

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKİL YAPIŞTIRILMIŞ TERMOPLASTİK**  
**KOMPOZİTLERİN MEKANİK**  
**ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**



**Dilay KÖKSAL**

**Mart, 2020**  
**İZMİR**

# **TEKİL YAPIŞTIRILMIŞ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı**

**Dilay KÖKSAL**

**Mart, 2020**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**DİLAY KÖKSAL**, tarafından **DOÇ. DR. OKAN ÖZDEMİR** yönetiminde hazırlanan “**TEKİL YAPIŞTIRILMIŞ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



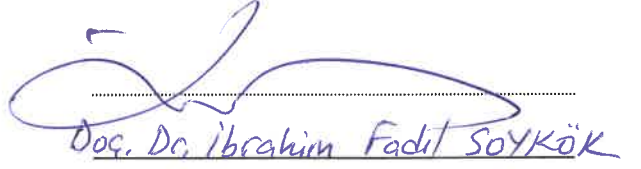
Doç. Dr. Okan ÖZDEMİR

Yönetici



Prof. Dr. Yusuf ARMAN

Jüri Üyesi



Doç. Dr. İbrahim Fadil SOYKÖK

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, çalışmalarım sırasında bana yol gösteren ve yardımlarını benden esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam, Doç. Dr. Okan Özdemir'e sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca benden yardımlarını esirgemeyen ve deneylerin gerçekleşmesi aşamasında bana yardımcı olan, değerli arkadaşlarım Halis Kandaş ve Rıfat Sarıoğlu'na teşekkürlerimi borç bilirim.

Son olarak tüm hayatım boyunca, her zaman ve her koşulda, maddi ve manevi yanımda olan, her şartta bana güvenen ve çalışmam desteklerini benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Dilay KÖKSAL

# TEKİL YAPIŞTIRILMIŞ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

## ÖZ

Kompozit malzemeler hafif ve dayanıklı olmaları nedeniyle, günümüzde havacılık, uzay ve otomotiv gibi birçok sanayide kullanılmaktadır. Ancak kompozitler farklı malzemelerden üretildikleri için, farklı sıcaklıklarda bu malzemeler arasında iç gerilmeler meydana gelmekte ve bu gerilmeler bağlantı şekillerine göre farklılık göstermektedir. Bu tez çalışmasında, yüksek yoğunluklu polietilen ve cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit malzemeler tekil bindirme yöntemiyle birleştirilerek, farklı sıcaklıklar altındaki mekanik özellikleri, deneysel olarak incelenmiştir.

Üretilmiş olan yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) levhalar ve cam elyaf takviyeli polipropilen levhalar tekil bindirme yöntemiyle, farklı kombinasyonlarla birleştirilmiştir. Numunelerin birleşme yüzeyleri 25x25 mm'dir. Elde edilen numunelere 25°C, 50°C ve 75°C altında çekme deneyleri uygulanmış ve çekme dayanımları belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen verilerle, farklı birleşme durumları karşılaştırılmıştır. Sıcaklıkla beraber düşük hızlı darbe etkisini de incelemek amacıyla, numunelere 5J ve 10J enerji değerinde, darbe testi uygulanmış ve darbe davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, artan sıcaklıkla beraber numunelerin çekme mukavemetinin azaldığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Cam elyaf takviyeli polipropilen, tekil birleştirme, sıcaklık etkisi, çekme dayanımı, darbe dayanımı

# **INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF ADHESIVELY BONDED SINGLE-LAP THERMOPLASTICS COMPOSITES**

## **ABSTRACT**

Composite materials are used in many industries such as aviation, aerospace and automotive as they are light and durable nowadays. However internal stresses occur between these materials at different temperatures and these stresses are different according to the their connection types, since composites are produced from different materials. In this thesis, high density polyethylene and glass fiber reinforced polypropylene composite materials are combined with the single lap method and their mechanical properties under different temperatures are investigated, experimentally.

Produced high density polyethylene (HDPE) sheets and glass fiber reinforced polypropylene sheets are combined with single lap method with different combination. The bonding surfaces of the specimens are 25x25 mm. Tensile tests were performed to the specimens under 25°C, 50°C and 75°C and tensile strengths were determined. Different bonding types of composites were compared with experiments data. In order to investigate the temperature effect along with the low velocity impact, the impact tests were carried out at an energy level of 5 and 10J. According to the results, the tensile strength of the specimens decreased with increasing temperature.

**Keywords:** Glass fiber reinforced polypropylene, single lap, temperature effect, tensile strength, impact strength

## İÇİNDEKİLER

|                                                                      | Sayfa     |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....                           | ii        |
| TEŞEKKÜR .....                                                       | iii       |
| ÖZ .....                                                             | iv        |
| ABSTRACT .....                                                       | v         |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                               | x         |
| TABLolar LİSTESİ .....                                               | xiv       |
| <br>                                                                 |           |
| <b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....</b>                                       | <b>1</b>  |
| <br>                                                                 |           |
| <b>BÖLÜM İKİ – KOMPOZİT MALZEMELER HAKKINDA GENEL BİLGİLER .....</b> | <b>8</b>  |
| <br>                                                                 |           |
| 2.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Tarihçesi .....                  | 8         |
| 2.2 Kompozitlerin Kullanım Alanları .....                            | 9         |
| 2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....                    | 10        |
| 2.3.1 Takviye Türüne Göre Kompozit Malzemeler.....                   | 11        |
| 2.3.2 Matris Malzemesine Göre Kompozit Malzemeler .....              | 13        |
| 2.3.2.1 Metal Matrisli Kompozitler .....                             | 13        |
| 2.3.2.2 Seramik Matrisli Kompozitler .....                           | 15        |
| 2.3.2.3 Polimer Matrisli Kompozitler .....                           | 15        |
| 2.3.2.3.1 Termosetler.....                                           | 16        |
| 2.3.2.3.2 Termoplastikler .....                                      | 17        |
| <br>                                                                 |           |
| <b>BÖLÜM ÜÇ – TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMERİ .....</b>  | <b>19</b> |
| <br>                                                                 |           |
| 3.1 Diyaframla Şekillendirme .....                                   | 20        |
| 3.2 Bant Sarma Yöntemi .....                                         | 20        |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 3.3 Presle Kalıplama Yöntemi .....                             | 21 |
| 3.4 Termal Şekil Verme ve Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi ..... | 22 |
| 3.5 Film İstifleme Yöntemi .....                               | 24 |
| 3.6 Fiber Karıştırma .....                                     | 25 |

## **BÖLÜM DÖRT – TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ ..... 26**

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 4.1 Kaynakla Birleştirme Yöntemi .....          | 28 |
| 4.1.1 Titreşim Kaynağı .....                    | 30 |
| 4.1.2 Ultrasonik Kaynak .....                   | 31 |
| 4.1.3 Termal Kaynak Yöntemi .....               | 32 |
| 4.1.4 Elektromanyetik Kaynak Yöntemi .....      | 32 |
| 4.2 Yapıştırıcı ile Birleştirme .....           | 32 |
| 4.2.1 Yapıştırıcılar .....                      | 32 |
| 4.2.2 Yapıştırıcı ile Birleştirme İşlemi .....  | 34 |
| 4.3 Mekanik Birleştirme Yöntemi .....           | 35 |
| 4.3.1 Perçinleme .....                          | 35 |
| 4.3.2 Vidalama.....                             | 35 |
| 4.3.2 Pres Bağlantısı .....                     | 36 |
| 4.4 Kompozitlerin Birleştirme Tasarımları ..... | 36 |

## **BÖLÜM BEŞ – KULLANILAN MALZEMELER..... 39**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1 Polietilen (PE) .....                                        | 39 |
| 5.1.1 Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) .....                  | 43 |
| 5.2 Polipropilen (PP) .....                                      | 44 |
| 5.2.1 Tek Eksenli Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Prepreg ..... | 47 |
| 5.3 Cam Elyaf .....                                              | 49 |
| 5.3.1 Uzun Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Granül .....         | 50 |

## **BÖLÜM ALTI –YÖNTEM ..... 54**

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 6.1 Kullanılan Cihazlar .....                                   | 54 |
| 6.1.1 Sıcak Pres .....                                          | 54 |
| 6.1.2 Darbe Cihazı .....                                        | 55 |
| 6.1.3 Çekme Cihazı .....                                        | 56 |
| 6.2 Kompozit Üretimi .....                                      | 57 |
| 6.2.1 YYPE Levhaların Üretimi .....                             | 57 |
| 6.2.2 Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Levhaların Üretimi ..... | 58 |
| 6.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması .....                      | 59 |
| 6.4 Darbe Deneyi .....                                          | 60 |
| 6.5 Çekme Deneyi .....                                          | 61 |

## **BÖLÜM YEDİ – DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME..... 63**

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1 Darbe Deneyi Sonuçları .....                                                                     | 63 |
| 7.1.1 YYPE-YYPE Olarak Birleştirilmiş Numunelerin Darbe Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi.....         | 64 |
| 7.1.2 Kompozit-YYPE Olarak Birleştirilmiş Numunelerin Darbe Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi.....     | 65 |
| 7.1.3 Kompozit-Kompozit Olarak Birleştirilmiş Numunelerin Darbe Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi..... | 66 |
| 7.2 Çekme Deneyi Sonuçları .....                                                                     | 67 |
| 7.2.1 YYPE-YYPE Birleşiminin Çekme Deneyi Sonuçları .....                                            | 67 |
| 7.2.1.1 YYPE-YYPE Birleşiminde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi.....                                   | 67 |
| 7.2.1.2 YYPE-YYPE Birleşiminde 25°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi.                                  | 67 |
| 7.2.1.3 YYPE-YYPE Birleşiminde 50°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi.                                  | 68 |
| 7.2.1.4 YYPE-YYPE Birleşiminde 75°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi.                                  | 69 |
| 7.2.2 Kompozit-YYPE Birleşiminin Çekme Deneyi Sonuçları .....                                        | 70 |
| 7.2.2.1 Kompozit-YYPE Birleşiminde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi .....                              | 70 |

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.2.2.2 Kompozit-YYPE Birleşiminde 25°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi .....     | 71        |
| 7.2.2.3 Kompozit-YYPE Birleşiminde 50°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi .....     | 72        |
| 7.2.2.4 Kompozit-YYPE Birleşiminde 75°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi .....     | 72        |
| 7.2.3 Kompozit-Kompozit Birleşiminin Çekme Deneyi Sonuçları.....                 | 74        |
| 7.2.3.1 Kompozit-Kompozit Birleşiminde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi.           | 74        |
| 7.2.3.2 Kompozit-Kompozit Birleşiminde 25°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi ..... | 74        |
| 7.2.3.3 Kompozit-Kompozit Birleşiminde 50°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi ..... | 74        |
| 7.2.3.4 Kompozit-Kompozit Birleşiminde 75°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi ..... | 76        |
| 7.3 Hasarlı Numunelerin İncelenmesi .....                                        | 77        |
| 7.3.1 Darbe Deneyi Sonrası Numunelerin İncelenmesi .....                         | 77        |
| 7.3.2 Çekme Deneyi Sonrası Numunelerin İncelenmesi.....                          | 79        |
| 7.4 Farklı Birleştirme Şekillerinin Karşılaştırması .....                        | 83        |
| 7.4.1 Maksimum Temas Kuvveti Karşılaştırması .....                               | 83        |
| 7.4.2 Absorbe Edilen Enerji Karşılaştırması .....                                | 84        |
| 7.4.3 Maksimum Çekme Dayanımı Bakımından Karşılaştırma.....                      | 85        |
| <b>BÖLÜM SEKİZ –YARGILAR VE SONUÇLAR .....</b>                                   | <b>88</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                           | <b>90</b> |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....                                                                                                                                                        | 11 |
| Şekil 2.2 Çeşitli takviye yapılı a) fiber takviyeli, b) partikül takviyeli, c) tabaka yapılı, d) hibrit yapılı ve e) dolgulu yapılı kompozitlerin şematik görünümü.....                                        | 11 |
| Şekil 2.3 Değişik şekili elyaf takviyeli kompozitler. (a) Tek yönlü sürekli elyaflar, (b) Kesikli elyaflar, (c) Ortogonal elyaflar, (d) Parçacık şekilli, (e) Rastgele düzlemsel yönlendirilmiş elyaflar ..... | 12 |
| Şekil 2.4 Parçacık takviyeli dispersiyonla dayanımı arttırılmış kompozitlerin yapısı (a) Büyük parçacık takviyeli kompozit, (b) Küçük parçacık takviyeli kompozit.....                                         | 13 |
| Şekil 2.5 Kısa fiber takviyeli alüminyum alaşımlı metal matrisli kompozitten yapılmış piston kafası .....                                                                                                      | 14 |
| Şekil 2.6 Termosetlerin moleküler bağlarının şematik görünümü.....                                                                                                                                             | 16 |
| Şekil 2.7 Termoplastiklerin moleküler bağlarının şematik görünümü.....                                                                                                                                         | 18 |
| Şekil 3.1 Diyaframla şekillendirme yöntemi .....                                                                                                                                                               | 20 |
| Şekil 3.2 Bant sarma yöntemi .....                                                                                                                                                                             | 21 |
| Şekil 3.3 Presle kalıplama yöntemi.....                                                                                                                                                                        | 22 |
| Şekil 3.4 Termoplastik kompozitlerde şekillendirme prosesi (a) Termal damgalama, (b) Hidroforming, (c) Termal şekillendirme.....                                                                               | 23 |
| Şekil 3.5 Enjeksiyonla kalıplama makinesi dizini .....                                                                                                                                                         | 24 |
| Şekil 4.1 Kompozitlerin birleşme yöntemleri örnekleri (a) Vida ile birleştirme, (b) Yapıştırıcı ile birleştirme .....                                                                                          | 26 |
| Şekil 4.2 Füzyon bağlı bir kaynak bölgesindeki polimer molekülleri .....                                                                                                                                       | 29 |
| Şekil 4.3 Titreşim kaynağı prosesi .....                                                                                                                                                                       | 30 |
| Şekil 4.4 Ultrasonik kaynak yöntemi .....                                                                                                                                                                      | 31 |
| Şekil 4.5 Vidalı bağlantı tasarımı.....                                                                                                                                                                        | 35 |
| Şekil 4.6 Temel birleştirme tasarımları (a) Tek bindirmeli bağlantı, (b) çift bindirmeli bağlantı, (c) Tek kayışlı, (d) çift kayışlı, (e) kademeli bindirmeli, (f) eşarp eklemi .....                          | 37 |
| Şekil 4.7 Farklı bağlantı tasarımına örnekler .....                                                                                                                                                            | 38 |

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.8 Tekil yapıştırılmış bir kompozitte tasarım parametreleri.....                                                          | 38 |
| Şekil 5.1 Polipropilen molekülü.....                                                                                             | 44 |
| Şekil 5.2 Polipropilenin kimyasal yapısı (a) izotatik polipropilen, (b) ataktik polipropilen .....                               | 45 |
| Şekil 5.3 Örnek bir prepreg.....                                                                                                 | 48 |
| Şekil 5.4 Prepreg üretiminin şematik gösterimi .....                                                                             | 48 |
| Şekil 5.5 Cam elyafın üretim yöntemi .....                                                                                       | 50 |
| Şekil 5.6 Cam elyaf uzunluğunun polipropilenin mekanik özelliklerine olan etkisi .                                               | 51 |
| Şekil 5.7 Kaplama yöntemiyle üretilmiş uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granül .....                                        | 51 |
| Şekil 5.8 Pultrüzyon yöntemi.....                                                                                                | 52 |
| Şekil 5.9 Pultrüzyon yöntemiyle üretilmiş uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granül.....                                      | 53 |
| Şekil 6.1 Fontijne presses labecon600 marka sıcak pres cihazı.....                                                               | 55 |
| Şekil 6.2 CEAST fractovis plus marka darbe cihazı.....                                                                           | 56 |
| Şekil 6.3 Shimadzu AG-Xserisi universal çekme test cihazı, (b) İklimlendirme Kabini Ekranı.....                                  | 57 |
| Şekil 6.4 YYPE levha üretimi işlem sırası.....                                                                                   | 58 |
| Şekil 6.5 Polipropilen levha üretimi işlem sırası .....                                                                          | 59 |
| Şekil 6.6 YYPE-YYPE levha birleşiminin işlem sırası .....                                                                        | 59 |
| Şekil 6.7 Kompozit-YYPE levha birleşiminin işlem sırası.....                                                                     | 60 |
| Şekil 6.8 Kompozit-kompozit levha birleşiminin işlem sırası .....                                                                | 60 |
| Şekil 6.9 25x25mm yapışma alanına sahip deney numunesi örneği.....                                                               | 60 |
| Şekil 6.10 Pabuç bağlantısı yapılmış numuneler .....                                                                             | 62 |
| Şekil 7.1 YYPE-YYPE olarak birleştirilmiş numunelerin a)temas kuvveti-deformasyon grafiği, b) enerji-zaman grafiği .....         | 64 |
| Şekil 7.2 Kompozit-YYPE olarak birleştirilmiş numunelerin a)temas kuvveti-deformasyon grafiği, b) enerji-zaman grafiği .....     | 65 |
| Şekil 7.3 Kompozit-Kompozit olarak birleştirilmiş numunelerin a)temas kuvveti-deformasyon grafiği, b) enerji-zaman grafiği ..... | 66 |
| Şekil 7.4 YYPE-YYPE olarak birleştirilmiş numunelerin farklı sıcaklıklar altında kuvvet-deformasyon grafiği .....                | 67 |

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 7.5 YYPE-YYPE birleşiminde 25°C’de darbeli darbesiz numunelerin kuvvet-deformasyon grafiği.....                                       | 68 |
| Şekil 7.6 YYPE-YYPE birleşiminde 50°C’de darbeli darbesiz numunelerin kuvvet-deformasyon grafiği.....                                       | 69 |
| Şekil 7.7 YYPE-YYPE birleşiminde 75°C’de darbeli darbesiz numunelerin kuvvet-deformasyon grafiği.....                                       | 69 |
| Şekil 7.8 Kompozit-YYPE olarak birleştirilmiş numunelerin farklı sıcaklıklar altında kuvvet-deformasyon grafiği .....                       | 71 |
| Şekil 7.9 Kompozit-YYPE birleşiminde darbeli ve darbesiz numunelerin 25°C’de kuvvet-deformasyon grafiği .....                               | 71 |
| Şekil 7.10 Kompozit-YYPE birleşiminde darbeli ve darbesiz numunelerin 50°C’de kuvvet-deformasyon grafiği .....                              | 72 |
| Şekil 7.11 Kompozit-YYPE birleşiminde darbeli ve darbesiz numunelerin 75°C’de kuvvet-deformasyon grafiği .....                              | 73 |
| Şekil 7.12 Kompozit-Kompozit olarak birleştirilmiş numunelerin farklı sıcaklıklar altında kuvvet-deformasyon grafiği .....                  | 74 |
| Şekil 7.13 Kompozit-Kompozit birleşiminde, darbeli ve darbesiz numunelerin 25°C’de kuvvet-deformasyon grafiği .....                         | 75 |
| Şekil 7.14 Kompozit-Kompozit birleşiminde, darbeli ve darbesiz numunelerin 50°C’de kuvvet-deformasyon grafiği .....                         | 75 |
| Şekil 7.15 Kompozit-Kompozit birleşiminde, darbeli ve darbesiz numunelerin 75°C’de kuvvet-deformasyon grafiği .....                         | 76 |
| Şekil 7.16 YYPE-YYPE birleşiminde 5J’de darbe sonrası hasar şekilleri .....                                                                 | 77 |
| Şekil 7.17 YYPE-YYPE birleşiminde 10J’de darbe sonrası hasar şekilleri .....                                                                | 77 |
| Şekil 7.18 Kompozit-YYPE birleşiminde 5J’de darbe sonrası hasar şekilleri.....                                                              | 78 |
| Şekil 7.19 Kompozit-YYPE birleşiminde 10J’de darbe sonrası hasar şekilleri.....                                                             | 78 |
| Şekil 7.20 Kompozit-Kompozit birleşiminde 5j’de darbe sonrası hasar şekilleri .....                                                         | 79 |
| Şekil 7.21 Kompozit-Kompozit birleşiminde 10J’de darbe sonrası hasar şekilleri ...                                                          | 79 |
| Şekil 7.22 YYPE-YYPE birleşiminde 25°C çekme deneyi sonrası numuneler a)0J darbe enerjili, b) 5J darbe enerjili, c) 10J darbe enerjili..... | 79 |
| Şekil 7.23 YYPE-YYPE birleşiminde 50°C çekme deneyi sonrası numuneler a)0J darbe enerjili, b) 5J darbe enerjili, c) 10J darbe enerjili..... | 80 |

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 7.24 YYPE-YYPE birleşiminde 75°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0J darbe enerjili, b) 5J darbe enerjili, c) 10J darbe enerjili.....     | 80 |
| Şekil 7.25 Kompozit-YYPE birleşiminde 25°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0j darbe enerji, b) 5j darbe enerji, c) 10j darbe enerjili .....    | 80 |
| Şekil 7.26 Kompozit-YYPE birleşiminde 50°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0j darbe enerji, b) 5j darbe enerji, c) 10j darbe enerjili .....    | 81 |
| Şekil 7.27 Kompozit-YYPE birleşiminde 75°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0j darbe enerji, b) 5j darbe enerji, c) 10j darbe enerjili .....    | 82 |
| Şekil 7.28 Kompozit-Kompozit birleşiminde 25°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0j darbe enerji, b) 5j darbe enerji, c) 10j darbe enerjili..... | 82 |
| Şekil 7.29 Kompozit-Kompozit birleşiminde 50°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0j darbe enerji, b) 5j darbe enerji, c) 10j darbe enerjili..... | 83 |
| Şekil 7.30 Kompozit-Kompozit birleşiminde 75°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0j darbe enerji, b) 5j darbe enerji, c) 10j darbe enerjili..... | 83 |
| Şekil 7.31 Numunelerin maksimum temas kuvveti yönünden karşılaştırılması .....                                                                   | 84 |
| Şekil 7.32 Numunelerin absorbe edilen enerji miktarı bakımından karşılaştırılması                                                                | 85 |
| Şekil 7.33 25°C’de maksimum çekme dayanımı kuvvetlerinde karşılaştırma .....                                                                     | 85 |
| Şekil 7.34 50°C’de maksimum çekme dayanımı kuvvetlerinde karşılaştırma .....                                                                     | 86 |
| Şekil 7.35 75°C’de maksimum çekme dayanımı kuvvetlerinde karşılaştırma .....                                                                     | 87 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 4.1 Termoplastik malzemelerin farklı montaj yöntemlerine göre verdikleri tepkiler..... | 27 |
| Tablo 4.2 Termoplastik kompozitlerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemleri.....    | 29 |
| Tablo 4.3 Kompozit birleştirme kullanılan yapıştırıcıların özellikleri .....                 | 33 |
| Tablo 5.1 Polietilenlerin sınıflandırılması .....                                            | 40 |
| Tablo 5.2 Polietilenin reçine özellikleri .....                                              | 43 |
| Tablo 5.3 Polietilenin mekanik özellikleri .....                                             | 44 |
| Tablo 5.4 Polietilenin termal özellikleri.....                                               | 44 |
| Tablo 5.5 Polipropilen kullanım yerlerine göre kullanım yüzdeleri.....                       | 46 |
| Tablo 5.6 Uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granüllerin mekanik özellikleri ....         | 53 |

## **BÖLÜM BİR**

### **GİRİŞ**

En az iki farklı malzemenin makro seviyede birleşerek, tek başınayken sahip oldukları özelliklerden daha iyi özelliklere sahip oldukları malzeme birleşimleri kompozit malzeme adını almaktadır (Campbell, 2010).

