



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

**GERİ DÖNÜŞÜM ABS'DEN YANMAYA DAYANIKLI  
ODUN POLİMER KOMPOZİT ÜRETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Barbaros VATANSEVER

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

**TEMMUZ 2024**

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

**GERİ DÖNÜŞÜM ABS'DEN YANMAYA DAYANIKLI ODUN POLİMER  
KOMPOZİT ÜRETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Barbaros VATANSEVER**

**(21233482007)**

**ORCID: 0000-0002-9418-6672**

**Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Orman Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

**Danışman: Prof. Dr. Ramazan KURT**

**ORCID: 0000-0003-3703-6966**

**İkinci Danışman: Doç. Dr. Ömer Yunus GÜMÜŞ**

**ORCID: 0000-0002-3361-6528**

**TEMMUZ 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: Barbaros VATANSEVER

İmzası:



*Aileme,*

## ÖNSÖZ

“Geri Dönüşüm ABS’den Yanmaya Dayanıklı Odun Polimer Kompozit Üretimi” başlıklı bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Akademik eğitim sürecimin bir üst noktası olan yüksek lisans tez çalışmamda her daim yardımcı olan, beni yetiştiren, orman endüstrisini sevmem için elinden geleni yapan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ramazan KURT hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmama olumlu katkılarından ve gerek akademik gerek manevi desteklerinden dolayı eş danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ömer Yunus GÜMÜŞ hocama sonsuz minnet duygularımı sunar, çok teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca beni destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Doğan MEMİŞ hocama teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini eksik etmeyen ve akademik alanda gelişmem için beni motive eden kıymetli aileme teşekkür ederim.

Hammadde temininde bana kolaylık sağlayan Kurul Ahşap firmasına ve hem hammadde temininde bana yardımcı olan hem de akademik alanda gelişmem için bana destek veren Çilek Mobilya firmasına teşekkür ederim.

Temmuz 2024

Barbaros VATANSEVER  
(Malzeme Bilimi Mühendisi)

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ.....                                                | vii       |
| İÇİNDEKİLER .....                                         | viii      |
| KISALTMALAR .....                                         | x         |
| SEMBOLLER .....                                           | xi        |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                      | xii       |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                        | xiii      |
| ÖZET.....                                                 | xiv       |
| SUMMARY .....                                             | xv        |
| <b>1. GENEL BİLGİLER.....</b>                             | <b>1</b>  |
| 1.1 Giriş .....                                           | 1         |
| 1.2 Kompozitler.....                                      | 2         |
| 1.3 Odun Kompozit Malzemeler .....                        | 5         |
| 1.4 Odun PolimerKompozit İçin Kullanılan Materyaller..... | 9         |
| 1.4.1 Lignoselülozik malzemeler.....                      | 10        |
| 1.4.2 Plastikler .....                                    | 10        |
| 1.4.2.1 Akrilonitril bütadien stiren (ABS) .....          | 12        |
| 1.4.2.2 Plastiklerin geri dönüşümü .....                  | 13        |
| 1.4.3 Uyumlaştırıcılar .....                              | 13        |
| 1.4.3.1 Maleik anhidrit.....                              | 14        |
| 1.4.4 Yangın Geciktiriciler .....                         | 15        |
| 1.4.4.1 Halojen içeren yangın geciktiriciler .....        | 16        |
| 1.4.4.2 Halojen içermeyen yangın geciktiriciler .....     | 16        |
| 1.4.4.3 Fosfor içeren yangın geciktiriciler .....         | 16        |
| 1.4.4.4 Azot içeren yangın geciktiriciler.....            | 17        |
| 1.4.4.5 Silikon içeren yangın geciktiriciler .....        | 17        |
| 1.4.4.6 Bor içeren yangın geciktiriciler .....            | 17        |
| 1.4.4.7 Antimon içeren yangın geciktiriciler .....        | 18        |
| 1.4.5 Kompozit Üretim Metodları .....                     | 19        |
| 1.4.5.1 El yatırma yöntemi.....                           | 19        |
| 1.4.5.2 Püskürtme yöntemi .....                           | 19        |
| 1.4.5.3 Elyaf sarma yöntemi .....                         | 20        |
| 1.4.5.4 Pultrüzyon yöntemi.....                           | 20        |
| 1.4.5.5 Ekstrüzyon yöntemi .....                          | 20        |
| 1.4.5.6 Enjeksiyon yöntemi .....                          | 21        |
| <b>2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI .....</b>                     | <b>22</b> |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                         | <b>28</b> |
| 3.1 Materyal.....                                         | 28        |
| 3.1.1 Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS).....             | 28        |
| 3.1.2 Odun Unu.....                                       | 28        |
| 3.1.3 Uyumlaştırıcılar .....                              | 29        |

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.4 Yangın Geciktiriciler .....                                                                      | 30        |
| 3.2 Yöntem .....                                                                                       | 30        |
| 3.2.1 Numunelerin Üretilmesi .....                                                                     | 30        |
| 3.2.1.1 Öğütme işlemi .....                                                                            | 32        |
| 3.2.1.2 Mekanik karıştırma .....                                                                       | 33        |
| 3.2.1.3 OPK'ların ekstrüder ile üretimi .....                                                          | 33        |
| 3.2.1.4 OPK'ların plaka haline getirilmesi .....                                                       | 33        |
| 3.2.1.5 Lazer kesim makinesiyle test numunelerinin kesilmesi.....                                      | 34        |
| 3.3 Özelliklerin Belirlenmesi .....                                                                    | 34        |
| 3.3.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi .....                                                         | 34        |
| 3.3.1.1 Yoğunluk değerinin belirlenmesi.....                                                           | 34        |
| 3.3.1.2 Su alma oranının belirlenmesi .....                                                            | 35        |
| 3.3.1.3 Kalınlık artışı oranının belirlenmesi .....                                                    | 35        |
| 3.3.2 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi.....                                                           | 35        |
| 3.3.2.1 Çekme Direnci .....                                                                            | 36        |
| 3.3.2.2 Çekmede Elastikiyet Modülü.....                                                                | 36        |
| 3.3.2.3 Eğilme Direnci .....                                                                           | 37        |
| 3.3.2.4 Eğilmede Elastikiyet Modülü .....                                                              | 38        |
| 3.3.3 Termal ve Yanama Özelliklerin Belirlenmesi .....                                                 | 38        |
| 3.3.3.1 Termogravimetrik analiz (TGA).....                                                             | 39        |
| 3.3.3.2 Yanmazlık özelliklerinin belirlenmesi .....                                                    | 39        |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>                                                                    | <b>40</b> |
| 4.1 Uyumlaştırıcının Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Fiziksel Özellik Analizleri .....            | 40        |
| 4.1.1 Yoğunluk sonuçları.....                                                                          | 40        |
| 4.1.2 Su alma sonuçları.....                                                                           | 41        |
| 4.1.3 Kalınlık artışı sonuçları .....                                                                  | 41        |
| 4.2 Uyumlaştırıcının Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Mekanik Özellik Analizleri .....             | 42        |
| 4.2.1 Çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü testi sonuçları.....                                 | 42        |
| 4.2.2 Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testi sonuçları .....                              | 43        |
| 4.3 Uyumlaştırıcının Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Termal Özellik Analizleri .....              | 44        |
| 4.3.1 Yanmazlık testi sonuçları .....                                                                  | 48        |
| 4.4 Yangın Geciktiricilerin Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Fiziksel Özellik Analizleri .....     | 48        |
| 4.4.1 Yoğunluk sonuçları.....                                                                          | 48        |
| 4.4.2 Su alma sonuçları.....                                                                           | 49        |
| 4.4.3 Kalınlık artışı sonuçları .....                                                                  | 49        |
| 4.5 Yangın Geciktiricinin Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Mekanik Özellik Analizleri .....        | 50        |
| 4.5.1 Çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü testi sonuçları.....                                 | 50        |
| 4.5.2 Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testi sonuçları .....                              | 51        |
| 4.6 Yangın Geciktiricinin Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Termal ve Yanma Özellik Analizleri..... | 51        |
| 4.6.1 Termogravimetrik analiz (TGA) testi sonuçları .....                                              | 52        |
| 4.6.2 Yanmazlık testi sonuçları .....                                                                  | 53        |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                                                       | <b>55</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                                 | <b>57</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                                   | <b>63</b> |

## KISALTMALAR

|                                    |                                            |
|------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>ABS</b>                         | : Akrilonitril Bütadiyen Stiren            |
| <b>AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | : Alüminyum Oksit                          |
| <b>ASTM</b>                        | : Uluslararası Standart Organizasyonu      |
| <b>B<sub>4</sub>C</b>              | : Bor Karbür                               |
| <b>CBN</b>                         | : Kübik Bor Nitrat                         |
| <b>CTP</b>                         | : Cam Elyaf Takviyeli Plastik              |
| <b>DSC</b>                         | : Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihazı |
| <b>FR</b>                          | : Isıya Dayanımı Olan Malzeme              |
| <b>MEK</b>                         | : Metil Etil Keton                         |
| <b>MFI</b>                         | : Eriyik Akış İndeksi                      |
| <b>MÖ</b>                          | : Milattan Önce                            |
| <b>OPK</b>                         | : Odun Plastik Kompozit                    |
| <b>PE</b>                          | : Polietilen                               |
| <b>PP</b>                          | : Polipropilen                             |
| <b>PU</b>                          | : Poliüretan                               |
| <b>SiC</b>                         | : Silisyum Karbür                          |
| <b>Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub></b> | : Silikon Nitrür                           |

## SEMBOLLER

|                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| <b>L/D</b>           | : Boy/Çap Oranı            |
| <b>T<sub>g</sub></b> | : Camsı Geçiş Sıcaklığı    |
| <b>T<sub>m</sub></b> | : Erime Sıcaklığı          |
| <b>°C</b>            | : Santigrat Derece         |
| <b>%</b>             | : Yüzde                    |
| <b>d</b>             | : Yoğunluk                 |
| <b>m</b>             | : Örneklerin Kuru Ağırlığı |
| <b>v</b>             | : Hacim                    |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1: ABS numunesine ait teknik özellikler.....                                                                                  | 28 |
| Çizelge 3.2: Kayın ağacı özellikleri (Bozkurt, 2000). ....                                                                              | 29 |
| Çizelge 3.3 : Maleik anhidrid teknik özellikleri (Clariant, 2024).....                                                                  | 29 |
| Çizelge 3.4 : Dikünil peroksit teknik özellikleri (Nouryon, 2022).....                                                                  | 30 |
| Çizelge 3.5 : Borik asit teknik özellikleri (Ay-kim, 2024). ....                                                                        | 30 |
| Çizelge 3.6 : Boraks teknik özellikleri (Ay-kim, 2024). ....                                                                            | 30 |
| Çizelge 3.7 : Amonyum polifosfat teknik özellikleri (Clariant, 2024).....                                                               | 30 |
| Çizelge 3.8 : Birinci aşamaya ait opk ürünlerin içerik yüzdeleri. ....                                                                  | 31 |
| Çizelge 3.9 : İkinci aşamaya ait opk ürünlerin içerik yüzdeleri. ....                                                                   | 31 |
| Çizelge 4.1 : Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin yoğunluk sonuçları. ....                                                  | 40 |
| Çizelge 4.2 : Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin su alma oranı sonuçları (% değişim). ....                                 | 41 |
| Çizelge 4.3 : Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin kalınlık artışı otanları sonuçları (% değişim).....                       | 41 |
| Çizelge 4.4 : Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin çekme direnci testi sonuçları. ....                                       | 43 |
| Çizelge 4.5 : Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin eğilme direnci testi sonuçları. ....                                      | 43 |
| Çizelge 4.6 : Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin yanma hızı sonuçları. ....                                                | 48 |
| Çizelge 4.7 : Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin yoğunluk sonuçları. ....                                             | 49 |
| Çizelge 4.8 : Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin su alma oranı sonuçları (% değişim).....                             | 49 |
| Çizelge 4.9 : Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin kalınlık artışı oranı sonuçları (% değişim).....                     | 50 |
| Çizelge 4.10 : Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü testi sonuçları.....    | 50 |
| Çizelge 4.11 : Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testi sonuçları. .... | 51 |
| Çizelge 4.12: Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin yanma hızı test sonuçları. ....                                      | 54 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                         | <u>Sayfa</u> |
|---------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 2.2 : Kompozit malzeme tasarımı.....              | 3            |
| Şekil 2.1 : Plastik çeşitleri (Bulut, 2014).....        | 11           |
| Şekil 3.1 : Abs atık. ....                              | 28           |
| Şekil 3.2 : Kayın odun unu. ....                        | 29           |
| Şekil 3.3 : İlk aşama numune üretim şeması. ....        | 31           |
| Şekil 3.4 : İkinci aşama numune üretim şeması. ....     | 32           |
| Şekil 3.5 : Fritsch öğütme makinesi. ....               | 32           |
| Şekil 3.6 : Polartek üretim ekranı. ....                | 33           |
| Şekil 3.7 : Carver pres makinesi. ....                  | 34           |
| Şekil 3.8 : Çekme testi örneği.....                     | 37           |
| Şekil 3.9 : Eğilme testi örneği.....                    | 38           |
| Şekil 4.1 : Çekme direnci testi yapılan numuneler. .... | 42           |
| Şekil 4.2 : ABS numunesi TGA sonuçları.....             | 44           |
| Şekil 4.3 : KO numunesi TGA sonuçları.....              | 45           |
| Şekil 4.4 : A1 numunesi TGA sonuçları.....              | 46           |
| Şekil 4.5 : A2 numunesi TGA sonuçları.....              | 46           |
| Şekil 4.6 : A3 numunesi TGA sonuçları.....              | 47           |
| Şekil 4.7 : A4 numunesi TGA sonuçları.....              | 47           |
| Şekil 4.8 : KF numunesi TGA sonuçları. ....             | 52           |
| Şekil 4.9 : A1F numunesi TGA sonuçları. ....            | 53           |
| Şekil 4.10 : A3F numunesi TGA sonuçları. ....           | 53           |

## YANMAYA DAYANIKLI ABS AHŞAP POLİMER KOMPOZİT ÜRETİMİ

### ÖZET

Bu çalışmada, lignoselülozik malzeme olarak mobilya firması atığı olan testere tozlarından alınmış kayın odununu ve termoplastik polimer olarak da yine mobilya firmasından atık olarak temin edilmiş ABS polimeri kullanılarak ekstrüzyon yöntemiyle odun plastik kompozitleri üretilmiştir. Sıcak presleme ile levha üretimi gerçekleştirilen OPK malzemenin performans özellikleri belirlenmiştir. Odun plastik kompozitlerin (OPK) performanslarını iyileştirmek için uyumlaştırıcı ve yangın geciktiriciler kullanılmış, ve levha üzerindeki etkileri incelenmiştir. Birinci kısımda uyumlaştırıcı takviyesi yapılarak odun plastik kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin termal, mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda yanmaya dayanıklı ABS ahşap polimer kompozit üretiminde orman endüstri atıklarından elde edilen odununu ve atık ABS'nin alternatif hammadde kaynağı olarak başarılı bir şekilde değerlendirilebileceği gösterilmiştir. Yangın geciktirici ilavesiyle kontrol örneklerinin daha iyi yanmazlık özellikleri kazandırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, borlu bileşikler (BB) ve amonyum polifosfat (APP) yangın geciktirici olarak da odun plastik kompozit (OPK) üretiminde değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında mekanik dayanımın yüksek olduğu uyumlaştırıcı içermeyen numune gruplarına yangın geciktirici eklenerek üretilen odun polimer kompozitler üzerinde analizler yapılmış ve yangın geciktirici malzemelerin, numunelerin yoğunluk miktarını, su alma ve kalınlık artışı miktarlarını az da olsa arttırdığı görülmüştür. Ayrıca, yangın geciktirici malzemelerin, odununu içermeyen numunelerde çekme, eğilme direncinin ve çekme, eğilme elastikiyet modülünün bir miktar artmasını sağlarken, odununu içeren numunelerde ise az miktarda olmasına rağmen bir düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, yapılan analizler ve testler ışığında atık ABS matrisli ve atık odununu takviyeli yanmaz bir kompozit malzemenin üretilebileceği ortaya konmuştur. Bu çalışma, çevre kirliliği, atık dönüşümü ve alternatif malzeme ihtiyacı gibi konuların önemine dikkat çekmiş ve sürdürülebilirlik ile geri dönüşümün önemini vurgulamıştır.

**Anahtar kelimeler:** Odun Plastik Kompozit Malzemeler (OPK), Atık Geri Dönüşümü, Yangın geciktiriciler, Kayın Odun Unu, Akrilonitril bütadien stiren (ABS)

## **FIRE-RESISTANT ABS WOOD POLYMER COMPOSITE PRODUCTION**

### **SUMMARY**

In this study, wood plastic composites were produced using beech wood flour obtained from sawdust waste of a furniture company as the lignocellulosic material, and ABS polymer, also sourced as waste from the same furniture company, as the thermoplastic polymer through the extrusion method. The performance properties of the WPC material, which was manufactured into sheets via hot pressing, were determined. To enhance the performance of the wood plastic composites (WPC), compatibilizers and flame retardants were used, and their effects on the sheets were examined. In the first part, wood plastic composites were produced by adding compatibilizers. Studies on the thermal, mechanical, and physical properties of the produced composite materials demonstrated that wood flour obtained from forest industry waste and waste ABS can be successfully evaluated as alternative raw materials in the production of flame-resistant ABS wood polymer composites. It was determined that the addition of flame retardants provided the control samples with better fire resistance properties. Additionally, boron compounds (BC) and ammonium polyphosphate (APP) were also evaluated as flame retardants in the production of wood plastic composites (WPC).

In the second part of the study, analyses were performed on wood polymer composites produced by adding flame retardants to compatibilizer-free sample groups with high mechanical strength. It was observed that flame retardant materials slightly increased the density, water absorption, and thickness swelling of the samples. Moreover, it was found that flame retardant materials caused a slight increase in the tensile and flexural strength and tensile and flexural modulus of elasticity in samples without wood flour, while a slight decrease was observed in samples containing wood flour.

As a result, the analyses and tests conducted demonstrated that a flame-resistant composite material reinforced with waste ABS matrix and waste wood flour can be produced. This study highlighted the importance of issues such as environmental pollution, waste recycling, and the need for alternative materials, emphasizing the significance of sustainability and recycling.

**Keywords:** Wood Plastic Composite Materials (WPC), Waste Recycling, Flame Retardants, Beech Wood Flour, Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1 Giriş

Ahşap malzeme, göze hoş gelen görüntüsü, ürün eldesi için kolay işlenebilir yapısı ve natural bir malzeme olması sebebiyle ilk çağlardan beri insanoğlu için vazgeçilmez bir malzeme olmuştur (Conner, 2014). Artan nüfus, sadece ahşap malzemeye değil tüm hammaddelere olan talebi arttırmıştır. Çevresel faktörler, enerji verimliliği insan sağlığı, hammadde maliyetleri gibi sorunların ortaya çıkmasına neden olmuş ve geri dönüşüm, sürdürülebilirlik konularının önemini giderek artmıştır.

Üretim ve sanayi atıklarının geri dönüşümü çalışmaları her hammadde için aynı verimlilikte olmamaktadır. Örneğin döküm sektörü mobilya sektörüne göre ürettiği ürünü daha sonra hurda olarak kullanma konusunda nispeten avantajlı konumdadır. Plastik atıklar ise çevresel kaygılar göz önüne alındığında hala tartışma konusu olarak güncelliğini korumaktadır.

Odun polimer kompozit (OPK) malzemeler çevreye duyarlılığın artması ile önemli hale gelmiştir. İnsanlık, tarih sahnesinde bulunduğu zaman boyunca, yaşamlarını kolaylaştırmak ve değişen yaşam standartlarına uyum sağlamak için yeni malzemeler üretmişler veya malzemeleri geliştirmişlerdir (Güneşkaya, 2017). Odun unu, keten lifi, hindistan cevizi kabuğu, kiraz sapı gibi doğal atık ve tarımsal atıklar polimerlere eklenerek doğada daha hızlı bozunabilen kompozit malzemeler elde edilebilmektedir. Üretilen kompozit ürünler hem alternatif malzeme arayışı için bizlere bir yol açmış hem de doğa dostu ve daha ucuz hammaddelerle üretim yapmamıza yardımcı olmuştur (Afrose ve diğ. 2016). Araştırmalar eklenen biyobozunur malzeme her kompozit malzemede olduğu gibi malzeme dayanımına ve sonuca doğrudan etki etmektedir (Liu ve diğ. 2019).

Çalışmanın konusu, geri dönüşüm akrilonitril bütadien stiren'den (ABS) yanmaya dayanıklı odun polimer kompozit üretimidir. Bu amaçla; mobilya fabrikası atıklarından elde edilen kayın odun unu, üretim artıklarından elde edilen ABS, uyumlaştırıcılar, amonyum polifosfat ve borlu bileşik kullanılmıştır. Bu çalışmada

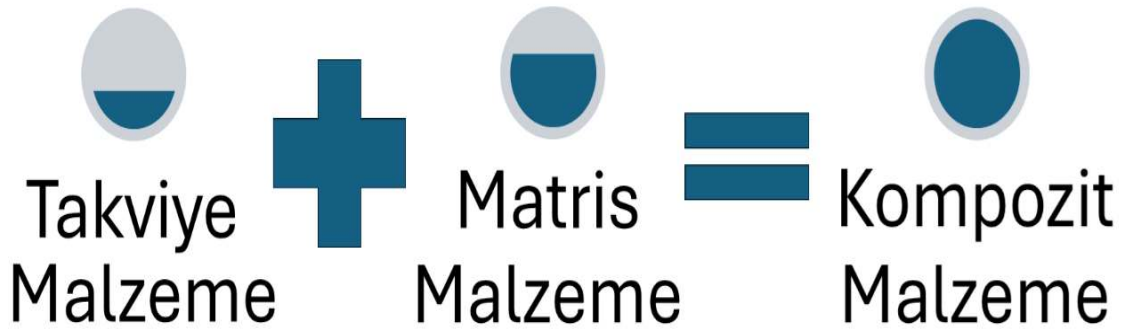
kullanılan yangın geciktiricilerin OPK'ların fiziksel, mekanik, termal (termogravimetrik) ve alevlenme (yanma) özellikleri üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Diğer yandan hammadde sıkıntısına önemli ölçüde çözüm olabilecek orman endüstrisi atıklarının alternatif kullanım alanlarından biri belirlenerek bunların OPK'larda kullanım imkanları ortaya konmuştur. Ayrıca, borlu bileşiklerin farklı alanlarda yaygın olarak kullanılması amaçlanmıştır.

