and prospects in modern science"(October 23-25, 2023) SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 2023. 411 p. (p. 140).*

**Mirmehdi, S. M., Zeinaly, F., & Dabbagh, F.** (2014). Date palm wood flour as filler of linear low-density polyethylene. *Composites Part B: Engineering, 56, 137-141*. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08

**Mohammed, A.S., & Meincken, M.** (2021). Properties of Low-Cost WPCs Made from Alien Invasive Trees and rLDPE for Interior Use in Social Housing. *Polymers, 13(15), 2436.* https://doi.org/10.3390/polym13152436

**Morampudi, P., Namala, K. K., Gajjela, Y. K., Barath, M., & Prudhvi, G**. (2021). Review on glass fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings, 43, 314-319.* https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.669

**Moreno, D.D.P. & Saron, C.** (2017). Low-density polyethylene waste/recycled wood composites. *Composite Structures, 176, 1152–1157.* https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.05.076

**Mudhukrishnan, M., Hariharan, P., Palanikumar, K. & Latha, B.** (2016). Tool materials influence on surface roughness and oversize in machining glass fiber reinforced polypropylene (GFR-PP) composites. *Materials and Manufacturing Processes, 32(9), 988-997.* https://doi.org/10.1080/10426914.2016.1221098

**Narlıoğlu, N., Çetin N.S., & Alma M.H.** (2018), Karaçam Testere Talaşının Polipropilen Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi 1(1), 38-46*

**Nygård, P., Tanem, B.S., Karlsen, T., Brachet, P., & Leinsvang, B.** (2008). Extrusion-based wood fibre–PP composites: Wood powder and pelletized wood fibres – a comparative study. *Composites Science and Technology, 68(15-16), 3418-3424.* https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.09.029

**Özmen, N., Cetin, N., Narlıoğlu, N., Çavuş, V., Altuntaş, E.** *(2014).* MDF Atıklarının Odun Plastik Kompozitlerin Üretiminde Değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forestry.Türkiye Ormancılık Dergisi. 15. 65.* https://doi.org/10.18182/tjf.64025.

**Poulakis, J.G., & Papaspyrides, C.D.** (1997). Recycling of polypropylene by the dissolution/reprecipitation technique: I. *A model study. Resources, Conservation and Recycling, 20(1), 31-41.* https://doi.org/10.1016/s0921-3449(97)01196-8

**Poulakis, J.G., Varelidis, P.C. & Papaspyrides, C.D.** (1997). Recycling of polypropylene-based composites. *Advances in Polymer Technology, 16(4), 313-322.*

**Purgleitner, B., Viljoen, D., Kühnert, I. & Burgstaller, C.** (2023). Influence of injection molding parameters, melt flow rate, and reinforcing material on the weld-line characteristics of polypropylene. *Polymer Engineering & Science, 63(5), 1551-1566.*

**Rathod, P., Malhar H., Dubas, S. & Kunwa,A.** (2023). Review on Manufacturing and Testing processes of Wood-Plastic Composites. *International journal of engineering technology and management sciences,* https://doi.org/10.46647/ijetms.2023.v07i03.013

**Rayaz Khan, M.Z., Srivastava, S.K., & Gupta, M.K.** (2020). A state-of-the-art review on particulate wood polymer composites: *Processing, properties and applications. Polymer Testing, 106721*. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020

**Redhwi, H.H., Siddiqui, M.N., Andrady, A.L., Furquan, S.A. & Hussain, S.** (2023). Durability of High-Density Polyethylene (HDPE)- and Polypropylene (PP)-Based Wood-Plastic Composites—*Part 1: Mechanical Properties of the Composite Materials. Journal of composites science,* https://doi.org/10.3390/jcs7040163

**Reale Batista, M.D., Drzal, L.T., Kiziltas, A. & Mielewski, D.** (2020). Hybrid cellulose-inorganic reinforcement polypropylene composites: Light weight materials for automotive applications. *Polymer Composites, 41*, 1074-1089. https://doi.org/10.1002/pc.25439.

**Roger, R. & Paynter, C.** (2017). Fillers for Polymer Applications. *Almanya: Springer International Publishing.*

**Salemane, M.G. & Luyt, A.S.** (2006). Thermal and mechanical properties of polypropylene–wood powder composites. *Journal of Applied Polymer Science, 100(5), 4173-4180.* https://doi.org/10.1002/app.23521

**Sombatsompop, N., Yotinwattanakumtorn, C. & Thongpin, C.** (2005). Influence of type and concentration of maleic anhydride grafted polypropylene and impact modifiers on mechanical properties of PP/wood sawdust composites. *Journal of Applied Polymer Science, 97*, 475–484.

**Sathishkumar, T., Satheeshkumar, S. & Naveen, J.** (2014). Glass fiber-reinforced polymer composites – a review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites.;33(13):1258-1275.* https://doi.org/10.1177/0731684414530790

**Sergi, C., Sbardella, F., Lilli, M., Tirillò, J., Calzolari, A. & Sarasini F.** (2020). Hybrid Cellulose–Basalt Polypropylene Composites with Enhanced Compatibility: The Role of Coupling Agent. *Molecules, 25(19),* 4384. https://doi.org/10.3390/molecules25194384

**Singh, A.K., Bedi, R., & Kaith, B.S.** (2020). Mechanical properties of composite materials based on waste plastic – A review. *Materials Today: Proceedings, 26(2), 1293-1301.* https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.258