Günümüz uygulamalarında kompozit malzemeler sıkça kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılmalarına karşın, kompozit malzemelerin yüksek mukavemetli olması beklenmektedir. Bu yüzden geçmişten günümüze metal matrisli kompozitlerin kullanımları tercih edilmiştir. Ancak son zamanlarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte, hafif konstrüksiyon uygulamaları tercih edilmeye başlanmıştır. Bu yüzden termoplastik kompozitlere olan ilgi son zamanlarda artmaktadır.

Hafifliğin bu kadar önem kazandığı çağımızda, geleneksel birleştirme yöntemlerinden (cıvatalama, perçinleme vb.) faydalanmanın yanı sıra, yapıştırıcı ve buna benzer birleştirme yöntemlerinden de faydalanılmaktadır. Bu yüzden yapıştırıcı alanında çalışmaların yapılması kaçınılmazdır.

Kompozitler bulundukları çalışma ortamı gereği, farklı sıcaklıklara maruz kalmaktadırlar. Kompozitlerin bu çalışma ortamlarından dolayı literatürde, kompozitlerin farklı sıcaklıklar altındaki davranışları sıklıkla incelenmiştir.

Demir (2019), yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) borudan elde etmiş olduğu deney numunelerini farklı sıcaklıklar (90°C, 120°C ve 150°C) altında ısıtmış ve farklı sürelerde soğutmak amacıyla, düşük sıcaklıklardaki (78°C, 0°C ve -195°C) havuzlara bırakmıştır. Farklı ortam koşullarında bırakmış olduğu numuneleri, çekme testine tabii tutmuştur. Böylece, yüksek yoğunluklu polietilenlerin ısıtıldıktan sonra soğutma süresinin, malzemenin mekanik özelliklerine etki ettiğini gözlemlemiştir.

Aydın (2014), tekil yapıştırılmış kompozitlerin farklı sıcaklıklar altındaki davranışlarını incelemiştir. Çalışma sonunda, artan sıcaklıkla beraber yapıştırılmalı bağlantının mukavemet değerlerinde düşüş olduğu gözlenmiştir.

Aldaş ve Şen (2012), yapıştırıcı ve pimli bağlantıyı bir arada kullanarak, karma bağlantı uyguladığı kompozit plakaların farklı sıcaklıklar altındaki çekme dayanımlarını, sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştir. Sıcaklık artışıyla birlikte, mukavemet değerlerinde düşüş olduğunu gözlemlemiştir.

Günümüzde birçok farklı yapıya sahip plastik geliştirilmiştir. Ancak maliyet ve işleme kolaylığından dolayı, günümüzde endüstride en çok kullanılan plastik çeşitleri, polivinilklorür, polietilen ve polipropilendir (Biron, 2013). Endüstride en çok kullanılan plastiklerden olan polietilen ve polipropilenin mekanik özelliklerini inceleyen Çetinel (2000), numunelere sertlik ve çekme deneyi uygulamıştır. Yüksek yoğunluklu polietilenin (YYPE) tokluk değerinin, düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) ve polipropilenden (PP) yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Ancak, mukavemet değerlerine baktığında, en yüksek mukavemet değerinin PP'de olduğunu, kalanların sırasıyla YYPE ve DYPE olduğunu gözlemlemiştir.

Özdemir ve Kandaş (2018), uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granülden oluşturulmuş termoplastik levhaların düşük hızlı darbe davranışlarını oda sıcaklığı ve 50°C'de incelemiştir. Artan sıcaklıkla beraber maksimum temas kuvvetinin düştüğünü gözlemlemiştir.

Malzeme ve yapısal tasarımlar için, yapıştırıcı bağlama mukavemetleri ve bağlama alanları arasındaki ilişki önemlidir. Çünkü yapıştırma bağlantıları, küçük elektronik cihazlarda kullanımlarından ziyade, büyük konstrüksiyon yapılarında (uçak ve gemi) çokça kullanılmaktadır (Zhao ve Roy Xu, 2015).

Kai Zhao ve L. Roy Xu (2015), polimer-polimer, metal-metal ve polimer-metal birleşimlerinin yapıştırma bağlantıları üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Birleşme yüzey alanının yapıştırma bağlantısı üzerine olan etkisini incelemiştir.

Argoud ve diğer. (2018), cam elyaf takviyeli termoplastik kompozitlerin yapıştırma davranışlarını incelemişlerdir. Hem yapıştırıcının hem de kompozit malzemenin davranışını hesaba katmak ve gerçek parça montaj koşullarına yakın olabilmek için U-şekilli bileşenler (KS2) kullanmışlardır. Yükleme hızının, tertibatın mekanik mukavemetinde, özellikle makaslama da önemli bir rol oynadığını görmüşlerdir. Numuneler üzerinde sıcaklık etkisini araştırdıklarında, sıcaklığın eklemlerin davranışında önemli rol oynadığını görmüşlerdir. Sıcaklığın 80°C olduğu durumda kompozit malzemenin sertliğinde azalma olduğunu, nihai özelliklerin büyük ölçüde bozulduğunu gözlemlemişlerdir.

Murray ve diğer. (2019), termoplastik reçineler kullanarak, rüzgar türbini kanatları için gelişmiş birleşme yöntemleri üzerine araştırmalar yapmışlar ve rüzgar türbini kanatlarının füzyonla birleşme yöntemini incelemişlerdir. Bu yöntem, yerinde üretim kolaylığı ve enerji verimliliği sağlamaktadır. İleride yapıştırıcı ile bağlantının yerini alacağını öngörmektedirler. Füzyon kaynaklı termoplastik kompozit bağlar, yaygın olarak kullanılan rüzgar türbini kanadı yapıştırıcılarından daha yüksek statik ve yorulma yırtılma mukavemetine sahip olduğunu görmüşlerdir. Kaynaklı füzyon için çeşitli arıza modları gözlemlenmiş, bağlanma mukavemetini arttırmak için gerekli olan bağlanma işlemindeki gelişmeleri belirlemek için bağlar ve taramalı elektron mikroskopisi kullanılmışlardır.

Bindirme numuneleri için güç gereksinimlerine ve ısıtma süresine bağlı olarak ve yapıştırıcıların uygulanacağı şimdiki zamana kıyasla bıçak üretimi sırasında, rüzgar türbini kanat imalat tesislerinde füzyon birleştirme işleminin kalıp içi döngü sürelerini azaltması beklenmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, füzyon birleştirme işleminin imalat sürelerinin azalmasıyla daha güçlü bağlarla sonuçlanma ve dolayısıyla bıçak maliyetlerinin düşme potansiyeli olduğunu göstermektedir. Direnç kaynağı, rüzgar türbini kanadı bileşenleri için kontrollü, düşük maliyetli füzyon birleşimi için en iyi yol olarak tanımlanmıştır. Gelecekteki çalışmalar, bir alt bileşen bıçak ölçeğine kadar ölçeklendirme ve yapısal olarak daha büyük bağ alanlarının doğrulanmasına odaklanmaktadır (Murray ve diğer., 2019).

Sayman, Arıkan ve diğer. (2013), bir yapıştırıcı ile bağlanmış tek türlü bir kompozitin yük taşıma kapasitesini deneysel olarak incelemişlerdir. Cam elyaf epoksi kompozitleri Loctite 9466 A&B2 marka yapıştırıcı kullanarak yapıştırmışlardır. Numunelerin yapışma davranışlarını incelerken, yüzeylerini pürüzlü ve pürüzsüz olarak dikkate almışlardır. Ayrıca farklı sıcaklıklar ve farklı darbe enerjileri altındaki numunelerin davranışlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak sıcaklığın artması veya azalmasıyla, yapışkan bölgenin yapışmasını ve yapışma ve pürüzlü yüzeylerin pürüzsüz yüzeylere göre yüksek mukavemet sağladığını görmüşlerdir. 5, 10 ve 15 J'de yük taşıma kapasitesi azaldığını ancak 20 J'de arttığını gözlemlemişlerdir.

Zhan ve diğer. (2016), farklı T bağlantı konfigürasyonlarının mekanik özelliklerini incelemek amacıyla çekme testine tabii tutmuşlardır. Ayrıca bu bağlantı yöntemini sayısal olarak da incelemişlerdir. Sayısal analiz sonuçları ile deneysel testlerin sonuçlarının uyumlu olduğunu görmüşlerdir. Bağlanma hattının geometrisindeki varyasyonun, yapışkan bir şekilde bağlanmış T bağlantısının gerilme dağılımları, eğilme konsantrasyonları ve yük taşıma kapasitesi üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu göstermişlerdir. Ortalama bağlanma alanı arttıkça ortalama başarısızlık yükü arttığını ve Y eksenindeki yer değiştirmenin azaldığını, ortalama bağlanma hattı alanının ise arttığını görmüşlerdir.

Rotella ve diğer. (2016), lazer ışınının çelik yüzeylere uygulanmış olan yapıştırma bağlantısına etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, lazer ışımasının, kesme ve soyma yüklemesi altındaki bağlantının genel mekanik davranışını etkili bir şekilde arttırdığını göstermektedir. Agresif çevresel koşullara maruz kaldıktan sonra ise bağlantı kuvvetinin korunmasına izin verdiğini gözlemlemişlerdir.

Fernandes ve diğer. (2016), sıcaklığın, karbonik epoksi kompozit bağlı bağlantıların kırılma davranışları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Mod I yüklemesi altında 0°C ve 25°C'de benzer kırılma enerjileri elde edilmiş, ancak 50°C'de ani bir düşüş gözlenmiştir. Mod II ile ilgili olarak, kırılma enerjisi sadece sıcaklıktan az oranda etkilenmiştir. Yapışkan parametreler üzerindeki sıcaklık

etkisini değerlendirmek için trapezoidal yasaları dikkate alan bir yapışkan bölge modeli kullanılarak sayısal bir çalışmada yapmışlardır.

Diez de Ulzurrun ve diğer. (2007), güverteden gövdeye yapıştırıcı bağlantısına etki eden hizmet içi dinamik yükleri uygun bir test örneğinde yeniden üretmeyi amaçlamışlardır. Başlangıç ve artık gerilmelerin belirlenmesi için yarı statik testler, tüm yönlerden ideal aday olarak sadece bir yapışkan sistemi gösterilemeyeceği sonucuna varmışlardır. Numunelerin güçlü ve zayıf özelliklerinin olduğunu ve nihai seçimin, belirli bir uygulama için gereken nihai performans kapsamında yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Yorulma testleri seçilen döngü sayısı boyunca örnek hatası göstermemiştir. Hasar görmüş örneklerin güçlü yanları, çoğu durumda, zarar görmemiş ilk duruma göre ihmal edilebilir bir azalma olduğunu göstermiştir.

Murakami ve diğer. (2016), yükleme hızları ve gerilme ve kesme kuvvetinin birleşik gerilme durumlarının, yapıştırıcı ile bağlanmış bir bağlantının mukavemeti, gerinim ve soğurulmuş enerjisi üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Birleşik yükleme testlerinin sonuçları, kırık yüzeylerin durumlarının yükleme oranlarından etkilenmediğini göstermiştir. Çekme ve kesme yükü oranına gelince, kesme yükü oranı çok yüksek olduğunda yapışkan arızası kısmen meydana gelme eğilimindedir.

Heshmati ve diğer. (2016), en etkili faktörlerden biri olan nemin, köprülerde kullanılan FRP / elik bağlantıların uzun vadeli performansı üzerindeki etkilerini araştırmak için hem deneysel hem de sayısal yaklaşımlar kullanmışlardır. Yapıştırıcının hızlı krlenmesinin, tamamen kürlenmiş epoksi numunelerinin difüzyon özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığını gözlemlemişlerdir. Tuzlu suyun yapışkanın mekanik özelliklerini damıtılmış sudan daha düşük bir dereceye kadar bozduğunu görmüşlerdir. Artan nem içeriğiyle birlikte elastik yapışkan modülünün önemli ölçüde azalmasına rağmen, bağlantı seviyesinde sertlik azalmasının önemsiz olduğunu bulmuşlardır.

Ghanbari, Sayman, Pekbey ve Özdemir (2016), yapıştırıcı türlerinin yük taşıma kapasitesini incelemek amacıyla, iki farklı yapıştırıcı türü ile bağlanmış tek türlü bağlantının hasar yükünü incelemiştir. Seçilen yapıştırıcıların bağlantı mukavemeti üzerindeki etkisini farklı sıcaklıklar altında incelemiştir. Yaklaşık olarak benzer mekanik özelliklere sahip iki farklı yapıştırıcı için sıcaklık arttığında, bağlantıların yük taşıma kapasitesinin azaldığını gözlemlemiştir. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar eksenel darbeye maruz bırakıldığında, yük taşıma kapasiteleri özellikle yüksek eksenel darbe enerjisi seviyelerinin altında azalmıştır. Hem sıcaklık değişiklikleri hem de farklı eksenel darbe enerjisi seviyeleri farklı hasar modlarına neden olmuştur. Yüke karşı yer değiştirme eğrilerinden, FM73 yapıştırıcının yük taşıma kapasitesinin farklı sıcaklıklar altında DP460 yapıştırıcıdan daha iyi olduğu görülmüştür.

Soykök (2015), değişken bağlantı bölgesi geometrilerinin ve yapışkan dolgulu pim deliklerinin yapışkanla birleştirilen kompozit yapılar üzerindeki potansiyel etkilerini analiz etmek için deneysel bir araştırma yapmıştır. Uca doğru incelenen numunelerin, özellikle yarım uzunlukta olanların, tek bindirmeli bağlantılarda mekanik özelliklerde beklenen bir ilerleme sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, aynı düzlemde hizalanmış plakalara sahip kıravat tipi bağlantılarında, tek bindirmeli bağlantılar dikkate alındığında artırılmış rijitlik ve mukavemette artış göstermiştir. Rijitlik ve mukavemet açısından, plakaların kalınlaşmasının aynı zamanda kompozit tek türlü bağlantıların yanı sıra kıravat tipi bağlantıları üzerinde de etkili olduğu görülmüştür. Yapışma sırasında önceden deliklere doldurulan sertleştirilmiş yapıştırıcının yük taşımada bir pim etkisi yaratacağı beklentisinin aksine, delikli numuneler düşük performans sergilemiş ve bağlantı kalitesinde azalmaya neden olmuştur.

Her (1999), yapıştırıcı ile bağlanmış bağlantılar arasında tek türlü bağlantı ve çift türlü bağlantının klasik elastikiyet teorisine dayanan basitleştirilmiş tek boyutlu bir model olarak sunmuştur. Yapıştırıcıdaki kayma deformasyonunun yapıştırıcı kalınlığı boyunca sabit olduğu varsayılmış, yapıştırıcıdaki kayma gerilmesinin analitik çözeltileri ve yapışmadaki uzunlamasına gerilme elde edilmiş ve iki boyutlu

sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenen sayısal çözümlerle karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışmanın sonucunda, yapışkan bağlama bölgesinin serbest uçlarında yüksek stres konsantrasyonu meydana geldiğini görmüştür. Yapışkan tabakadaki kesme gerilmesi ve enine normal gerilme, yapışkan birleştirme bağlantılarının hasarının başlamasından sorumludur. Yapışkan tabakanın kalınlığının artması, yapışkan bir şekilde yapıştırma bölgesinde daha düşük kesme gerilmesine yol açmaktadır. Böylece, daha kalın yapışkan tabaka yapışkan birleştirme bağlantısının mukavemetini arttırabilmektedir. Yapışkan derz tarafından bağlanan iki farklı yapışkan durumda, maksimum kesme gerilmesi yapışkan bölgenin serbest ucunda yapışkanın ucuna yakın yüksek sertlikte meydana gelmektedir. Yapıştırıcıların kalınlığı farklı olduğundan, maksimum kayma gerilmesi, yapışkan bölgenin serbest ucunda, daha ince yapışmanın yakınında meydana geldiği görülmüştür.

Bu tez kapsamında, termoplasik kompozit malzemeler tekil bindirme yöntemiyle yapıştırılmıştır. Hazırlanan numunelere darbe deneyleri ile farklı sıcaklıklar altında darbe deneyleri uygulanmıştır.

## **BÖLÜM İKİ**

### **KOMPOZİTLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER**

#### **2.1 Kompozitlerin Tanımı ve Tarihçesi**

Bir ve daha fazla malzemenin kombinasyonu olarak, tek başınayken sahip oldukları özelliklerden, daha iyi özelliklere sahip oldukları malzeme birleşimi kompozit malzemeyi oluşturur. Metal alaşımlardakinin aksine, kompozit malzemeyi oluşturan her bir malzeme, sahip oldukları mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri korurlar (Campbell, 2010).

Kompozitler milyonlarca yıldır, doğada kendiliğinden oluşmaktadır, bu nedenle kompozitlerin tarihine bakacak olursak, belki de dünyada yaşamın başladığı döneme kadar inmektedir (Balasubramanian, 2013). Kompozit malzemeler antik çağlardan beri kullanılmaktadırlar. Bazı silahların performanslarını iyileştirmek için, kompozit malzemelerden faydalanılmıştır. Örneğin, Moğolların kullandığı yaylarda, sıkıştırılmış kısımlar tahtadan, gerilmiş kısımları ise, inek ve tahta tendonlarından yapılmıştır (Gay, 2014).

İnsan yapımı en eski kompozite bakıldığında, İsraililerin kil ve bitki samanını kullanarak yaptıkları tuğla örnek olarak verilebilir. Yirminci yüzyılın başlarında beton, dolgulu kauçuk ve fenolik reçineler geliştirilmiştir. İkinci Dünya Savaşı sırasında, cam elyaf üretiminde gelişmeler başlamıştır ve özellikle askeri sanayisinde kullanılmıştır. Savaşın sonra, özellikle denizcilik sektöründe kullanılmış ve gelişmeye devam etmiştir (Balasubramanian, 2013).

Günümüzde de, yeni matris malzemelerinin bulunması, yeni üretim yöntemleri, tasarım yazılımları ve bunun gibi birçok konuda kompozit malzemelerin gelişimi devam etmektedir. Özellikle enerji verimliliğinin öneminin arttığı günümüzde, enerji tasarrufunda ya da üretiminde kompozitlerin büyük rol oynadığı ve gelecekte de büyük rol oynayacağı kaçınılmaz bir gerçektir (Balasubramanian, 2013).

## 2.2 Kompozitlerin Kullanım Alanları

Kompozitler, elektroniklerde (örneğin baskı devre kartları), inşaat sektöründe, elektrik endüstrisinde, petrol, tıp ve bunun gibi birçok endüstriyel ürün kanalında kullanılmaktadır (Mallick, 2007).

Özellikle yüksek hızların istendiği ve buna bağlı olarak ağırlık azaltılmasının istendiği uçak endüstrisi uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadırlar. 1969 yılında F-14’lerde epoksi kaplamaların kullanılmasından bu yana uçak endüstrisinde kompozitlerin kullanımı büyük istikrarlı bir büyüme sağlamıştır. Uçaklarda olduğu gibi, birçok uzay aracında da fiber takviyeli kompozitlerin kullanılmasının ana nedeni ağırlık azaltmadır. Ayrıca uzaydaki sıcaklığın,  $-100^{\circ}\text{C}$  ile  $+100^{\circ}\text{C}$  arasında değiştiği düşünüldüğü, uzay teleskobundaki aynalar ve lenslerin destek yapısının boyutsal değişimleri önem taşımaktadır. Aksi takdirde termal genleşme ve bozulmalar, teleskobun odaklanmasında büyük problemlere yol açmaktadır. Bu nedenle de kompozitlerin uzay sanayisinde kullanılması kaçınılmazdır (Mallick, 2007).

Kompozit malzemelerin otomotiv uygulamalarına bakıldığında, uçak ve uzay endüstrisine kıyasla, yeni boyut, düşük maliyet ve yüksek hızlı üretimi kapsamaktadır (Jones, 2014). Otomotiv endüstrisinde kullanılan kompozitlerin uygulamaları üçe ayrılmaktadır. Bunlar; vücut bileşenleri, şasi bileşenleri ve motor bileşenleridir (Mallick, 2007).

Kompozit malzemelerin spor uygulamalarına bakıldığında, tenis raketinden spor ayakkabılara kadar birçok dalda kullanılmaktadır. Kompozit yapıları burada kullanmanın en büyük nedenleri, titreşim sönümleme, hafiflik ve esneklik özelliğidir. Günümüzde yarış bisikletleri için bisiklet çerçeveleri, çoğunlukla titanyum fittingler ve ek parçalar ile bir araya getirilmiş karbon fiber takviyeli epoksi tüplerden yapılmıştır. Ortalama yarış bisikleti ağırlığı, 1980’lerde yaklaşık 9 kilograma, 1990’larda ise 1,1 kilograma kadar düşmüştür (Mallick, 2007).

Kompozitler, farklı türdeki birçok teknede kullanılmaktadır. Uygulamaları arasında, gövde, güverte ve çeşitli iç bileşenler bulunmaktadır. Bu bileşenlerin çoğunu yapmak için temas kalıplama yöntemi kullanılır. Emek gerektiren bir işlem olmasına rağmen düşük maliyetli olduğu için birçok küçük şirket tarafından tercih edilmektedir. Kompozitlerin gemi ve tekne yapımında kullanılmasının başlıca avantajı hafifliktir. Ayrıca, yüksek seyir hızı, manevra kabiliyeti ve yakıt verimliliği kazandırmaktadır (Mallick, 2007).