## 1.2 Kompozitler

İnsanlık, tarih sahnesinde bulunduğu zaman boyunca, yaşamlarını kolaylaştırmak ve değişen yaşam standartlarına uyum sağlamak için yeni malzemeler üretmişler veya malzemeleri geliştirmişlerdir. Üretilen tüm malzemelerin temelinde doğa yatar. Doğa, geri dönüşümlü, eşsiz ve teknolojik açıdan mükemmel ürünleri insanlığın hizmetine sunmuştur. Bununla birlikte doğa, insanlık için yaşam ve mühendislik sorunlarına en uygun çözüm ve ipuçlarını sağlamıştır (Güneşkaya, 2017).

Üretilen malzemelerin yıllar içindeki gelişimi ve değişimi incelendiğinde, kompozitlerin oldukça eski bir geçmişe sahip olduğu görülmektedir. Tarihte polimer takviyeli ilk malzeme olan bitüm veya diğer adıyla zift, M.Ö. 4000-2000 arasında Babil'de kullanılmıştır. Ayrıca, M.Ö. 3000 öncesinde, okçu yaylarının kompozit malzemeler olduğu yapılan araştırmalarla ortaya çıkmıştır. Temel kompozit malzeme birleşimi Şekil 1.1'de gösterilmiştir (Güneşkaya, 2017).

Kompozit malzemeler için farklı örnekler düşünüldüğünde M.Ö. 200'lü yıllarda Çin seddinin gözetleme kulelerinin yapımında saman takviyeli kerpiç blokların kullanımı dikkat çekmektedir. Cam liflerinin kullanımında eski Mısır uygarlıklarına kadar uzanmaktadır. Bu dönemden günümüze kadar, kompozit malzeme üretiminde ve hammaddesinde birçok yenilik gerçekleşmiştir. Artan çevre bilinciyle birlikte, yenilenebilir doğal malzeme kullanımı önem kazanmış ve bu nedenle doğal polimer ve lignoselülozik lif içeren malzemelerin kompozit ürünlerde kullanımı popüler hale gelmiştir (Agrawal ve Drzal, 1989).



**Şekil 1.1 :** Kompozit malzeme tasarımı.

Kimyasal olarak birbiri içinde çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemeler kompozit malzemeler olarak tanımlanabilmektedir. Kompozit malzemeler, kullanım yerinin getirdiği şartlara uygun bir malzeme oluşturmak amacıyla üretilmektedir. Kompozit malzemenin bileşenleri, genel olarak kendi özelliklerini içermektedirler (Rosato, 1997). Kompozit malzeme üretiminde ve tasarımında, tek bir malzemenin sahip olamayacağı özelliklere ve bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzemenin üretilmesi amaçlanmaktadır (Hahn ve Tsai, 1980).

Alaşım malzemeler, makro yapıda homojen gibi görünürken aslında mikroskobik yapılarında birden fazla faz yer alıp heterojenlik görülebilmektedir. Kompozit malzemelerde yapı bileşenleri makro ölçekte olduğundan, bu tür kavram karmaşaları genel olarak ortadan kalkmıştır (Yılmazoğlu, 2004).

Malzemelerde kullanım alanına göre dayanım, elastikiyet, hafiflik, çevre şartlarına (nem, güneş ışınları gibi), darbe dayanımı, sertlik gibi günlük yaşamda kullanılmaktadır. Kompozit olmayan metal, seramik veya polimer malzemede tüm bu özelliklerin hepsini bir arada bulmak çok zor bir durumdur. Bu nedenle kompozit malzemelerin üretimi ve tasarımında dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ekonomik şekilde elde edebilme konusudur. Kompozit malzemeler İkinci Dünya savaşı sonundan beri bu yana önemli bir boşluğu doldurmaktadır (Yılmazoğlu, 2004).

Deniz'e (2005) göre kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibidir.

Avantajları:

1. Yüksek Dayanıklılık Değerleri: Kompozit malzemeler genellikle yüksek dayanıklılık sağlar, özellikle belirli uygulamalarda metal ve diğer geleneksel malzemelerden daha dayanıklı olmaktadır.
2. Yüksek Katı Davranış Özelliği: Bu malzemeler sert ve katı bir yapıya sahiptir, bu da çeşitli uygulamalarda istenilen mukavemeti ve dayanıklılığı sağlamaktadır.
3. Yüksek Aşınma Direnci: Kompozit malzemeler, aşınmaya karşı dirençli olabilmektedirler, bu da uzun ömürlü ve dayanıklı yapılar için idealdir.
4. Korozyona Karşı Uzun Ömür: Kimyasal tepkimelere karşı dayanıklı olmaları sayesinde korozyona karşı uzun bir ömür sunabilmektedirler.
5. Yüksek Sıcaklık Dayanımı: Bazı kompozit malzemeler yüksek sıcaklık koşullarında dayanıklı olabilirler, bu da geniş bir uygulama alanı sağlamaktadır.
6. Hafiflik: Diğer malzemelere kıyasla daha hafif olmaları, taşıma ve hareket kabiliyeti gerektiren uygulamalarda avantaj sağlamaktadır.
7. Şekillendirilebilirlik: İstenilen şekle kolayca dönüştürülebilirler, bu da tasarım esnekliği sağlamaktadır.
8. Isı ve Elektrik İletkenliği: Bazı kompozit malzemeler iyi bir ısı ve elektrik iletim özelliğine sahiptirler, bu da belirli uygulamalarda avantaj sağlamaktadır.
9. Titreşim Sönümleme: Titreşimleri absorbe ederek sönümlerler, bu da titreşim hassasiyeti gerektiren uygulamalarda kullanılmalarını sağlamaktadır.

#### Dezavantajları:

1. Standart Eksikliği: Kompozit malzemelerin üretiminde belirli bir standart olmaması ve farklı mukavemet özelliklerine neden olabilmektedir.
2. Üretim Zorlukları: Üretimleri maliyetli ve karmaşık olabilir, bu da ürün maliyetini artırabilmektedir.
3. Geri Dönüşüm Zorluğu: Plastik türevli olmaları ve geri dönüşüm özelliklerinin sınırlı olması, çevresel etkiyi artırabilmektedir.
4. Yüksek Maliyet: Birçok farklı sebepten dolayı yüksek maliyetli olabilirler, bu da geniş ölçekli kullanımlarını sınırlayabilmektedir.

Çalışmada bir kompozit çeşidi olan ve benzer avantaj ve dezavantajlara sahip OPK üretilmiştir.

### 1.3 Odun Kompozit Malzemeler

Tarihsel olarak, ahşap büyük kereste halinde kullanılmıştır. Ancak zamanla büyük ağaçların azalmasıyla birlikte ahşap endüstrisi, daha küçük çaplardaki ağaçlar veya biçme artıklarıyla malzeme üretmeye yönelmiştir (Qu, 1993).

Kaplama ve kontrplak yapımı, tarihsel olarak çok eski zamanlara, hatta firavunlar devrine kadar uzanmaktadır. Bu teknik, ahşap malzemelerin kullanımını çeşitlendirmek ve dayanıklılığını artırmak amacıyla kullanılmıştır. Firavunlar döneminde bu teknikle yapılan ürünler genellikle mobilya yapımında, yapı malzemelerinde ve dekoratif amaçlarla kullanılmıştır. Bu, ahşap endüstrisindeki erken kompozit malzeme uygulamalarından biridir ve günümüzde hala yaygın olarak kullanılmaktadır (Çavdar, 2011).

Son yıllarda artan talebe cevap olarak ortaya çıkan odun kompozit malzemeler hem tüketicilerin hem de endüstrilerin yüksek performanslı malzeme ve yapılar arayışını karşılamak için geliştirilmiş üstün spesifik özelliklere sahip malzemelerdir (Güler, 2001; Kim ve Pal, 2010). Odun polimer kompozit (OPK) terimi, odun esaslı malzemelerin polimerlerle birleştirilmesiyle oluşturulan bir kompozit malzeme türünü ifade eder. Başka bir deyişle, OPK'lar odun ve/veya odun dışı malzemelerin (doğal lifler, lignoselülozik lifler vb.) termoset veya termoplastik polimerlerle birleştirilerek oluşturulan kompozit malzemelerdir (Ashori, 2008; Gardner ve diğ., 2015). OPK'lar, odun ve/veya lignoselülozik dolgu maddelerinin çeşitli termoplastik ve katkı maddeleriyle karıştırılarak ekstrüzyon, pres kalıplama ve enjeksiyon kalıplama gibi yöntemlerle üretilip yenilikçi malzeme olarak kullanılmaktadır (Gardner ve diğ., 2015). Polimerlerde dolgu maddesi kullanımı genellikle iki amaçla gerçekleştirilir. İlk olarak, saf polimerin benzer özelliklerini sağlarken maliyeti düşürmek amaçlanmaktadır. İkinci olarak ise, saf polimere kıyasla performans özelliklerini artırmayı hedeflemektedir (Kim ve Pal, 2010).

Gelişen teknolojiyle birlikte karbon, aramid ve cam gibi yapay liflerin yerine kenaf, keten, jüt, kenevir ve sisal gibi doğal liflerin otomotiv endüstrisi gibi bazı uygulama alanlarında kullanımı son yıllarda dikkat çekmiştir. Doğal liflerin cam ve karbon gibi

sentetik veya yapay liflere göre avantajları; düşük maliyet, düşük yoğunluk, kabul edilebilir özgül mukavemet özellikleri, karbon dioksit tutma ve biyolojik olarak parçalanabilirlik özellikleri sayılabilmektedir (Mohanty ve diğ., 2002). OPK üretimlerinde kullanılabilecek çeşitli doğal lifler bulunmaktadır. Lifli bitki hücreleri genellikle uzun ince lifler halinde birbirlerine yapışık durumdadır, ancak uzunlukları bitkinin türüne bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Bos, 2004). OPK'lerde dolgu maddesi veya güçlendirici olarak kullanılan birçok doğal lif bulunmaktadır. Bu lifler, odun veya odun dışı kaynaklardan elde edilebilmektedir. Ketenden kenevire, jüte, kenaf ve sisal liflerine kadar birçok farklı türde doğal lif kullanılabilmektedir (Mohanty ve diğ., 2002). Doğal liflerin yaygın olarak selüloz ve lignin içerdiğini belirtmek önemlidir; bu nedenle, bu lifler genellikle lignoselülozik lifler olarak adlandırılır. Doğal liflerin uygulamaları cazip kılan dört ana neden bulunmaktadır (Mengeloğlu ve diğ., 2015):

- 1) Kendine özgü özellikleri,
- 2) Fiyatları,
- 3) Sağlık açısından avantajları,
- 4) Dönüştürülebilirlikleri

Odun-plastik kompozitlerin üretimi için farklı yöntemler kullanılabilmektedir. Bu yöntemlerde, öncelikle kullanılan termoplastik ve lignoselülozik materyalin homojen bir şekilde karıştırılması gerekmektedir. Karıştırma işlemi, ısıtmalı veya ısıtmasız mikserler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Isıtmalı mikserler kullanıldığında, polimerin türüne bağlı olarak karışım belirli bir sıcaklıkta yumuşar veya erir; bu aşamadan sonra karışım mikserden dışarıya dökülerek soğutulur ve daha sonra küçük parçacıklara bölünerek kurutulmaktadır. Isıtmasız mikserler kullanıldığında, mikserler sadece karıştırma işlemini gerçekleştirir ve oluşturulan karışımlar daha sonra ekstrüderlerde yumuşatılır veya eritilir. Ekstrüderlerin ucundan çıkan kalıplardan alınan çıktılar küçük parçacıklara bölünerek kurutulmaktadır. Her iki yöntemde elde edilen parçacıklara son şekilleri vermek için ekstrüzyon kalıplama, pres kalıplama veya enjeksiyon kalıplama işlemleri gerçekleştirilmektedir (Mengeloğlu, 2006).

Odun unlarından rutubetin uzaklaştırılması için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Bunlar arasında kurutma fırınında ön bir kurutma işlemi ve yüksek yoğunluklu karıştırıcılar veya ekstrüder beslemesinden önce ön ısıtıcıların kullanılması yer almaktadır. OPK

malzemeleri genellikle ağaç liflerinden veya undan elde edilen çeşitli kaynaklardan oluşur (Özmen ve diğ., 2014).

Üretim aşamasında, kompozitin performansını ve dayanıklılığını artırmak için birleştirici maddeler ve dengeleyiciler gibi katkı maddeleri de dahil edilebilir. OPK malzemeleri, doğal ahşap benzeri bir görünüm sunarak çeşitli uygulamalar için görsel olarak çekici olmalarını sağlamaktadır. Hammadde olarak geri dönüştürülmüş veya işlenmemiş malzemeler kullanıldığından, OPK'ler çevre dostu malzemeler arasında yer almaktadır. Bu durum, OPK'lerin kullanıldığı ürünlerin üretim maliyetlerini ve enerji tüketimini azaltmaktadır (Hyvärinen ve diğ., 2019).

Ahşap lifleri ve plastiğin kombinasyonu, doğal ahşap ile kıyaslandığında, eğilme, şişme veya çatlama gibi fiziksel özelliklerde iyileşme sağlayarak boyutsal stabilite sağlamaktadır (Avcı, ve diğ., 2022).

Odun plastik kompozitin sağladığı avantajlar aşağıdaki gibidir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008):

1. Rutubet direnci yüksektir: OPK, yüksek rutubet direnci sunar, böylece çeşitli hava koşullarına dayanıklı hale gelmektedir.
2. Uygun fiyatta olması: OPK, uygun maliyetli bir malzeme olarak tercih edilir, böylece ekonomik avantajlar sağlamaktadır.
3. Üretim artıkları istenilen şekle getirilip yararlanabiliriz: OPK, üretim artıklarının geri dönüştürülmesine olanak tanır, böylece atıkların kullanılabilirliği artmaktadır.
4. Çok fazla bakıma gerek yoktur: OPK malzemeler, düşük bakım gereksinimleri ile pratik bir kullanım sağlamaktadır.
5. Her zaman yenilenebilir: OPK, yenilenebilir bir kaynak olan ahşapla birleştirilmiştir, böylece sürdürülebilir bir seçenek sunmaktadır.
6. Daha çevreci ve yenilenebilir ürünlerdir ve potansiyel olarak geri dönüşümleri mümkündür: OPK, çevre dostu ve geri dönüştürülebilir bir malzeme olarak kabul edilmektedir.
7. Plastik matris içerisinde lignoselülozik esaslı dolgu maddelerinin kullanılması onları daha sert yapmakta ve maliyetlerini düşürmektedir: OPK, plastik matris

içinde doğal liflerin kullanılmasıyla mukavemetini artırır ve maliyetlerini düşürmektedir.

8. Doğal lifler ve lignoselülozik atıkların kullanımı ile daha az fosil kaynaklı ürünler kullanılır ve daha az enerji harcanır: OPK üretiminde doğal liflerin kullanılması, fosil kaynaklı malzemelerin kullanımını azaltır ve enerji tasarrufu sağlamaktadır.
9. Basınç özellikleri üstündür: OPK, yüksek basınç dayanımı sağlar, böylece çeşitli uygulamalarda güvenilir bir performans sunmaktadır.
10. Masif ahşap malzemeye göre bakım maliyeti daha düşüktür: OPK, masif ahşaba göre daha az bakım gerektirir, böylece kullanım maliyetlerini düşürmektedir.
11. Su emme kabiliyeti iyileşir ve biyolojik saldırılara dayanıklıdır: OPK, su emme kabiliyetini azaltır ve biyolojik saldırılara karşı dayanıklı hale gelmektedir.
12. Boyutsal sabitliği masife ahşaba göre daha iyidir: OPK, boyutsal sabitliği artırır, böylece şekil değişimlerini minimize edilmiştir.
13. Ahşap malzemelerde görülen kıvrıklık ve yamukluk OPK'larda bulunmaz: OPK, düzgün ve istikrarlı bir yüzey sunar, böylece estetik bir görünüm sağlanmıştır.
14. Elektriğe karşı yüksek dirençlidir: OPK, elektriksel dayanıklılık sağlar, böylece çeşitli elektriksel uygulamalarda güvenli bir seçenek sunmaktadır.
15. Meydana gelebilecek böcek ve mantar zararlarına karşı yüksek seviyede dirençlidir: OPK, böcek ve mantar zararlarına karşı dirençlidir, böylece dayanıklılığını artırmıştır.

Odun plastik kompozitin dezavantajları aşağıdaki gibidir (Korucu ve Mengeloğlu, 2007):

1. Hacim yoğunluğunun düşük olması nedeniyle ortaya çıkan depolama problemi: OPK'nın düşük yoğunluğu, depolama sırasında daha fazla alan gerektirebilmektedir.

2. Depolama sırasında oluşabilecek biyolojik bozulma ve yangın riski: OPK malzemelerinin doğal bileşenleri, depolama sürecinde çürüme veya yangın riskini artırabilmektedir.
3. Lignoselülozik esaslı maddelerden kaynaklanan nem alma isteği ve çürüme potansiyeli: OPK'da bulunan lignoselülozik esaslı bileşenler, nem emme eğilimine sahip olabilir ve çürüme riskini artırabilmektedir.
4. OPK'ların içerisinde bulunan lignoselülozik esaslı bölgelerin nem alması küf mantarlarının oluşumuna neden olabilir: Nemli ortamlarda, OPK malzemelerinde küf mantarı oluşma riski artabilmektedir.
5. Tarım politikaları sonucu oluşabilecek fiyat dalgalanmaları: OPK üretiminde kullanılan doğal bileşenlerin fiyatları, tarım politikalarındaki değişikliklere bağlı olarak dalgalanabilmektedir.
6. Dekoratif açıdan masif ahşap malzeme kadar estetik olmaması: OPK, masif ahşap malzemeler kadar estetik bir görünüm sunmayabilir, bu da dekoratif uygulamalarda tercih edilme düzeyini etkileyebilmektedir.
7. Termoplastiklere lignoselülozik esaslı lifler eklendiğinde güneş ışınlarından kaynaklanan ağarma ve beyazlaşmaların oluşma riski: OPK malzemelerinin güneşe maruz kalması durumunda renk değişiklikleri olabilmektedir.
8. Ahşap malzemeye göre daha ağır ve daha az sert olması: OPK, masif ahşap malzemelere kıyasla daha ağır olabilir ve daha az sertlik sağlayabilmektedir.
9. Tarımsal atıklarda bulunan silika kullanımda faydalanan üretim makinelerinde aşınma problemlerine yol açabilir: Tarımsal atıkların içerdiği silika, üretim makinelerinde aşınma ve işleme sorunlarına neden olabilmektedir.

Çalışmada üretilen odun plastik kompozit ürün için diğer çalışmalarda kullanılmış OPK malzemeleri materyalleri araştırılmıştır.

#### **1.4 Odun PolimerKompozit İçin Kullanılan Materyaller**

OPK üretimi için bir çok ağaç türü kullanılmaktadır. OPK endüstrisinde odunsu malzemeler genelde lif ve un halde bulunmaktadır. Odunsu malzeme formu OPK içerisinde bulunan bağların kuvvetli veya zayıf olmasıyla yakından ilişkilidir. Bağların

güçlenmesi için uyumlaştırıcı malzemeler ve odun unu daha sağlıklı sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır (Çavdar, 2011).

OPK üretiminde mobilya ve ahşap sanayinde kullanılan ağaçların testere tozları, elek altı odun unları yaygın olarak kullanılmaktadır. Hammaddeye erişim kolaylığı, uygun maliyet gibi özellikleri nedeniyle mobilya ve ahşap sanayisine ait odun atıkları OPK için aranan bir malzeme haline gelmektedir (Çavdar, 2011).

#### **1.4.1 Lignoselülozik malzemeler**

Lignoselülozik malzemeler doğada bol miktarda bulunan ve uygun maliyete sahip bir malzeme grubudur. Biyolojik olarak doğada çözünebilen bu malzemeler birleştirici malzemelerle birlikte kullanıldığında kompozit malzemeler için takviye elemanı olarak kullanılabilir (Kumar ve diğ., 2011).

Odun ununun OPK kompozit içinde diğer lignoselülozik malzemelere oranla daha yüksek kütle yoğunluğuna ve daha iyi mukavamete sahip olduğu test edilmiştir. Bununla birlikte odun unu ulaşımı kolay maliyeti düşük ve kompozit üretimi sırasında nispeten az işçilik gerektiren bir takviye malzemesidir (Aykanat, 2019).

Düşük kalitedeki odun unu iğne yapraklı ağaçlardan elde edilirken yüksek kalitedeki odun unu yapraklı ağaçlardan elde edilmektedir. Kullanılan odun ununda odunun bir ağaç türünden gelmesi kabuk ve kirden uzaklaştırılması üretilecek OPK kalitesi içinde oldukça büyük önem taşımaktadır (Aykanat, 2019).

#### **1.4.2 Plastikler**

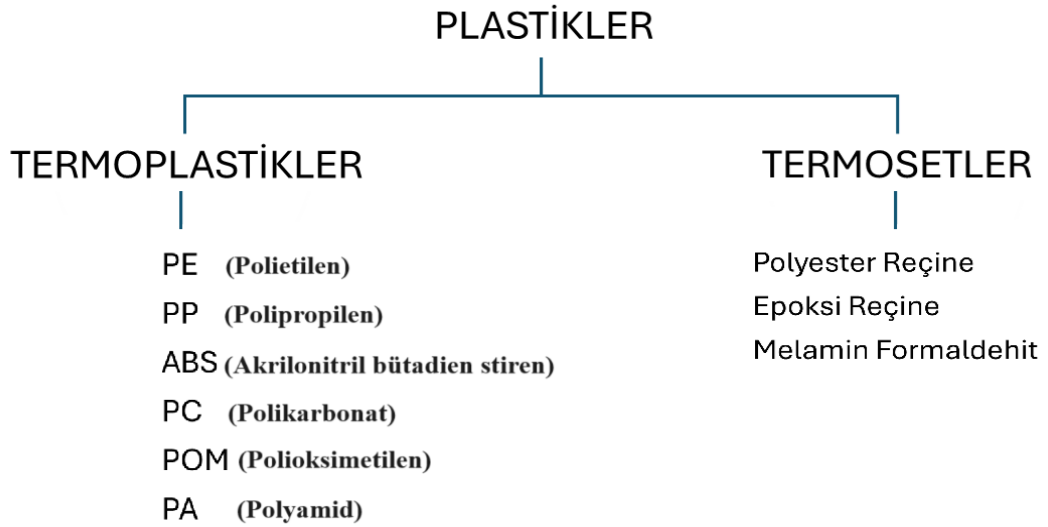
Plastikler, genellikle oda sıcaklığında katı formda bulunan malzemelerdendir. Basınç ve sıcaklık etkisi altında mekanik yöntemlerle kalıplanabilmekte, şekillendirilebilmektedirler. Bu malzemeler organik ve polimerik yapıya sahiptir. Düşük yoğunlukları  $0,8 \text{ g/cm}^3$  ile  $2,2 \text{ g/cm}^3$  arasında değişebilmekte ve bu durum plastiklerin hafif olmasını sağlamaktadır (Yaşar, 2001).