**Solak, S.** (2020), Isıl İşlem Gören Ağaç Malzemeden Üretilen Odun Plastik Kompozitlerin Bazı Özellikleri. *(Yüksek Lisans Tezi). Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.*

**Stark, N.M., & Rowlands, R.E.** (2003). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood and Fiber Science, 167-174.*

**Thenepalli, T., Jun, A.Y., Han, C., Ramakrishna, C. & Ahn, J.W.** (2015). A strategy of precipitated calcium carbonate (CaCO3) fillers for enhancing the mechanical properties of polypropylene polymers. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 32(6), 1009-1022. https://doi.org/10.1007/s11814-015-0057-3

**Thomason, J.L.** (2005). The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene. 6. The properties of injection moulded long fibre PP at high fibre content. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 36(7), 995-1003*. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.1

**Tripathi, D.** (2002). Practical guide to polypropylene. *Birleşik Krallık: RAPRA Technology.*

**Wan, W., Yu, D., Xie, Y., Guo, X., Zhou, W. & Cao, J.** (2006). Effects of nanoparticle treatment on the crystallization behavior and mechanical properties of polypropylene/calcium carbonate nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science, 102(4), 3480-3488*. https://doi.org/10.1002/app.24561

**Wasti, S., Hubbard, A.M., Clarkson, C.M., Johnston, E., Tekinalp, H., Ozcan, S. & Vaidya, U.** (2024). Long coir and glass fiber reinforced polypropylene hybrid composites prepared via wet-laid technique. *Composites Part C: Open Access*,*14*,100445. https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2024.100445.

**Webb, C., Qi, K., Anguilano, L. & Rivera, X. S.** (2024).Mechanical and environmental evaluation of ground calcium carbonate ($CaCO_3$) filled polypropylene composites as a sustainable alternative to virgin polypropylene. *Results in Materials*, *22*,100562. doi:10.1016/j.rinma.2024.100562.

**Xanthos, M.** (2010). Functional fillers for plastic, *ISBN: 978-3-527-32361-6 374-377.*

**Xanthos, M.** (2012). Recycling of the #5 Polymer. *Science, 337(6095), 700-702.* https://doi.org/10.1126/science.1221806

**Yamaguchi, A., Urushisaki, M., Uematsu, H., Sakaguchi, T. & Hashimoto, T.** (2023). Effects of different types of maleic anhydride-modified polypropylene on the interfacial shear strengths of carbon fiber-reinforced polypropylene composites. *Polymer Journal 55*, 153-161. https://doi.org/10.1038/s41428-022-00733-w

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** **:** Eslem KAVAS

**Doğum Tarihi ve Yeri** **:**

**E-posta** **:**

**ÖĞRENİM DURUMU:**

- **Lisans** **:**2016-2021, Bursa Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Lif ve Polimer Mühendisliği.
- **Yüksek Lisans** **:**2021-Devam ediyor, Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Ens., Polimer Malzeme Mühendisliği.

**MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:**

- 2022-Halen Ermetal Group/Plasmot A.Ş., Plastik Ar-Ge Sorumlusu
- 2021-2022 Altınsu Tekstil A.Ş., Geri Dönüşüm Bölüm Sorumlusu
- 2021 Lif ve Polimer Mühendisliği Bölüm Birincisi
- 2021 Lif ve Polimer Mühendisliği Yüksek Onur Öğrencisi

**TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:**

**Kavas, E., Terzioğlu, P. & Bulut, O.** (2024). Effect of micronized pine wood powder and inorganic fillers on the mechanical properties of hybrid polymer composites. *In 10th International New York Conference on Evolving Trends in Interdisciplinary Research & Practices.*

**DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:**

**Dinç, M., Kavas, E., Aydın, L., Savran, M. & Aydın, S.G**. (2023). Nöro regresyon yaklaşımı ile stokastik metot tabanlı plastik granüllerin kurutma prosesi optimizasyonu. *In 9th International Erciyes Conference on Scientific Research.*

**Kavas, E. & Terzioğlu, P.** (2021). Polyvinyl alcohol/cassava starch/nano-$CaCO_3$ based nano-biocomposite films: Mechanical and optical properties. *International Conference on Advanced Engineering, Technology and Applications.*

**Kavas, E.** (2024). Comparison of heating and cooling properties of coatings applied to steel used in plastic injection molds. *In Proceedings of the Cukurova 12th International Scientific Researches Conference.*

**Kavas, E., Terzioğlu, P. & Bulut, O.** (2023). The effect of corn cob powder and calcium carbonate additives in polymeric composite materials: Investigation of mechanical properties. *In EJONS 16th International Conference on Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences.*

**Kavas, E., Terzioğlu, P. & Sıcak, Y.** (2023). Betanin and nano-calcium carbonate incorporated polyvinyl alcohol/starch films for active and intelligent packaging applications. *Journal of Polymers and the Environment, 31(7), 4919–4929.* https://doi.org/10.1007/s10924-023-02807-9

**Kavas, E., Terzioğlu, P., Taş, M. & Parın, F. N.** (2020). Biberiye ekstresi ve kaolin içeren polivinil alkol/nişasta aktif kompozit filmler: Yapısal, mekanik ve antioksidan aktivite özellikleri. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences, 3(2), 121-129.*

**Yahşi, H. A., Kavas, E. & Terzioğlu, P.** (2021). Effect of bio-filler content on mechanical properties of citric acid crosslinked polyvinyl alcohol/tapioca starch composite films. *International Online Engineering and Natural Sciences Conference (IOCENS'21).*