Bazı kompozit malzemeler, maliyetleri yüksek olmasına rağmen ticari uygulamalarda kullanılmaktadır. Örneğin fiberglas oltalar 1940'larda üretilmiş ve 1960'larda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunun gibi birçok kayak, sörf tahtası gibi ürünlerde kullanılmaktadır. Kaliforniya ve Japonya gibi birçok yerde hali hazırda bulunan köprü kolonlarının güçlendirilmesinde de kullanılmaktadır (Jones, 2014).

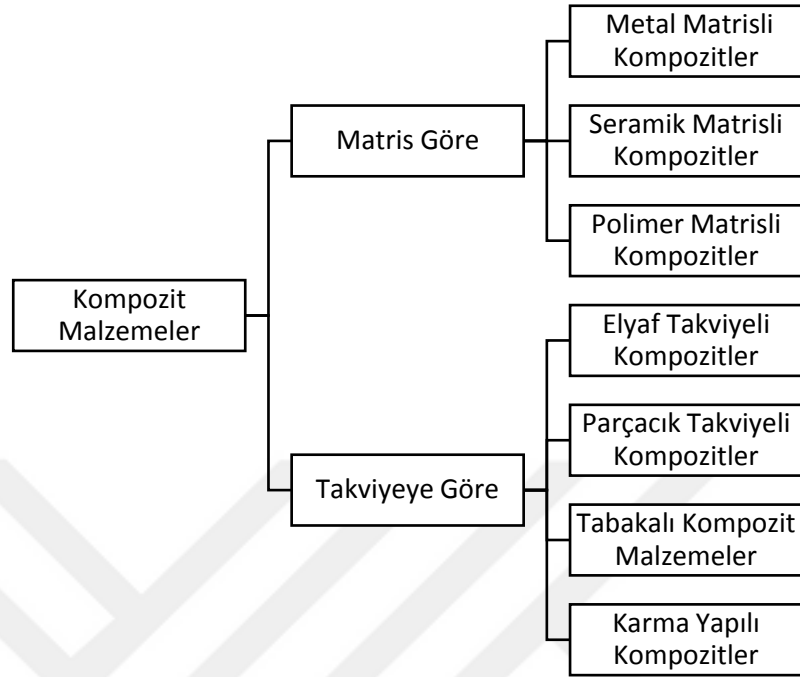
Dünyanın mucitleri eski ürünleri geliştirmek ve hayal güçlerini kullanarak yeni ürünler ortaya çıkartmak istedikçe, kompozit malzemelerin kullanım alanlarının gittikçe artması kaçınılmazdır (Jones, 2014).

### **2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemelerin ana bileşenleri takviye fazı ve bu faz için bağlayıcı görevi gören matrislerdir. Ayrıca fiber ve takviye fazı arasındaki bağlanmayı arttırmak amacıyla birleştirme ya da dolgu malzemeleri de kullanılmaktadır (Jones, 2014).

Takviye fazı, malzemeye sertlik ile güç sağlar ve çoğu durumda matristen daha güçlü ve serttir. Takviye fazları genellikle fiber ya da partiküllerdir. Matrisler ise, fiberleri uygun yönelimde ve uygun aralıkta tutmayı sağlar. Fiberleri dış darbelere ve aşınmaya karşı korur (Campbell, 2010).

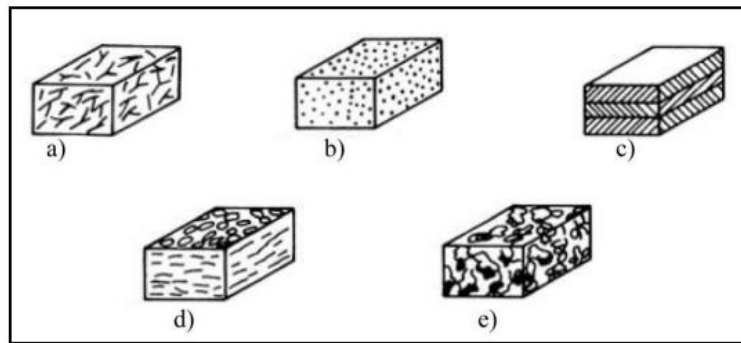
Kompozit malzemeleri matris ve takviye fazına göre sınıflandırabiliriz. Bunlar, Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Campbell, 2010 )

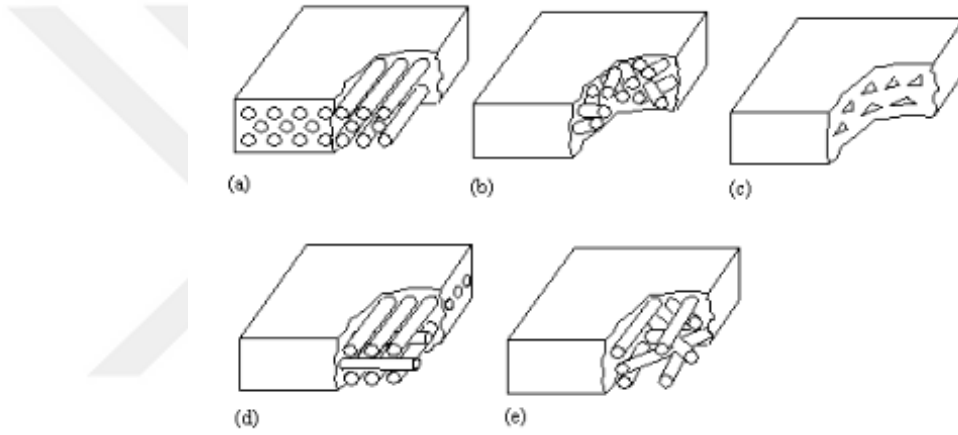
### 2.3.1 Takviye Türüne Göre Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, takviye türüne göre sınıflandırıldığında; elyaf takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli kompozitler, tabakalı kompozit malzemeler ve karma yapılı kompozitler olarak ayrılmaktadır (Kaw, 2006). Çeşitli takviye yapılı kompozitlerin örnekleri Şekil 2.2’de verilmiştir.



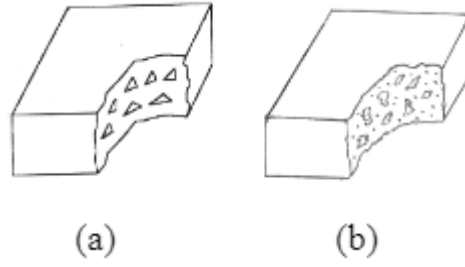
Şekil 2.2 Çeşitli takviye yapılı a) fiber takviyeli, b) partikül takviyeli, c) tabaka yapılı, d) hibrit yapılı ve e) dolgu yapı kompozitlerin şematik görünümü (Vinson ve Sierakowski, 2006)

Kısa veya uzun elyaflarla takviye edilmiş matrislerden oluşan kompozitler elyaf takviyeli kompozitler adını alır. Elyaf lar matrislerin içine gömülüdür ve anizotropik yapıdadırlar, ancak kısa elyaflarla izotropik yapı oluşturmak mümkündür. Elyaf takviyeleri kompozit malzemenin mukavemetini etkileyen unsurlardandır. Çünkü bu malzeme türünde, yük elyaflara iletilmekte ve yükü elyaflar taşımaktadır (Kaw, 2006). Elyaf takviyeli kompozitler, sürekli elyaf takviyeli kompozitler, kesikli elyaf takviyeli kompozitler, rastgele düzlemsel olarak yönlendirilmiş olan kompozitler olarak alt sınıflara ayrılmaktadır (Şahin, 2015). Elyaf takviyeli kompozitlerin değişik şekilli halleri Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Değişik şekilli elyaf takviyeli kompozitler. (a) tek yönlü sürekli elyaflar, (b) kesikli elyaflar, (c) ortogonal elyaflar, (d) parçacık şekilli, (e) rastgele düzlemsel yönlendirilmiş elyaflar (Şahin, 2015)

Alaşım ve seramik gibi parçacıkların matrislere batırılmasıyla oluşmuş olan kompozitler parçacık takviyeli kompozitler adını alır. Parçacıklar rastgele yerleştirilmiştir ve genellikle izotropik yapıdadırlar. Parçacık takviyeli kompozitlerin yüksek mukavemet, arttırılmış çalışma sıcaklığı ve oksidasyon direnci gibi avantajları vardır (Kaw, 2006). Parçacık takviyeli kompozitler, büyük parçacıklarla dayanımı arttırılmış ve dispersiyonla dayanımı arttırılmış kompozitler olarak alt gruba ayırmak mümkündür (Şahin, 2015). Şekil 2.4’de bu kompozitlerin örnek halleri verilmiştir.



Şekil 2.4 Parçacık takviyeli dispersiyonla dayanımı arttırılmış kompozitlerin yapısı (a) büyük parçacık takviyeli kompozit, (b) küçük parçacık takviyeli kompozit (Şahin, 2015)

Farklı özelliklere sahip en az iki farklı tabakanın bir araya getirilmesiyle en iyi özelliğin elde edilmeye çalışıldığı kompozit malzemeler, tabakalı kompozit malzemeler adını alır.

İki veya daha fazla takviye elemanı kullanılarak oluşturulmuş olan kompozit malzemeler, karma yapılı kompozit malzeme olarak adlandırılmaktadır. Karma yapılı kompozitler oluşturulurken her iki yapının özelliklerinden faydalanılır. Örneğin cam ile karbon birleştirilmesiyle oluşturulmuş karma yapılı kompozitte, düşük maliyetli ve yüksek modüllü kompozit oluşturmak mümkündür (Balasubramanian, 2013).

### **2.3.2 Matris Malzemesine Göre Kompozit Malzemeler**

Kompozit malzemeler, matris malzemesine göre üçe ayrılmaktadır. Bunlar, metal, seramik ve polimer matrisli kompozitlerdir.

#### **2.3.2.1 Metal Matrisli Kompozitler**

Metal matris malzemesine sahip olan kompozitler, metal matrisli kompozit adını almışlardır. Metal matrisli kompozitlerin matris malzemesine örnek olarak, alüminyum, magnezyum ve titanyum, takviye malzemesine örnek olarak ise, karbon ve silon karbür örnek olarak verilebilir. Bu malzemeler oluşturulurken tasarım kriterine göre, malzemenin özelliklerini arttırmak amacıyla metal takviye malzemeleri kullanılır. Çünkü metallerin elastik sertliği ya da mukavemeti değiştirilebilir (Kaw, 2006).

Metal matrisli kompozitlerin çoğunluğu hala geliştirilme aşamasındadır, sadece birkaçı ticari olarak üretilmektedir. Son zamanlarda bu kompozitlere ilgi yoğunlaşmış ve dikkat çekmişlerdir (Balasubramanian, 2013).

Parçacık veya süreksiz olarak güçlendirilmiş metal matrisli kompozitler, sürekli elyaf takviyeli kompozitlere göre daha ucuzdurlar ve elyaf takviyeli kompozitlere oranla daha fazla izotropik özelliklere sahip olduklarından dolayı, çok daha önemli hale gelmişlerdir (Chawla, 2012).

Metal matrisli kompozitlerin uygulama alanlarını, havacılık ve havacılık dışı olarak ayırmak uygundur. Düşük yoğunluk, yüksek sertlik ve mukavemet özelliklerinden dolayı havacılık uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedirler. Havacılık uygulamalarında maliyetten ziyade performans daha önemli bir kriterdir. Ancak havacılık dışı uygulamalarda, maliyet ve performans önemlidir, yani bu kriterlerin optimum bir kombinasyonu gereklidir. Bu nedenle metal matrisli kompozitlerin uzay dışı alanlarda, yapısal ve yapısal olmayan uygulamalarda kullanılması beklenmektedir (Chawla, 2012). Şekil 2.5’de alüminyum alaşımlı metal matrisli kompozitten yapılmış ürün örneği verilmiştir.



Şekil 2.5 Kısa fiber takviyeli alüminyum alaşımlı metal matrisli kompozitten yapılmış piston kafası (Chawla, 2012)

### 2.3.2.2 Seramik Matrisli Kompozitler

Birçok oksit ve oksit olmayan seramik malzemelerin, matris malzemesi olarak kullanıldığı kompozit malzemeler seramik matrisli kompozitler olarak adlandırılır. Çalışma sıcaklığının 1200°C'nin üstünde olduğu yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilmektedirler. Seramik matrisli kompozitler çok yüksek sıcaklıklarda işlenerek elde edilirler, bu yüzden çok pahalılardır (Balasubramanian, 2013).

Seramik matrisli kompozitlerin, yüksek mukavemet, sertlik, yüksek çalışma sıcaklığı gibi avantajları bulunmaktadır. Ancak düşük kırılma tokluğuna sahiptirler. Bu yüzden çekme ve darbe deneylerinde başarısız olurlar (Kaw, 2006).

Seramik matrisli kompozitler ile diğer kompozitler arasında önemli oranda farklar bulunmaktadır. Diğer kompozit malzemelerde, uygulanan yükün büyük çoğunluğu takviye malzemeleri tarafından taşınmaktadır. Uygulanan bu yük fiber ve matrisin elastisite modülünün oranına bağlıdır ( $E_f / E_m$ ). Diğer kompozit malzemelerde bu oran yüksekken, seramik matrisli kompozit malzemelerde oldukça düşüktür. Bir diğer ayırt edici nokta ise, yüksek imalat sıcaklığı nedeniyle, bileşenleri arasında termal uyumsuzluk meydana gelmektedir. Bu termal uyumsuzluk, seramik matrisli kompozitlerin performansında önemli bir etkiye sahiptir (Chawla, 2012).

Seramik matrisli kompozitler, metal ve polimer matrisli kompozitlerin kullanılmadığı, yüksek çalışma sıcaklığının gerekli olduğu alanlarda uygulama alanı bulmaktadır. Tipik uygulama alanları arasında, oksitleyici ve yüksek sıcaklıklı ortamlardaki kesici takım uçları bulunmaktadır (Kaw, 2006).

### 2.3.2.3 Polimer Matrisli Kompozitler

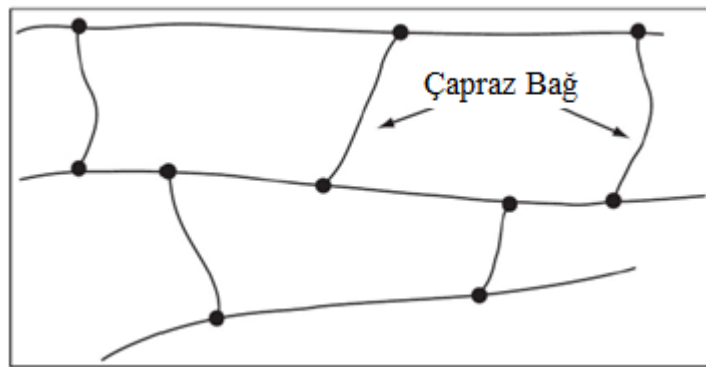
İnce çaplı fiberlerle takviye edilmiş bir polimerden oluşan polimer matrisli kompozitler en yaygın olarak kullanılan kompozitlerdir. Bunların en yaygın olarak kullanılan kompozitler olmasında, düşük maliyetleri, yüksek mukavemetleri ve basit üretim yöntemlerine sahip olmaları etkilidir. Ancak dezavantajlarına bakıldığında,

düşük çalışma sıcaklıkları, yüksek termal ve genleşme katsayıları ve belirli yönlerde düşük elastik özellikleri bulunmaktadır (Kaw, 2006).

Polimerlerin, düşük yoğunlukları ve düşük işlem sıcaklıkları nedeniyle matris malzemeleri olarak kullanılması uygundur. Bu duruma göre, bir polimer matrisi olan kompozitler son derece teknik öneme sahiptirler. Havacılık endüstrisinde ve diğer birçok alanda, örneğin spor ekipmanlarında vazgeçilmezdirler. Polimer matrisli kompozitler uzun ve kısa elyaflarla kullanılmaktadırlar (Rösler, 2007).

Polimer matrisli kompozitler, termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki geniş kategoriye ayrılmaktadır.

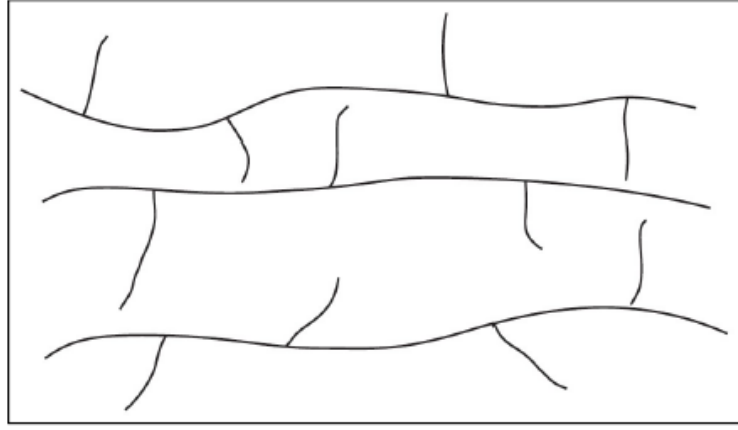
**2.3.2.3.1 Termosetler.** Kompozit parçaların yapımında kullanılan ve ısıyla sertleşen polimerler bulunmaktadır. Termoset bir polimer yapmak için kullanılan başlangıç materyalleri, çoğu durumda düşük viskoziteli sıvılar olan, düşük moleküler ağırlıklı organik prepolimerlerdir. Ön polimerlerdeki moleküller nispeten küçük uzunluktadır ve kimyasal olarak bağlı değildir. Sıvı durumdan katı duruma dönüşüm, çoğunlukla kompozit parça imalat aşamasında gerçekleşen kimyasal bir reaksiyondur. Bu kimyasal reaksiyonda moleküller çapraz bağlarla birleştirilir ve üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturulur (Mallick, 2008). Şekil 2.6'da termosetlerin moleküler bağlarının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.6 Termosetlerin moleküler bağlarının şematik görünümü (Mallick, 2008)

2.3.2.3.2 *Termoplastikler*. Termoplastik kompozitler, genel olarak plastik adıyla anılmaktadırlar. Isıtıldığı zaman eriyebilme özelliğine sahip olduklarından, tekrardan şekillendirilebilen polimer matrisli kompozitlerdir. Enjeksiyonla üretim ya da kalıplama esnasında eritilen termoplastik kompozitler, soğumaya bırakıldıklarında kolaylıkla kristal yapıyı kuramazlar. Çünkü, kıvrık ve büzülmüş bir halde olan polimer zincir yapısının düzenli bir hale geçmesi için çok fazla enerjiye ihtiyaç bulunmaktadır (Evcin, 2017). Termoplastiklerin, kıvrık ve büzülmüş yapıda olan moleküler zincir yapısı Şekil 2.7’de verilmiştir.

Havacılık ve uzay uygulamaları için seçilen termoplastik polimerler, polieter eter keton (PEEK), polipenilen sülfid (PPS), polieterimit (PEI) ve poliamit-imit (PAI) gibi yüksek sıcaklıklı polimerlerdir. Bu polimerler genellikle sürekli karbon fiberler veya kumaşlar ile takviye edilirler. Daha yüksek kırılma tokluğuna ve çatlak büyüme direncine sahip oldukları için bazı havacılık uygulamalarında epoksiler için alternatif olarak kabul edilirler. Aynı zamanda mükemmel ısı ve kimyasal direnç sağlarlar ve işlem süreleri epoksi matris kompozitlerden çok daha kısadır. Otomotiv uygulamaları için seçilen termoplastik polimerler, polipropilen (PP) ve poliamid-6 (PA-6) gibi daha düşük maliyetli polimerlerdir. Bu polimerler, gösterge panelleri, iç kapı panelleri ve kaput altı bileşenleri gibi uygulamalar için rastgele yönlendirilmiş kısa cam elyaflarla takviye edilmiştir. Polipropilen matrisinde rastgele yönlendirilmiş sürekli cam elyaf içeren kompozitler tampon kirişlerinde ve koltuk yapılarında kullanılır. Daha yüksek kimyasal dirençleri nedeniyle, hem havacılık hem de otomotiv endüstrilerinde bu uygulamaların birçoğunda amorf polimerler yerine yarı kristalli polimerler tercih edilmektedir (Mallick, 2018).



Şekil 2.7 Termoplastiklerin moleküler bağlarının şematik görünümü (Mallick, 2008)



## **BÖLÜM ÜÇ**

### **TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ**

Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri, metal matrisli kompozitlerde kullanılan geleneksel üretim yöntemlerinden farklıdır. Örneğin bükme ve gerdirmeye gibi soğuk şekillendirme işlemleri, alüminyum ve çelik alaşımlarının imalatında kullanılır. Eğer kompozit malzeme, termoset kompozit ise, vakum torbası kalıplama, reçine transfer kalıplama veya sıkıştırma kalıplama gibi, kalıplama işlemleri dikkate alınmalıdır. Eğer kompozit malzeme termoplastik bir kompozit ise, termostamping veya diyafram oluşturma gibi şekillendirme işlemleri kullanılır. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemlerine kıyasla, bu üretim yöntemlerinde daha düşük kuvvet ve basınç kullanıldıkları için, bu üretim yöntemlerinin maliyetleri daha düşüktür ve hurdaya çıkan daha az malzeme israfı vardır (Mallick, 2018).

Polimer matrisli kompozitlerin alt sınıfları termoplastik ve termoset kompozitlerdir. Termoplastik kompozitlerin, termoset kompozitlere göre çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır (Chawla, 2012). Termoplastiklerin üretim yöntemlerinden bahsetmeden önce, avantaj ve dezavantajları açıklanacaktır. Sonraki başlıklarda ise üretim yöntemlerinden bahsedilecektir.

Termoplastik matrisli kompozitlerin avantajları:

- Parçalar sıcaklık kullanılarak birleştirilebilir.
- Parçalar tekrardan kalıplanabilir ve hurda geri kazanım vardır.
- Termoplastikler, termoset kompozitlere göre, daha iyi tokluk direncine sahiptir (Chawla, 2012).