Plastik malzemeler genellikle renksiz olarak bulunmaktadır, bu nedenle renkli halin edilmesi için renklendirici maddeler kullanılmaktadır. Pigmentler yardımıyla mat bir görünüm elde edilebilirken, üretim sırasında çözünebilen organik boya ile şeffaf bir görünüm sağlanabilmektedir. Bazı plastikler, örneğin polimetilmetakrilat, oldukça berrak bir renke sahiptir ve bu özelliğin yanı sıra hafif olması nedeniyle gözlüklerde

kullanılan camlar yerine veya uçak gibi hava araçlarında kullanılabilirler (Aydın, 2004).

Plastikler, genellikle lineer ısı genleşme katsayısı ve ısı iletkenlik katsayısı düşük malzemelerdir. Polimerlerin metallere daha düşük kuvvetlerle işlenebilmesi mümkündür. İşleme sıcaklıkları 400 °C'nin altında olup genellikle 120 °C ile 320 °C arasında değişebilmektedir. Sıcaklık aralığının belirtilen aralıklarda olması polimerlerin işlenmesi için gereken enerji miktarının az olmasını sağlamaktadır (Ekşi, 2007).

Plastiklerin çalışma sıcaklığı dikkate alınması gereken bir konu olarak öne çıkmaktadır ancak ahşap malzemelerin işlenmesi durumunda ortaya çıkan kısıtlar, odun plastik kompozitlerin üretiminde yalnızca 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda işlenebilen polimerlerin kullanılmasını gerektirmektedir (Kim ve Pal, 2011). Plastik malzemelerin termoplastik ve termoset malzemeler olarak ayrı gruplarda incelendiği Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.2 :** Plastik çeşitleri (Bulut, 2014).

Termoplastikler, basınç ve ısı yoluyla form ve şekil değiştirebilen veya akıcı hale gelebilen, soğutulduğunda ise tekrar sertleşerek önceki formuna dönebilen malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Sadhan K. De, 2001).

Bu tür plastikler, birçok kez ısıtılıp soğutulmasına rağmen tekrar tekrar kalıplanabilmektedir. Termoplastik malzemeleri oluşturan molekül atomları birbirine bağlanarak zincirler oluşturmaktadır. Termoplastiklerin kullanım ömrü, malzemenin maruz kaldığı sıcaklık veya sürekli yüklerin oluşturduğu deformasyonla yakından

ilgilidir. Genellikle 54 °C ile 120 °C arasında, bazen de yapısına göre 260 °C ile 270 °C'ye kadar varan sıcaklıklarda bozunmaktadırlar. Bu nedenle, termoplastik ürünlerin işlenmesi sırasında sıcaklık konusunda dikkatli olunması gerekmektedir (Aydın, 2004).

Termosetler, genel olarak ısı, katalizör veya mor ötesi ışınlar gibi etkenlerle işleme alındığında çapraz bağlara sahip bir molekül yapısı oluşturarak sertleşen ve bir kez şekillendirildikten sonra tekrar şekil vermeye uygun olamayan plastik malzemelerdir. (Ay, 2009). Termoset malzemeler çözünmezler ve kimyasal yapıları bozulana kadar tekrar yumuşatmak, biçim vermek veya eritmek imkânsızdır. Bu nedenle, sıcak ortamlarda kimyasal yapıları bozulana kadar kritik seviyede yumuşamazlar ve sıcaklığa karşı daha yüksek dayanıklılık göstermektedirler (Ünal, 2006).

#### **1.4.2.1 Akrilonitril bütadien stiren (ABS)**

Akrilonitril bütadien stiren (ABS), akrilonitril, bütadien ve stiren monomerlerinden oluşan opak bir termoplastiktir. Bu malzeme, polibütadienin uzun zincirleri ile poli (stiren ve akrilonitril) kısa zincirlerinin çapraz bağlanmasıyla oluşmaktadır. Komşu zincirlerdeki nitril grupları, kutupsal olarak diğer zincirleri çekip bağlayarak saf polistirenden daha dayanıklı bir yapı oluşturmaktadır (Kurucan, 2023).

ABS, düşük maliyetli bir termoplastik olup düşük ısılarda bile güçlü ve dayanıklı yapısıyla rijitlik, tokluk ve sertlik gibi üstün özellikler sunmaktadır. Yüzey kalitesi oldukça iyi olan ABS, çeşitli renklerde üretilebilmekte ve kimyasal daldırma ile yüzey kaplama işlemlerine olanak tanımaktadır (Fındık, 2020).

Enjeksiyon kalıplama tekniklerinde düşük ergime sıcaklığı sayesinde kolay işlenebilirlik sağlamaktadır. ABS polimerlerinin bu kolay işlenebilirliği ve üstün yüzey kalitesi, diğer mühendislik plastikleriyle kompozit oluşturmayı elverişli hale getirmektedir. Grafit, grafen ve cam elyaf gibi nano malzemelerle daha da güçlendirilebilmektedir (Kurucan, 2023).

ABS, sulu asitlere, alkalilere, konsantre hidroklorik ve fosforik asitlere, alkollere ve hayvansal, sebze ve mineral yağlarına dayanıklıdır; ancak konsantre sülfürik ve nitrik asitlerden etkilenir (Zorlu, 2018).

#### **1.4.2.2 Plastiklerin geri dönüşümü**

İmalat çıktısı olan veya şehir yaşamı nedeniyle oluşan plastik atıkları dünya üzerinde ciddi bir alan kaplamakta ve bu durum çevre kirliliğine neden olmaktadır. Plastik ürünlerin geri dönüşümü temel olarak 4 grupta incelenmektedir:

İlk olarak atık plastiklerin boyut küçültmesi yapıp tekrar bir plastik eldesi sağlanması için yapılan geri kazanım yöntemidir. Burada amaç, orjinal plastikle karıştırılan atık plastikten üretilen parçanın hem daha uygun hem daha çevreci hemde orjinal plastik kalitesine yakın olmasıdır (Hamarat, 2016).

İkinci geri kazanım metodu, atık plastik ürünün eritilerek kullanılması esasına dayanmaktadır. Metoden temel amacı ikinci kalitede ürün eldesidir. Kullanım alanına göre mekanik dayanımın önemli olmayacağı plastikler ikinci yöntem ile tekrar geri kazandırılmaktadır (Timur, 2013).

Üçüncü metot literatürde kimyasal geri dönüşüm metodu olarak yer almaktadır. Metoden amacı atık plastikleri hidrokarbonlara, monomerlere ayırarak yeni plastik ürünlerin üretilmesini sağlamaktır (Hamarat, 2016).

Son metod ise plastik atık malzemelerden ısı eldesi sağlanması amacıyla yakma işleminin yapılmasıdır. Son çıkan çevre kanunları ve gelişen dünyada en son düşünülmesi gereken metoddur (Timur, 2013).

Plastik üretim sektöründe genel olarak atıkların toplam üretimin %10'u düşünülmektedir. Bu kayıp miktarı hem enerji hemde hammadde olarak ülkemize olumsuz yönde geri dönmektedir (Tezcan, 2009).

Çalışmada, birinci metoda benzer olarak atık olan ABS plastik malzemesinin plastik yerine atık odun unu ile birleştirilip bir kompozit ürün eldesinin sağlanarak atık ABS malzemesine yakın mekanik değerlere ulaşılması istenmiştir. Yakın mekanik dayanımlara ulaşılabilmesi için kullanılan odun ürünlerinin ve uyumlaştırıcı malzemelerin özellikleri oldukça önemlidir.

#### **1.4.3 Uyumlaştırıcılar**

Gelişimi devam eden odun plastik kompozitlerin üretimi sırasında karşılaşılabilecek iki risk bulunmaktadır. Bu risklerden ilki odun ununun sıcaklık veya neme duyarlı olmasıyken diğeri ise plastik ve odun unu yüzeyi arasında olan uyumsuzluktan kaynaklanabilecek bağlanma problemleridir (Oksman ve Lindberg, 1998).

Uyumlaştırıcılar, kompozit malzemelerde dolgu maddesi ile polimer matrisi arasındaki bağı güçlendirmeyi sağlayan kimyasal bileşiklerdir. Bu maddeler, organik, inorganik ve organik-inorganik olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmaktadır. OPK için kullanılan inorganik ajanlara silikatlar örnek verilebilirken, organik-inorganik ajanlar arasında silanlar ve titanatlar yer almaktadır (Lu ve diğ., 2000).

Uyumlaştırıcıların OPK üretimi sırasında temel olarak 3 şekilde katılma biçimi bulunmaktadır (Çavdar, 2011):

1. Odun unu, plastik ve uyumlaştırıcı kimyasalların direkt olarak karıştırma ünitesine katılması
2. Odun unu, plastik ve uyumlaştırıcı kimyasalların birlikte aşılandıktan sonra karıştırma ünitesine katılması
3. Karıştırma öncesi lignoselülozik dolgu maddesi ve polimerin bir kısmının uyumlaştırıcı ile aşılandıktan sonra ana karışıma katılması

Çalışmada uyumlaştırıcı olarak maleik anhidrit belirlenmiş ve kullanılmıştır üretim sırasında bir numaralı katılma metodu uygulanmıştır.

#### **1.4.3.1 Maleik anhidrit**

Maleik anhidrit hayatımıza ortalama olarak bir asır önce maleik asidinin dehidrasyonu sonucu girmiştir. Günümüzde ticari önemi yüksek bir kimyasal olarak yer almaktadır (Tansık, 2019).

Maleik anhidritler OPK için en yaygın kullanıma sahip uyumlaştırıcı ajanlardan biri olarak kabul edilmektedir. Maleik anhidrit (MA)  $\alpha$ ,  $\beta$ -doymamış karbonil bileşiğidir ve karbon-karbon çift bağı ve iki karboksilat (-COO-) gruplarını içermektedir. Böylelikle arayüzde güçlü adhezyon ya da çapraz bağ kuvvetleri oluşacaktır. Ancak MA molekül zinciri polimer matrisi ve odun lifinden çok daha kısadır. Bu yapısal farklılık nedeniyle arayüz adhezyonu olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle maleik anhidritler genellikle aşırı kopolimerizasyonu ile polimer matrisine modifiye edilerek kullanılmaktadırlar (Çavdar, 2011).

Çalışmada maleik anhidrit ve dikünil peroksit belirli bir oranda karıştırılıp modifiye edilmiştir.

#### 1.4.4 Yangın Geciktiriciler

Yangın geciktiriciler, tutuşma sürecini önleyen veya geciktiren, duman oluşumunu ve damlamayı engelleyerek ve yanma sırasında açığa çıkan ısıyı etkin bir şekilde azaltan katkı maddeleri olarak tanımlanabilmektedir (Songür, 2017).

Etkili bir yangın geciktirici katkı maddesinin sahip olması gereken önemli özellikler şunlardır (Uslu, 2024) :

1. Düşük tutuşma hızı,
2. Yanma şiddetini azaltma yeteneği,
3. Bozunma sırasında geniş yüzey alanına sahip oksitli bileşikler oluşturması,
4. Yapısında çok az çözünebilen veya hiç çözünmeyen safsızlıklar içermesi,
5. Katkılandığı ana malzemede homojen dağılım sağlamak için ince parçacık boyutunda olması,
6. Duman oluşturmaması,
7. Toksik gazlar üretmemesi,
8. Uygun maliyetli olması.

Gün geçtikçe yangın geciktirici kimyasalların kullanımı artmaktadır. Hammaddelerin içerdiği bileşikler de gelişen teknolojiyle birlikte çeşitlilik kazanmaktadır. Günlük hayatta kullandığımız birçok polimer ürün, yangın geciktirici katkı maddeleri ihtiva etmektedir. Bu katkı maddeleri son ürüne mukavemet, rijitlik, esneklik ve direnç kazandırırken yangın geciktirme görevini de başarı ile yapmaktadırlar (Akyar, 2022).

Yangın geciktirici seçiminin kullanım alanlarına göre yapılması OPK performansı ve yangın giderici kimyasalların verimli çalışması için önem arz etmektedir. Genel olarak dolgu malzemesi gibi kullanılan yangın geciktiriciler sadece maliyeti azaltmakla kalmamakta malzemenin bütün özelliklerine de etki etmektedirler (Hancock 2003).

Yangın gidericiler temel olarak yedi başlık altında tanımlanabilmektedir.

1. Halojen içeren yangın geciktiriciler
2. Halojen içermeyen yangın geciktiriciler
3. Fosfor içeren yangın geciktiriciler
4. Azot içeren yangın geciktiriciler

5. Silikon içeren yangın geciktiriciler
6. Bor içeren yangın geciktiriciler
7. Antimon içeren yangın geciktiriciler

#### **1.4.4.1 Halojen içeren yangın geciktiriciler**

Halojen içeren yangın geciktiriciler, yanma esnasında yanıcı gazlardan OH<sup>-</sup> ve H<sup>+</sup> serbest iyonlarını uzaklaştırarak yanmanın süresini uzatarak ve yangının yayılmasını engel olmaktadır. Bu maddelerin yapısındaki halojen atomlarının sayısı ile kimyasalın yangın geciktirici etkisi arasında doğrudan bir bağlantı bulunmaktadır. Halojen içeren malzemeler, yüksek verimliliğe sahip olmakla birlikte uzun yıllar boyunca bu özelliklerinden dolayı tekstil yüzeylerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Yanma sırasında halojen içeren yangın geciktiriciler, halojen serbest radikalleri oluşturarak yangının büyümesine neden olan diğer reaktif serbest radikalleri tutarak çalışmaktadır ancak, bu kimyasalların insan ve hayvan sağlığına zararlı oldukları ve tehlike oluşturdukları kanıtlanmıştır (Uslu, 2024).

#### **1.4.4.2 Halojen içermeyen yangın geciktiriciler**

Yangın geciktiriciler arasında önemli bir yere sahip olan halojen içermeyen yangın geciktiriciler grubu, uygun maliyetleri, kolay kullanımları ve düşük toksisiteleri sebebi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde ticari olarak büyük öneme sahip olan bu kimyasallar, özellikle alüminyum oksit trihidrat, polimerler için en yaygın kullanılan halojen içermeyen yangın geciktirici olarak öne çıkmaktadır. Bu kimyasalların yanma sırasında duman miktarını azaltabilmeleri diğer bir avantaj olarak öne çıkmaktadır (Uslu, 2024).

#### **1.4.4.3 Fosfor içeren yangın geciktiriciler**

Fosforlu yangın geciktiriciler, organik veya inorganik yapıda bulunabilmektedir. Bu yangın geciktiriciler, kopolimerizasyon, homopolimerizasyon, yüzey modifikasyonu veya karışım yoluyla polimer zincirine katılım sağlamaktadır. Yanma sırasında, bu tür yangın geciktiriciler polimerlerin yüzeyinde kömürleşmeye neden olarak koruyucu bir karbon tabakası oluşturarak ve yangının ilerlemesine engel olmaktadır. Bu karbon tabakası, polimer yüzeyindeki yanma bölgesine oksijen girişini engelleyerek yanmanın sona ermesini sağlamaktadır (Uslu, 2024).

Amonyum polifosfat (APP) bu grupta yaygın olarak kullanılan yangın geciktiricilerden birisidir. APP suda düşük çözünürlüğe sahip olması dolayısıyla genellikle kabaran yangın geciktirici boyalarda veya ahşap/plastik uygulanan yapı malzemelerinde, yapıştırıcılar ve dolgu macunlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polifosforik asit ve amonyağın inorganik bir tuzu şeklinde tanımlanabilmektedir. Bu polimerik bileşiğin zincir uzunluğu hem değişken hem de dallıdır bu durum bileşiğin farklı özelliklerle kullanılmasını sağlamaktadır. Yangın geciktirici olarak kullanıldığı bileşiklerde APP bozunması ile ise polifosforik asit açığa çıkar ve ortama su alarak soğutucu bir blok oluşturmaktadırlar (Eryücel, 2011).

#### **1.4.4.4 Azot içeren yangın geciktiriciler**

Toksik olmamaları ve çevre dostu özellikleri azot esaslı yangın geciktiricilerin yaygın olarak kullanılmasına neden olmaktadır. Azot içeren yangın geciktiriciler, yanma sırasında amonyak gibi birçok yanıcı olmayan gaz üretebilmektedir. Bu gazlar, havadaki oksijeni ve malzemelerin ayrışmasıyla oluşan yanıcı gazları seyrelterek yanmayı ve yangının yayılmasını engellemektedirler. Fosfor ve azot bileşiklerinin oluşturduğu sinerjik etki sayesinde bir arada kullanıldığında, fosforlu yangın geciktiricilere göre daha iyi termal özellikler sunmakta ve toksik duman oluşumunu azaltmaktadırlar (Uslu, 2024).

#### **1.4.4.5 Silikon içeren yangın geciktiriciler**

Silikon bazlı yangın geciktiriciler, polimerlere eklendiklerinde küçük miktarlarda bile etkili olabilmekte ve yangın geciktirici özelliklerini artırabilmektedirler. Bu maddeler, polimere katkı maddesi olarak eklenebilmekte yada kopolimer veya ana polimer matrisi olarak da kullanılabilirler. Yapılan araştırmalar, düşük miktarda silikon bileşiği ilavesinin, çeşitli polimer malzemelerle karşılaştırıldığında, yoğunlaşma fazında koruyucu bir tabaka oluşturup ve gaz fazında aktif radikalleri tutarak polimerlerin yangın geciktirici özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir (Uslu, 2024).

#### **1.4.4.6 Bor içeren yangın geciktiriciler**

Doğada serbest halde bulunmayan bor elementi, genellikle çeşitli ametal veya metallerle birleşerek farklı özelliklere sahip bileşikler oluşturmaktadır. Endüstride yaygın olarak kullanılan bor bileşikleri arasında çinko borat, borik asit ve boraks öne

çıkılmaktadır. Bor içeren yangın geciktiriciler, selüloz yapısındaki su moleküllerini tutuşma sıcaklığından önce uzaklaştırıp, kömürleşme ile camsı bir koruyucu tabaka oluşturarak yanmanın ilerlemesini engellemektedirler. Bu bileşiklerin yangın geciktirici özellikleri, karbon oksidasyonuna engel olmak amacıyla malzemenin yanan yüzeyine oksijen girişini engelleyerek koruyucu bir tabaka oluşmasını sağlamaktadır. Bor içeren yangın geciktirici malzemeler, geleneksel yangın geciktiricilere kıyasla daha uygun maliyetli ve daha az toksik olmalarıyla da dikkat çekmektedir (Uslu, 2024).

Borun zayıf asidi olarak tanımlanan borik asit, beyaz renkli ve toz formunda suda çözünen bir hammadde. Borik asit, kolemanit cevheri ile sülfürik asidin veya boraks ile bir mineral asidin reaksiyona girmesi ile elde edilmektedir. Borik asit yangın giderici olarak kullanıldığı yerlerde, yangınlanmaya yatkın olan maddelerin yangın karşısındaki tutuşma derecesini azaltarak yanmanın sonlanmasını sağlamaktadır. Borik asit genel olarak fırın camları, laboratuvar cam malzemeleri vb. gibi kullanım alanlarında tercih edilmektedir. Camın yapısına katılan borik asit camın ısıya dayanımı arttırmaktadır. Katıldığı seramik ürünlerinin kimyasal direncini artırır ancak gelen darbelerle kırılma ve çizilme durumunu en aza indirmektedir. Borik asit, seramiklerde bağlayıcı olarak da kullanılmaktadır (Uslu, 2024).

Boraks, doğada tinkal minerali olarak bulunmakta ve endüstride boraks dekahidrat olarak tanınmaktadır. Boraks ürünlerinin üretimi büyük ölçüde tinkal cevherinden yapılmaktadır. Boraks ,yangın geciktirici olarak kullanıldığı zaman toksik gaz oluşumuna sebep olmamaktadır, uçuculuk değeri düşüktür ve çevre dostu olarak bilinmektedir. Boraks, dehidrasyon sıcaklığının düşük olması ve suda çözünürlüğünün yüksek olmasından dolayı genellikle ahşap ürünlerde yaygın biçimde yangın geciktirici olarak kullanılmaktadır. (Uslu, 2024).

#### **1.4.4.7 Antimon içeren yangın geciktiriciler**

Yoğun fazda, yangına karşı fiziksel bir bariyer oluşturarak yanıcı malzemelerin buharlaşmasını engelleyen kömürleşmeyi teşvik eden antimon içeren yangın geciktiriciler tek başına yangın geciktirici olarak görev yapamamaktadırlar. Plastik, kauçuk, tekstil, boya ve kâğıt gibi malzemelerde tipik olarak ağırlıkça %2-10 oranında kullanılmaktadırlar. Yangın sırasında üretilen antimon halojenürler ve halojenür oksitler, yanıcı yüzey üzerinde hareketsiz bir gaz örtüsü oluşturarak oksijen girişini

engellemekte ve yangının yayılmasını önlemektedirler. Bu bileşikler, yangın sıcaklıklarında meydana gelen kimyasal reaksiyonları değiştirerek oksijenin uçucu ürünlerle birleşmesini zorlaştırarak, yangının yayılmasını önlemektedirler (Uslu, 2024).

#### **1.4.5 Kompozit Üretim Metodları**

Kompozit üretim metodları genel olarak altı çeşit olarak tanımlanabilmektedir.

1. El yatırma yöntemi
2. Püskürtme yöntemi
3. Elyaf sarma yöntemi
4. Pultrüzyon yöntemi
5. Ekstrüzyon yöntemi
6. Enjeksiyon yöntemi

##### **1.4.5.1 El yatırma yöntemi**

Yöntem uygulanırken fiberler, hazırlanan kalıp üzerine elle yerleştirilerek sıvı reçine emdirilmektedir. Fiberlerin yerleştirilmesinden önce, kalıp temizlenir ve yapışmayı engellemek amacıyla jelkot uygulanmaktadır. Jelkot, yarı şeffaf ve jöle kıvamında olup, sertleştirici (MEK) ve kobalt ile karıştırılarak kalıba sürülür ve jelkot sertleştikten sonra fiber katmanları yerleştirilmektedir. Son aşamada, kompozit malzemenin tamamlanması için reçine uygulanmaktadır. Bu süreçte, reçinenin elyaf kumaşına iyi nüfuz etmesi önemlidir. El yatırma tekniği, en çok fiberglastan üretilen kompozit parçalar için kullanılır ve yoğun işçilik gerektirmesine rağmen düşük miktartlı üretimler için oldukça uygundur (Ersoy, 2005).