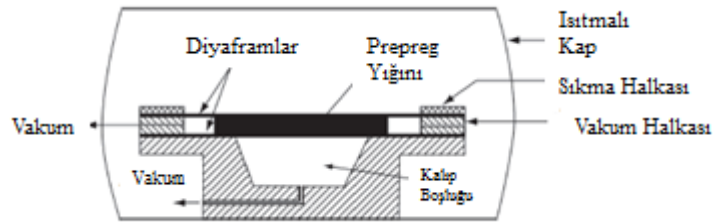
Termoplastik matrisli kompozitlerin dezavantajları:

- Termoset kompozitlere göre daha yüksek işlem sıcaklarına sahiptir.
- Termoplastikler sert oldukları için, kısmen kürlenmiş olan epoksilerin yapışkanlığından yoksundur (Chawla, 2012).

### 3.1 Diyaframla Şekillendirme Yöntemi

Bu işlemde, iki diyafram arasında serbestçe yüzen, termoplasik prepreg tabakalarının sandviçlenmesi gerçekleştirilir. Diyaframlar arasındaki hava boşaltılır ve termoplastik tabakalar, matrisinin erime noktasının üstündeki sıcaklığa kadar ısıtılır. Diyaframlar üzerine basınç uygulanır, uygulanan bu basınç, diyaframların şeklinin bozulmasına ve kalıbın şeklini almasına neden olur. Tabakalar matrisin erime noktası sıcaklığının üzerinde esnekleşir ve kolayca kalıbın şeklini alır. Şekillendirme işleminin tamamlanmasının ardından kalıp soğutulur, diyaframlar çıkartılır ve kompozit elde edilmiş olur. Bu tekniğin avantajlarından biri çift eğrili kompozitlerin oluşturulabilmesidir. Bu şekillendirme işleminin kritik noktası diyaframların sertlikleridir. Çünkü yüksek kalıplama basınçlarının gerekli olduğu yerlerde, sert diyaframlara ihtiyaç bulunmaktadır (Chawla, 2012). Diyaframla şekillendirme yönteminin şematik resmi, Şekil 3.1’de verilmiştir.

Diyafram malzemesi, metalik, süperplastik alüminyum alaşımı veya termoplastik olabilir. Bazı uygulamalarda diyafram malzemesi olarak, silikon kauçuk da kullanılmıştır. Silikon kauçuğun avantajı, yeniden kullanılabilir olmasıdır. Çünkü diyafram zamanla deforme olur ve şeklini koruyamaz. Diyafram malzemesinin önemli özelliği, yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi ve gerilme sırasında yırtılmamasıdır (Mallick, 2018).

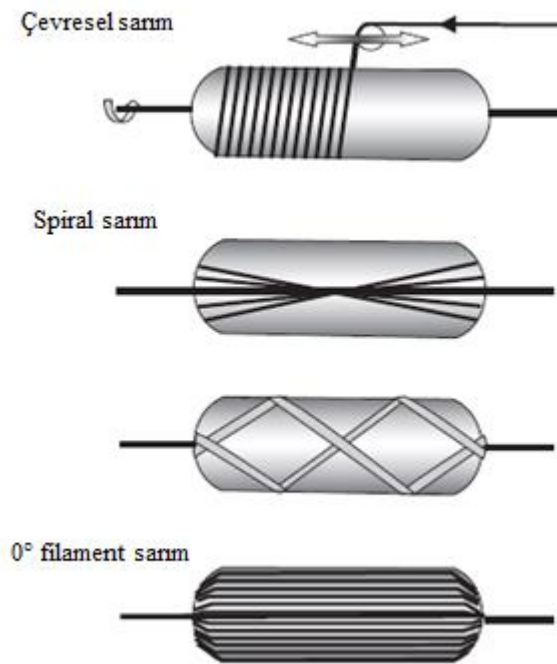


Şekil 3.1 Diyaframla şekillendirme yöntemi (Mallick, 2018)

### 3.2 Bant Sarma Yöntemi

Termoplastik bant sarma yöntemi, termoset bant sarma yöntemine göre daha az yaygındır (Chawla, 2012). Emdirilmiş fitil ya da prepreg bir ısıtma kafası tarafından

ısıtılır. Bir eksen üzerinde dönen mandren tarafından fitil ya da prepreg sarılır. Isı ve basınçla birlikte birleşme sağlanır. Daha sonra sertleşmesi için soğumaya bırakılır. Lifler burada, eksene dik, eksene paralel ya da eksen üzerinde belirli bir açıda eğimli olarak sarılabilir. Bu yöntemin avantajlarına bakıldığında, takviye seviyesi, %60 ile %70 hatta %80 seviyelerine kadar çıkabilmektedir. Bu da yüksek oranda mekanik özellikler elde etmeyi sağlamaktadır. Ayrıca sargı açılarını değiştirerek, seçilen yönlerde özellikler geliştirilebilir. Şekil 3.2’de değişik sarım yöntemleri örnekleri verilmiştir. Dezavantajlarına bakıldığında ise, yatırım maliyeti fazladır. Sınırlı tasarım şekilleri sunar ve takviye yerleşimi dikkatli bir şekilde hesaplanmalıdır. Metal iç astarlı yüksek basınçlı tanklar, borular ve direkler bu yöntemin uygulama örneklerindendir (Biron, 2013).



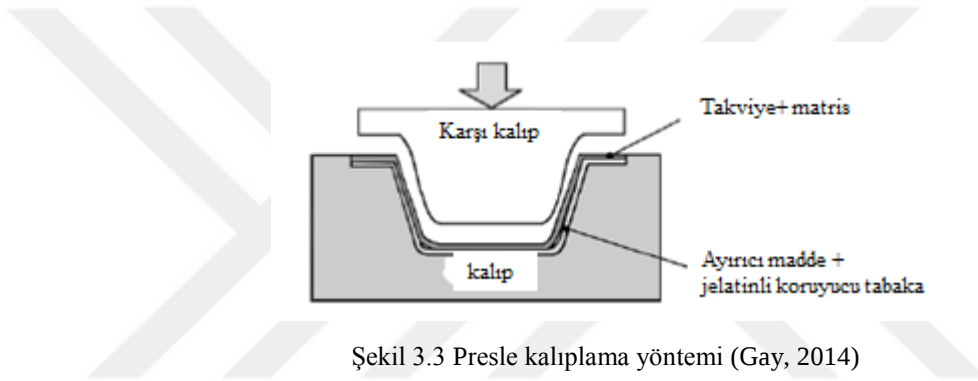
Şekil 3.2 Bant sarma yöntemi (Biron, 2013)

### 3.3 Presle Kalıplama Yöntemi

İmalat yöntemlerinden bir diğeri olan, presle kalıplama yöntemi, termoset ve termoplastik kompozit malzemelerin her ikisinde de kullanılmaktadır. Karmaşık şekilli, yüksek mukavemetli ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin üretiminde kullanılır. Bu yöntem yüksek basınçlı bir işlemdir. Presle kalıplama yöntemi,

özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu yöntem özellikle, termoset kompozitler, uzun elyaf takviyeli termoplastik kompozitler ve cam elyaf takviyeli termoplastik kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Campbell, 2010).

Bu yöntemde, eritilmiş takviyeler kalıba yerleştirildikten sonra, kalıbın kapağı kapatılır. Tüm tertibat, 1 ile 2 bar arasında basınç uygulayabilen bir pres içine yerleştirilir. Polimerizasyon işlemi, ortam sıcaklığında ya da daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Bu işlemde günde birkaç düzine parça üretilebilmektedir (Gay, 2014). Şekil 3.3’de presle kalıplama yöntemi düzeneği verilmiştir.

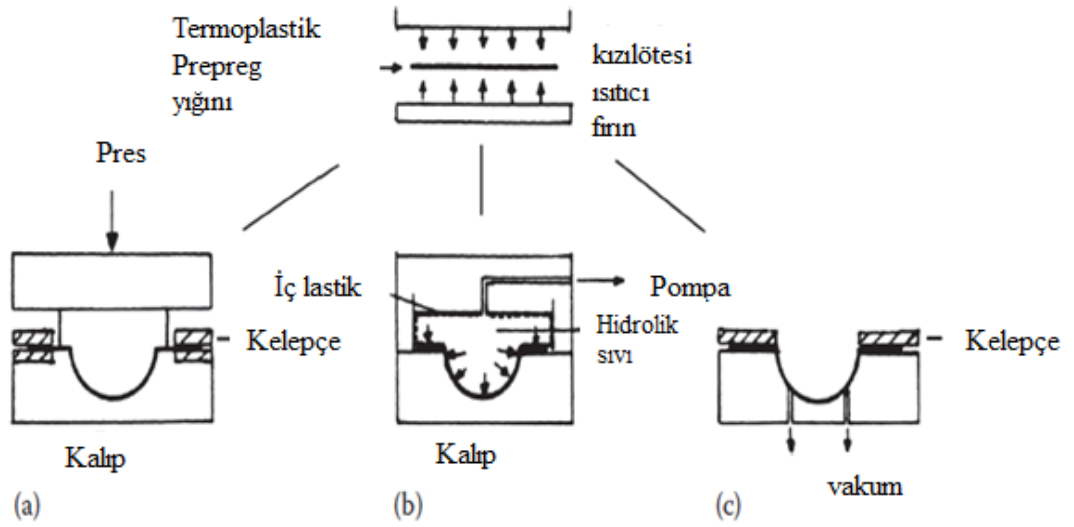


Şekil 3.3 Presle kalıplama yöntemi (Gay, 2014)

### 3.4 Termal Şekil Verme ve Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi

Termoplastikler, sıcaklıkla beraber yumuşar, bu yüzden termoplastiklerin üretim tekniklerinde, eriyik akış teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler arasında, enjeksiyonla kalıplama, termal şekil verme gibi yöntemler bulunur. Termal şekil verme, ısıtılan ve damgalanan, ardından vakum veya basınçla birlikte, bir tabakanın oluşturulması işlemini kapsar. Genellikle süreksiz lifli takviye kullanılır (Chawla, 2012).

Bu işlemde, termoplastik prepreg yığını, kalıp dışında ısıtılır ve istif yırtılmadan, uygun bir deformasyon sıcaklığında şekillendirilebilmek için sıcaklığa maruz bırakılır. Daha sonra basınç uygulanarak şekillendirilen kalıba yerleştirilir (Mallick, 2018). Şekil 3.4’de termoplastik kompozitlerin şekillendirme düzeneği verilmiştir.



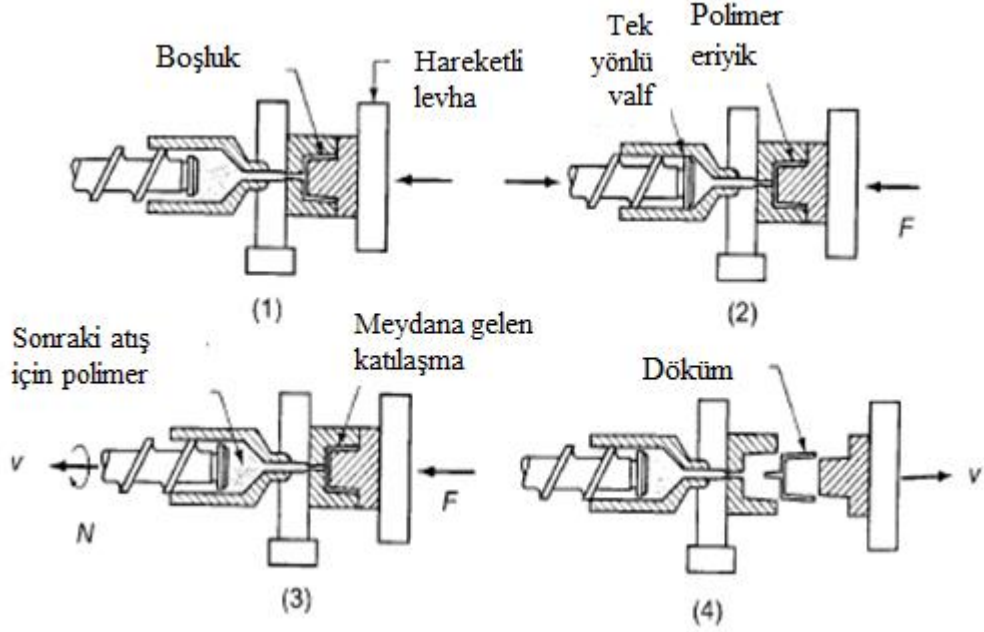
Şekil 3.4 Termoplastik kompozitlerde şekillendirme prosesi (a) termal damgalama, (b) hidroforming, (c) termal şekillendirme (Mallick, 2018)

Kısa elyaf taviyeli termoplastik reçine kompozitleri, güçlendirilmiş reaksiyonlu enjeksiyonlu kalıplama adı verilen yöntemle de üretilebilir. Bu yöntemde, iki sıvı bileşen, yüksek hızlarda ve basınçlarda bir karıştırma kafasına ve daha sonra iki bileşenin hızlı bir şekilde polimerize olması için reaksiyona girdiği bir kalıba pompalanır. Bu yöntemde bileşenlerin birine ya da her ikisine kısa lifler eklenir (Chawla, 2012).

Enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle üretilmiş cam elyaf takviyeli termoplastikler, otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Tasarım esnekliği, cam elyaf takviyeli kompozitlerin karmaşık şekiller oluşturma yeteneği, çok yüksek üretim oranları ve parça başına düşen düşük maliyet bu yöntemin tercih edilme nedenleri arasındadır (Campbell, 2010). Şekil 3.5’de enjeksiyonla kalıplama makinesinin dizini verilmiştir.

Neredeyse tüm termoplastikler enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle üretilebilmektedir. (naylon, asetal, vinil, polikarbonat, polipropilen, polietilen, polistiren vb.) Enjeksiyonla kalıplama yönteminde, cam elyafın doğranmış telleri, termoplastik reçine kalıplama tozları veya peletleri ile harmanlanabilir. Daha yüksek

özellikler gerektiğinde ise karbon fiberler kullanılabilir. Bu lifler ayrıca gelişmiş elektriksel ve termal iletkenlik de sağlamaktadır (Campbell, 2010).



Şekil 3.5 Enjeksiyonla kalıplama makinesi dizini (Campbell, 2010)

### 3.5 Film İstifleme

Bu işlemde çok düşük reçine içeriğine sahip elyaf içeren termoplastik matrisin tabakaları kullanılır. Tabakalar dönüşümlü olarak saf polimer matris malzemeden ince filmler ile istiflenir. Bu tabaka yığını, nihai üründe arzu edilen lif hacmi bölümünü vermek üzere, yetersiz matris ile erimiş liflerden ve tamamlayıcı ağırlıktaki polimer filmlerden oluşur. Bunlar daha sonra eş zamanlı olarak ısı ve basınç uygulamasına maruz bırakılır.

Termoplastik matrisin erimesi, aynı anda ısı ve basıncın uygulanması altında gerçekleşir. Basınç ve sıcaklığın büyüklüğü, polimerik eriyiğin takviye ön kalıbına ve içinden geçmesini sağlamak için yeterli olmalıdır (Chawla, 2012).

### 3.6 Fiber Karıştırma

Termoplastik matris bir elyaf formunda oluşturulabilir. Matris ve takviye lifi, termoplastik matris ve takviye karışımı olan bir iplik üretmek için karıştırılır. Bu tür bir karışık iplik, dokunabilir, örülebilir veya filament olarak sarılabilir. Uygun şekle sokulan iplik daha sonra termoplastik matris bileşenini eritmek, takviye liflerini ıslatmak ve bir kompozit elde etmek için ısı ve basınca maruz bırakılır (Chawla, 2012).



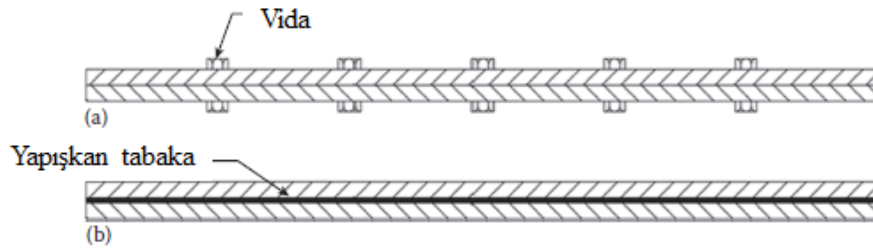
## BÖLÜM DÖRT

### TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Kompozit malzemelerin birleştirme yöntemleri, izotropik malzemelerin birleştirme yöntemlerine benzemektedir. Ancak, tasarımcı bu birleştirme yöntemlerini kullanırken, kompozit malzemenin anisotropik doğasına uyum sağlamaya ve kompozitin çalışma yönüne dikkat etmelidir (Devine, 1979).

Montaj operasyonları emek ve birçok adım içerir. Örneğin, bir kompozit kanat, ilk olarak, tüm açıklıkların ve nervürlerin düzgün bir şekilde yerleştirilmesi ve makas bağları ile bağlanması gereken bir çerçeveleme işleminden geçer. Daha sonra her katman alt yapı üzerine yerleştirilir ve delikler açılarak bağlantı elemanları takılır. Montaj sırasında ve sonrasında çeşitli sızdırmazlık işlemleri yapılmalıdır. Son olarak, kanat tork kutusunun ön kenarları, kanat uçları ve kontrol yüzeyleri monte edilir. Tipik bir savaşçı uçakları 200000 ile 300000 mekanik bağlantı elemanına sahip olabilirken, ticari bir uçak veya nakliye uçağı, uçak boyutuna bağlı olarak 1500000 ila 3000000 olabilmektedir. Her bir bağlantı elemanı için delik açılmalı ve daha sonra bağlantı elemanı takılmalıdır. Yani bu kısa açıklamaya bakılarak, kompozitlerin birleştirme yönteminde büyük uğraşlar ve maliyetler söz konusu olmaktadır (Campbell, 2010). Şekil 4.1’de kompozitlerin birleştirme yöntemlerine örnekler verilmiştir.

Termoplastik kompozitler, kaynak ve yapıştırma birleştirmelerine farklı tepkiler vermektedir. Bunlar Tablo 4.1’de gösterilmiştir (Biron, 2013).



Şekil 4.1 Kompozitlerin birleşme yöntemleri örnekleri (a) vida ile birleştirme, (b) yapıştırıcı ile birleştirme (Mallick, 2018)

Tablo 4.1 Termoplastik malzemelerin farklı montaj yöntemlerine göre verdikleri tepkiler (Biron, 2013)

|                                                           | Kaynakla Birleştirme |                        |                   | Yapıştırıcı ile Birleştirme |
|-----------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|
|                                                           | Termal Kaynak        | Yüksek Frekans Kaynağı | Ultrasonik Kaynak |                             |
| Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS)                        | iyi                  | iyiye yakın            | iyi               | iyi                         |
| Selüloz İçeren                                            | iyi                  | iyiye yakın            | uygun             | iyi                         |
| Polyamit (PA)                                             | iyi                  | iyiye yakın            | iyi               | iyi                         |
| Polikarbonat (PC)                                         | iyi                  |                        | iyi               | iyi                         |
| Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)                       | iyi                  | yetersiz               | uygun             | uygun                       |
| Düşük yoğunluklu polietilen (DYPE)                        | iyi                  | yetersiz               | uygun             | uygun                       |
| Polietilen tereftalat (PET), Polibütülen tereftalat (PBT) | uygun                | kötüye yakın           | iyi               | uygun                       |
| politetrafloroetilen (PTFE)                               | iyi                  | yetersiz               |                   | zor                         |
| Poli MetilMetAkrilat (PMMA)                               | iyi                  | uygun                  | iyi               | iyi                         |
| Poliformaldehidler (POM)                                  | iyi                  |                        | iyi               | uygun                       |
| Polipropilen (PP)                                         | iyi                  | yetersiz               | iyi               | uygun                       |
| Polifenilen Eter (PPE)                                    | uygun                |                        | uygun             | iyi                         |
| polisitren (PS)                                           | iyi                  | yetersiz               | iyi               | iyi                         |
| Genişletilmiş Polistiren (EPS)                            | iyi                  |                        |                   | iyi                         |
| Termoplastik Poliüretan (TPU)                             | iyi                  | uygun                  |                   | iyi                         |
| Polivinil klorür (PVC)                                    | uygun                | iyiye yakın            | iyi               | iyiye yakın                 |
| Yumuşak PVC                                               | uygun                | iyi                    | uygun             | iyi                         |
| PolyVinylidene Klorür (PVDC)                              | iyi                  | iyi                    |                   |                             |
| Polisülfon (PSU)                                          |                      | yetersiz               | iyi               |                             |
| Köpüklü PVC                                               |                      | iyi                    |                   |                             |

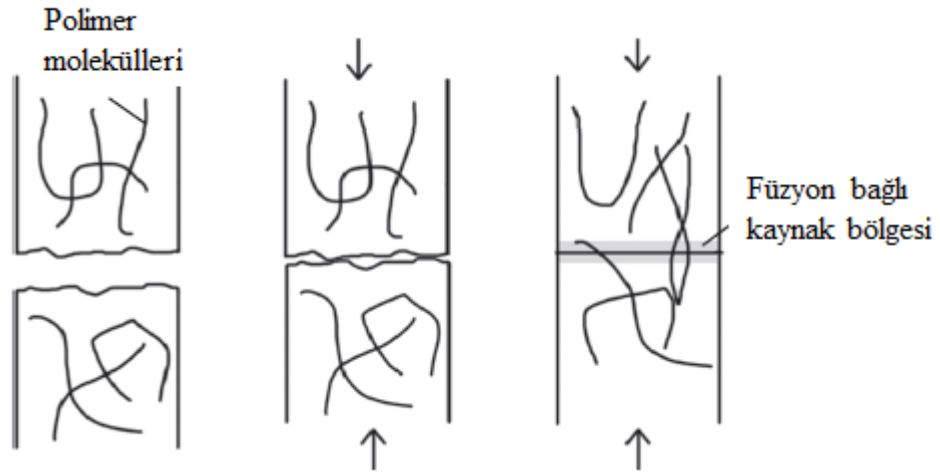
Bu bölümde, termoplastik kompozitlerin, çeşitli birleştirme yöntemleri incelenecektir. Termoplastik matrisli kompozitler, mekanik bağlantı elemanları, yapışkan bağlama ve füzyon bağı kullanılarak birbirine birleştirilebilir. Bununla birlikte, düşük yüzey enerjilerinden ötürü termoplastik matrisli kompozitlerde yapışkanlı bağlanma daha zordur. Bu nedenle, birçok termoplastik matris kompozitinin yapışkanla birleştirilmesi, korona deşarjı, plazma işlemi vb. kullanarak yüzey enerjilerinin artırıldığı ek bir aşamaya ihtiyaç duymaktadır (Mallick, 2018).

#### **4.1 Kaynakla Birleştirme Yöntemi**

Kaynakla birleştirme yöntemi, kısa veya uzun çalışmalara izin vermektedir. Çok basit ya da çok karmaşık olabilir. Kaynakla birleştirme yöntemi;

- Kısa veya sürekli birleştirme için uygundur.
- Birkaç seri üretim parçasını (levha, tüp, film vb.) ya da ekonomik aletlerle üretilen daha basit parçaları birleştirmek için kullanılabilir.
- Kullanılan kaynak makinesi nispeten ucuzdur, ancak kalifiyeli elemana ihtiyaç vardır (Biron, 2013).

Kaynakla birleştirme yönteminde, termoplastik kompozitlere, kaynak bölgesi adı verilen lokal bir alanda hem ısı hem de basınç uygulayarak birleştirme yöntemi gerçekleştirilir. Kaynak bölgesinin her iki tarafındaki termoplastik polimerler erime noktası sıcaklığına kadar eritilir ve bu iki bölgeyi birleştirmek için basınç uygulanır. Buradaki birleşme işlemi, kaynak bölgesindeki sıvı havuzları arasında, moleküler köprüleme yaratan ara yüz boyunca, polimer moleküllerinin birbirine karışması ve difüzyonu nedeniyle oluşur (Şekil 4.2). Soğutulduktan sonra katılaşma, kaynak bölgesinde alt tabakaların mukavemetine yakın olabilen eklem mukavemetinin gelişmesine neden olmaktadır (Mallick, 2018).



Şekil 4.2 Füzyon bağı bir kaynak bölgesindeki polimer molekülleri (Mallick, 2018)

Kaynakla birleştirme yönteminde, bağlantının kalitesi üç faktöre bağlıdır. Bunlar, sıcaklık, basınç ve bağlanma süresidir. Boşlukların varlığı (hava sıkışması) ve yetersiz füzyon (eşit olmayan ısıtma ve basınç dağılımı) bağlantının kalitesini etkilemektedir (Mallick, 2018).

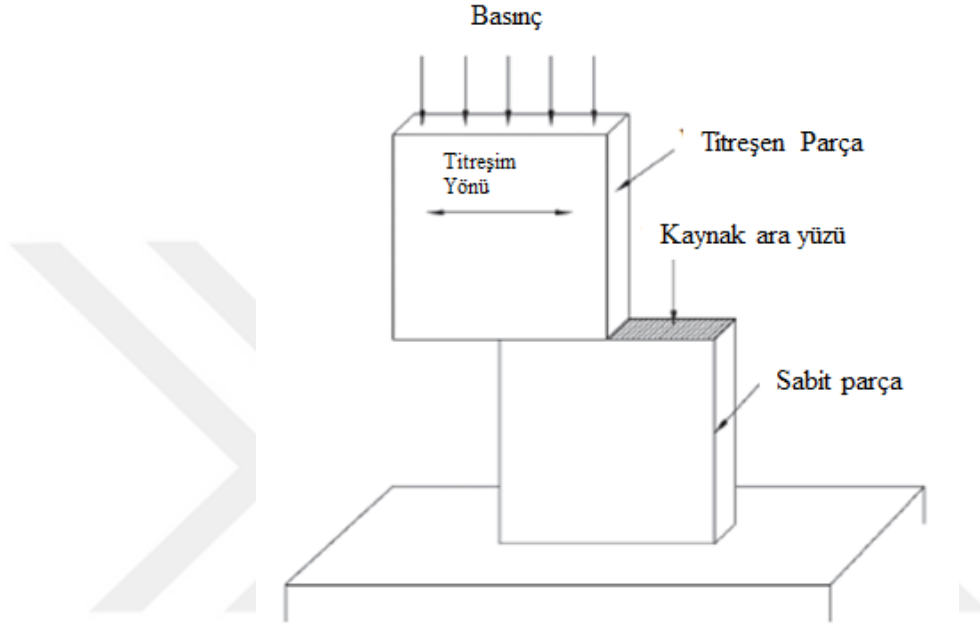
Termoplastik malzemelerin kaynakla birleştirilmesi yönteminde, farklı füzyon kaynağı yöntemleri bulunmaktadır (Tablo 4.2). Bu yöntemlerdeki temel fark, ısıtmanın farklı yöntemler ile üretilmesidir. Termoplastik kompozitlerin kaynakla birleştirilmesi yönteminde kullanılan en yaygın teknikler, ultrasonik kaynak yöntemi ve titreşim kaynak yöntemidir.

Tablo 4.2 Termoplastik kompozitlerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemleri (Mallick, 2018)

| Termal Yöntemler    | Mekanik Yöntemler       | Elektromanyetik Yöntemler |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| Sıcak Gaz Kaynağı   | Titreşim Kaynağı        | Direnç Kaynağı            |
| Sıcak Plaka Kaynağı | Spin Kaynağı            | İndüksiyon Kaynağı        |
| Ekstrüzyon Kaynağı  | Ultrasonik Kaynak       | Dielektrik Kaynağı        |
| Kızılötesi Kaynak   | Sürütme Karıştırma Kay. | Mikrodalga Kaynağı        |
| Lazer Kaynak        |                         |                           |

#### 4.1.1 Titreşim Kaynağı

Doğrusal sürtünme kaynağı olarak da adlandırılan titreşim kaynağında, birleştirilecek iki parçanın yüzeyleri basınç altında (1-5 MPa) temas halinde tutulur. Bir parça sabitken, diğer parça arabirime paralel olarak titreşir. Titreşim kaynağına örnek Şekil 4.3’de verilmiştir (Mallick, 2018).



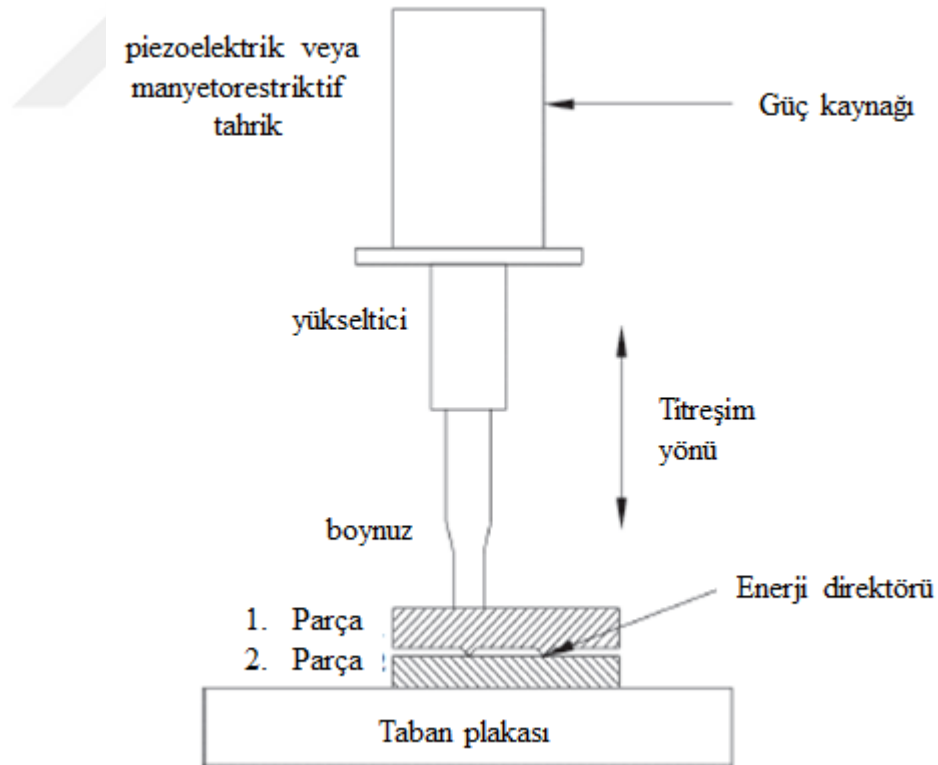
Şekil 4.3 Titreşim kaynağı prosesi (Mallick, 2018)

Titreşim frekansı tipik olarak 100-200 Hz aralığındadır ve titreşim genliği 1 ile 5  $\mu\text{m}$  arasındadır. Titreşim devam ettikçe, sürtünme sonucu ortaya çıkan ısı, iki parçanın ara yüzündeki sıcaklığı artırır ve lokal bölgede ince bir sıvı polimer tabakası oluşturur. Daha sonra, ısı üretim mekanizması sıvı havuzundaki sürtünmeden viskoz ısı dağılımına değişir. Titreşim durduktan sonra, parçalar hala basınç altında tutulurken sıvı polimer havuzu oda sıcaklığına kadar soğutulur (Mallick, 2018).

Bu işlemde, dairesel parçaların kaynağı yapılırken döndürülürler. Ancak bu yöntemde kaynak bölgesi iyice incelenmelidir. Hafif tanklar için kullanılan bir yöntemdir. Dairesel olmayan parçaların kaynağı yapılırken daha karmaşık makineler kullanılmaktadır (Biron, 2013).

#### 4.1.2 Ultrasonik Kaynak

Ultrasonik kaynakta birleştirilecek parçalar basınç altında birbirine kenetlenir ve daha sonra boynuz adı verilen akustik bir alet kullanılarak ara yüze normal ultrasonik frekanslarda çok düşük genlikli salınımlara maruz kalırlar (Şekil 4.4). Salınım frekansı 20-40 kHz aralığındadır ve genlik 10 ile 100  $\mu\text{m}$  arasındadır. Bu yöntemde ısı, yüzey sürtünmesi ve yapışkan ısı yayılımının bir kombinasyonu ile üretilir. Titreşim enerjisi tam ara yüz yerine, küçük temas alanlarına iletilirse kaynak verimliliğinde artış gerçekleşir. Bağlantısı yapılacak olan parçaların lokal bölgelerinde küçük çıkıntılar kalıplanarak gerçekleştirilir. Genellikle üçgen şeklinde olan bu çıkıntılara enerji direktörleri denir. Salınım bağladığı esnada ilk olarak polimer erime bu enerji direktörleri denilen bölgede gerçekleşir, daha sonra yanal olarak yayılmaya başlar. Eğer enerji direktörleri olmazsa, yüzey temasları düzgün dağılım gerçekleştiremediği için üniform bir kaynak ortaya çıkmaz (Mallick, 2018).



Şekil 4.4 Ultrasonik kaynak yöntemi (Mallick, 2018)

#### **4.1.3 Termal Kaynak Yöntemi**

Kaynağı yapılacak olan termoplastik kompozitler doğrudan eritilip, kaynaklanabilirler. Ya da parçaları birbirine bağlamak için aynı termoplastik malzeme kullanılabilir. Bu yöntemde eritme işlemi için gereken ısı, sıcak bir alet ya da sıcak hava ile sağlanabilir. Bu yöntemde sıcak çubuklar veya plakalar (PE, PP, PVC vb.) kullanılabilir. Kaynak esnasında kullanılan kaynak tabancaları, plakaları eritmek için gereken ısıyı sıcak hava sağlamaktadır (Biron, 2013).

#### **4.1.4 Elektromanyetik Kaynak Yöntemi**

Kaynağı yapılacak olan iki termoplastik kompozitin lokal yüzeylerine ferromanyetik parçacıklar içeren bir birleşim sürülür ve bu parçalar bir endüksiyon bobininden geçirilir. Bu işlem esnasında ara bölge eriyerek bu iki parçanın birleşmesini sağlar. Bu kaynak yöntemi, farklı kimyasal özelliklerine sahip iki termoplastiğin birleştirilmesinde kullanılmaktadır (Biron, 2013).

### **4.2 Yapıştırıcı İle Birleştirme**

#### **4.2.1 Yapıştırıcılar**

Kompozitleri birleştirmek için kullanılan yapıştırıcı türleri; poliüretanlar, epoksiler ve akriliklerdir. Genel olarak kullanılan bu yapıştırıcıların özellikleri Tablo 4.3'de verilmiştir. Yüksek gerilme dayanımı, sıcaklık dayanımı ve yorulma dayanımına sahip olan epoksi yapıştırıcılar uçak endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yapıştırıcılardır. Kompozit-kompozit gibi ya da kompozit-metal gibi parçaları birleştirmede iyi performans göstermektedirler (Mallick, 2018).

Tablo 4.3 Kompozit birleştirmede kullanılan yapıştırıcıların özellikleri (Mallick, 2018)

|                |                                                                               |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Epoksi</b>  | İki Bileşenli ya da tek bileşenli formölasyon                                 |
|                | Birçok alt tabaka ile güçlü, dayanıklı bağlar oluşturur                       |
|                | Isı ile kür gerektirir                                                        |
|                | Soğutmalı depolama gerektirir                                                 |
|                | Düşük sıcaklıkta yüksek gerinim oranı nedeniyle kırılğan arızaya neden olur.  |
| <b>Akrilik</b> | Birçok yüzey aktivatörü gerektirir                                            |
|                | İdeal yüzey hazırlığı ile (örneğin yağdan arındırmada olmadan) kullanılabilir |
|                | Nispeten hızlı kürleşme süresi vardır (10-15 dakika)                          |
|                | Viskozite kontrolü zor olabilir                                               |
|                | Toksik monomer nedeniyle iyi havalandırma gerektirir                          |
| <b>Üretan</b>  | İki Bileşenli ya da tek bileşenli formölasyon                                 |
|                | Güçlü, dayanıklı bağlar oluşturur                                             |
|                | Nispeten yüksek esnekliği vardır, arızaya karşı uzama gerçeleştirir           |
|                | Nem direnci zayıf olabilir                                                    |
|                | Sıcaklık sınırlaması yaklaşık 100°C 'dir.                                     |

Epoksiler otomotiv endüstrisinde de kullanılmaktadırlar. Ancak poliüretan ve akriliklerin yapıştırma süreleri epoksilere göre daha az olduğı için, otomotiv endüstrisinde epoksilere oranla daha fazla tercih edilmektedirler. Ancak poliüretanlar daha düşük gerilme ve sıcaklık dayanımına sahiptirler. Mekanik özellikleri birçok epoksiden daha iyidir. Ancak yapıştırıcıda yüksek artık gerilmelerin kaynağı olan çok daha yüksek bir kürlenme büzölmesine sahiptirler (Mallick, 2018).

Kompozitleri yapıştırmak için kullanılan yapıştırıcılar, sıvı, film ya da macun formunda olabilirler. Sıvı ve macun formuna sahip olanlar, tek parçalı ya da iki parçalı olabilirler. İki parçalı olan sistem yapıştırıcılacak kompozitlere uygulanmadan önce, belirtilen oranlarda karışırılır. Uygulama sonrasında belirli bir kürleşme sıcaklığı gerekmektedir. Film yapıştırıcılar, tek parçalı önceden karışırılmış bir sistemdir. Katı ya da yarı katı bir formda olabilirler. Film yapıştırıcılar birçok havacılık sektörü için tercih edilmektedir. Çünkü kullanımı daha kolaydır ve tek tip kalınlıkta uygulanabilir. Film yapıştırıcılar birleştirilecek yüzeyler

arasına uygulandıktan sonra yüksek bir sıcaklıkta ve basınç altında kürlenir (Mallick, 2018).

#### **4.2.2 Yapıştırıcı İle Birleştirme İşlemi**

Epoksi yapıştırıcı kullanılarak yapılan birleştirme işlemi aşağıda adım adım olarak anlatılmıştır. Diğer yapıştırıcılar için de aynı adımlar gereklidir.

1. Yüzey Hazırlığı: Yüksek kaliteli yapıştırma elde etmek için uygun yüzey hazırlığı önemlidir. Alt tabakanın pürüzlü hale getirilmesi için, hafifçe zımparalanması önemlidir. Zımparalama işlemi sonrasında, kir ve aşınmış yüzeyleri temizlemek amacıyla, solventle bir temizlik yapılmalıdır. Yüzey hazırlığından sonra, yüzeyler arasındaki yapışkan kusurunu azaltmak amacıyla, yapıştırılacak olan yüzeylere kimyasal bağlayıcı uygulanabilir (Mallick, 2018).
2. Yapıştırıcı Hazırlığı: Eğer birleştirme işleminde iki parçalı bir epoksi yapıştırıcı kullanılıyor ise, yapıştırıcı parçalar üzerine uygulanmadan önce, her iki bileşeninden doğru oranda alınıp, iyice karıştırılmalıdır. Eğer bir film yapıştırıcılar gibi tek parçalı bir epoksi yapıştırıcı kullanılıyorsa, epoksi ve sertleştirici önceden karıştırılmalıdır. Ancak aralarındaki kimyasal reaksiyon, karışımın bir dondurucuda sıfır altı sıcaklıkta saklanmasıyla yavaşlatılır. Böyle bir sistem için, yapıştırıcıyı tamamen koruyucu saklama torbasından çıkarmadan önce oda sıcaklığına getirmek önemlidir. Aksi takdirde, sertleştikten sonra yapıştırıcıda gözenekliliğe neden olabilecek ve ortamdaki nemi emmeye başlayacaktır (Mallick, 2018).
3. Yapıştırıcı Uygulaması: Hazırlanmış olan yapıştırıcı yüzeye uygulanmadan önce, alt tabakanın yapışkanın kalınlığı kontrolü için düzgün bir şekilde sabitlendiğine emin olunmalıdır. Çünkü yapışkan kalınlığı, yapıştırılan kompozitler için önemli parametrelerden bir

tanesisidir. Eğer çok kalın olursa, kürleşme süresinin uzun olmasının yanı sıra boşluk ve gözenek oluşma riski de artmaktadır. Çok ince olursa da yapıştırıcı mukavemeti azalacaktır (Mallick, 2018).

4. Yapıştırıcının Kürleşmesi: Epoksi yapıştırıcılar için uygun sertleşme ortamına bakıldığında, yüksek sıcaklıklarda birkaç saat bekletilmelidir. Buradaki kürleşme süreleri yapıştırıcı firmaları tarafından belirlenmektedir (Mallick, 2018).

### **4.3 Mekanik Birleştirme Yöntemi**

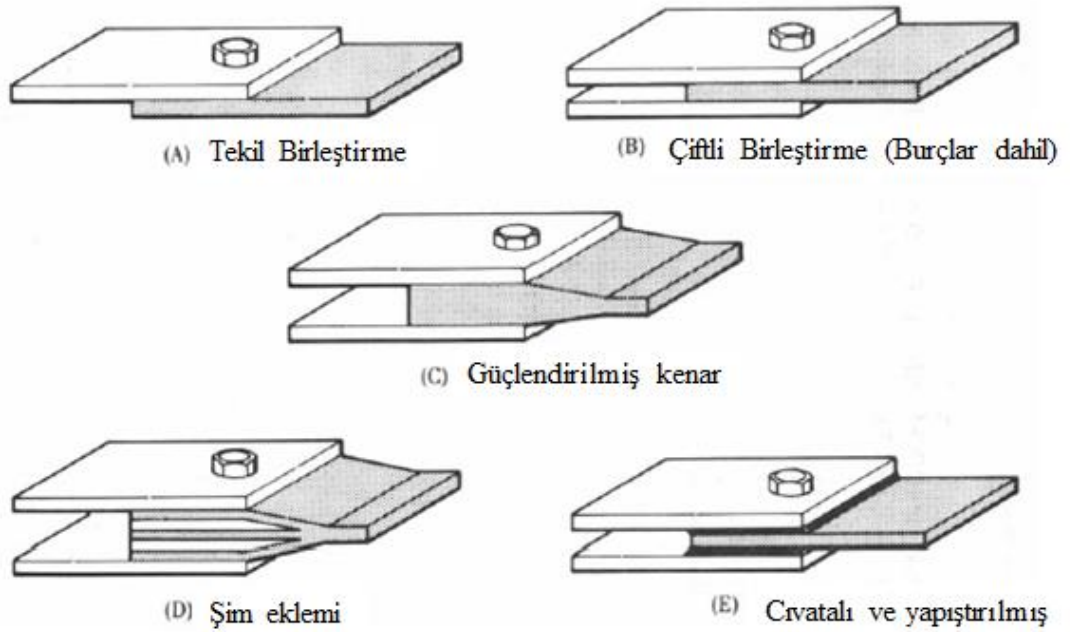
#### **4.3.1 Perçinleme**

Kompozit malzemeleri perçin ile birleştirirken, eğer kullanılan perçinin malzemesi kompozit ile aynı değilse gerilmelere neden olabilir. İki çeşit perçinleme tekniği kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Sıcak Perçinleme: Perçin bir ön ısıtmadan geçer, daha sonra perçinin başı ezilir.
2. Ultrason Yardımıyla: Özellikler ve dayanıklılık genellikle daha iyidir (Biron, 2013).

#### **4.3.2 Vidalama**

Otomatik vidalarda, vidanın gireceği delik çapı ve vidanın sıkılacağı tork miktarı kullanılan plastiğe bağlıdır. Tekrarlanan vidalama işlemi ve sökme işlemi önerilmemektedir. Ancak kesici uçların kullanılması, tekrarlanan vidalama ve sökme işlemleri için daha yüksek sıkma torklarına izin vermektedir ve arıza risklerini azaltmaktadır. Şekil 4.5’de vida ile bağlantı tasarımı örnekleri verilmiştir (Biron, 2013).



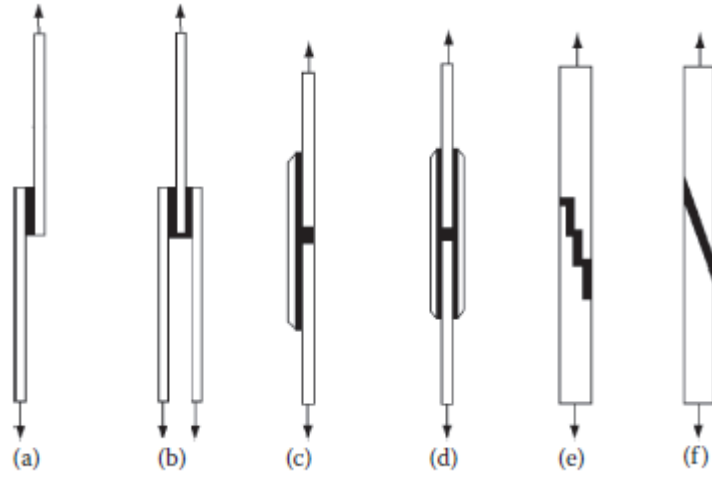
Şekil 4.5 Vidalı bağlantı tasarımı (Devine, 1979)

#### 4.3.3 Pres Bağlantısı

Eğer delik çapları doğru hesaplanmış ise metal ve plastik parçaların pres bağlantısı iyi sonuçlar vermektedir. Buradaki dayanıklılık plastiğin sünme davranışına bağlıdır. Metal elemanlar yuvarlak, pürüzsüz ve temiz olmalıdır. Kullanılan metal seçilen plastikle uyumlu olmalıdır. Kabartma, kaynak hatlarından uzak olmalı ve kalıplama artık gerilmeleri sınırlamasına dikkat edilmelidir (Biron, 2013).