##### **1.4.5.2 Püskürtme yöntemi**

Püskürtme prosesi daha ucuz bir takviye malzemesi olan cam lif şeritleri kullandığı için daha hızlı ve ekonomik bir üretim yöntemi olarak göze çarpmaktadır. Bu yöntemde reçine ve takviye malzemeleri, bir sprey tabancası kullanılarak saatte 1000-1800 libre (yaklaşık 450-800 kg) kapasiteyle uygulanır. Tabanca, filament lif şeritlerini belirli uzunluklarda (20-40 mm) keser ve bu lifleri reçine/katalizör

karışımıyla birlikte kalıba sevk eder. Dayanımın çok kritik olmadığı uygulamalarda, püskürtme metodu en uygun seçenektir (Ersoy, 2005).

#### **1.4.5.3 Elyaf sarma yöntemi**

Elyaf sarma yöntemi, özel şekilli ürünlerin seri üretimi için son derece uygun bir yöntemdir. Bu proses, sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Liflerin farklı açılarla sarılması, çeşitli mekanik özelliklere sahip ürünler elde edilmesini sağlamaktadır. Başlangıç malzemeleri genellikle filament lifler (iplikler) ve sıvı termoset reçinelerdir. Filament sarımda yaygın olarak cam, karbon ve kevlar lifleri kullanılırken, reçine olarak ise epoksi, polyester ve vinil ester tercih edilmektedir. Özellikle, polyester reçine ile cam lifi kombinasyonu, düşük maliyetli uygulamalar için oldukça yaygın olarak tercih edilmektedir (Otabatmaz, 2007).

#### **1.4.5.4 Pultrüzyon yöntemi**

Pultrüzyon işlemi, sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerinin seri üretimini düşük maliyetle sağlayan bir yöntemdir. Bu işlemde, sürekli takviye malzemesi, reçine banyosundan geçirildikten sonra ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçirilerek sertleştirilir (genellikle 120-150 °C aralığında). Kalıplar genellikle krom kaplı parlak çelikten yapılmıştır. Sürekli elyaf kullanımı, takviye yönünde yüksek mekanik mukavemet elde edilmesini sağlamaktadır (Bulut, 2014).

Profil çekme prosesi, düşük maliyetli ve yüksek üretim kapasitesine sahip olan bir işleme yöntemidir. Bu yöntemle, sabit kesitli ve sürekli uzunluktaki parçalar üretilir. Profil çekme yöntemiyle elde edilen parçalar genellikle düzgündür ve ek bir işleme gerektirmezler. Bu yöntem, sabit kesitli katı ve boşluklu yapıların yanı sıra, özel uygulamalar için temel şekillendirilmiş parçaların üretiminde de kullanılmaktadır (Bulut, 2014).

#### **1.4.5.5 Ekstrüzyon yöntemi**

Ekstrüzyon yöntemi, polimer işleme teknikleri arasında oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, enjeksiyon ile üretim yöntemine benzerlik göstermekle birlikte, kullanılan kalıplar açısından farklılık gösterir. Enjeksiyon ile üretim yönteminde kullanılan kalıp kapalıyken, ekstrüzyon yönteminde açık kalıp kullanılır. Ergimiş polimer malzeme, hazne içindeki sonsuz vida tarafından

basınçlandırılarak kalıptan çıkarılır. Bu süreçte, malzeme kalıbı üretilen ürünün kesit geometrisini belirler. Ekstrüzyon yönteminde, polimer malzeme hazne etrafındaki ısıtıcılar tarafından ısınır. Ayrıca, sonsuz vida hareketiyle malzeme teması da ısı üretir ve bu ısılar sayesinde malzeme istenilen akışkanlığa ulaşır (Cho, 2000).

Bu yöntem genellikle termoplastiklerin işlenmesi için tercih edilir. Termoplastik polimer molekülleri uzun zincirli ve rastgele eğilimlidir; bu da onları esnek, yumuşak ve eski şekillerine geri dönebilen malzemeler haline getirmektedir. Üretim oranı yüksek olmasına rağmen, malzeme kaybı genellikle kesme işlemi sırasında meydana gelir ve boyutlarla sınırlıdır. Özellikle OPK'ların çoğu ekstrüzyon yöntemiyle üretilmektedir. Bu yöntemde, materyale güç uygulanarak istenilen şekli oluşturmak için profil oluşturulmaktadır. İşletmeciler, farklı kalıp stratejileri kullanabilirler. Bazıları, bileşik parçaları kalıplara yerleştirir ve son şeklin oluşturulmasını izler. Genellikle üretim hızı 3 m/dakika olarak ilerlemektedir. Orijinal malzemede bulunan rutubet oranı, kurutma dolaplarında bekletilerek düşürülmesi gerekmektedir. Günümüzde, bazı imalatçılar gelişen teknolojiyle birlikte farklı tipte ekstrüderler kullanmaktadır (Hüner, 2008).

#### **1.4.5.6 Enjeksiyon yöntemi**

En az iki parçadan oluşan plastik enjeksiyonu, bir kalıbın içine ergimiş plastik malzemenin belirli bir basınç altında enjekte edilmesi ve ardından soğuyup katılaşmasıyla kalıbın açılarak parçanın çıkarılması işlemidir. Enjeksiyon kalıbında, ısıtılan bileşikler eriyerek yapışkansı bir sıvı haline gelir ve homojenleşir. Bu sıvı, kalıplarda soğutularak tamamlanmış parçaların oluşmasını sağlamaktadır. Plastik enjeksiyonunun önemli avantajlarından biri, seri üretim ve otomasyona uygunluğunun yüksek olmasıdır. Ayrıca, karmaşık yapıdaki parçalar hızlı bir şekilde ek bir işlem gerektirmeksizin üretilebilmektedirler (Hüner, 2008).

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Matuana ve ark. 2007 yılında yaptığı çalışmada ABS'nin OPK üretiminde kullanımı ve darbe arttırıcıların (impact modifier) ABS/odun unu kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Genel olarak, ABS matrisli OPK'ların, poliolefin matrisli olanlara göre eğilme direnci ve elastikiyet modülü daha yüksek bulunmuştur. ABS matrisli OPK'lar, rijit PVC matrisli kompozitlere göre daha düşük eğilme direncine ancak daha yüksek eğilmede elastikiyet modülüne sahip bulunmuştur. ABS matrisli OPK'lar, geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı ve atık miktarının azaltılması açısından umut verici bir yöntem olarak belirtilmiştir.

2008 yılında Liu tarafından yapılan çalışmada ABS atıkları OPK üretiminde kullanılmıştır. Çalışmada, halojenli ve halojensiz yangın geciktiricilerin OPK'ların özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, odun unu ve FR'lerin ABS'li kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülünü arttırdığı, ancak eğilme direncini azalttığını göstermiştir. Tüm yangın geciktirici kullanılan OPK'lar, UL94 testine göre en yüksek yanmazlık derecesi olan V0 derecesine sahip olduğu görülmüştür. Odun unu oranı %30 iken %20 oranında amonyum polifosfat (AP423) kullanımının yeterli olduğu bulunmuştur. Poliolefin bazlı OPK'lar karşılaştırıldığında, ABS bazlı OPK'ların mekanik özelliklerde daha iyi performans gösterdiği ve bu nedenle daha geniş uygulamalara sahip olabileceği tespit edilmiştir. Selülozun kömürleştirici, APP'nin katalizör olarak kullanıldığı halojensiz bir yangın geciktirici sistemi geliştirilmiştir.

Kuo ve ark. 2009 yılında yaptığı çalışmada enjeksiyon kalıplama ile üretilen OPK'ların mekanik özellikleri üzerindeki malzeme kompozisyonlarının (farklı plastik matrisler, odun unları ve bağlayıcı ajanlar dahil) etkileri araştırmıştır. ABS kullanılarak üretilen OPK'ların direnç özellikleri ABS'ye göre daha düşük bulunmuştur. En uygun üretim için odun unu oranının %50'den daha az olması önerilmiştir.

Shu ve diğ. 2009 yılında yaptığı çalışmada, tüketici sonrası elektronik eşyaların geri dönüşümünden elde edilen ABS'in mekanik özelliklerini iyileştirmek için odun unu

ilavesinin etkilerini araştırmıştır. Genellikle geri dönüştürülmüş ABS'nin çeşitli kirleticiler içermesinden dolayı mekanik özellikleri daha düşük ve değişken olduğu, bu nedenle orijinal ve katma değerli uygulamalarda tercih edilmediği belirtilmiştir. Polimer matristeki saf ABS'nin geri dönüştürülmüş ABS ile değiştirilmesi durumunda, ahşap takviyeli %50 ağırlıkça ABS'nin mekanik özellikleri temel olarak değişmediği bulunmuştur. Geri dönüştürülmüş ABS, saf ABS kullanılarak yapılan OPK'larla rekabet edebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Kurt ve Mengeloğlu 2011 yılında yapmış olduğu çalışmada, polipropilen, odun unu, uyumlaştırıcı, bor bileşikleri ve amonyum polifosfat (APP) kullanarak yangın geciktirici OPK üretimini incelemiştir. Çalışma sonunda yangın geciktirici eklenmesinin darbe dayanımı hariç OPK'ların tüm mekanik özelliklerini azalttığını göstermiştir. Ancak, bor bileşikleri kullanılan OPK'larda azalma daha düşük olmuştur. Bor bileşiklerinin APP ile birlikte yangın geciktirici ve sinerjist olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ayrılmış ve ark. 2011 yılında yaptığı çalışmada yangın geciktirici ilavesinin OPK levhaların mekanik ve boyutsal sabitlik özelliklerde düşüşe neden olduğu, çinkoborat (ÇB) içeren OPK levhaların, en iyi performansı gösterdiği ve bunu magnezyum hidroksit (MH) ve APP içeren OPK levhalar takip ettiği bulunmuştur. Yangın geciktirici içeren tüm OPK formülasyonlarının boyutsal sabitlik ve mekanik özellikleri, EN 312 standardı genel amaçlı yonga levha gereksinimlerini karşılamıştır.

2012 yılında Kurt ve ark.'nın yapmış olduğu çalışmada odun unu, yüksek yoğunluklu polietilen, maleik anhidrit aşılanmış polietilen ve çeşitli oranlarda yangın geciktiriciler (APP, borik asit (BA), boraks (BS) ve BA/BS karışımları) içeren OPK'ların mekanik ve yanma özellikleri test edilmiştir. Sonuçlar, yangın geciktirici ilavesinin, darbe dayanımı hariç, OPK'ların mekanik özelliklerini azalttığını göstermiştir. Yangın geciktirici formülasyonunda bor bileşikleri bulunan numunelerde bu azalma daha düşük bulunmuştur.. Çalışma sonuçları, APP katkılı bor bileşiklerinin kullanımının, endüstri için nispeten ucuz, çevre dostu ve halojensiz bir yangın geciktirici alternatifi sağlayacağını göstermiştir.

Zheng ve ark.'nın 2013 yılında yaptığı çalışmada genleşebilir grafit (EG) ve APP, ABS bazlı odun plastik kompozitlerin (OPK) yangın geciktirici özelliklerini iyileştirmek için kullanılmıştır. Sonuç olarak, yangın geciktirici, ABS bazlı OPK yangın geciktirici

özelliklerini iyileştirmiştir. EG ve APP arasında ABS bazlı OPK'larda yangın geciktirici bir sinerji etki önerilmiş ve en iyi oran  $EG/APP = 12.5:7.5$  olarak belirlenmiştir. Yangın geciktirici, OPK'ların termal stabilitesini azaltmıştır ancak kömürleşme kalıntısı ve OPK'ların yangın dayanımı büyük ölçüde iyileştirilmiştir.. Yangın geciktirici katkı maddeleri, ABS bazlı OPK'nin bazı mekanik özelliklerini (çekme ve eğilme direnci) olumsuz yönde etkilemiştir.

2015 yılında Ren ve ark. yaptığı çalışmada farklı yangın geciktirici sinerjistlerin (çinko borat (ÇB), montmorillonit (MMT), manganez dioksit ( $MnO_2$ ) and stannik oksit ( $SnO_2$ )) geri dönüşüm polipropilen, odun unu ve intumesan yangın geciktiricilerden üretilen OPK'ların mekanik özellikler, termal degradasyon ve yanma özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. ÇB ve  $MnO_2$  etkili sinerjist olarak bulunmuştur. Sinerjistlerin %5 oranında eklenmesi istenen yangın geciktirici özelliği (UL94, V0 derecesi) sağlamıştır.

Altun ve ark. 2015 yılına yaptığı çalışmada düşük yoğunluklu polietilen, odun unu ve yangın geciktirici (APP ve kırmızı fosfor) kullanarak üretilen OPK'ların yanma, termal ve mekanik özelliklerini, incelemiştir. %30 ağırlıkça APP ilavesi yanma özelliklerini iyileştirmiştir. Kırmızı fosforun sinerjist olarak kullanımı etkil olmuş ve en faydalı etki, 5:1 (APP-Kırmızı fosfor)) oranında görülmüştür. Kırmızı fosforun ilavesi karbon katının bariyer etkisini azaltmasına rağmen, yangın geciktirici sistemin gaz fazı etkisini artırmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre, kırmızı fosforun APP sisteminin yangın geciktirici etkisini artırma yararı olmasına rağmen, kompozitin direnç özelliklerini azalttığı görülmüştür.

Altuntaş ve ark. 2017 yılında bor bileşikleri (borik asit, boraks ve çinko borat) ve diğer sinerjik etkili yangın geciktirici bileşiklerin (antimon trioksit, amonyum fosfat ve magnezyum hidroksit) lifsel (MDF) atıklar, yüksek yoğunluklu polietilen ve uyumlaştırıcılar kullanılarak üretilen OPK'ların mekanik, termal ve yangın özellikleri incelemiştir. Farklı bor ve diğer yangın geciktirici bileşiklerle yapılan OPK örneklerinin eğilme direnci ile çekme ve eğilmede elastikiyet modüllerini artmıştır. Kompozitlerin darbe dayanımı genel olarak azalmıştır. Yangın geciktirici malzemeler kompozitlere eklendiğinde MAPE'nin eklenmesi artmıştır. %12 çinko borat içeren OPK'lar en iyi yangına dayanıklı performansı göstermiştir.

Altuntaş ve ark. 2017 yılında bor bileşikleri ve diğer sinerjik etkili yangın geciktirici bileşiklerin (antimoni trioksit, amonyum fosfat ve magnezyum hidroksit) polipropilen, mdf üretimi atık lifleri ve uyum sağlayıcılar kullanılarak üretilen OPK'ların mekanik, termal ve yangın özellikleri üzerindeki etkilerinin incelemiştir. Farklı bor ve diğer yangın geciktirici bileşiklerle yapılan OPK örneklerinin mekanik özelliklerinde azalma görülmüş, ancak çekme ve eğilmede elastikiyet modülleri artmıştır. Kompozitlerin yanma hızı ve sınırlayıcı oksijen indeksi özellikleri, yangın geciktiricilerin kullanımı ile iyileştirildiği gözlemlenmiştir. Termal gravimetrik analiz sonuçlarına göre, her iki yangın geciktiricinin de termal bozunmayı ertelediği ve 800 °C'de karbon artığının miktarını artırdığı görülmüştür.

2019 yılında Kalali ve ark. tarafından yapılan çalışmada polipropilen, odun unu, uyumlaştırıcı ve yangın geciktiriciler (olarak amonyum polifosfat (APP) ile fitik asit modifiye çift katmanlı hidroksit (Ph-LDH) kombinasyonu) ile üretilen OPK'ların mekanik ve yanma özellikleri araştırılmıştır.. Termogravimetrik analizler, Ph-LDH'nin OPK'ların daha erken termal bozunmasına ve bozunma sırasında daha termal olarak stabil ürünler oluşturmaya neden olduğunu göstermiş, bu da geliştirilmiş karbon oluşumunu sağlamıştır. APP'ye Ph-LDH eklemenin yangın performansı üzerinde sinerjistik bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. APP'nin kısmi olarak polipropilen (PP) ile değiştirilmesi, çekme ve darbe direnci özelliklerinde azalmaya yol açmış, ancak nano-doldurucuların eş zamanlı olarak eklenmesi yangın geciktirici OPK'ların mekanik performansını artırmıştır.

2021 yılında Doğan ve ark. tarafından yapılan derleme çalışması, bor bileşiklerinin yangın geciktirici mekanizmalarını ve sonuçta oluşan polimerik malzemelerin yanma özelliklerini anlama konusundaki son teknolojiyi özetlemektedir. Bor bileşikleri, lignoselülozik malzeme içeren biyokompozitlerde tek başına veya diğer yangın geciktirici maddelerle birlikte kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda, bor bileşiğinin tek başına kullanılmasıyla dikkate değer derecede yangın geciktirme iyileştirmesi gözlemlenmiştir. Gelecekteki çalışma yönleri için, boron bileşiklerinin tüm selüloz kompozitlerinde yangın geciktirici katkı maddesi olarak yüksek potansiyele sahip olduğu da önerilmektedir. Boron bileşiklerinin, bor bileşikleri ve mineral dolguların reaksiyonuyla metal boratların oluşumuyla bariyer etkisinin arttığı gösterilmiştir. Yangın geciktirici sistemlerinde, bor bileşikleri genellikle kömür kalıntısının bariyer

etkisini artırarak kömürleşme verimini artırarak etki göstermektedirler. Borosilikat tipi elastomerlerle kullanıldığında, damlama durdurma gözlemlenmiştir.

2021 yılında Yu ve ark. tarafından yapılan çalışmada beş farklı geri dönüştürülmüş plastik ve kavak odunu içeren OPK'ların sıcak kalıplama yöntemiyle hazırlanarak mekanik ve hidrofobik özelliklerini değerlendirmiştir. Sonuç olarak ağırlık oranı %80 odunu ve %20 ABS olan OPK, en iyi mekanik direnç ve hidrofobik özellikleri göstermiştir. OPK'nın mükemmel özellikleri, sıcak kalıplama sürecinde hücre duvarının çökmesi sayesinde oluşan lifler arasındaki iyi fiziksel dayanıklılık ve kimyasal bağlanma ile ilişkilendirilmiştir. Plastiğin viskoz durumu, lif yüzeyini kaplayarak veya çatlakların bir kısmını doldurarak, higroskopik hidroksil gruplarının maruz kalmasını azaltmış ve böylece malzemenin hidrofobikliğini artırmıştır.

Kumar ve ark. 2022 yılında yaptığı çalışmada bor bileşikleri ve APP'nin OPK'lerde yangın geciktiricilik, termal stabilite ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. OPK üretimi için odun lifleri bor bileşikleri ile ön işlemden önce, NaOH ile yıkanmıştır. Odun liflerinin alkali ile yıkanması, OPK'lerin eğilme direnci, termal stabilite ve ısı açığa çıkış hızı üzerinde olumlu etki göstermiştir. Bor bileşiklerinin APP'ye eklenmesi, OPK'de erken kömürleşme oluşumunu başlatmıştır. OPK'de termal stabilite konusunda en iyi sonuçlar, NaOH %5 / Borik asit-Boraks %5 / APP %10 şartları altında elde edilmiştir. Alkali ile yıkanmış lifler/Bor Bileşikleri/APP kombinasyonu da OPK'lerde daha iyi yangın geciktiricilik göstermiştir.

2023 yılında Ge ve ark. tarafından yapılan çalışmada mükemmel fiziksel, mekanik özellikler, iyi su direnci, ısı direnci ve termal iletkenlik özelliklere sahip bir poplar-ABS kompoziti, yenilikçi bir tek adımda hazırlama yöntemi ile üretilmiştir. Bu nedenle, yapısal bir malzeme olarak kontrplak yerine potansiyel olarak kullanılabilir. ABS plastiğinin yapıştırıcı olarak iç kısımlara nüfuz etmesi ve lifleri yakından bağlayarak termoplastik işleme sürecinde yoğun bir yapı oluşturmaktan kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, plastik atık ve ahşap malzeme kullanılarak üretilen ahşap plastik kompozitleri, plastik bozulma sorununu ele alırken aynı zamanda çeşitli uygulamalarda kullanılabilecek potansiyel bir malzeme olarak umut verici bir çözüm sunmaktadır.

Phung ve ark. 2024 yılındaki çalışmada jackfruit ağacının unu ve ABS plastik kullanılarak, herhangi bir kimyasal işlem yapılmadan OPK üretilmiştir. Ağırlıkça %15

ila %25 oranında odun unu eklemek, kompozitlerin katılığını %19 oranında artırmıştır. Ancak, odun unu %10'dan, %25'e çıktığında çekme direnci %13 azalmıştır. Odun unu oranının ağırlıkça %10'dan %30'a artırılması ile mekanik özelliklerde azalma görülmüştür.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmada kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilmiş ve kompozitlerin üretim süreçleri ile elde edilen malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen testler ve analizler açıklanmıştır.

#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1 Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS)

Çalışmada üretilen kompozit ürünlerde, matris malzemesi olarak geri dönüşüm ABS kullanılmıştır. Kullanılan ABS, levha haline getirilmiş ve daha sonra firmaya ait çeşitli ürünlerde kullanılmıştır. Bu ürünler, firmanın parça atıkları olarak temin edilmiştir ve Şekil 3.1’de gösterilen ürünün teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1:** ABS numunesine ait teknik özellikler.

| Kimyasal Formül       | Yoğunluk                | Görünüm | Erime noktası | Gerilme Direnci        |
|-----------------------|-------------------------|---------|---------------|------------------------|
| $C_8H_8C_4H_6C_3H_3N$ | 1,04 gr/cm <sup>3</sup> | Pellet  | 210-240 °C    | 520 kg/cm <sup>2</sup> |



**Şekil 3.1 :** Abs atık.

##### 3.1.2 Odun Unu

Kayın ağacı, Orta Avrupa'dan Balkan Yarımadası, Yunanistan ve Bulgaristan üzerinden Kafkasya'ya kadar geniş bir alanda, Karadeniz Bölgesi ve Türkiye'de yaygın şekilde görülmektedir. Kayın ağacı, mobilya üretiminde biçilmiş kereste olarak tercih edilmekte, ayrıca yakacak odun, kutular, banklar, paletler, oyuncaklar ve ahşap esaslı

paneller (sunta, levha) gibi ürünlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Orta yüksek yoğunluklu bir yapraklı ağaç olarak sınıflandırılan kayın ağacı, yüksek şok direnci gösterir ve buharla bükme işlemleri için oldukça elverişlidir (Aykanat, 2019). Kayın ağacı, genellikle böcek ve mantarlara karşı dayanıksız olarak kabul edilmektedir. İşlenmesi kolay olduğu için mobilya ürünlerinden spor aletlerine kadar geniş bir kullanım alanı mevcuttur. Bununla birlikte odun kömürü yapımında da değerlendirilebilmektedir (Forest Products Laboratory, 1999). Kayın ağacının bazı özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiş ve deneylerde kullanılan numune örneği Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Çalışmada kullanılan kayın ağacına ait odun unu mobilya ürünleri için ahşap ayak işlenmesi yapılan bir firmadan atık olarak temin edilmiş ve OPK üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılmıştır.