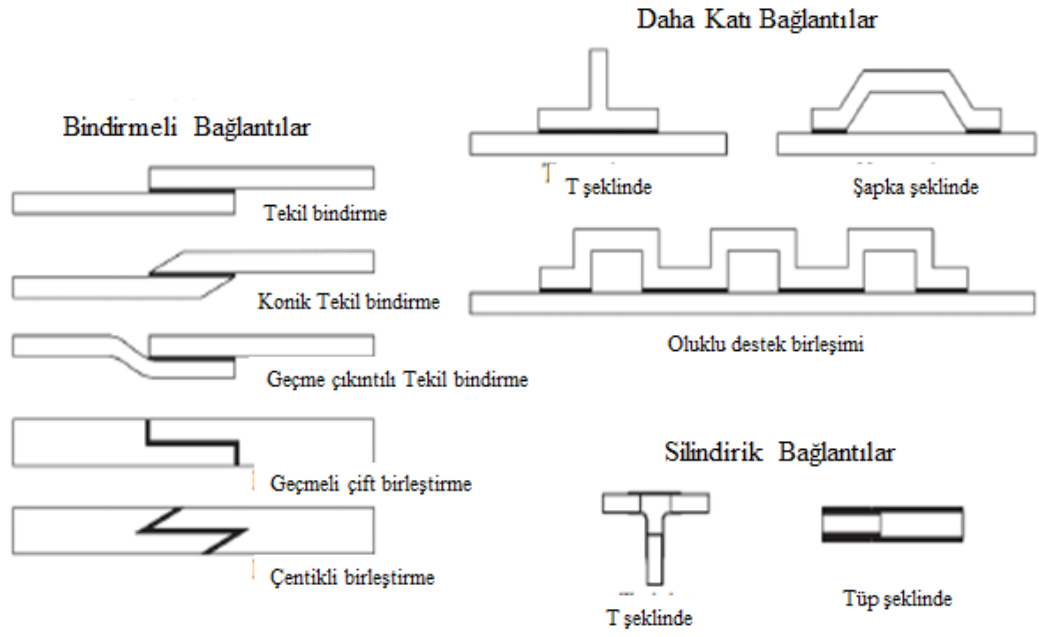
#### 4.4 Kompozitlerin Birleştirme Tasarımları

En basit şekilde yapıştırılarak birleştirilmiş kompozitlerde, alt tabakalar arasındaki yük transferi yapıştırıcıdaki kayma gerilmeleri yoluyla gerçekleşmektedir. Alt tabaka uçlarına uygulanan kuvvet sonucu yapışkanlı bölgede eğme momenti üretilmiş olur. Ancak çift türlü bağlantı yöntemi tercih edildiğinde bu eğme momenti ortadan kaldırılabilir. Kompozitlerin temel birleştirme örnekleri Şekil 4.6'da verilmiştir (Mallick, 2018).

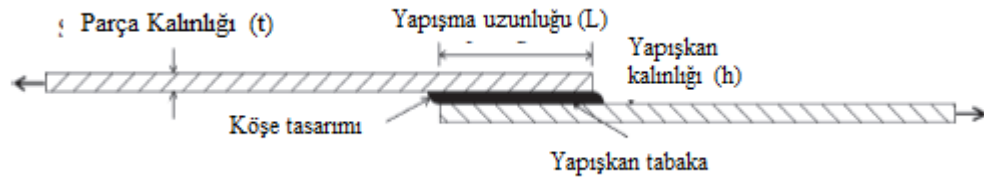


Şekil 4.6 Temel birleştirme tasarımları (a) tek bindirmeli bağlantı, (b) çift bindirmeli bağlantı, (c) tek kayışlı, (d) çift kayışlı, (e) kademeli bindirmeli, (f) eşarp eklemi (Mallick, 2018)

Kompozitlerin birleştirme yöntemlerinde kullanılan tasarımlar seçilirken birçok kritere dikkat edilmelidir (Şekil 4.8). Parça tasarımlarına ve karmaşıklığa bağlı olarak farklı birleştirme yöntemleri de tercih edilmektedir (Şekil 4.7). Bunlar yapışkan kalınlığı ( $h$ ), yapışma uzunluğu ( $L$ ) ve alt tabaka uç tasarımıdır. İyi bir yapıştırma mukavemeti elde etmek için minimum yapıştırıcı kalınlığı kullanılmalıdır. Eğer yapıştırıcı kalınlığı bu minimum değerin üzerine çıkarsa, mukavemet azalmaktadır. Yapışma uzunluğunun arttırılması daha yüksek yapışma mukavemeti sağlamaktadır (Mallick, 2018).



Şekil 4.7 Farklı bağlantı tasarımına örnekler (Mallick, 2018)



Şekil 4.8 Tekil yapıştırılmış bir kompozitte tasarım parametreleri (Mallick, 2018)

## **BÖLÜM BEŞ**

### **KULLANILAN MALZEMELER**

Bu çalışmada üretilen kompozit malzemeler polipropilen ve polietilen bazlı numunelerden oluşmaktadır. Polipropilen bazlı olan kompozit malzemelerin matris malzemesi olarak polipropilen granül, takviye malzemesi olarak ise cam elyaf kullanılmıştır. Çalışmanın kalan kısmında ise, yüksek yoğunluklu polietilen granüller kullanılarak, termoplastik levhalar üretilmiştir.

#### **5.1 Polietilen (PE)**

Basit bir kimyasal formüle sahip olan  $-(CH_2-CH_2)_n-$  polietilen, üç ana polimerizasyon işleminden hangisinin kullanıldığına bağlı olarak çok yönlü özelliklere sahip geniş bir aileye sahiptir (Biron, 2013).

En eski süreç olan serbest radikal vinil polimerizasyonu, dallanmış düşük yoğunluklu polietilene (DYPE) yol açar. Makromoleküllerin erime noktasını, çekme mukavemetini ve kristalliğini azaltan çok sayıda kısa dalı bulunmaktadır. Polimerler, dallanmış molekülün yüksek hacmi ve düşük kristalinite değeri nedeniyle nispeten esnektir (Biron, 2013).

Zieglere Natta polimerizasyonu yöntemiyle, daha yoğun, sert ve kristalli olan yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) olarak adlandırılan doğrusal dallanmamış polietilen üretilmektedir. Diğer alkenlerle kopolimerizasyon yoluyla, DYPE'den daha iyi mekanik özelliklere sahip doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (DDYPE) elde etmek mümkündür. DDYPE ve DYPE karışımları, DDYPE'nin iyi nihai mekanik özelliklerini ve erimiş halde DYPE'nin gücünü birleştirmek için kullanılmaktadır (Biron, 2013).

Metalosen kataliz polimerizasyonu, dayanıklılık, darbe ve delinme mukavemetleri, daha iyi soğuk davranış ve optik özellikler ile sonuçlanan tutarlı, düzgün bir moleküler ağırlık dağılımı üretmek için hızla genişleyen en yeni tekniktir.

Bu avantajlar, aynı polimer ağırlığı için performansların küçültülmesine veya artırılmasına izin verir. Metalosen katalizi, ultra düşük yoğunluktan ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilenlere (UHMWPE'ler) kadar tüm yoğunlukların üretimine izin vermektedir (Biron, 2013).

Buna göre polietilenler, yoğunluk ve moleküler ağırlıklarına göre sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırma Tablo 5.1'de verilmiştir (Biron, 2013).

Tablo 5.1 Polietilenlerin sınıflandırılması (Biron, 2013)

| <b>Polietilenlerin Sınıflandırılması</b>                     |        |
|--------------------------------------------------------------|--------|
| Ultra Düşük Yoğunluklu ve çok düşük yoğunluklu polietilenler | UDYPE  |
| Düşük yoğunluklu polietilenler                               | DYPE   |
| Orta yoğunluklu polietilenler                                | OYPE   |
| Yüksek yoğunluklu polietilenler                              | YYPE   |
| Yüksek moleküler ağırlıklı polietilenler                     | HMWPE  |
| Çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilenler                 | UHMWPE |

Genel olarak polietilenin avantajlarına bakıldığında, düşük fiyat, geri dönüşüm, kimyasal inertlik, darbe direnci, düşük su emme, düşük yoğunluk (YYPE dahil), iyi elektrik yalıtkanlığı, düşük sürtünme katsayısı, gıda ile temas için uygunluk, kaynak kolaylığı ve kolay işlenebilirlik gibi avantajları mevcuttur (Biron, 2013).

Düşük yoğunluklu polietilenler (DYPE), ortam sıcaklığında iyi mekanik özelliklere sahiptirler. Esnektirler ve iyi darbe dayanımları vardır. Islak bir ortamda bile iyi bir yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirler (Biron, 2013).

Yüksek yoğunluklu polietilenler (YYPE), düşük yoğunluklu polietilenlerle aynı özelliklere sahiptirler. Ancak daha iyi termal davranışa sahiptirler. Daha yüksek basınç mukavemetleri vardır ve daha şeffaftırlar (Biron, 2013).

Çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilenlere (UHMWPE) bakıldığında, bunların daha yüksek basınç mukavemetleri ve daha iyi mekanik davranışları mevcuttur (Biron, 2013).

Dezavantajlarına bakıldığında ise, ısıya, ışığa, UV ve ayrışmaya karşı bir duyarlılığa sahiptirler. Düşük sertlik ve şeffaflık özellikleri mevcuttur. Yüzey gerilmeleri nedeniyle, yüzey işlemi yapmadan, yapıştırma, boyama ve baskı yapmak zordur. Sadece karbon ve hidrojenlerden oluşan polietilenler doğal yanıcıdır (Biron, 2013).

İşleme yöntemlerine bakıldığında, tüm erimiş halde yapılan işleme yöntemleri bu malzemeler için kullanılabilir. Bu yöntemlere enjeksiyon, sıkıştırma, şişirilmiş film, ekstrüzyon, dönme kalıp, termoform, tozlama, kaplama, akışkan yatak ve kaynak örnek olarak verilebilir (Biron, 2013).

Uygulama alanları polietilenin türüne göre değişiklik göstermektedir.

#### DYPE ve DDYPE uygulama alanları:

- Ambalajlama için filmler (Streç, gıda, gıda dışı, bant),
- Diğer uygulamalar için filmler,
- Ekstrüzyon kaplama,
- Enjeksiyon kalıplama,
- Şişirme,
- Borular (Biron, 2013).

#### YYPE uygulama alanları:

- Şişirme
  - Ev kimyasalı şişeleri,
  - Endüstriyel variller,

- Sıvı gıda şişeleri,
  - İlaçlar, kozmetik ve tuvalet malzemeleri.
- Enjeksiyonla Kalıplama
  - Kasalar ve kılıfları,
  - Yiyecek ve içecek kapları,
  - Ev eşyaları,
  - Endüstriyel ve nakliye kovaları.
- Gıda ambalajı ve perakende poşetler için filmler,
- Borular (Biron, 2013).

Diğer uygulama yöntemleri ise;

- Tarımsal endüstriyel ve genel amaçlı filmler,
- Otomotiv endüstrisi için yakıt depoları,
- Kalıplanmış lavabolar, şişeler, oyuncaklar,
- Büyük boyutlu nesneler; sarnıçlar, tanklar, tekne, kano, şamandıra,
- Gaz, su veya kanalizasyon boruları,
- Dişliler, rulmanlar, hafif yükler için sürtünme önleyici parçalar, protezler UHMWPE polietilen ile üretilebilirler,
- Bina yalıtımında kullanılan malzemeler (Biron, 2013).

Birleştirme yöntemleri incelendiğinde, kaynak yapmak kolaydır. Ultrasonla kaynak yapmak için uygundur ancak yüksek frekanslı kaynak (HF) yöntemiyle kaynak yapmak imkansızdır. Kimyasal dağlama ve alev oksidasyonu gibi ön işlemler yapmadan yapıştırma işlemi çok zordur. Aynı şekilde ön işlemler yapmadan, boyama baskı gibi işlemler yapmak da zordur (Biron, 2013).

Bu çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kullanılmıştır. Bu yüzden yüksek yoğunluklu polietilen aşağıdaki bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

### 5.1.1 Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)

YYPE reçineleri ağırlıklı olarak iki temel katalizör sistemi kullanılarak üretilmektedir. Bunlar; Ziegler tipi katalizörler ve krom oksit bazlı katalizörlerdir. Bu katalizörler, daha yüksek yoğunluklu ürünler gerektiğinde homopolimerler veya daha düşük yoğunluklu kopolimerler olabilen doğrusal polimerler üretir. İkinci tip ürünlerde kullanılan tipik komonomerler ise buten, heksan ve oktenlerdir (Mallick, 2018).

Yüksek yoğunluklu polietilenler, ortalamanın üzerinde aşınma direnci ve kimyasal dirence sahiptirler. Nispeten yüksek erime sıcaklıkları nedeniyle, YYSPE reçinelerinin antioksidan ve işleme stabilizatörleri ile özel olarak stabilize edilmesi zorunludur. YYSPE ürünleri normalde ekstrüzyon işlemi ile üretilirler. Nadir olarak enjeksiyonla kalıplamada kullanılır (Mallick, 2018).

Çalışmada kullanılmış olan yüksek yoğunluklu polietilen granüllerin teknik bilgileri, satın alınan firmanın resmi internet sitesinden alınmıştır. Bu bilgiler, Tablo 5.2, 5.3 ve 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.2 Polietilenin reçine özellikleri (Petkim, 2019)

| Reçine Özellikleri              | S 0464 | Birimi            | Test Standartı |
|---------------------------------|--------|-------------------|----------------|
| Erime Akış Hızı (190°C/2,16 kg) | 0,36   | g/10 dk           | ASTM D1238     |
| Yoğunluk 23°C                   | 0,961  | g/cm <sup>3</sup> | ASTM D1505     |
| Ergime Noktası (DSC)            | 134    | °C                | ASTM D3418     |

Tablo 5.3 Polietilenin mekanik özellikleri (Petkim, 2019)

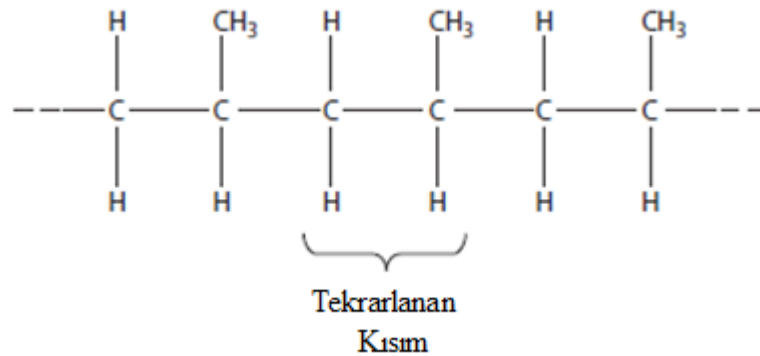
| Mekanik Özellikleri                    | S 0464 | Birimi | Test Standartı |
|----------------------------------------|--------|--------|----------------|
| Akmada Gerilme Dayanımı                | 28     | Mpa    | ASTM D638      |
| Kopmada Gerilme Dayanımı               | 31     | Mpa    | ASTM D638      |
| Kopmada Uzama                          | 1115   | %      | ASTM D638      |
| Bükülme Modülüsü, 23°C                 | 1150   | Mpa    | TS EN ISO 178  |
| İzod Darbe Dayanımı 23°C<br>(Çentikli) | 300    | J/m    | ASTM D256      |
| Sertlik (Shore D)                      | 65     | -      | ASTM D2240     |
| Çevresel Baskıyla Kırılma<br>Dayanımı  | 16     | saat   | ASTM D1693     |

Tablo 5.4 Polietilenin termal özellikleri (Petkim, 2019)

| Termal Özellikler            | S 0464 | Birimi | Test Standartı |
|------------------------------|--------|--------|----------------|
| Vicat Yumuşama Noktası, 10 N | 128    | °C     | ASTM D1525     |

## 5.2 Polipropilen (PP)

Polipropilen molekülleri çok basit bir kimyasal tekrarlamaya birimine sahip yarı kristalli bir termoplastiktir. 0,9 g/cm<sup>3</sup> düşük yoğunluğa, 168°C ile 176°C erime sıcaklığına sahiptir. Şekil 5.1’de polipropilen molekülü verilmiştir (Mallick, 2018).



Şekil 5.1 Polipropilen molekülü (Mallick, 2018)

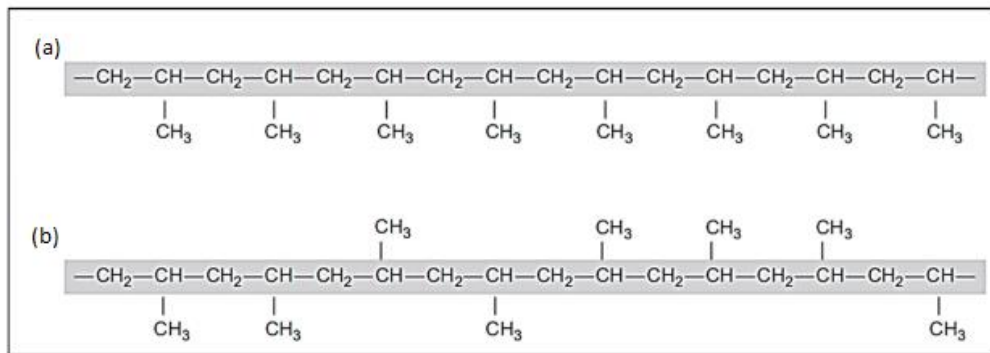
Düşük maliyeti ve mükemmel kimyasal direnci nedeniyle, evlerde (şişe, oyuncak ve gıda ambalajları gibi) kullanılmaktadır. Ayrıca birçok endüstriyel üründe

(saklama kutuları, cihaz parçaları, filmler ve elyaflar) ve otomotiv endüstrisinde de (fan kanatları, tamponlar ve gösterge panoları gibi) kullanılmaktadır. Bu uygulamaların çoğunda, PP matrisi için takviye olarak talk ve mika gibi mineral dolgu maddeleri ve cam elyaflar kullanılmaktadır (Mallick, 2018).

Polipropilenin ticari olarak ilk üretimi, 1959 yılının sonlarına doğru Amerika Birleşik Devleti'nde Hercules, İtalya'da Montecatini ve Almaya'da Farbenwerke Hoechst AG tarafından gerçekleştirilmiştir (Chanda, 2018).

Polipropilenler, polimer tipine (homopolimerler, rasgele veya blok kopolimer), moleküler ağırlığına ve moleküler ağırlık dağılımına, kristal yapısına, katkı maddelerine, dolgu maddelerine, takviye dolgu maddelerine ve imalat tekniklerine bağlı özelliklere sahiptir ve geniş bir ürün yelpazesi bulunmaktadır (Chanda, 2018).

Polipropilenler iki farklı formda bulunmaktadırlar. Bunlar ataktik polipropilenler ve izotatik polipropilendir. İzotatik polimerde CH<sub>3</sub> polimer zincirinin tek tarafında bulunmaktadır. Eğer CH<sub>3</sub> polimer zincirinin her iki tarafında dağılmış olarak bulunuyorsa ataktik polipropilen adını almaktadır. Şekil 5.2'de izotatik ve ataktik polipropilenin kimyasal yapısı verilmiştir. Mühendislik uygulamalarında izotatik polipropilenler tercih edilmektedir (Biron, 2013).



Şekil 5.2 Polipropilenin kimyasal yapısı (a) izotatik polipropilen, (b) ataktik polipropilen (Biron, 2013)

Polipropilenin iki farklı üretim yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan ilki, Zieglere Natta yöntemidir. Bu yöntem, düşük düzeyde ataktik yapıya sahip, lineer ve izotaktik

polipropilen üretiminde kullanılır ve eski bir üretim yöntemidir. Bir diğer üretim yöntemi olan, metalosen kataliz polimerizasyonu yöntemi ile artan tokluk, darbe ve delinme mukavemetleri, daha iyi soğuk davranışıyla tutarlı bir polipropilen üretmek mümkündür (Biron, 2013)

Polipropilen HDPE'ye çok benzemesine rağmen düşük yoğunluğa ve yüksek yumuşama noktasına sahiptir. Yüksek yumuşama noktasına sahip olması, kaynar suya ve birçok buhar sterilizasyonu işlemine dayanmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, zincir omurgasında dönüşümlü olarak oluşan üçüncül karbon atomlarının varlığı nedeniyle PP, UV radyasyonuna ve yüksek sıcaklıklarda oksidasyona karşı daha hassastır. Oksidasyonla ilgili PE çapraz bağlantıları varken, PP düşük molekül ağırlıklı ürünler oluşturmak için bozunmaya uğrar. Antioksidanların dahil edilmesiyle önemli bir iyileşme sağlanabilmekte ve bu tür katkı maddeleri tüm ticari PP bileşiklerinde kullanılmaktadır. PP'nin elektriksel özellikleri HDPE'nin elektriksel özelliklerine çok benzemektedir (Chanda, 2018).

Düşük maliyeti ve yukarıdaki özelliklerin iyi kombinasyonu nedeniyle PP, liflerden filamentlere, filmlere ve ekstrüzyon kaplamalarına kadar kendisine birçok uygulama bulmuştur. Tablo 5.5'de polipropilenin kullanım yerlerine göre kullanım yüzdeleri verilmiştir. Üretilen PP'nin önemli bir kısmı, bagaj, istifleme sandalyeleri, hastane sterilize edilebilir ekipmanları, tuvalet sarnıçları, çamaşır makinesi parçaları, gaz pedalı, pil kutuları, kubbe ışıkları, tekme panelleri ve kapı çerçeveleri gibi birçok alanda uygulama bulmuştur (Chanda, 2018).

Tablo 5.5 Polipropilen kullanım yerlerine göre kullanım yüzdeleri (Biron, 2013)

| <b>Polipropilenin Kullanım Yeri</b> | <b>Kullanım Yüzdesi</b> |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Lifler                              | %27                     |
| Tüketici Ürünleri                   | %14                     |
| Sert Ambalajlama                    | %11                     |
| Filmler                             | %9                      |
| Ulaşım                              | %4                      |
| Sayfalar                            | %3                      |
| Cihazlar                            | %2                      |
| Şişirme                             | %1                      |

Otomotiv ve tüketici ürünleri için esnek ve sert ambalajlardan elyaflara ve büyük kalıplı parçalara kadar her yerde kullanılmaktadır. Uygulama çeşitliliğine büyük ölçüde uygun olması, malzemenin ekstrüzyon, ekstrüzyon kaplama, şişirilmiş ve dökülmüş film, şişirmeli kalıplama, enjeksiyonlu kalıplama ve termoforming dahil olmak üzere çoğu yöntemle işlenebilmesinden kaynaklanmaktadır (Chanda, 2018).

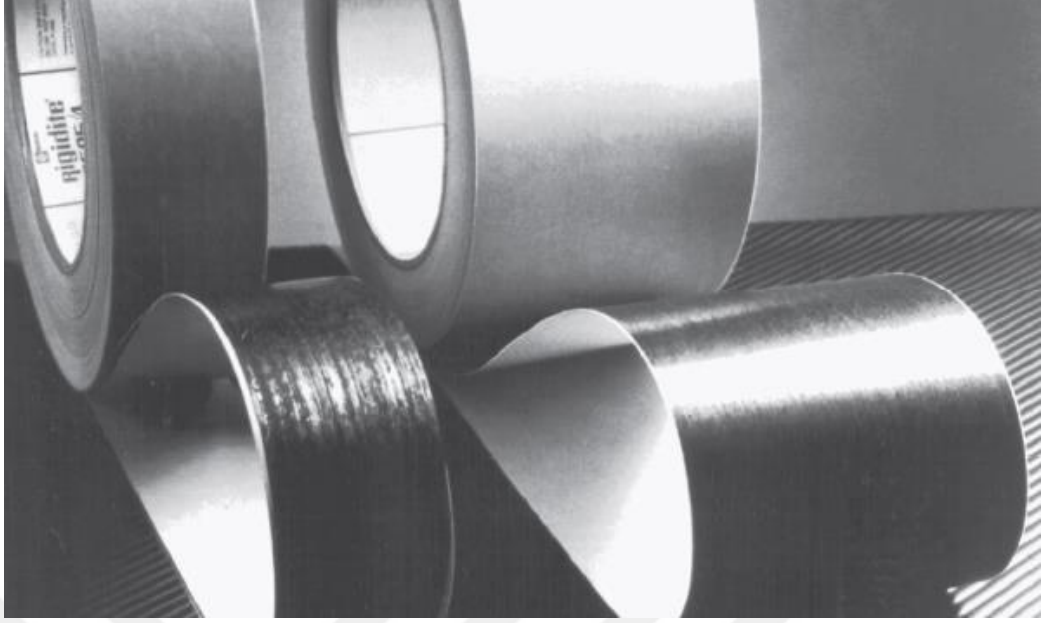
Polipropilenin bir diğer özelliği, ince kesitlerinin sürekli esnemeye karşı mükemmel dirençte olmasıdır. Tek eksenli olarak yönlendirilmiş polipropilen film bantlar halı desteği ve dokuma çuvallar (jütten yapılanların yerine) için yaygın olarak kullanılmaktadır. Mukavemeti ve hafifliği birleştiren, yönlendirilmiş PP kayışlar ambalaj sektörü için hızlı ve yaygın olarak kabul görmüştür (Chanda, 2018).

Yönlendirilmiş bir ekstrüzyon işlemi ile üretilen polipropilen, bir elyaf olarak benzersiz bir şekilde başarılı olmuştur. Mükemmel aşınması, suya inertliği ve nispeten düşük maliyeti, halı desteği, döşemelik kumaşlar ve otomobil iç döşemesi gibi fonksiyonel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır (Chanda, 2018).

Polipropilenlerin birleştirme yöntemlerine bakıldığında, bu termoplastiklere kaynak işlemi uygulamak kolaydır. Ultrason kaynağı uygulamak mümkündür. Ancak termoplastiğe yapıştırma işlemi zordur. Yapıştırma işlemini gerçekleştirmek için, kimyasal dağlama, alev oksidasyonu, plazma veya UV uygulamaları gibi ön işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Biron, 2013).

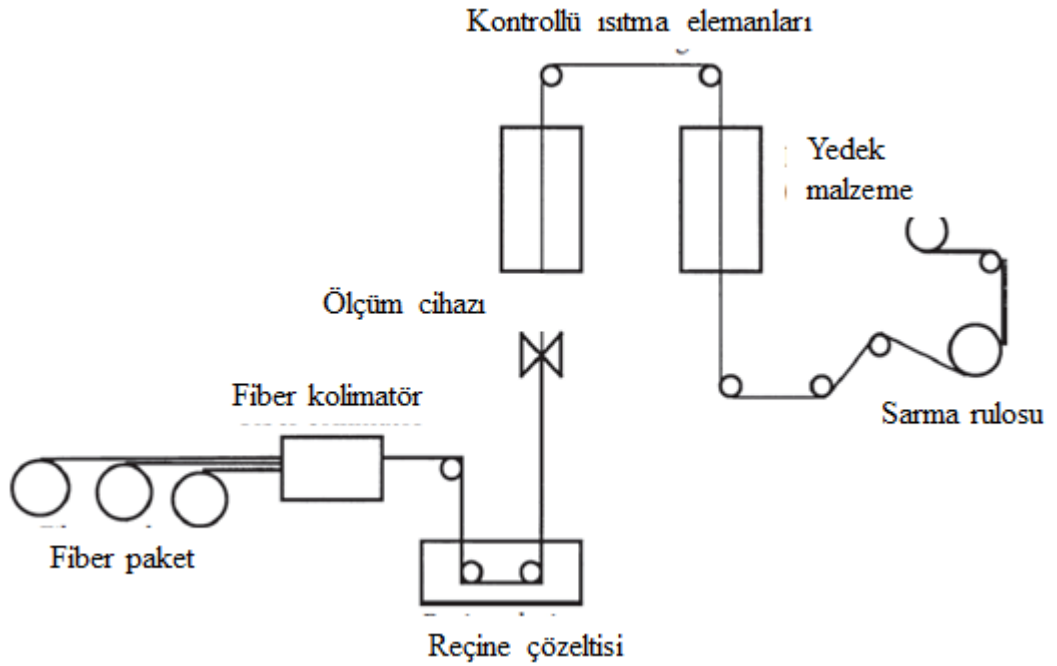
### **5.2.1 Tek Eksenli Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Prepreg**

Prepregler, bir polimer matrisindeki liflerden oluşan hazır bir banttır. Şekil 5.3’de örnek bir prepreg verilmiştir. 76 ile 1270 mm (3 ile 50 inç) standart genişliklere sahiptir. Polimer matrisin termoset veya termoplastik olmasına bağlı olarak, bant sırasıyla bir buzdolabında veya oda sıcaklığında saklanır. Kompozit bir yapı yapmak için bu bantlar çeşitli yönlerde manuel veya mekanik olarak döşenebilir (Kaw, 2006).



Şekil 5.3 Örnek bir prepreg (Kaw, 2006)

Prepreglerin üretim yöntemi şematik olarak Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Buna göre bir sıra lif, reçine banyosundan geçirilir. Daha sonra reçine emdirilmiş lifler sertleştirme reaksiyonunu devam ettirmek için ısıtılırlar. Saklama sırasında prepreglerin yapışmasını önlemek için ayırma filmi kullanılır ve bu ayırma filmi sarma rulosa sarılır (Kaw, 2006)



Şekil 5.4 Prepreg üretiminin şematik gösterimi (Kaw, 2006)

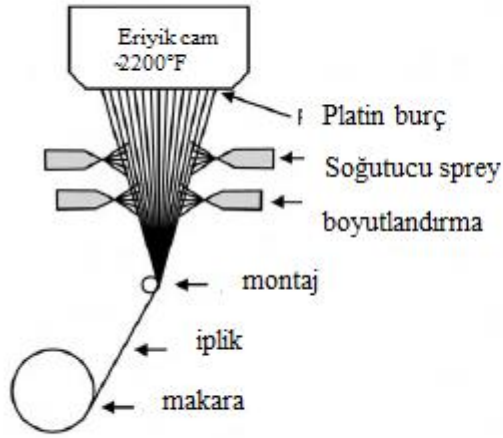
Prepreglerin takviye malzemeleri farklı olabilir. Bu çalışmada tek eksenli cam elyaf takviyeli polipropilen prepreg kullanılmıştır. Prepregler kullanılırken, tek yönlü ve 0° açı ile yerleştirilmiştir.

### 5.3 Cam Elyaf

Cam elyafların özelliklerine bakıldığında, düşük maliyetli, yüksek gerilme mukavemetli, yüksek darbe direnci ve yüksek kimyasal direnci vardır. Bu özellikleri nedeniyle ticari uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır. Bununla birlikte, özellikleri yüksek performanslı kompozit uygulamalarda karbon fiberlerin özelliklerine benzememektedir. Karbon fiberlere kıyasla, nispeten düşük bir elastisite modülüne ve düşük yoğunluk özelliklerine sahiptirler. Birçok cam elyafı türü olmasına rağmen, kompozitlerde en yaygın kullanılan üç tanesi E-cam, S-2 cam ve kuvarsdır (Campbell, 2010).

Yüksek mukavemetli cam elyaflar ilk olarak 1930'lu yıllarda geliştirilmiştir. Bugün dünya çapındaki yapısal kompozit pazarına bakıldığında yılda 4 ile 5 milyon ton kullanılmaktadır. Cam elyaflar silikadan yapılmaktadır ve kum, kalker, borik asit ve az miktarda kil, kömür ve fluorspar gibi diğer bileşim maddelerini içermektedir (Campbell, 2010).

Yüksek mukavemetli cam elyafların üretim yöntemine bakıldığında, ilk olarak hammaddeler karıştırılır. Daha sonra üç aşamalı bir fırın içerisinde eritilir ve erimiş camın ön kısmın altındaki burçlardan ekstrüde edilir. Filamanlar su ile soğutulur ve boyutlandırma işlemi gerçekleştirilir. Son olarak filamanlar toplanır ve bir pakete sarılır. Sonuç olarak üretim süreci beş temel aşamada gerçekleşir. Bunlar, harmanlama, eritme, fiberizasyon, kaplama ve paketlemedir. Şekil 5.5'de üretim yönteminin aşamaları verilmiştir (Campbell, 2010).

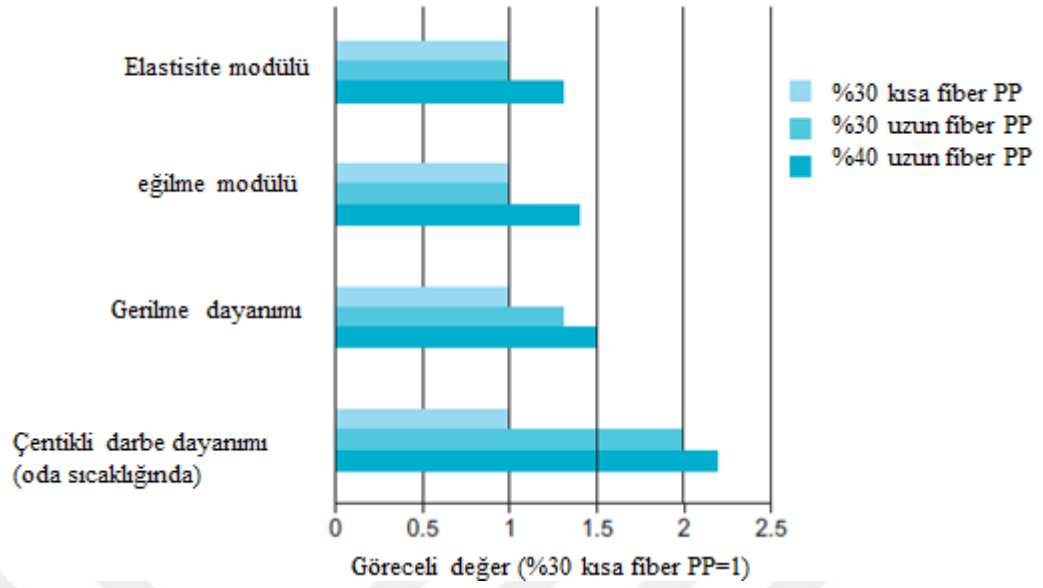


Şekil 5.5 Cam elyafın üretim yöntemi (Campbell, 2010)

### 5.3.1 Uzun Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Granül

Polipropilenler için uzun cam elyaf takviyelerinin kullanılması, yıllık yüzde büyüme oranlarına bakıldığında çift haneli sayılara ulaşmış ve dünya çapında ilgi çekmektedir (Tolinski, 2015).

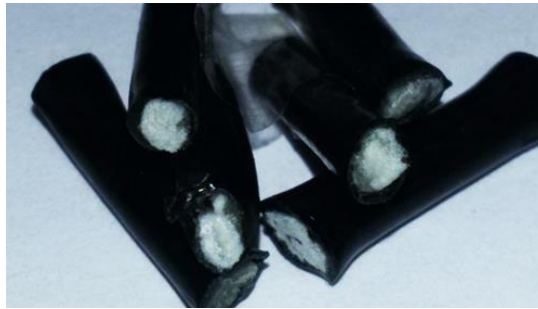
Uzun elyaf takviyeli polipropilenin yüksek mekanik özellikleri, nispeten uzun elyafın eklenmesinden kaynaklanmaktadır. Böylece kısa cam ile benzer ağırlık seviyelerinde yüklendiğinde bile, fiber uzunluğu ile birlikte artan mukavemet ve darbe direnci gelişmeleri göstermektedir. Örneğin, %30 cam dolgulu bir polipropilende kısa ve uzun elyaflar karşılaştırıldığında, uzun elyaf kullanılanın çekme mukavemetinin 1,5 kat fazla olduğu görülmektedir. Cam elyaf uzunluğunun polipropilenin mekanik özelliklerine olan etkisi Şekil 5.6'da verilmiştir (Tolinski, 2015).



Şekil 5.6 Cam elyaf uzunluğunun polipropilenin mekanik özelliklerine olan etkisi (Tolinski, 2015)

Uzun cam elyaflı polipropilenlerin kullanım alanlarına bakıldığında, otomotiv uygulamalarında sıkça yer almaktadır. Endüstrinin araç ağırlığını azaltmaya yönelik olan ilgisi dikkate alındığında bu kullanımlar genişleyecektir. Otomotiv endüstrisindeki kullanımlarına örnek verecek olursak, ön uç taşıyıcı modülleri, gösterge panelleri, kapı modülleri ve tampon yapılarında kullanılmaktadır (Tolinski, 2015).

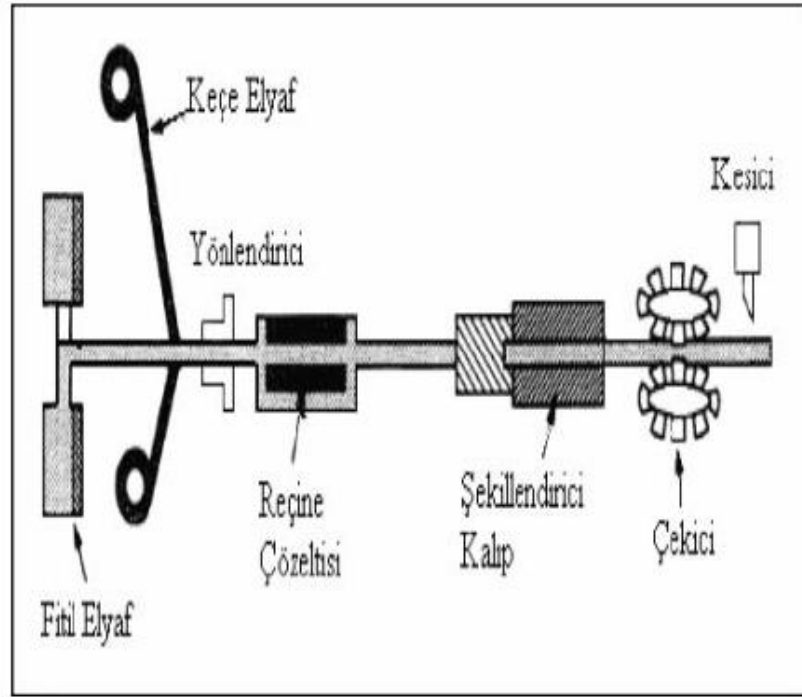
Uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granüller kaplama ya da pultrüzyon yöntemiyle üretilmektedirler. Kaplama yöntemi eski bir yöntemdir ve bu yöntemde, elyaflarda tam ıslanma sağlanamadığı için, elyaflar kaplama aşamasında homojen dağılamazlar, bu durumda parçanın mekanik özelliklerinde değişkenlik gösterir. Bu yöntemle üretilmiş olan granül Şekil 5.7’de verilmiştir (Nuh Kompozit, 2019).



Şekil 5.7 Kaplama yöntemiyle üretilmiş uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granül (Nuh Kompozit, 2019)

Pultrüzyon yöntemi ise, ıslanmanın artırılması için zamanla geliştirilmiş ve gelişmeye devam eden bir yöntemdir. Bu yöntemdeki en önemli kısım ıslanmanın kontrol edildiği emprenye havuzudur (Nuh Kompozit, 2019).

Pultrüzyon yöntemi, düşük maliyetli olması, hızlı üretime imkan vermesi, çıkan ürünlerin bir sürekliliğe sahip olması ve otomatik üretime imkan vermesi sebebi ile tercih edilen bir yöntemdir. Pultrüzyon yönteminin işlem aşamaları Şekil 5.8’de ve bu yöntem ile üretilmiş polipropilen granül Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.8 Pultrüzyon yöntemi (Aydın, 2014)



Şekil 5.9 Pulrüzyon yöntemiyle üretilmiş uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granül (Nuh Kompozit, 2019)

Bu çalışma kapsamında kullanılmış olan uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granüller Nuh Kompozit San. Ve Tic. A.Ş'den temin edilmiştir. Kullanılan granüllerin firma kodu, Duramax LFT PP 60 elyaf ağırlık oranı ise %60'dır. Bu granüllerin mekanik özellikleri Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6 Uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granüllerin mekanik özellikleri (Nuh Kompozit, 2019)

| Mekanik Özellikler             | Değerler | Birim             | Test Metodu |
|--------------------------------|----------|-------------------|-------------|
| Cam Oranı                      | 60       | %                 | ISO 3451    |
| Yoğunluk                       | 1,43     | g/cm <sup>2</sup> | ISO 1183    |
| Çekme Dayanımı                 | 125      | Mpa               | ISO 527     |
| Çekme Dayanım Modülü           | 13800    | Mpa               | ISO 527     |
| Eğme Dayanımı                  | 215      | Mpa               | ISO 178     |
| Eğme Dayanım Modülü            | 11250    | Mpa               | ISO 178     |
| İzod Darbe Dayanımı, Çentiksiz | 50,5     | kJ/m <sup>2</sup> | ISO 179     |
| HDT (1,8 Mpa)                  | 158      | °C                | ISO 75      |

## BÖLÜM ALTI

### YÖNTEM

Bu çalışmada, pultrüzyon yöntemiyle üretilmiş olan uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granüller ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) granüller kullanılmıştır. Kompozitlerin üretim yöntemi seçimi kullanıldıkları yere göre ya da istenilen özelliklere göre değişmektedir. Bu çalışmada granüllerin levha haline getirilmesi aşamasında kompozit üretim yöntemlerinden biri olan, sıcak pres ile üretim yöntemi tercih edilmiştir.

Ayrı ayrı olarak sıcak pres yöntemiyle üretilmiş cam elyaf takviyeli polipropilen kompozitler ve yüksek yoğunluklu polietilen(HDPE) levhalar, tekil bindirme yöntemiyle birleştirilmiştir. Bu yapıştırma işleminde, Kompozit-Kompozit, YYPE-YYPE ve Kompozit-YYPE kombinasyonları halinde tekil bindirme yöntemi kullanılarak, sıcak pres ile birleşme işlemi yapılmıştır. Elde edilen numunelere, farklı sıcaklıklarda çekme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca numunelerin farklı sıcaklarda düşük hızlı darbe davranışları da incelenmiştir. Sonrasında düşük hızlı darbe uygulanan numunelere farklı sıcaklıklarda çekme deneyi yapılarak çekme dayanımları karşılaştırılmıştır.

#### 6.1 Kullanılan Cihazlar

Kompozit numunelerin üretimi ve deneylerin yapılması sırasında kullanılan cihazlar aşağıdaki gibidir.