**Çizelge 3.2:** Kayın ağacı özellikleri (Bozkurt, 2000).

| Yoğunluk                     | Gerilme Direnci       | Eğilme Direnci        |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,68-0,72 gr/cm <sup>3</sup> | 132 N/mm <sup>2</sup> | 120 N/mm <sup>2</sup> |



**Şekil 3.2 :** Kayın odun unu.

### 3.1.3 Uyumlaştırıcılar

Çalışmanın ilk aşamasındaki odun-kompozit ürünlerin üretimi sırasında uyumlaştırıcı olarak maleik anhidrit ve dikünil peroksit kullanılmıştır. Uyumlaştırıcı içeren her numune de 15 gr uyumlaştırıcı için %83 maleik anhidrit %17 ise dikünil peroksit bulunmaktadır. Maleik anhidrit ürünün teknik özellikleri Çizelge 3.3’de, dikünil peroksitin Teknik özellikleri ise Çizelge 3.4’de verilmiştir.

**Çizelge 3.3 :** Maleik anhidrit teknik özellikleri (Clariant, 2024).

| Kimyasal Formül                              | CAS      | Yoğunluk                | Görünüm       | Erime Noktası |
|----------------------------------------------|----------|-------------------------|---------------|---------------|
| C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 108-31-6 | 1,48 gr/cm <sup>3</sup> | Beyaz kristal | 52 °C         |

**Çizelge 3.4 : Dikünil peroksit teknik özellikleri (Nouryon, 2022).**

| Kimyasal Formül   | CAS     | Yoğunluk                | Görünüm       | Erime Noktası |
|-------------------|---------|-------------------------|---------------|---------------|
| $C_{18}H_{22}O_2$ | 80-43-3 | 1,11 gr/cm <sup>3</sup> | Beyaz kristal | 39 °C         |

### 3.1.4 Yangın Geciktiriciler

Çalışmanın ikinci aşamasındaki odun-kompozit ürünlerin üretimi sırasında yangın geciktirici olarak AY-KİM markasının CAS: 1330-43-4 numaralı boraks, yine aynı markaya ait CAS:10043-35-3 numaralı borik asiti kullanılmıştır. Amonyum polifosfat olarak ise Clariant markalı DEH2037075 numaralı ürünü kullanılmıştır. Borik asit teknik özellikleri Çizelge 3.5’de, boraks teknik özellikleri ise Çizelge 3.6’da, amonyum polifosfat Teknik özellikleri ise Çizelge 3.7’de verilmiştir.

**Çizelge 3.5 : Borik asit teknik özellikleri (Ay-kim, 2024).**

| Kimyasal Formül | CAS        | Yoğunluk                | Görünüm       | Erime Noktası |
|-----------------|------------|-------------------------|---------------|---------------|
| $H_3BO_3$       | 10043-35-3 | 1,43 gr/cm <sup>3</sup> | Beyaz kristal | 170 °C        |

**Çizelge 3.6 : Boraks teknik özellikleri (Ay-kim, 2024).**

| Kimyasal Formül       | CAS       | Yoğunluk                | Görünüm       | Erime Noktası |
|-----------------------|-----------|-------------------------|---------------|---------------|
| $Na_2H_{20}B_4O_{17}$ | 1330-43-4 | 2,36 gr/cm <sup>3</sup> | Beyaz kristal | 741 °C        |

**Çizelge 3.7 : Amonyum polifosfat teknik özellikleri (Clariant, 2024).**

| Kimyasal Formül | CAS        | Yoğunluk               | Görünüm   | Bozunma Sıcaklığı | Partikül Boyutu |
|-----------------|------------|------------------------|-----------|-------------------|-----------------|
| $NH_4PO_3$      | 68333-79-9 | 1,9 gr/cm <sup>3</sup> | Beyaz toz | >275°C            | <=100 µm        |

## 3.2 Yöntem

### 3.2.1 Numunelerin Üretilmesi

Çalışmada iki aşamalı numune üretimi ve test ve analiz süreci yapılmıştır.. Çalışmada uyumlaştırıcı olarak kullanılan maleik anhidrit ve dikünil peroksit malzemelerinin üretilen kompozit malzemenin fiziksel, mekanik, termal ve yanma özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Bu inceleme için üretilen numunelerin içerik yüzdeleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

**Çizelge 3.8 :** Birinci aşamaya ait opk ürünlerin içerik yüzdeleri.

| Numune Grupları | İçerik                       |
|-----------------|------------------------------|
| ABS             | %100 ABS                     |
| KO              | %97 ABS + %3 US              |
| A1              | %87,5 ABS + %12,5 OU         |
| A2              | %84,5 ABS + %12,5 OU + %3 US |
| A3              | %75 ABS + %25 OU             |
| A4              | %72 + %25 OU + %3 US         |

US: Uyumlaştırıcı, OU: Odun unu

Çalışmada ikinci aşama olarak üretilen numunelerde yangın geciktrici olarak kullanılan borik asit, boraks ve amonyum polifostaf ürünlerinin kompozit malzemede fiziksel, mekanik, termal ve yanma özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Bu inceleme için üretilen numunelerin yüzde olarak içerikleri Çizelge 3.9’da verilmiştir.

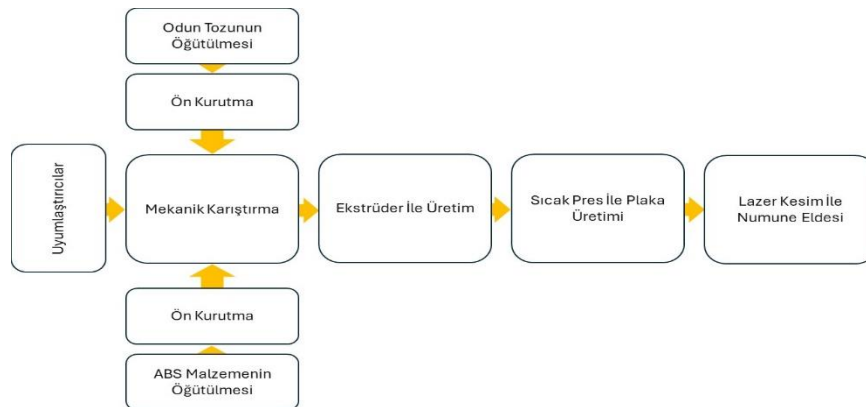
Borak ve borik asit karışımı ve APP oranı Kurt ve Mengeloğlu (2011) ve Kurt ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar verdiği için kullanılmıştır.

**Çizelge 3.9 :** İkinci aşamaya ait opk ürünlerin içerik yüzdeleri.

| Numune Grupları | İçerik                                                        |
|-----------------|---------------------------------------------------------------|
| KF              | %100 ABS + %3BB (%1,59 BA + %1,14 BS) + % %22 APP             |
| A1F             | %62,5 ABS + %12,5 OU + %3BB (%1,59 BA + %1,14 BS) + % %22 APP |
| A3F             | %75 ABS + %25 OU + %3BB (%1,59 BA + %1,14 BS) + % %22 APP     |

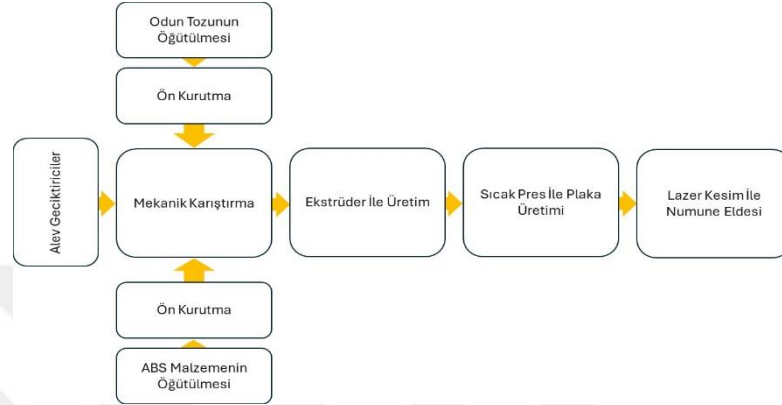
BB: Bor bileşikler, BA: Borik asit, BS: Boraks, APP: Amonyum polifosfat

Çalışmada birinci aşama numune üretimi Şekil 3.3’de verilen sırayı izleyerek yapılmıştır.



**Şekil 3.3 :** İlk aşama numune üretim şeması.

Çalışmada ikinci aşama numune üretimi ise birinci aşamadaki ürünlerin fiziksel ve mekanik testlerinin ardından çıkan sonuçlara göre en uygun numune grubu seçilerek yapılmıştır. İkinci aşamada uyumlaştırıcıların mekanik özelliklerde yeterince iyileştirme yapmaması ve süreci yalınlaştırmak için uyumlaştırıcı katkılı gruplar kullanılmamıştır. Şekil 3.4’de verilen süreç sıralamasına göre OPK malzemenin üretimi ve testleri yapılmıştır.



Şekil 3.4 : İkinci aşama numune üretim şeması.

### 3.2.1.1 Öğütme işlemi

Kompozit malzeme içerisinde bulunan matris ve takviye elemanlarının, homojen bir şekilde karışması ve üretim aşamalarının daha kolay hale gelebilmesi için Fritsch Pulverisette 19 markalı öğütücü ile öğütülmüştür. Cihaz görseli Şekil 3.5’de verilmiştir. Öğütme işlemi sırasında ABS için 1 mm, kavak odun unu talaşı ürünleri için ise 0,5 mm’lik elekler kullanılmış ve 60 mesh boyutunda bulunan ürünler kullanılmıştır.



Şekil 3.5 : Fritsch öğütme makinesi.

### 3.2.1.2 Mekanik karıştırma

Un halindeki malzemeler, 600 rpm hızında 5 dakika boyunca IKA Eurostar 20 markalı mekanik karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra rutubeti uzaklaştırmak için 103 °C'de 24 saat boyunca etüvde bekletilmiştir.

### 3.2.1.3 OPK'ların ekstrüder ile üretimi

Mekanik karıştırma işlemi bittikten sonrasına tam kuru halde olan malzemeler, Polartek ekstrüder kullanılarak Şekil 10'da gösterilen termokupl sıcaklıkları ve ortalama 30 rpm hızında işlenmiştir. Üretim esnasında kullanılan parametreler Şekil 3.6'te belirtilmiştir.



Şekil 3.6 : Polartek üretim ekranı.

### 3.2.1.4 OPK'ların plaka haline getirilmesi

Ekstrüder makinasından elde edilen iplik halinde karışımı sağlanmıştır, blender kullanılarak kırılmış, 12 saat boyunca 103 °C'de etüve diğе bekletilmiş ve çizelgede belirtilen zaman aralıklarında 200 °C altında pres makinasında kalıplanmıştır. Bu kalıplama işlemi için Carver markalı pres makinası kullanılmış ve Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Carver pres makinesi.

### 3.2.1.5 Lazer kesim makinesiyle test numunelerinin kesilmesi

Manuel pres makinasında yüksek basınçla plaka şeklinde elde edilen kompozit ürünler, uygulanacak testlerdeki standartlara uygun olarak lazer kesim makinası ile örnek kesim işlemine alınmıştır. Bu işlem sürecinde Kaya markalı KG-960 modeline sahip lazer kesim cihazı kullanılmıştır. Lazer kesim cihazı, %90 güç kapasitesinde ve 10 mm/s hızında çalıştırılmıştır.

## 3.3 Özelliklerin Belirlenmesi

### 3.3.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Bu bölümde üretilen biyokompozit ürünlere uygulanan yoğunluk, su alma oranı ve su içerisinde bekletilen numunelerin kalınlık artış oranı testlerinin sonuçları on adet numuneye yapılan testlerle belirtilmiştir.

#### 3.3.1.1 Yoğunluk değerinin belirlenmesi

Numunelerin yoğunlukları ASTM D792 standardında belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. Örneklerin yoğunluk değerlerini belirlemek için deney örneklerinin tam kuru ağırlıkları tartılmıştır, daha sonra örneklerin kalınlık, genişlik ve uzunlukları ölçülerek hacmi bulunmuştur. Aşağıda verilen 4.1'deki formül ile yoğunlukları hesaplanmıştır.

$$d=m/v \quad (3.1)$$

Denklemdede d: yoğunluk değerini (g/cm<sup>3</sup>), m: ağırlık değerini (g), v: hacim değerini göstermektedir (cm<sup>3</sup>).

### 3.3.1.2 Su alma oranının belirlenmesi

Su alma oranı, ASTM D570 standardına uygun olarak belirlenmiştir. 80x10x3 mm boyutlarında hazırlanan örneklerin ağırlığı ±0.0001 g hassasiyetindeki analitik terazide tartılmıştır ve daha sonra örnekler, deney suresince 20 C'lik saf suda bekletilmiştir. lmleri almak için 2, 24, 48, 72, 96, 120, 144 ve 168 saatlik periyotlar seçilmiştir. Bu surelerin sonunda sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla su bir bezle silinerek ±0.01 g hassasiyetindeki terazide yeniden tartılmıştır. Ardından su alma oranları, verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$SAO (\%) = ((w_r - w_0) / w_0) \times 100 \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de gösterildiği üzere yüzde cinsinden su alma oranını (SAO), w<sub>r</sub>: rutubetli ağırlığı (g), w<sub>0</sub>: kuru ağırlığı (g) göstermektedir.

### 3.3.1.3 Kalınlık artışı oranının belirlenmesi

Kalınlık artış oranları EN 317'de belirtilen esaslara uygun olarak, 4x10x80 mm boyutlarındaki örneklerin boyutları 0,001 mm hassasiyetindeki mikrometre ile ölçülmüştür. lm sonrasında numuneler, 20 C'lik saf suda bekletilmiştir. Saf suda bekleyen numunelerin ölçümleri periyodik olarak, sırasıyla 2, 24, 48, 72, 96, 120, 144 ve 168 saatlik aralıklarla yapılmıştır. Bu lmler sırasında sudan çıkarılan numunelerin üzerindeki fazla su temiz bir bezle silindikten sonra, kalınlıkları ilk ölçüm yapılan noktadan tekrar ölçülmüş ve aşağıdaki formül kullanılarak kalınlık artış oranları hesaplanmıştır:

$$KAO (\%) = ((m_y - e_k) / e_k) \times 100 \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'de gösterildiği üzere yüzde olarak kalınlık artış oranını KAO (mm), suda bekletilen deney örneklerinin kalınlığını m<sub>y</sub> (mm), numunelerin son durumdaki deney örneklerinin kalınlığı e<sub>k</sub> (mm) belirtmektedir.

### 3.3.2 Mekanik zelliklerin Belirlenmesi

Bu bölümde üretilen biyokompozit ürünlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için on adet numuneye çekme, eğilme direnci, çekme ve eğilmede elastikiyet modülü testleri yapılmıştır.

### 3.3.2.1 Çekme Direnci

ISO 527-2 standartlarına uygun olarak çekme testi için 165x10x3 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Bu test için Şekil 3.8’de verilen Shimadzu marka universal mekanik test cihazı kullanılmıştır. Test numuneleri, 23±2 °C sıcaklık ve %50±5 nem seviyesindeki ortam koşullarında 96 saat boyunca şartlandırılmıştır. Birinci ve ikinci aşamada gerçekleştirilen her OPK üretimine ait numune gurubunda **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**’de görüldüğü gibi on adet çekme testi yapılmıştır. Çekme testi, 60±30 sn içerisinde test bitecek şekilde test hızı 10 mm/dk olarak ayarlanmıştır.

$$\sigma_{\text{ç}} = F_{\text{maks}}/A \quad (3.4)$$

Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, denklem 3.4’de gösterildiği formülü ile bulunur.

Burada,

$\sigma_{\text{ç}}$  = Çekme direnci (N/mm<sup>2</sup> )

$F_{\text{max}}$  = Kırılma anındaki max. kuvvet (N)

$A$  = Örnek enine kesit alanı(mm<sup>2</sup>) göstermektedir.

### 3.3.2.2 Çekmede Elastikiyet Modülü

Elastikiyet modülü ASTM D638 standartlarına uygun olarak hesaplanmıştır. Çekmede elastikiyet modülü (veya Young modülü), bir malzemenin elastik (geri dönebilir) deformasyonuna karşı direncini ölçen bir mekanik özelliktir. Bir malzemenin çekme yükü altında ne kadar esnediğini tanımlar ve birim gerilim başına birim deformasyon olarak ifade edilir.

$$E = \sigma_{\text{ç}} / \varepsilon \quad (3.5)$$

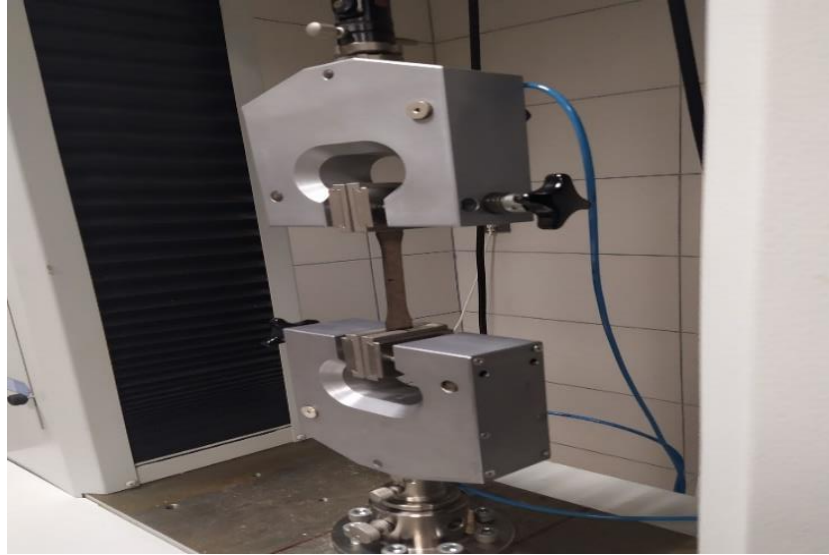
Çekmede elastikiyet modülü, bir malzemenin mukavemetini ve rijitliğini değerlendirmek için kullanılır. Denklem 3.5’de gösterildiği formülü ile bulunur.

Burada,

$E$  = Çekmede Elastikiyet Modülü (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{\text{ç}}$  = Çekme Direnci (N/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Çekme deneyi kopma sırasında oluşan birim uzama olarak tanımlanmaktadır.



**Şekil 3.8 : Çekme testi örneği.**

### **3.3.2.3 Eğilme Direnci**

Eğilme testi için ASTM D790 standardına uygun olarak 127x12x3 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Bu test, Shimadzu marka universal mekanik test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri, 23±2 °C sıcaklık ve %50±5 nem seviyesindeki ortam koşullarında 96 saat boyunca şartlandırılmıştır. Eğilme testi, 60±30 sn içerisinde test bitecek şekilde, 10 mm/dk hızında yapılmıştır. Örnek görsel Şekil 3.9’da verilmiştir.

$$\sigma_e = ((3 \times F \times L) / (2 \times b \times d^2)) \quad (3.6)$$

Eğilme direnci, bir malzemenin bükülme kuvvetine karşı koyma kapasitesini tanımlar. Bu özellik, özellikle yapı malzemelerinin tasarımında ve analizi sırasında önemlidir. Eğilme direnci, bir malzemenin elastikiyet sınırına kadar bükülmeye karşı gösterdiği direnci ifade eder. Eğilme direnci denklem 3.6’de gösterildiği formülü ile bulunur. Burada,

$\sigma_e$  = Eğilme Direnci (N/mm<sup>2</sup>)

F = Kırılma anındaki max. kuvvet (N)

L = Dayanak noktalan arasındaki açıklık (mm)

d = Örnek kalınlığı(mm)

b = Örnek genişliği (mm)

tanımlamaktadır.

### 3.3.2.4 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilme elastikiyet modülü ASTM D790 standardına uygun olarak hesaplanmıştır, bir malzemenin bükülme kuvveti altında elastik deformasyonuna karşı gösterdiği direnci tanımlar. Eğilme elastikiyet modülü, malzemenin rijitliği ve mukavemeti hakkında bilgi sağlar ve genellikle üç nokta eğilme testi veya dört nokta eğilme testi ile belirlenir.

$$E = ((Fxl^3)/(4xbd^3 \times \Delta)) \quad (3.7)$$

Eğilme elastikiyet modülü, denklem 3.7’de gösterildiği formülü ile bulunur.

Burada:

E = Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm<sup>2</sup>)

F = Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

l = Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

d = Örnek kalınlığı (mm)

b = Örnek genişliği (mm)

$\Delta$  = Eğilme miktarı (mm) olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.9 : Eğilme testi örneği.

### 3.3.3 Termal ve Yanama Özelliklerin Belirlenmesi

Bu bölümde üretilen biyokompozit ürünlerin termal özelliklerini belirlemek için on adet numuneye uygulanan termogravimetrik analiz (TGA) ve yanmazlık (UL94) analizlerinden bahsedilmiştir.

### 3.3.3.1 Termogravimetrik analiz (TGA)

TGA analizleri, Yalova Üniversitesi Merkez Laboratuvarından hizmet alımı yapılarak gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri Willey değirmeninde öğütülmüştür. Analizler 200 ml/dk azot akış hızı altında 10 °C/dk sıcaklık artışı ile 25 °C'den 900 °C'ye kadar ısıtılarak gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 5-10 mg arasında numune kullanılmıştır.

### 3.3.3.2 Yanmazlık özelliklerinin belirlenmesi

UL94 analizleri, ASTM D635 standardına göre Yalova Üniversitesi Merkez Laboratuvarından hizmet alımı yapılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama sırasında yangın 45° açıyla test numunesinin alt kenarına 10 mm uzaklıkta olacak şekilde tutulmakta ve bu şekilde 10 sn temas ettirilmektedir. Test numunesinde oluşan yangının sönene kadar geçen süresi kaydedilir. 12,5x13x3 kalınlıktaki örnekler kullanılmıştır.

$$YH=(60 \times L)/t \quad (3.8)$$

Yanma hızı, denklem 3.8'de gösterildiği formülü ile bulunur.

Burada:

YH: Yanma hızı (mm/dak)

L: Yanan kısmın uzunluğu (75 mm)

t: Süre (s) olarak tanımlanmaktadır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu kısımda, çalışma uyumlaştırıcı etkisini araştırıldığı ve yangın geciktiricilerin etkisinin araştırıldığı aşamalar olarak iki ayrı şekilde ele alınacaktır..

### 4.1 Uyumlaştırıcının Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Fiziksel Özellik Analizleri

#### 4.1.1 Yoğunluk sonuçları

OPK’larda yapılan yoğunluk tayini sonuçları verilmiştir. Saf ABS numunesinin en düşük yoğunluğa sahip olduğu ve genel olarak odun unu miktarının yoğunluğu arttırdığı Çizelge 4.1’de görülmektedir.

**Çizelge 4.1 :** Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin yoğunluk sonuçları.

| Ürünler | ABS  | Odun Unu | Uyumlaştırıcı | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) |
|---------|------|----------|---------------|-------------------------------|
| ABS     | 100  | -        | -             | 1,048                         |
| KO      | 97   | -        | 3             | 1,067                         |
| A1      | 87,5 | 12,5     | -             | 1,055                         |
| A2      | 84,5 | 12,5     | 3             | 1,098                         |
| A3      | 75   | 25       | -             | 1,092                         |
| A4      | 72   | 25       | 3             | 1,119                         |

Analiz sonucu incelendiğinde ABS-KO, A1-A2 ve A3-A4 numunleri arasındaki farkın uyumlaştırıcı ile içerdiği ABS miktarı olduğu görülmektedir. Numunenin hem uyumlaştırıcı içermesi ve kompozit içinde bulunan plastik oranındaki azalma yoğunluğun artışına neden olmaktadır. Katkı oranı yüksek olan kompozit malzemelere ait yoğunluktaki bu artışın temelinde ahşap malzemenin masif haldeki yoğunluğunun un halindeki yoğunluğundan daha düşük olması yatmaktadır. Bu durum un formdaki ahşabın içindeki hava boşluğunun daha az olması ile açıklanabilmektedir. 2009 yılında Kuo ve ark. yaptığı çalışmada olduğu gibi geri dönüştürülmüş malzemeler ile elde edilen OPK ürünlerinin yoğunlukları daha fazla çıkmış ve bağlayıcı ilavesi ile bu yoğunlukların arttığı gözlemlenmiştir.

#### 4.1.2 Su alma sonuçları

OPK'ların, uyumlaştırıcı ve odun unu oranının OPK'ların su alma oranı üzerine etkisi incelenmiştir. Bağımsız değişkenlere ait su alma yüzdesi 2, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 saatler dâhilinde 6 grup halinde incelenmiş ve artış yüzdeleri, Çizelge 4.2'de belirtilmiştir.

**Çizelge 4.2 :** Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin su alma oranı sonuçları (% değişim).

| Numune Grupları | 2 saat | 24 saat | 48 saat | 72 saat | 96 saat | 120 Saat | 144 Saat | 168 Saat |
|-----------------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| ABS             | 1,05   | 1,38    | 1,42    | 1,64    | 1,85    | 2,56     | 2,93     | 3,30     |
| KO              | 1,27   | 1,38    | 1,48    | 1,78    | 1,86    | 2,01     | 2,38     | 2,75     |
| A1              | 1,44   | 2,21    | 2,24    | 2,68    | 2,90    | 3,18     | 3,55     | 3,91     |
| A2              | 1,72   | 2,55    | 2,43    | 2,45    | 2,49    | 2,94     | 3,29     | 3,63     |
| A3              | 1,50   | 2,54    | 3,01    | 3,15    | 3,30    | 4,05     | 4,41     | 4,76     |
| A4              | 1,53   | 2,03    | 2,13    | 2,53    | 2,75    | 3,02     | 3,36     | 3,71     |

ABS-KO, A1-A2 ve A3-A4 numunleri arasındaki farkın uyumlaştırıcı ile içerdiği ABS miktarı olduğu bulunmuştur. Su alma oranı sonucu incelendiğinde, numuneler arasında yüksek derecede değişiklik göstermesede odun unu içeren numune örneklerinin daha fazla su alma miktarına sahip olduğu görülmüştür. Yeh ve ark. 2009 yılında yapmış olduğu çalışmada benzer olarak numunelerde odun miktarının artmasının su alma oranını arttırdığı görülmüştür. Bu durumun tersine ise uyum sağlayıcının katkısı su alma miktarını azaltmıştır.

#### 4.1.3 Kalınlık artışı sonuçları

OPK'ların içeriğinde bulunan uyumlaştırıcı, ve odun unu gibi malzemelerin kalınlığa artış oranına etkisi incelenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.3'de verilmiştir.

**Çizelge 4.3 :** Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin kalınlık artışı oranları sonuçları (% değişim).

| Numune Grupları | 2 saat | 24 saat | 48 saat | 72 saat | 96 saat | 120 Saat | 144 Saat | 168 Saat |
|-----------------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| ABS             | 1,13   | 1,46    | 1,50    | 1,72    | 1,93    | 2,64     | 3,01     | 3,38     |
| KO              | 1,39   | 1,50    | 1,60    | 1,90    | 1,98    | 2,13     | 2,50     | 2,87     |
| A1              | 1,44   | 2,21    | 2,44    | 2,68    | 2,92    | 3,15     | 3,39     | 3,62     |
| A2              | 1,34   | 1,94    | 2,23    | 2,57    | 2,88    | 3,05     | 3,37     | 3,57     |
| A3              | 1,50   | 2,76    | 3,18    | 3,24    | 3,42    | 3,61     | 3,77     | 3,89     |
| A4              | 1,68   | 2,18    | 2,28    | 2,68    | 2,90    | 3,17     | 3,51     | 3,86     |

ABS-KO, A1-A2 ve A3-A4 numunleri arasındaki farkın uyumlaştırıcı ile içerdiği ABS miktarı olduğu bulunmuştur. Kalınlık artışı miktarının numunler arasında yüksek derecede değişiklik göstermediği görülmüştür. Buna rağmen uyumlaştırıcı içeren KO, A2 ve A4 numunesi kendi benzerleri olan ve uyumlaştırıcı içermeyen ABS, A1 ve A3 numunesine göre daha az kalınlık artışı miktarına sahiptir. Numuneler içinde bulunan polimer miktarı analiz edildiğinde reçete benzerliğine göre KO, A2 ve A4 numuneri ve ABS, A1 ve A3 numuneleri kendi arasında incelenmiştir. Numune içinde artan odun miktarının kalınlık artışını arttırdığı görülmüştür. Benzer sonuçlar literatür araştırmasında Ge ve ark. 2023 yılında yaptığı çalışmada görülmüştür. Çalışmada genel olarak, odun unu içeriği arttıkça kompozitlerin kalınlık artışında bir artış olduğu ve bağlayıcı ajan kullanımı, ahşap ve plastik matris arasındaki bağlanmayı artırarak su emilimini ve dolayısıyla kalınlık artışını azalttığı gözlemlenmiştir.

## 4.2 Uyumlaştırıcının Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Mekanik Özellik Analizleri

### 4.2.1 Çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü testi sonuçları

OPK'ların içeriğinde bulunan uyumlaştırıcı, ve odun unu gibi malzemelerin çekme direnci üzerine olan etkisi incelenmiş ve sonuç tablosu Çizelge 4.4'de gösterilmiştir. Şekil 4.1 : Çekme direnci testi yapılan numuneler.de tamamlanan test örnekleri verilmiştir.



**Şekil 4.1 :** Çekme direnci testi yapılan numuneler.

Sonuçlar incelendiğinde numune içerisindeki plastik yüzdesi azaldıkça ve odun miktarı yükseldikçe çekme direncinin düştüğü gözlemlenmiştir. A1, A2 ve A3, A4 numuneleri kendi aralarında incelendiğinde plastik oranının azalmasına rağmen

uyumlaştırıcı bulunması nedeniyle çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülünde çok fazla düşüş görülmemektedir. ABS ve KO numuneleri incelendiğinde uyumlaştırıcının bulunması çekme direnci ve çekme elastikiyet modülünün azda olsa olumlu olarak etkilemesi bunu kanıtlar niteliktedir. Matuana ve ark. 2006 yılında yaptıkları çalışmada odun unu miktarının arttığı durumlarda, çekme mukavemetinin azaldığını gözlemlemiştir. Bu durum, odun unu ile matrisin yeterli bütünlüğü sağlayamaması ve kompozit içindeki zayıf bağlanmalardan kaynaklı olabileceği tartışılmıştır.

**Çizelge 4.4 :** Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin çekme direnci testi sonuçları.

| Numune Grupları | Çekme Direnci (N/mm <sup>2</sup> ) | Çekme Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|
| ABS             | 42,5711 ± 4,511                    | 1770,1 ± 107,789                              |
| KO              | 50,8516 ± 0,72                     | 1807,08 ± 86,79                               |
| A1              | 40,2806 ± 3,72                     | 2101,31 ± 91,73                               |
| A2              | 38,6125 ± 3,99                     | 2007,73 ± 68,23                               |
| A3              | 37,1687 ± 2,26                     | 2161,32 ± 71,99                               |
| A4              | 34,5479 ± 2,40                     | 2101,18 ± 112,58                              |

#### 4.2.2 Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testi sonuçları

OPK'ların içeriğinde bulunan uyumlaştırıcı, ve odun unu gibi malzemelerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü üzerine olan etkisi incelenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5 :** Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin eğilme direnci testi sonuçları.

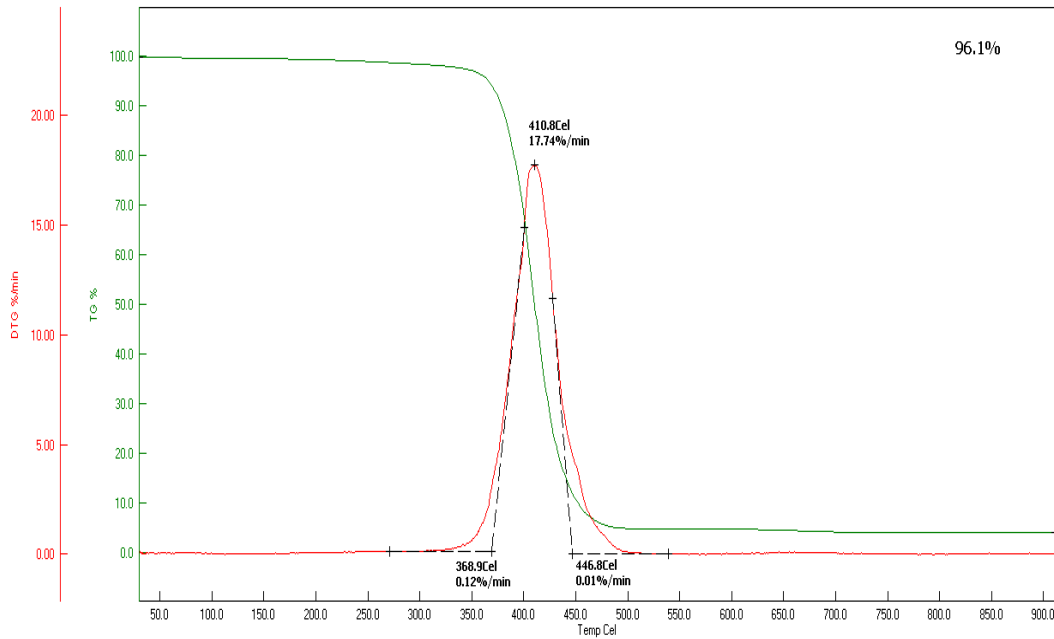
| Numune Grupları | Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> ) | Eğilme Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| ABS             | 76,1004 ± 3,18                      | 2171,17 ± 173,53                               |
| KO              | 82,1417 ± 4,83                      | 2349,21 ± 221,138                              |
| A1              | 63,524 ± 2,92                       | 2808,11 ± 107,018                              |
| A2              | 59,3023 ± 5,049                     | 2893,99 ± 305,586                              |
| A3              | 57,3597 ± 2,88                      | 2968,07 ± 145,966                              |
| A4              | 56,5166 ± 3,33                      | 3246,42 ± 140,301                              |

A1, A2 ve A3, A4 numuneleri kendi aralarında incelendiğinde plastik oranının azalmasına rağmen uyumlaştırıcı bulunması nedeniyle eğilme direncinde çok fazla düşüş görülmemektedir. Eğilmede elastikiyet modülünde ise artış devam etmiştir. ABS ve KO numuneleri incelendiğinde uyumlaştırıcının bulunması eğilme direnci ve

eğilmede elastikiyet modülü azda olsa olumlu olarak etkilemiştir. Phung ve ark. 2024 yılında yaptığı çalışmada eğilme direnci, genellikle ahşap talaşı oranı arttıkça azalmış ve bağlayıcı ajanların kullanımı eğilme direncini iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

#### 4.3 Uyumlaştırıcının Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Termal Özellik Analizleri

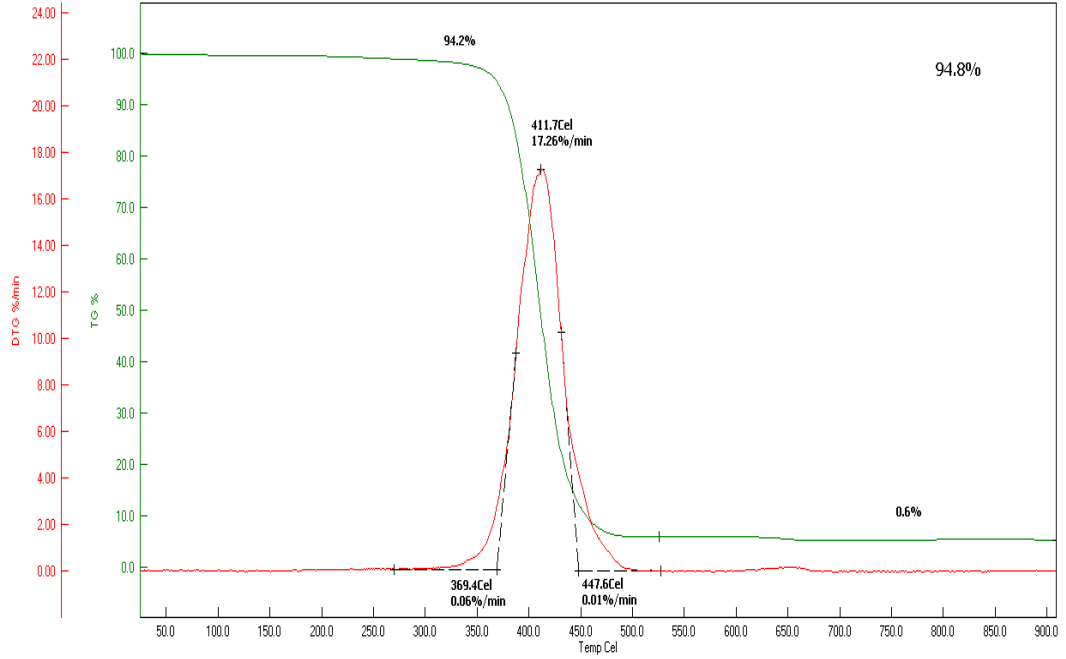
Numunelerin ısıl bozunma davranışlarını belirlemek için TGA analizleri gerçekleştirilmiştir. Saf ABS'nin TGA termogramından 368 °C'da başlayıp 446 °C'da biten ve yaklaşık %88 oranında kütle kaybına denk gelen tek aşamalı bir bozunma gerçekleştiği Şekil 4.2'de görülmektedir. 900 °C'de kalan kütle oranı ise %3,9 olarak belirlenmiştir. %10 kütle yanının gerçekleştiği sıcaklık (T10) ve %50 kütle yanının gerçekleştiği sıcaklık (T50) değerleri ise sırasıyla 378 °C ve 410 °C olarak belirlenmiştir. Bu değerler literatür ile kıyaslandığında biraz düşük bozunma sıcaklıklarının olduğu anlaşılmaktadır. Candido ve diğ. 2014 yılında yaptığı bir çalışmada ABS için T10 ve T50 değerlerini sırasıyla 404 °C ve 433 °C olarak bulmuşlardır. Bir diğer çalışmada ise ABS için T50 değeri 422 olarak (Dipti ve Maiti, 2021), bir başka çalışmada ise bu değer 424 olarak bildirilmiştir (Sabatini ve diğ., 2023). Bu çalışmada bozunma sıcaklığının literatürde verilenlere göre biraz düşük olmasının nedeni geri dönüştürülmüş ABS kullanılması olabilir. Geri dönüşüme uğramış polimerlerin termal bozunma sıcaklıklarının düştüğü bilinmektedir.



Şekil 4.2 : ABS numunesi TGA sonuçları.

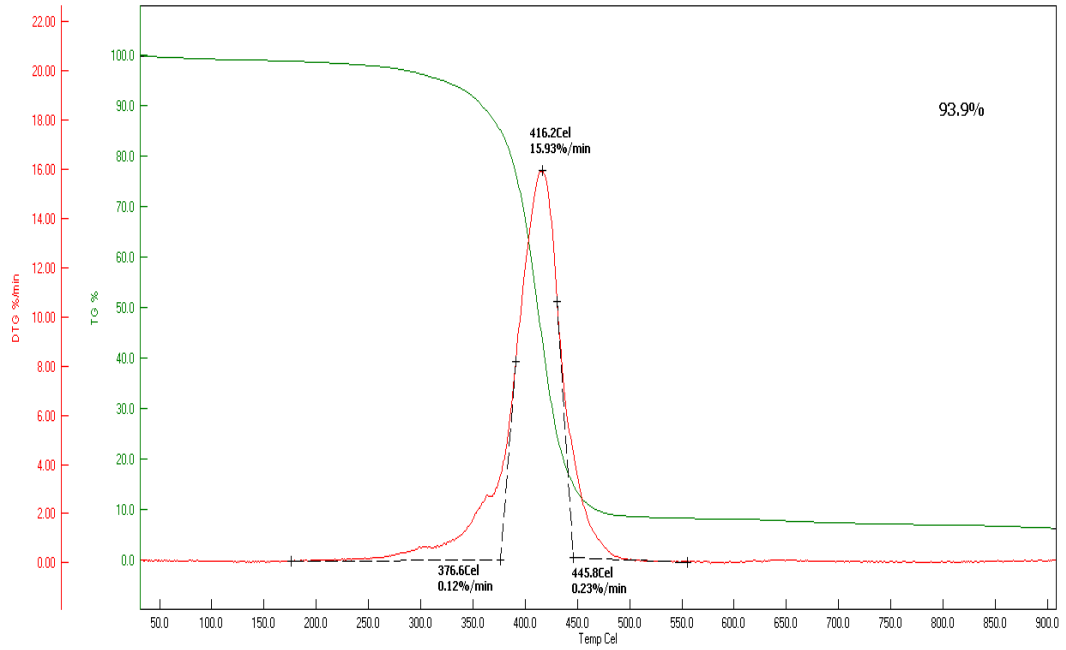
Kütlece %3 oranında uyumlaştırıcı içeren numunenin (KO) termal bozunma sıcaklıklarının değişmeyerek ABS ile aynı sonuçlar verdiği Şekil 4.3’de görülmektedir. Tek kademeli olarak ortaya çıkan bozunmada başlığıç ve bitiş bozunma sıcaklıkları sırasıyla 369 ve 447 °C iken, 900 °C’de kalan kütle oranı ise %5,2’dir.

Bu sonuçlardan uyumlaştırıcı termal bozunma davranışına etki etmezken kalan madde miktarında %1,3 oranında artışa neden olduğu anlaşılmaktadır.



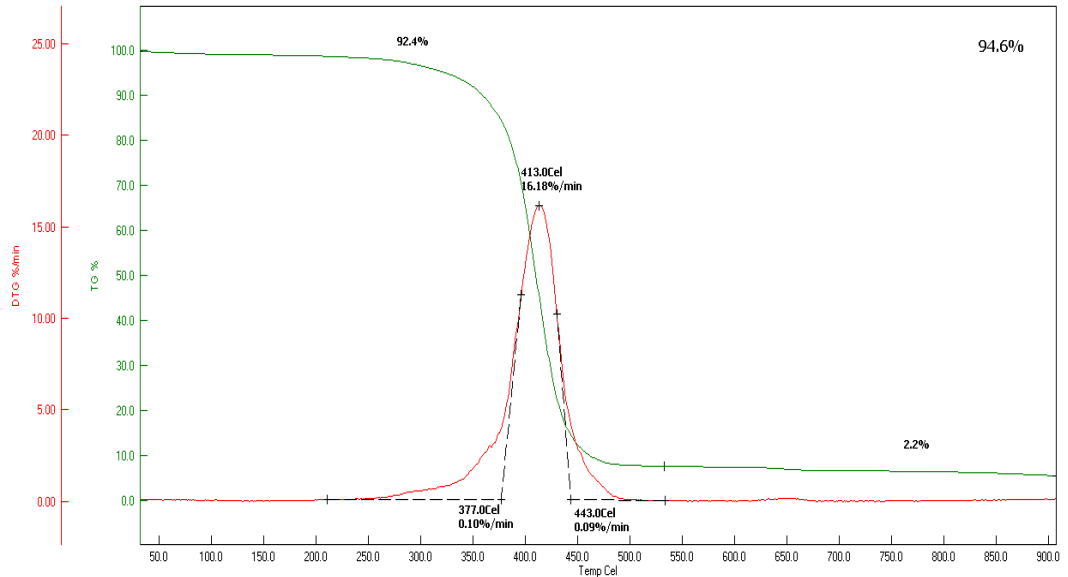
**Şekil 4.3 : KO numunesi TGA sonuçları.**

%87,5 ABS ve %12,5 odun unundan oluşan numunenin (A1) termogramı incelediğinde sırsıyla yavaş ve hızlı kütle kayıpları gözüken iki aşamalı bir bozunma gerçekleştiği Şekil 4.4’de anlaşılmaktadır. İlk aşama bozunma 255 °C’den başlayıp 325 °C kadar devam etmekte ve %13,8’lik bir kütle kaybına denk gelmektedir. İkinci aşama ise 377-443 °C aralığında gerçekleşmekte ve 900 °C kalan madde miktarı %5,4 olduğu görülmektedir. İlk aşamadaki bozunmanın odun unundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Buradaki kütle kaybının odun içeriği olan %12,5’e yakın çıkması bu sonucu doğrulamaktadır.



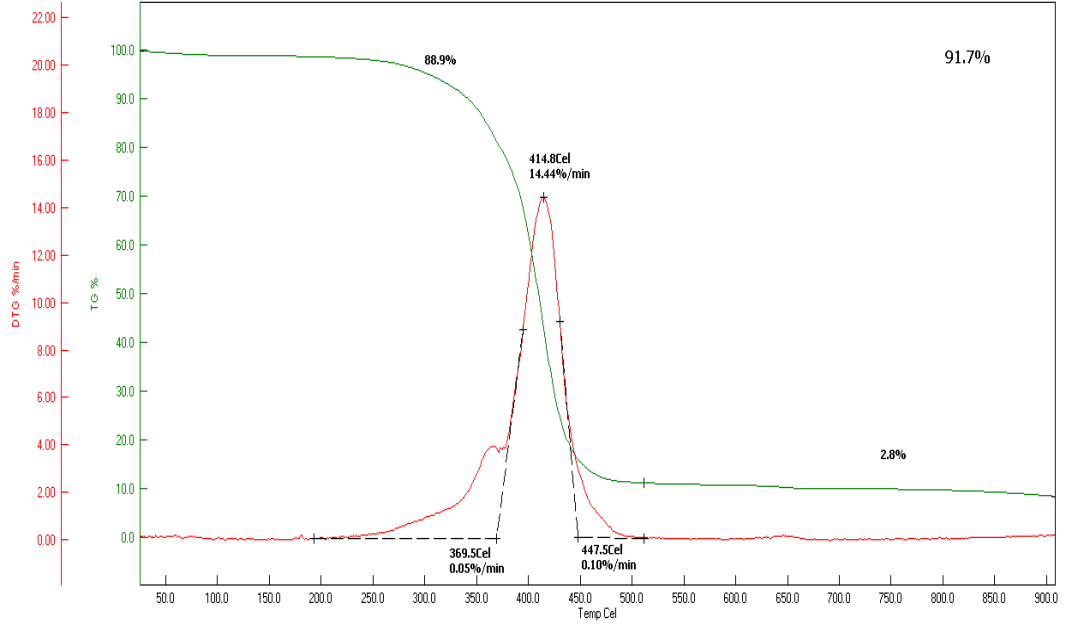
**Şekil 4.4 : A1 numunesi TGA sonuçları.**

%84,5 ABS, %12,5 odun unu ve %3 uyumlaştırıcıdan oluşan numunenin (A2) termogramında yine iki aşamalı bir bozunma gerçekleştiği ve ilk aşamadaki bozunmanın 255-325 °C aralığında %12,9 oranında kütle kaybıyla gerçekleştiği Şekil 4.5’de görülmektedir. Kalan madde miktarı ise %6,1 olduğu, bu değer A1 ile kıyaslandığında fazla olmasının da yine uyumlaştırıcıdan kaynaklandığı anlaşılmaktadır.



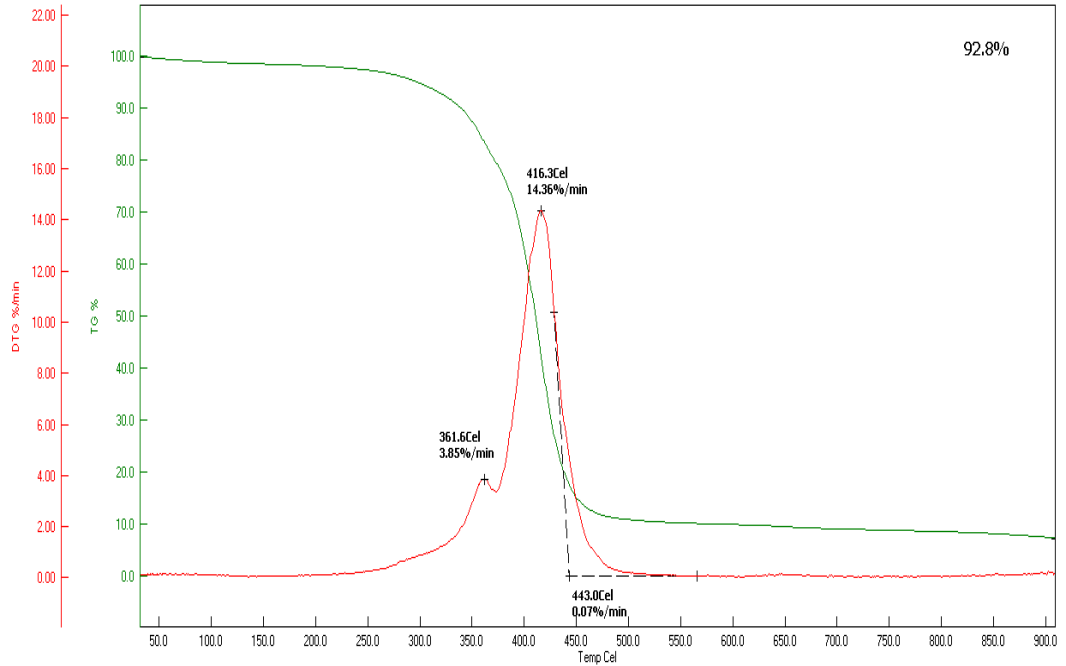
**Şekil 4.5 : A2 numunesi TGA sonuçları.**

%25 oranında odun unu içeren numunelerin (A3 ve A4) termal bozunmaları da iki aşamada ve benzer sıcaklık aralıklarında gerçekleştiği Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de görülmektedir.



Şekil 4.6 : A3 numunesi TGA sonuçları.

İlk bozunmada her iki numunede yaklaşık %22 oranında kütle kaybı gerçekleşmekte ve bu değer odun unu içeriğiyle uyusmaktadır.



Şekil 4.7 : A4 numunesi TGA sonuçları.

#### 4.3.1 Yanmazlık testi sonuçları

Bu kısımda üretilen OPK'ların içeriğinde bulunan uyumlaştırıcı ve odun unu gibi malzemelerin ve UL94 analizleri, ASTM D635 standardına göre yapılmış ve sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

**Çizelge 4.6 :** Uyumlaştırıcı katılan ve katılmayan numunelerin yanma hızı sonuçları.

| Numune Grupları | İçerik                       | Örnek Sayısı | Ortalama (mm/dak) |
|-----------------|------------------------------|--------------|-------------------|
| ABS             | %100 ABS                     | 1            | 62,5              |
| KO              | %97 ABS + %3 US              | 1            | 39,76             |
| A1              | %87,5 ABS + %12,5 OU         | 2            | 40,87             |
| A2              | %84,5 ABS + %12,5 OU + %3 US | 2            | 36,41             |
| A3              | %75 ABS + %25 OU             | 1            | 36,41             |
| A4              | %72 + %25 OU + %3 US         | 1            | 36,23             |

Alev geciktiricilerin yanma hızı üzerindeki etkilerini belirlemek için kontrol (ABS ve KO) (en yüksek yanma hızı) ve %25 odun unu %3 uyumlaştırıcı içeren (A4) (en düşük yanma hızı) OPK'ların yanma hızı değerleri esas alınmış, bunlara göre diğer yangın geciktirici formülasyonlar değerlendirilmiştir. OPK'larda matrise yangın geciktirici ilave edilmeyen örneklerde yanma hızı sıralaması; **ABS>KO>A1>A2=A3>A4** şeklinde gerçekleşmiştir.Çıkan birbirlerine yakın yanma hızı sonucu uyumlaştırıcı malzemenin, yanma hızı üzerinde anlamlı etkisi bulunmamasına neden olmuştur.

#### 4.4 Yangın Geciktiricilerin Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Fiziksel Özellik Analizleri

İlk aşamada üretilen kompozit malzemelerin sonuçlarına göre A1, A3 ve ABS numunelerine yapılan yangın geciktirici takviyesiyle ikinci aşama kompozit malzeme üretimi yapılmıştır

##### 4.4.1 Yoğunluk sonuçları

Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin yoğunluk sonuçları Çizelge 4.7'da verilmiştir.

**Çizelge 4.7 :** Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin yoğunluk sonuçları.

| Numune Grupları | ABS Miktarı | Odun Unu Miktarı | Uyumlaştırıcı Miktarı | Yangın Geciktirici Miktarı | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-------------|------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------|
| ABS             | 100         | -                | -                     | -                          | 1,048                         |
| KF              | 75          | -                | -                     | 25                         | 1,146                         |
| A1              | 87,5        | 12,5             | -                     | -                          | 1,055                         |
| A1F             | 62,5        | 12,5             | -                     | 25                         | 1,157                         |
| A3              | 75          | 25               | -                     | -                          | 1,092                         |
| A3F             | 50          | 25               | -                     | 25                         | 1,112                         |

ABS-KF, A1-A1F ve A3-A3F kendi içlerinde incelenmiştir ve analiz sonucuna göre yangın geciktirici katkısı olan numunelerde yoğunluk artışı bulunmaktadır. Ren ve ark. 2015 yılında yaptığı çalışmada yangın geciktirici takviyesinin numunelerde yoğunluğu arttırdığı gözlemlenmiştir.

#### 4.4.2 Su alma sonuçları

Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin su alma oranı sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

**Çizelge 4.8 :** Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin su alma oranı sonuçları (% değişim).

| Numune Grupları | 2 saat | 24 saat | 48 saat | 72 saat | 96 saat | 120 Saat | 144 Saat | 168 Saat |
|-----------------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| ABS             | 1,05   | 1,38    | 1,42    | 1,64    | 1,85    | 2,56     | 2,93     | 3,30     |
| KF              | 0,80   | 2,11    | 2,34    | 2,62    | 2,76    | 2,76     | 3,10     | 3,45     |
| A1              | 1,44   | 2,21    | 2,24    | 2,68    | 2,90    | 3,18     | 3,55     | 3,91     |
| A1F             | 1,75   | 2,77    | 2,80    | 2,87    | 3,24    | 3,38     | 3,72     | 4,06     |
| A3              | 1,50   | 2,54    | 3,01    | 3,15    | 3,30    | 4,05     | 4,41     | 4,76     |
| A3F             | 2,91   | 3,84    | 4,13    | 4,71    | 4,80    | 5,04     | 5,42     | 5,79     |

ABS-KF, A1-A1F ve A3-A3F kendi içlerinde incelenmiştir ve analiz sonucuna göre yangın geciktirici katkısı olan numunelerde su alma artışı bulunmaktadır. Yangın geciktirici ürünlerin bulunduğu KF, A1F ve A3F numune grupları içindeki plastik yüzdesinin azalması su alma miktarının artması sonucundaki asıl nedeni göstermektedir. 2022 yılında Kumar ve ark. yaptığı çalışmada yangın geciktiricilerin numunelerin su alma oranını arttırdığı gözlemlenmiştir.

#### 4.4.3 Kalınlık artışı sonuçları

Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin kalınlık artışı oranı sonuçları

Çizelge 4.9’de verilmiştir.

**Çizelge 4.9 :** Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin kalınlık artışı oranı sonuçları (% değişim).

| Numune Grupları | 2 saat | 24 saat | 48 saat | 72 saat | 96 saat | 120 Saat | 144 Saat | 168 Saat |
|-----------------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| ABS             | 1,13   | 1,46    | 1,50    | 1,72    | 1,93    | 2,64     | 3,01     | 3,38     |
| KF              | 0,89   | 2,20    | 2,43    | 2,71    | 2,85    | 2,85     | 3,19     | 3,54     |
| A1              | 1,44   | 2,21    | 2,44    | 2,68    | 2,92    | 3,15     | 3,39     | 3,62     |
| A1F             | 1,98   | 2,37    | 2,77    | 3,16    | 3,55    | 3,95     | 4,34     | 4,73     |
| A3              | 1,50   | 2,76    | 3,18    | 3,24    | 3,42    | 3,61     | 3,77     | 3,89     |
| A3F             | 2,94   | 3,87    | 4,16    | 4,74    | 4,83    | 5,07     | 5,45     | 5,82     |

ABS-KF, A1-A1F ve A3-A3F kendi içlerinde incelenmiştir ve analiz sonucuna göre yangın geciktirici katkısı olan numunelerde kalınlık artışı artışı bulunmaktadır. Yangın geciktirici ürünlerin bulunduğu KF, A1F ve A3F numune grupları içindeki plastik yüzdesinin azalması kalınlık artışı sonucundaki nedeni göstermektedir. Bununla birlikte Kumar ve Chauhan’ın 2022 yılında yaptığı çalışmada yangın geciktiricilerin kalınlık artışı üzerinde önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur.

#### 4.5 Yangın Geciktiricinin Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Mekanik Özellik Analizleri

##### 4.5.1 Çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü testi sonuçları

Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü üzerine olan etkisi incelenmiş ve sonuç tablosu Çizelge 4.10’da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.10 :** Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü testi sonuçları.

| Numune Grupları | Çekme Direnci (N/mm <sup>2</sup> ) | Çekmede Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| ABS             | 42,5711 ± 4,511                    | 1770,1 ± 107,789                                |
| KF              | 33,5585 ± 0,78                     | 1796,53 ± 81,82                                 |
| A1              | 40,2806 ± 3,72                     | 2101,31 ± 91,73                                 |
| A1F             | 35,8522 ± 1,28                     | 2068,04 ± 97,18                                 |
| A3              | 37,1687 ± 2,26                     | 2161,32 ± 71,99                                 |
| A3F             | 25,8551 ± 1,93                     | 1928,53 ± 94,36                                 |

ABS-KF, A1-A1F ve A3-A3F numuneleri kendi aralarında incelendiğinde plastik oranının azalmasına rağmen çekme direnci ve çekme elastikiyet modülünde çok fazla düşüş olmadığı görülmektedir. Yangın geciktirici içeren KF-A1F ve A3F sonuçları

dikkate alındığında ise numune grupları içerisindeki plastik yüzdesi ciddi şekilde azalmasına rağmen çekme direnci ve çekme elastikiyet modülünde aynı etkide bir düşüş görülmemektedir. İncelenen literatür çalışmlarında Nadir ve ark. 2011 yılında yapmış olduğu çalışmada yangın geciktirici eklenen numunelerin, eklenmeyen numunelere göre daha düşük çekme direncine sahip olduğu görülmüştür.

#### 4.5.2 Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testi sonuçları

Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü üzerine olan etkisi incelenmiş ve sonuç tablosu Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.11 :** Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testi sonuçları.

| Numune Grupları | Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> ) | Eğilme Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| ABS             | 76,1004 ± 3,18                      | 2171,17 ± 173,53                               |
| KF              | 64,5349 ± 2,50                      | 2331,92 ± 142,22                               |
| A1              | 63,524 ± 2,92                       | 2808,11 ± 107,018                              |
| A1F             | 61,2818 ± 3,54                      | 2794,51 ± 86,13                                |
| A3              | 57,3597 ± 2,88                      | 2968,07 ± 145,966                              |
| A3F             | 52,1468 ± 3,90                      | 2782,39 ± 257,244                              |

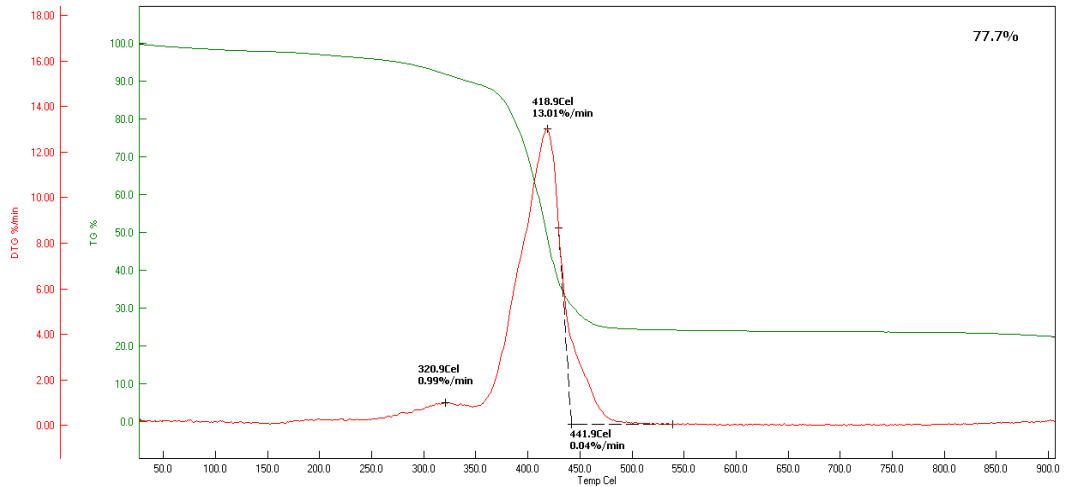
ABS-KF, A1-A1F ve A3-A3F numuneleri kendi aralarında incelendiğinde plastik oranının azalmasına rağmen eğilme direnci ve eğilme elastikiyet modülünde çok fazla düşüş olmadığı görülmektedir. Yangın geciktirici içeren KF-A1F ve A3F sonuçları dikkate alındığında ise numune grupları içerisindeki plastik yüzdesi ciddi şekilde azalmasına rağmen eğilme direnci ve eğilme elastikiyet modülünde aynı etkide bir düşüş görülmemektedir.

#### 4.6 Yangın Geciktiricinin Üretilen Kompozit Malzeme Üzerindeki Termal ve Yanma Özellik Analizleri

Tüm numunelerin termal ve yanma özellikleri analizleri Yalova Üniversitesi Merkez Laboratuvarından hizmet alımı yapılarak gerçekleştirilmiştir.

#### 4.6.1 Termogravimetrik analiz (TGA) testi sonuçları

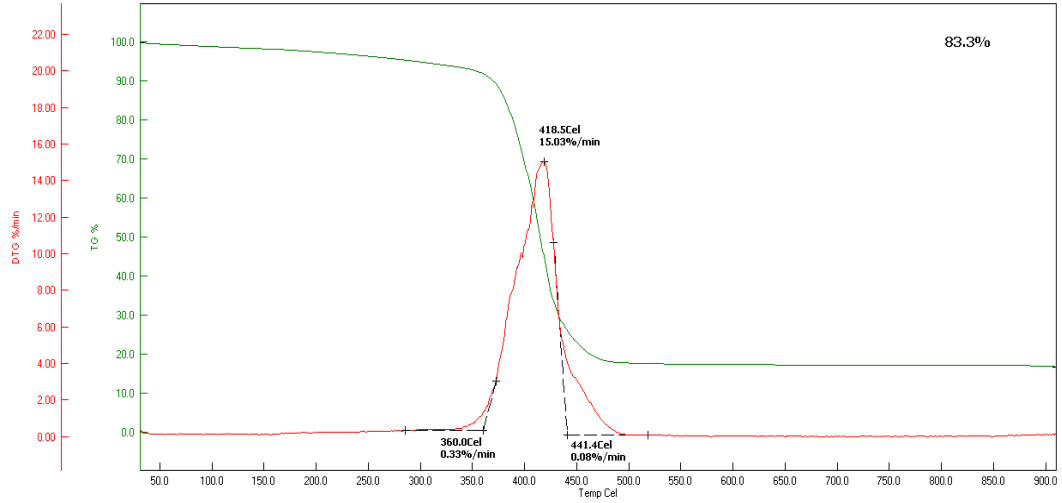
ABS ve yanmazlık katkıları içeren numunenin (KF) sonucu incelendiğinde, ABS'den farklı olarak iki aşamada kütle kaybının olduğu Şekil 4.8'de görülmektedir. İlk aşamada kütle kaybı hızı çok yavaş olup 150-360 °C sıcaklık aralığında ve %6,4 oranında kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu kütle kaybı borik asit ve boraks yapısındaki hidroksil ve hidratların su olarak uzaklaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 900 °C'de kalan kütle oranı %16,7'dir ve ABS ile kıyaslandığında %12,8'lik fark inorganik esaslı yanmazlık katkılarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.8 : KF numunesi TGA sonuçları.

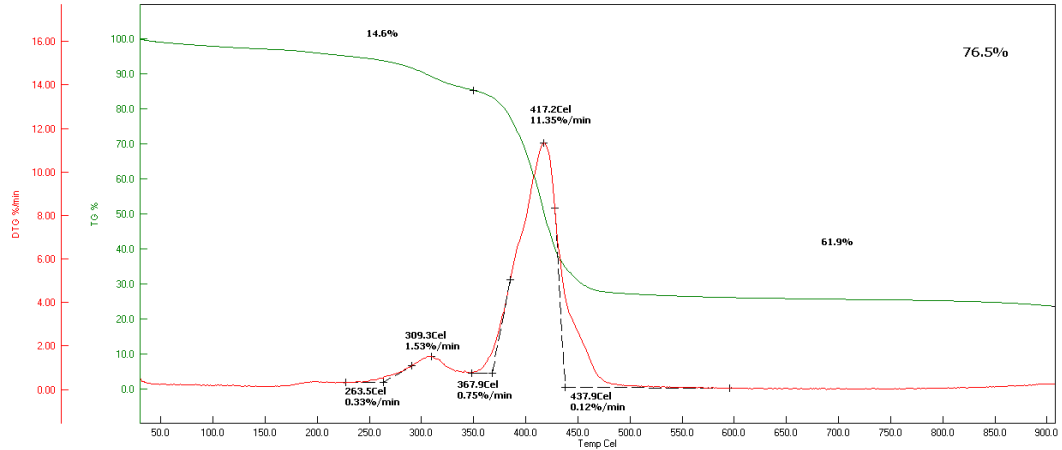
ABS, odun unu ve yanmazlık katkıları içeren numunelerde ise üç aşamalı bir bozunma olduğu Şekil 4.9'de görülmektedir. Her iki numunede de ilk bozunma aralığı 150-260 °C, ikinci bozunma aralığı 260-360 ve üçüncü bozunma aralığı ise 360-440 °C

şeklinde oluşmaktadır. %12,5 odun unu içeren numunede (A1F) bölgelerdeki kütle kayıpları sırasıyla %3, %8 ve %57 iken 900 °C’de kalan madde miktarı ise %22,3’tür.



Şekil 4.9 : A1F numunesi TGA sonuçları.

Bu bölgelerdeki kütle kaybı oranları %25 odun unu içeren numunede (A3F) sırasıyla, %3, %9,5 ve %50,6 olarak oluşmuş ve 900 °C’de kalan madde miktarı ise Şekil 4.10’de verildiği gibi %23,4 olarak belirlenmiştir. Bu bölgelerin sırasıyla yanmazlık katkıları, odun unu ve ABS bozunmalarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.10 : A3F numunesi TGA sonuçları.

#### 4.6.2 Yanmazlık testi sonuçları

Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin UL94 analizleri, ASTM D635 standardına göre yapılmış ve sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir. Başvuru kaynağı bulunamadı.

**Çizelge 4.12:** Yangın geciktirici katılan ve katılmayan numunelerin yanma hızı test sonuçları.

| Numune Grupları | İçerik                                                      | Örnek Sayısı | Ortalama (mm/dak) |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|
| ABS             | %100 ABS                                                    | 1            | 62,5              |
| KF              | %100 ABS + %3BB (%1,59 BA + %1,14 BS) + %22 APP             | 3            | 26,29             |
| A1              | %87,5 ABS + %12,5 OU                                        | 2            | 40,87             |
| A1F             | %62,5 ABS + %12,5 OU + %3BB (%1,59 BA + %1,14 BS) + %22 APP | 2            | 23,62             |
| A3              | %75 ABS + %25 OU                                            | 1            | 36,41             |
| A3F             | %75 ABS + %25 OU + %3BB (%1,59 BA + %1,14 BS) + %22 APP     | 1            | 18,29             |

Yangın geciktiricilerin yanma hızı üzerindeki etkilerini belirlemek için kontrol (ABS ve KF) (en yüksek yanma hızı) ve %25 yangın geciktirici ilaveli (A3F) (en düşük yanma hızı) OPK'ların yanma hızı değerleri esas alınmış, bunlara göre diğer yangın geciktirici formülasyonlar değerlendirilmiştir. OPK matrisine %3 BB + %22 APP ilave edilen örneklerde yanma hızı sıralaması; KF>A1F>A3F şeklinde gerçekleşmiştir. Odun unu miktarı yüksek olmasına rağmen A3F numunesinde yanma hızı diğer numunelere göre daha iyi sonuç vermiştir. Kylosov (2007) tarafından ticari olarak üretilen OPK'ların yanma hızı değerleri 7-18.1 mm/dak olarak rapor edilmiştir. Yangın geciktirici ilavesi ile üretilen A3F örneğinin yanma hızı ticari değere yakın bulunmuştur.

2017 yılında Altuntaş ve ark. yaptığı çalışmada yangın geciktiricilerin geri dönüştürülmüş kompozit numunelerde yanma direncini arttırdığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte 2011 yılında Kurt ve Mengeloğlu'nun yaptığı çalışmada bor bileşikleri ve amonyum polifosfat karışımlarının yanma direncine olumlu yönde etkisi olduğu görülmüştür.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uyumlaştırıcı ve yangın geciktiriciler ilavesi ile farklı OPK'lar üretilmiştir. Üretilen OPK'ların fiziksel, mekanik, termal ve yanma özellikleri incelenmiş ve yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Uyumlaştırıcı malzemenin az miktarda da olsa yoğunluk miktarını arttırdığı, su alma ve kalınlık artışı oranlarını azalttığı görülmüştür.

Uyumlaştırıcı malzemelerin, odun unu içermeyen numunelerde çekme, eğilme direncinin ve çekmede, eğilmede elastikiyet modülünün bir miktar artmasını sağlarken, odun unu içeren numunelerde ise az miktarda olmasına rağmen bir düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu düşüşün en önemli nedeni olarak, numune gruplarındaki plastik içeriğinin azalması gösterilmektedir.

Uyumlaştırıcı malzemenin, yanma hızı üzerinde etkisi anlamlı bulunmamıştır.

Yangın geciktirici malzemelerin su alma ve kalınlık artışı oranlarını arttırdığı görülmüştür.

Yangın geciktirici malzemelerin, odun unu içermeyen numunelerde çekme, eğilme direncinin ve çekmede, eğilmede elastikiyet modülünün bir miktar artmasını sağlarken, odun unu içeren numunelerde ise az miktarda olmasına rağmen bir düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu düşüşün en önemli nedeni olarak, numune gruplarındaki plastik içeriğinin azalması ve yangın geciktirici ilavesi gösterilmektedir.

Yangın geciktirici malzemelerin, tüm numune gruplarında yanma hızını azalttığı gözlemlenmiştir. Bu azalış kompozit içinde bulunan odun içeriği yüzdesinin yüksek olmasına rağmen devam etmiş ve yangın gidericilerin görevini yaptığı analiz edilmiştir. Yangın geciktirici ilavesiyle kontrol örneklerinin daha iyi yanmazlık özellikleri kazandığını belirlemiştir.

Borlu bileşikler (BB) OPK üretiminde yangın geciktirici (sinerjist) olarak kullanılmıştır.

Borlu bileşikler ve amonyum polifosfat (APP) yangın geciktirici olarak da OPK üretiminde değerlendirilmiştir.

Çalışma, günümüzün başlıca problemlerinden olan çevre kirliliği, atık dönüşümü ve alternatif malzeme ihtiyacı gibi konuların önemine değinmiş yapılan analizler ve testler ışığında atık ABS matrisli ve atık odun unu takviyeli yanmaya dayanıklı bir kompozit malzemenin üretilebileceğini ortaya koymuştur. Son yıllarda özellikle ahşap malzemelerde ortaya çıkan nüfusa dayalı kaynak yetersizliği ve hammadde maliyeti artışları ele alındığında sürdürülebilirlik konusunun ve geri dönüşümün önemi tekrar ortaya çıkmaktadır.

Araştırma, orman endüstrisi ve ABS atıklarının farklı alanlarda endüstriyel olarak orman kullanılması konusunda bilgi birikimine katkı sağlamıştır.

Atık hammaddelerden üretilen kompozit malzemenin test değerleri neticesinde kullanılabilir olduğu görülmüştür. Mobilya ürünlerinde yüksek mekanik dirençlerin gerekmediği yada ürüne estetik görüntü sağlanması için kullanılan parçalar için uygun olduğu gözlemlenmiştir. Yine mobilya atık ürünlerinden elde edilen kompozit malzeme, sektörün üretim adeti azaltmadan atık maliyelerinin düşürülmesini sağlayıp çevresel sürdürülebilirlik anlayışıyla katma değeri yüksek üretimin yapılabileceğini göstermiştir.

## KAYNAKLAR

- Agrawal, R. K. & Drzal, L. T.** (1989). Effects of microwave processing on fiber-matrix adhesion in composites. *The Journal of Adhesion*, 29(1-4), 63-79.
- Afroze,** (2016). Effects of part build orientations on fatigue behaviour of FDM-processed PLA material. *Prog Addit Manuf*, 1, 21–28.
- Akyar E.,** (2022), “*Kauçuk Sektöründe Bor İçeren Yangın Geciktiricilerin Kullanımı*”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Altun, Y., Doğan, M., & Bayramlı, E.** (2015). The effect of red phosphorus on the fire properties of intumescent pine wood flour – LDPE composites. *First published: 07 September 2015. https://doi.org/10.1002/fam.2336*
- Altuntaş, E., Karaoğlu, E., & Alma, M. H.** (2017). Effects of Fire Retardants on the Fire, Thermal and Mechanical Properties of Wood Plastic Composites Using Recycled Fibers. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17(2), 334-342. <https://doi.org/10.17475/kastorman.329427>
- Altuntas, E., Narlioglu, N., Alma, M.** (2017). "Investigation of the fire, thermal, and mechanical properties of zinc borate and synergic fire retardants on composites produced with PP-MDF wastes," *BioRes.* DOI: 10.15376/biores.12.4.6971-6983
- Ashori A.,** (2008), Wood-Plastic Composites As Promising Green-Composites For Automotive Industries, *Bioresource Technology*, 99, 4661-4667.
- Avcı, B., Çavdar, A. D., & Mengeloğlu, F.** (2022). Odun polimer kompozitlerin doğal ve yapay (suni) yaşlandırma sonrası özelliklerinde meydana gelen değişiklikler. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 264-270. doi: <https://doi.org/10.17568/ogmoad.1091198>
- Aydın,** (2004). PVC Üretimi ve Katkı Maddeleri, Eskişehir.
- Ay, İ.** (2009). Termoplastik ve termoset plastikler. Erişim adresi: <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek2.pdf>
- Aykanat, O.** (2019). *Pla Matrisli Bazalt-Odun Lifi Takviyeli Biyokompozitlerin Üretilmesi ve İzolasyon Özellikleri Dahil Performans Özelliklerinin İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Bursa.
- Ay-kim.** (2024). Safety data sheet according to Regulation (EC) No 1907/2006 (amended by Regulation (EU) 2020/878), concerning safety data sheets for hazardous substances and mixtures (R.G. 13.12.2014-29204) (Catalog/GBF No. 1.06309, Version 8.6). di-Sodium tetraborate anhydrous 99.99 Suprapur®.
- Ay-kim.** (2024). Safety Data Sheet according to the REACH Regulation (EC) 1907/2006 amended by Regulation (EU) 2020/878 (Reference No. 02221, Version 1.0).
- Ayrilmis, N., Benthien, J.T., Thoemen, H. and White, R.H.** (2011), Properties of flat-pressed wood plastic composites containing fire retardants. *J. Appl. Polym. Sci.*, 122: 3201-3210. <https://doi.org/10.1002/app.34346>

- Bos, H. L.** (2004). *The Potential of Flax Fibres as Reinforcement for Composite Materials*, (Doktora Tezi). Technische Universiteit Eindhoven s.209.
- Bozkurt, Y. & Göker, Y.** (2000). *Odun anatomisi* (sayfa 286-287). İstanbul Üniversitesi.
- Brett P. C.** (2014). Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services.
- Bulut, M.** (2014). *Türkiyede Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Ankara.
- Cândido, L. H. A., Ferreira, D. B., Kindlein Júnior, W., Demori, R., & Mauler, R. S.** (2014). Recycling cycle of materials applied to acrylonitrile-butadiene-styrene/polycarbonate blends with styrene-butadiene-styrene copolymer addition. *AIP Conf. Proc.* 15 May 2014; 1593 (1): 658–661. <https://doi.org/10.1063/1.4873865>
- Clariant.** (2024,). Safety data sheet according to Regulation (EC) No 1907/2006 (amended by Regulation (EU) 2020/878), concerning safety data sheets for hazardous substances and mixtures (Form No. SXR025503, Version 3-3/ TR). EXOLIT AP 422.
- Çavdar, A.** (2011). *Farklı Lignoselülozik ve Termoplastik Maddelerle Üretilen Odun-Plastik Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi*. (Doktora Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Deniz, M. E.** (2005). *Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzeneğin Tasarım ve İmalatı*. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dipti S. & Pralay M.** (2021). Utilization of ABS from plastic waste through single-step reactive extrusion of LDPE/ABS blends of improved properties, *Polymer*, Volume 221, 2021.
- Dogan, M., Dogan, S. D., Atabek Savas, L., Ozcelik, G., & Tayfun, U.** (2021). The flame retardant mechanisms of boron compounds in polymeric materials: A comprehensive review. *Composites Part B: Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109020>
- Ekşi, O.** (2007). *Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Edirne.
- Ersoy M. S.** (2005). *Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı*, (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş.
- Eryücel R.** (2011). *Lif Dispersant Olarak Amonyum Polifosfat Kullanımı İle Aın Seramiklerinin Hidrolizasyonunun Önlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Kütahya.
- Fındık B.** (2020). *Eriyik Yığma Modelleme ve Enjeksiyon Kalıplama Tekniği ile Üretilen Akrilonitril Bütaiden Stiren Polimerinin Mekanik, Fiziksel ve Morfolojik Özelliklerin Karşılaştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.

- Forest Products Laboratory.** (1999). *Wood handbook: Wood as an engineering material*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. <http://dx.doi.org/10.2737/FPL-GTR-113>
- Gardner, D.J., Han, Y., & Wang, L.,** (2015) Wood–Plastic Composite Technology, *Current Forestry Reports*, 1, 139-150.
- Ge, S., Ouyang, H., Ye, H., & others.** (2023). High-performance and environmentally friendly acrylonitrile butadiene styrene/wood composite for versatile applications in furniture and construction. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 6, 44. <https://doi.org/10.1007/s42114-023-00628-1>
- Güler, B.** (2001). Odun Kompozitleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 135-160.
- Güneşkaya, O.** (2017). *Meyan kökü lifi takviyeli termoplastik esaslı kompozit malzemelerin ısı geçirgenlik ve ses yutum özelliklerinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans), Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Hahn, H. T. & Tsai, S. W.** (1980). Introduction to composite materials (Vol. 1): CRC Press.
- Hancock M,** (2003), Filled Thermoplastic. In: Rothon, R., (Eds.), Particulate-Filled Polymer Composites, (pp. 279–316), Longman Scientific And Technical, New York, USA.
- Hamarat, İ.** (2016). *Pom ve Abs Malzemeleri için Plastik Enjeksiyonda Geri Dönüşümün Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Gebze.
- Hüner, Ü.** (2008). *Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Edirne.
- Hyvärinen, M., Ronkanen, M., & Kärki, T.** (2019). The effect of the use of construction and demolition waste on the mechanical and moisture properties of a wood-plastic composite. *Composite Structures*, 321–326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.11.063>
- Kalali, E. N., Zhang, L., Shabestari, M. E., Croyal, J., & Wang, D.-Y.** (2019). Flame-retardant wood polymer composites (WPCs) as potential fire safe bio-based materials for building products: Preparation, flammability and mechanical properties. *Fire Safety Journal*, 107, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.06.007>
- Kim, J.K. & Pal, K.** (2010). Recent Advances in the Processing of Wood–Plastic Composites. Springer-Verlag Berlin, ISBN 978-3-642-14876-7, 185s.
- Kumar, R., & Chauhan, S.** (2022). Effect of ammonium polyphosphate as synergist with nano silica dioxide on flammability of boron compound pretreated bamboo flour-HDPE composite. *Fire Safety Journal*, 133, 103647. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103647>
- Kumar, V., Tyagi, L., Sinha, S.** (2011). Wood flour-reinforced plastic composites: a review, *Reviews in Chemical Engineering*, 27, (5-6), 253-264.
- Kuo, P.-Y., Wang, S.-Y., Chen, J.-H., Hsueh, H.-C., & Tsai, M.-J.** (2009). Effects of material compositions on the mechanical properties of wood–plastic

- composites manufactured by injection molding. *Materials & Design*, 30(9), 3489-3496. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.03.012>
- Kurt, R., Mengeloğlu, F.,** (2011). "Utilization of boron compounds as synergists with ammonium polyphosphate for flame retardant wood-polymer composites," *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*: Vol. 35: No. 2, Article 6. <https://doi.org/10.3906/tar-0910-508>
- Kurt, R., Mengeloğlu, F., Hayrettin, M.,** (2012). " *The effects of boron compounds synergists with ammonium polyphosphate on mechanical properties and burning rates of wood-HDPE polymer composites*" *European Journal of Wood and Wood Products* 70(1-3) March 201270(1-3) DOI:10.1007/s00107-011-0534-2
- Kurucan, M.** (2023). *Grafit Takviyeli Polikarbon (PC)-Akrilonitril Bütadien Strien (ABS) Kompozitlerinin Üretilmesi ve Karakterizasyonu*, (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş.
- Korucu, T. & Mengeloğlu, F.** (2007). Potentials of agricultural residues as raw materials and their alternative usage possibilities in Turkey. *24th National agricultural mechanization congress*, Kahramanmaraş.
- Liu, Tze-Wei,** (2008). "Flame Retardants for ABS and ABS-matrix Wood-Plastic Composites". Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports. 4397.
- Lu, J.Z., Wu, Q. ve McNabb, H.S.,** (2000). Chemical Coupling in Wood Fiber and Polymer Composites: A Review of Coupling Agents and Treatments, *Wood Fiber Science*, 32, 1, 88-104.
- Martijn, J., Schuur, V.D. & Gaymans, R.J.** (2007). Influence of Morphology on the Properties of Segmented Block Copolymers, *Polymer*, 48 1998-2006.
- Matuana, L. M., Cam, S., Yuhasz, K. B., & Armstrong, Q. J.** (2007). Composites of acrylonitrile-butadiene-styrene filled with wood-flour. *Polymers and Polymer Composites*, 15(5)365-370. <https://doi.org/10.1177/096739110701500503>
- Mead L. J. & Baker A. M.** (2006). *Handbook of Plastics Technologies*, The McGraw Hill Companies, USA.
- Mohanty, A. K., Misra, M., Drzal, L. T.,** (2002). Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World, *Journal of Polymers and the Environment*, 10, 19-26.
- Mengeloğlu, F.** (2006). Odun Termoplastik Kompozitler. *I. POLİMERİK KOMPOZİTLER SEMPOZYUMU VE SERGİSİ*, 17-19 Kasım, İzmir, Türkiye. S.471-480.
- Mengeloğlu, F., Bağboğa, H., & Aslan, T.** (2015). Selected Properties of Furniture Plant Wasted Filled Thermoplastic Composites, *PROLİGNO*, 11(4),199-206.
- Mengeloğlu, F. ve Karakuş, K.** (2008). Some properties of eucalyptus wood flour filled recycled high density polyethylene polymer-composites. *Turkish J. Agric For.*, 32, 537–546.

- Nouryon.** (2022). Product data sheet: Perkadox® BC-FF. CAS No. 80-43-3, EINECS/ELINCS No. 201-279-3. Active oxygen content: 5.92%. Molecular weight: 270.4.
- Oksman, K. ve Lindberg, H.,** (1998). Influence of Thermoplastic Elastomers on Adhesion in Polyethylene-Wood Flour Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 68,1845–1855.
- Otabatmaz, A.İ.,** (2007), Kompozit Malzemeler- Üretim Yöntemleri- Ürünler- Uygulamalarda Yaşanan Sorunlar ve Çözümler, *TEMSA*, 42-61.
- Özmen, N., Çetin, N.S., Narhoğlu, N., Çavuş, V., & Altuntaş, E.** (2014). MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15, 65-71.
- Pei-Yu K., Yung W., Jin C., Huei H., Ming-Jer T.,** (2009). Effects of material compositions on the mechanical properties of wood–plastic composites manufactured by injection molding, *Materials & Design* (1980-2015).
- Phung, A. T., Dzung, H. T., Linh, N. P. D., & others.** (2024). Acrylonitrile butadiene styrene/wood sawdust particles composites: mechanical and morphological properties. *Iranian Polymer Journal*, 33(1), 67-78. <https://doi.org/10.1007/s13726-023-01236-y>
- Ren, Y., Wang, Y., Wang, L., & Liu, T.** (2015). Evaluation of intumescent fire retardants and synergistic agents for use in wood flour/recycled polypropylene composites. *Construction and Building Materials*, 76, 1-9. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.038>
- Rosato, D. V.** (1997). Designing with reinforced composites: Hanser Gardner Publications.
- Sabatini, F., Pizzimenti, S., Bargagli, I., Degano, I., Duce, C., Cartechini, L., Modugno, F., & Rosi, F. A.** (2023). Thermal Analytical Study of LEGO® Bricks for Investigating Light-Stability of ABS. *Polymers*, 15, 3267. <https://doi.org/10.3390/polym15153267>
- Sadhan K. De. & White J. R.** (2001). Rubber Technologist’s Handbook, United Kingdom.
- Shu-Kai Y., Sushant A., Rakesh K.,** (2009). Wood–plastic composites formulated with virgin and recycled ABS. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.06.007>
- Songür., T.** (2017). Ultrases destekli çinko borat sentezi. Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova, 5-18.
- Tansık E.,** (2009), “Poli (Metil Vinil Eter-ard-Maleik Anhidrit) ve Poli (Etilen-ard-Maleik Anhidrit) Kopolimerlerinin Çözelti Dinamiği ve Termodinamiği”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.
- Tezcan Y.,** (2009), “PP ve Geri Dönüşümlü EPDM Karışımlarında Epdm Toz Boyutunun Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.

- Timur, G.** (2013). *Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında PBT/PC/ABS Malzemenin Geri dönüştürülmesi Sonucu Mekanik ve Kimyasal Özelliklerdeki Değişimin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Gebze.
- Qi, H. J. & Boyce, M. C.**, (2005). Stress-Strain Behaviour of Thermoplastic Polyurethane, *Mechanics of Materials*. 31, 817-839.
- Qu, J.** (1993). The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials, *Mechanics of Materials*, 14(4), 269-281.
- Uslu K.**, (2024), “*PP Borakstan Çinko Borat Sentezi ve Ürünün Yangın Geciktirici Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Ünal U. G.** (2006). Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı, Balıkesir Üniversitesi.
- Wen, Y., Yiting W., Lu L., & Jin H.** (2019). Biofilms: The Microbial “Protective Clothing” in Extreme Environments
- Yaldızci, E. Ş., Avcı, B., Bağış, C., Bozkurt, F., Başboğa, İ. H., & Mengeloğlu, F.** (2015). Polyester esaslı kompozit malzeme üretilmesinde kumaş atıklarının değerlendirilmesi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14(2), 555-560.
- Yaşar, H.** (2001). Plastikler Dünyası, MMO Yayınları, Ankara, 2. Baskı, (3-89,97,107,112,115,116,118,119,121,123,125,127,131,132)
- Yerong H., Sandra L., Gwénaëlle P.**, (2021). In the mix: The effect of wood composition on the 3D printability and mechanical performance of wood-plastic composites. Elsevier.
- Yılmazoğlu Ü.** (2004). *Kompozit Malzemelerin Elasto-Plastik Davranışının İncelenmesi*, (Bitirme Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Zheng, J., Li, B., Guo, C., Wu, Q. and Wang, Y.** (2014). *Flame-retardant properties of acrylonitrile–butadiene–styrene/wood flour composites filled with expandable graphite and ammonium polyphosphate*. J. Appl. Polym. Sci. 131, 40281, doi: 10.1002/app.40281
- Zorlu S.** (2018). *Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Geri Dönüştürülmüş PC (Polikarbon) Malzemesi Üzerine Bir Çalışma*, (Yüksek Lisans Tezi), Bülent Ecevit Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Barbaros VATANSEVER

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Adarad Döküm Ürünleri – Üretim Mühendisi
- Balın Sandalye – Planlama Mühendisi
- Çilek Mobilya – Ar-ge Mühendisi

### DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Memiş D., Vatansever B., & Kurt R. (2024). SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN YENİ ALTERNATİF; YAPIŞTIRICISIZ BÜYÜK KERESTE ÜRÜNLERİ. *5th INTERNATIONAL BURSA SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS*, 346-354. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 8951799)