- Sıcak Pres Cihazı
- Düşük Hızlı Darbe Cihazı
- Çekme Cihazı

##### 6.1.1 Sıcak Pres Cihazı

Kompozit levhaların üretimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Kompozit Üretim Laboratuvarında bulunan Fontijne Presses LabEcon600

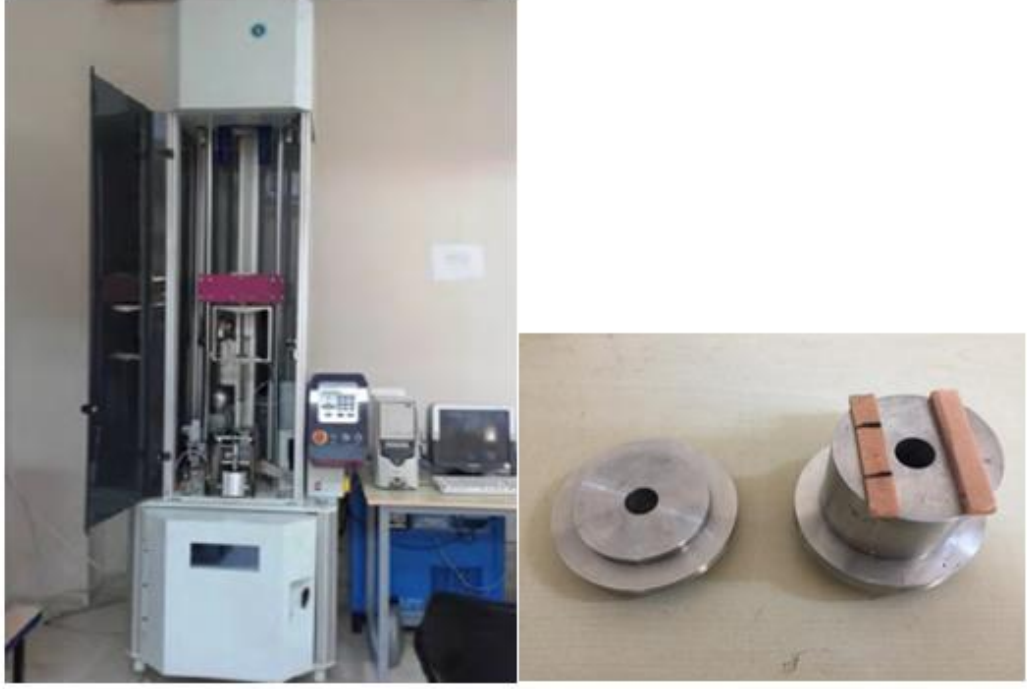
adlı sıcak pres makinesiyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.1). Sıcak pres cihazı 400x400mm pres çenelerine sahiptir ve çenelerin arasındaki açıklık 200mm'ye kadar çıkabilmektedir. Presin alt çenesi hareketli üst çenesi sabittir. Çenelerin uygulayabileceği maksimum kuvvet 600kN ve ısıtılabilceği maksimum sıcaklık değeri 300°C'dir. Cihazın uygulamış olduğu sıcaklık ve basınç manuel olarak kontrol edilmektedir.



Şekil 6.1 Fontijne presses labecon600 marka sıcak pres cihazı (Kişisel arşiv, 2019)

### 6.1.2 Darbe Cihazı

Çalışma kapsamında, üretilmiş olan kompozit numunelere düşük hızlı darbe deneyi uygulanmıştır. Bu deneyleri uygulamak için, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan CEAST Fractovis Plus marka darbe cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.2). Cihaz ağırlık düşürme prensibi ile çalışmaktadır ve tekrarlı darbe oluşumunu önlemek adına, geri sekme önleyicisi bulunmaktadır. Cihazın uygulayabileceği maksimum enerji seviyesi 1800 Joule'dur. Ayrıca cihaz iklimlendirme kabinine sahiptir. Bu iklimlendirme kabininin sıcaklığı -100°C ile +150°C arasında ayarlanabilmektedir. İklimlendirme kabini sayesinde deneyler farklı sıcaklıklar altında tekrarlanmıştır.



Şekil 6.2 CEAST fractovis plus marka darbe cihazı (Kişisel arşiv, 2019)

Çalışmada kullanılan vurucu uç yarım küre şeklindedir. Vurucu ucun ağırlığı 626 gramdır ve 12,7 mm ölçüsünde çapa sahiptir. Yapışma bölgesindeki düşük hızlı darbe etkisini incelemek amacıyla, numunelerin yerleştirildiği kalıba aralarındaki mesafe 25 mm olacak şekilde köpük yapıştırılmıştır. Şekil 6.2’de görüldüğü gibi 25x25 mm yapışma ara yüzüne sahip numuneleri doğru yerleştirmek için, köpük üzerinde 25 mm uzaklık işaretlenmiştir.

### 6.1.3 Çekme Cihazı

Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesin kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Çalışmadaki çekme deneyini uygulamak amacıyla, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde bulunan Shimadzu AG-Xserisi universal test cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.3). Cihaz video ekstensometreye sahiptir. Cihazdan alınabilen kuvvet ve uzama verileri sayesinde, kuvvet-uzama grafikleri çizilebilmektedir. Ayrıca çekme cihazı iklimlendirme kabineye sahiptir. Bu iklimlendirme kabini sayesinde, deneyler farklı sıcaklıklar altında tekrarlanabilmektedir.



Şekil 6.3 (a) Shimadzu AG-Xserisi universal çekme test cihazı, (b) iklimlendirme kabini ekranı (Kişisel arşiv, 2019)

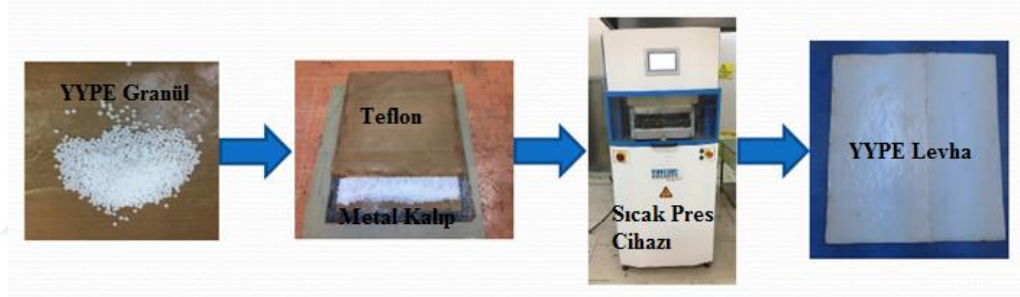
İklimlendirme kabini dokunmatik bir ekrana sahiptir ve istenilen sıcaklık değeri manuel olarak ayarlanabilmektedir. Çalışma sıcaklığı ekran üzerinden belirlendikten sonra, kabinin içerisini bu sıcaklığa getirir ve sabit tutar. Kapı açılıp kapandığı zaman tekrardan aynı sıcaklığa gelmesi için geçen süre kısadır.

## 6.2 Kompozit Üretimi

Çalışmada, iki farklı malzeme kullanılarak levha üretimi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) granüller kullanılarak 2 mm kalınlığında levhalar üretilmiştir. İkinci aşamada ise, cam elyaf takviyeli polipropilen granül ve tek eksenli cam elyaf takviyeli polipropilen prepregler kullanılarak 2 mm kalınlığında kompozit levhalar elde edilmiştir.

### 6.2.1 YYPE Levhaların Üretimi

İlk olarak yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) granüller kullanılarak sıcak presleme işlemi gerçekleştirilmiş ve kompozit levhalar üretilmiştir. Bunun için tedarikçi firmadan alınan özkütle değerleri göz önünde bulundurularak 235gr YYPE granül tartılmış ve 350x350x2 mm kalınlığındaki metal kalıba homojen şekilde yerleştirilmiştir. Metal kalıbın presten kolay çıkmasını sağlamak ve yapışmasını engellemek amacıyla, metal kalıbın altına ve üstüne teflon film yerleştirilmiştir. Granüllerin kalıplama işlemi tamamlandıktan sonra sıcak pres tezgahına yerleştirilmiştir. Presleme işlemi 180°C ve 100kN altında 1 saat boyunca devam etmiştir. 1 saat süren presleme işleminin ardından kompozit plakalar çarpılma olmasının önüne geçmek amacıyla 100kN altında 6 saat boyunca soğumaya bırakılmıştır. YYPE plakaların üretim işlem sırası Şekil 6.4’de gösterilmektedir.



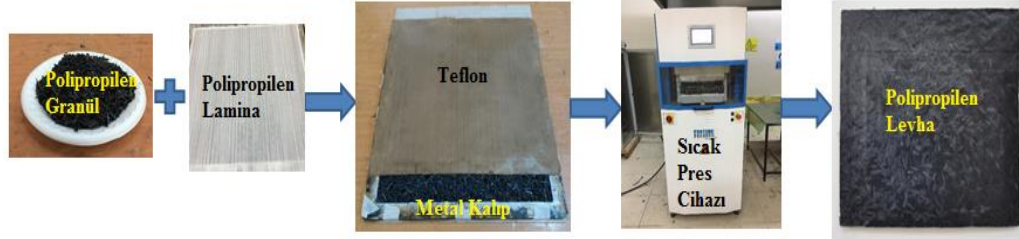
Şekil 6.4 YYPE levha üretimi işlem sırası (Kişisel arşiv, 2019)

### 6.2.2 Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Levhaların Üretimi

Diğer tasarıma sahip kompozit üretimi, %60 cam elyaf takviyeli polipropilen granüller ve tek yönlü uzun cam elyaf takviyeli polipropilen prepregler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tedarikçi firmadan alınmış olan özkütle bilgileri ışığında 275gr polipropilen granül tartılmış ve 350x350x2 mm kalınlığındaki metal kalıba yerleştirilmiştir. Granüllerin altına ve üstüne tek yönlü uzun cam elyaf takviyeli bir kat lamina konulmuştur. Benzer şekilde, metal kalıbın presten kolay çıkmasını sağlamak amacıyla kalıbın altı ve üstü teflon film ile kaplanmıştır.

Granüllerin kalıplama işlemi tamamlandıktan sonra, sıcak pres cihazına yerleştirilmiştir. Presleme işlemi benzer şekilde 180°C ve 100kN altında 1 saat

boyunca gerçekleştirilmiştir. Bir saat sürenin sonunda kompozit levha çarpılmanın engellenmesi amacıyla 100kN altında 6 saat boyunca soğumaya bırakılmıştır. Plaka üretimi işlem sırası Şekil 6.5’de gösterilmektedir.



Şekil 6.5 Polipropilen levha üretimi işlem sırası (Kişisel arşiv, 2019)

### 6.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Kompozit üretimi sonrasında 350x350x2 mm ölçülerinde YYPE plakalar ve 350x350x2 mm ölçülerin polipropilen plakalar elde edilmiştir. Elde edilmiş olan bu plakalar birleştirme işleminin gerçekleştirilmesi için kesilmiştir. Birleştirme işlemi YYPE ve cam elyaf takviyeli polipropilen levhaların farklı kombinasyonlarında YYPE-YYPE, Kompozit-YYPE ve Kompozit-Kompozit olacak şekilde yapılmıştır.

Kesilen plakalar, birleştirme işleminin gerçekleştirileceği kademeli kalıba yerleştirilmiş ve üretim sırasında kullanılmış olan sıcak presleme yöntemi kullanılarak 25x25mm birleştirme yüzeyi ölçülerine sahip olacak şekilde birleştirilmiştir. Birleştirme işleminin işlem sırası Şekil 6.6, 6.7 ve 6.8’de verilmiştir.

Kalıba yerleştirilen plakalar, 180°C ve 100kN altında sıcak pres cihazında 1 saat boyunca preslenmiştir. Bir saat sürenin ardından, çarpılmayı engellemek amacıyla 6 saat boyunca 100kN altında soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 6.6 YYPE-YYPE levha birleşiminin işlem sırası (Kişisel arşiv, 2019)

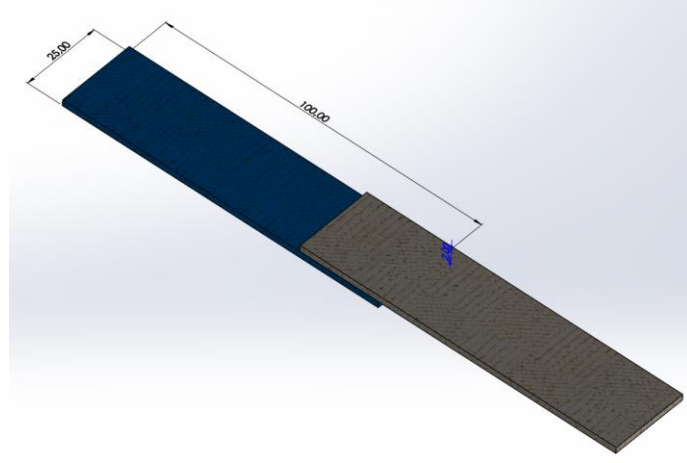


Şekil 6.7 Kompozit-YYPE levha birleşiminin işlem sırası (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 6.8 Kompozit-kompozit levha birleşiminin işlem sırası (Kişisel arşiv, 2019)

Farklı kombinasyonlarda birleştirme işleminin ardından, plakalar 25x175mm ölçülerinde kesilmiştir. Böylece 25x25mm ölçülerinde yapışma alanına sahip iki plaka haline getirilmiştir. Kesim işleminde, yapışma bölgesinde hasar olmamasına dikkat edilmiştir. Yapının örnek resmi Şekil 6.9’da görülmektedir.



Şekil 6.9 25x25mm yapışma alanına sahip deney numunesi örneği (Kişisel arşiv, 2019)

#### 6.4 Darbe Deneyi

Darbe testleri genel anlamda günlük hayatta karşılaştığımız, kompozit bir yapıya bakım esnasında düşürülen parçalar, çivi çakmak, dövme işlemi gibi olaylar göz

önüne alınarak düşünülmüş test yöntemidir. Mühendislik uygulamalarında bu gibi darbelerin olması kaçınılmazdır. Malzemelerin bu darbeler karşı nasıl tepki vereceğinin bilinmesi istenir. Bu yüzden malzemelerin mekanik davranışlarının belirlenmesinde darbe testlerinin kullanılması kaçınılmazdır (Şenel ve Kurşun, 2009).

Literatüre bakıldığında darbe testleri düşük hızlı ve yüksek hızlı darbe testleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, CEAST Fractovis Plus Marka darbe cihazı kullanılarak, düşük hızlı darbe testleri gerçekleştirilmiştir.

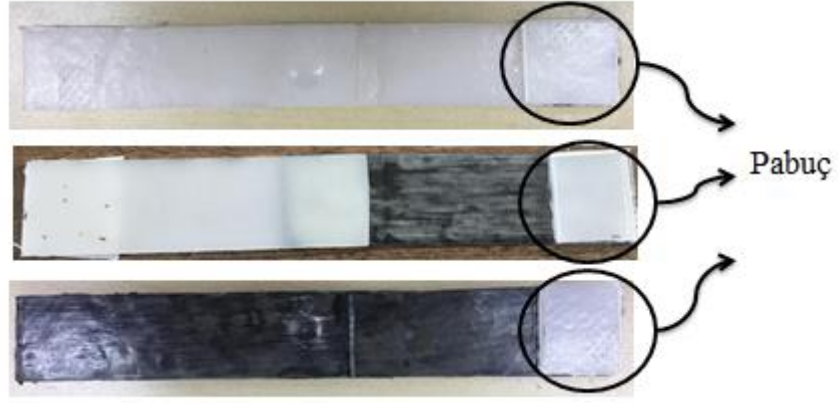
2mm kalınlığında 25x25mm birleşme alanına sahip YYPE-YYPE, Kompozit-YYPE ve Kompozit-Kompozit olarak hazırlanmış olan numunelere düşük hızlı darbe deneyi uygulanmıştır. Darbe deneyleri 5J ve 10J enerji değeri altında ve 3 kez tekrarlanmıştır. Kompozit-YYPE birleşimindeki darbe deneylerinde, kompozit kısmından darbe vurulmuştur. Deneylerin tamamında 626 gram ağırlığında 12,7mm çap ölçüsünde yarım küre şeklinde darbe ucu kullanılmıştır.

Darbe cihazından alınan veriler ışığında, enerji-zaman ve temas kuvveti-deformasyon grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafikler ve sonuçları bir sonraki bölümde tartışılmıştır.

## **6.5 Çekme Deneyi**

Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Bu çalışmada yapılan çekme deneyleri Shimadzu AG-Xserisi universal test cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

2mm kalınlığında 25x25mm birleşme alanına sahip YYPE-YYPE, Kompozit-YYPE ve Kompozit-Kompozit olarak hazırlanmış numunelerin deney cihazına takıldıklarında moment oluşumunu engellemek için her iki ucuna pabuçlar bağlanmıştır (Şekil 6.10). Pabuç bağlama işlemi gerçekleştirilmiş olan numuneler, çekme cihazına bağlanmış ve 1mm/dk hızla oda sıcaklığında, 50°C ve 75°C’de çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Her deney üç kez tekrarlanmıştır.



Şekil 6.10 Pabuç bağlantı yapılmış numuneler (Kişisel arşiv, 2019)

Ayrıca darbe yüklemesine maruz bırakılan numunelere de sonradan yine farklı sıcaklıklar altında çekme testleri yapılmıştır. Böylece her iki durum için (darbeli ve darbesiz) farklı sıcaklıklar altında çekme mukavemetleri incelenmiştir.

Cihazdan her numune için kuvvet ve deformasyon verileri alınmış ve bu bilgiler yardımıyla kuvvet-deformasyon grafikleri çizilmiştir. Böylece numunelerin çekme dayanımları incelenmiş ve farklı durumlar için karşılaştırma yapılmıştır. Çizilen grafikler ve sonuçları bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

## **BÖLÜM YEDİ**

### **DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME**

Kompozit malzemelerde kullanıldıkları yerlere ya da çalışma ortamlarına göre farklı özellikler aranır. Bu çalışmada, cam elyaf takviyeli polipropilen granül ile üretilmiş kompozit levhalarda ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) granüller ile üretilmiş kompozit levhalarda yapıştırma etkisi incelenmiştir. Kompozit malzemelerin farklı sıcaklıklara sahip çalışma ortamları göz alındığında, sıcaklık etkisi farklı sıcaklıklar (25°C, 50°C, 75°C) için araştırılmıştır.

#### **7.1 Darbe Deneyi Sonuçları**

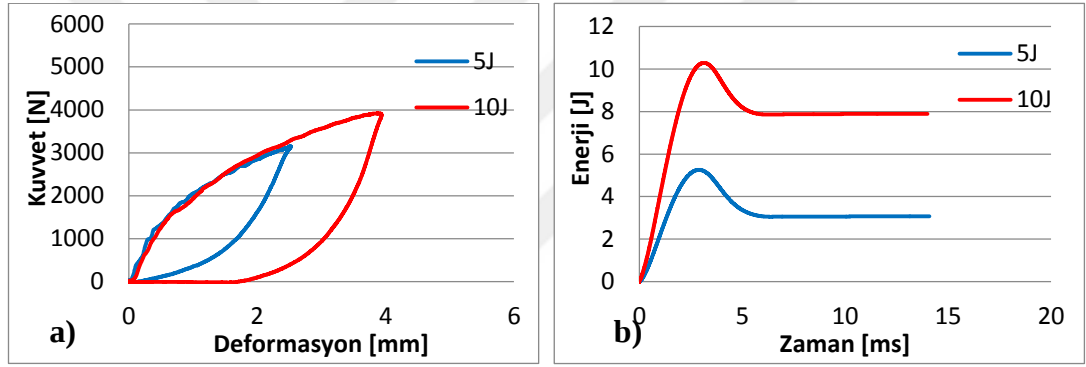
Numunelere darbe deneyinin uygulanmasının ardından elde edilen veriler ile, temas kuvveti-deformasyon ve enerji-zaman grafikleri çizilmiştir. Çizilen bu grafikler ile malzemelerin darbe etkisine verdiği tepkiler yorumlanmıştır.

Düşük hızlı darbe deneyleri sonucunda elde edilen, temas kuvveti-deformasyon grafikleri, malzemenin darbe etkisine verdiği tepkiyi anlamak için kullanılan en yaygın görsel yöntemlerden biridir. Bu grafikte elde ettiğimiz eğrilerde, yükselen kısım malzemenin vurucu uç ile temas ettiği anı göstermektedir. Alçalan kısım, darbenin sonuçlarına bağlı olarak farklı şekilde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma, vurucu ucun sekmesi, malzemeyi delip geçmesi ve malzemeye sağlanması şeklindedir (Abrate, 2011).

Yine aynı şekilde, düşük hızlı darbe deneyleri sonuçlarıyla elde edebildiğimiz, enerji-zaman grafikleri de malzemenin ne kadar enerji absorbe ettiğini göstermektedir (Abrate, 2011).

### 7.1.1 YYPE-YYPE Olarak Birleştirilmiş Numunelerin Darbe Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi

YYPE-YYPE olarak birleştirilmiş numunelere 5J ve 10J olarak iki farklı enerji seviyesinde ve 3 tekrar olacak şekilde darbe deneyleri uygulanmıştır. Deneylerin sonuç grafikleri oluşturulurken ortalamaya en yakın numune değerleri seçilmiştir. Deney sonuç verilerine göre çizilmiş olan grafikler incelendiğinde, her iki enerji seviyesi içinde eğrinin kapalı bir eğri olduğu görülmektedir. Yani eğrilerin alçalan kısımlarına bakıldığında, geri dönüşün olduğu görülmektedir. Bu durum vurucu ucun geri sektiğinin göstergesidir. Şekil 7.1’de YYPE-YYPE birleşiminin düşük hızlı darbe deney sonuçlarının çizildiği grafik verilmiştir.



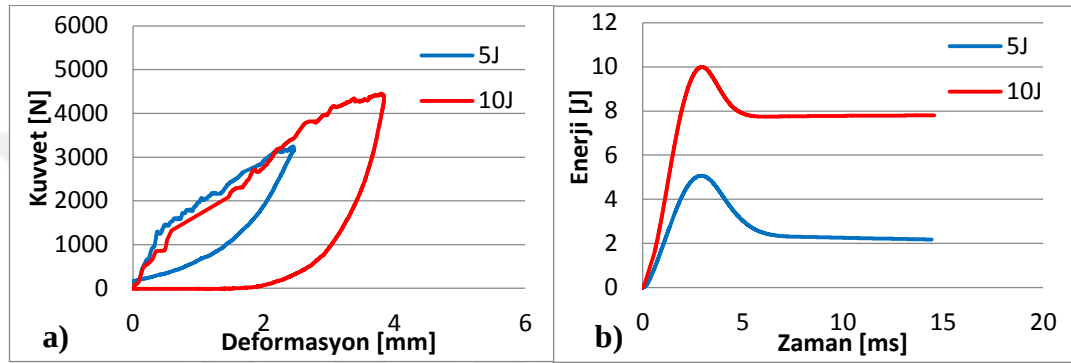
Şekil 7.1 YYPE-YYPE olarak birleştirilmiş numunelerin a)temas kuvveti-deformasyon grafiği, b) enerji-zaman grafiği

Şekil 7.1.a incelendiğinde, darbe enerjisinin 5J’den 10J’e çıkmasıyla birlikte darbe kaynaklı deformasyonun arttığı gözlemlenmiştir. Her ikisi enerji seviyesi için ortalama maksimum temas kuvvetlerine bakıldığında, 5J’lük enerji seviyesinde 3149 N, 10J’luk enerji seviyesinde ise 3923 N’dur.

Şekil 7.1.b incelendiğinde ise, artan enerji seviyesiyle birlikte malzemenin absorbe ettiği enerji miktarının arttığı görülmektedir. 10J olan enerji değerinde, malzemenin absorbe ettiği enerji miktarı 8J’dür. 5J olan enerji değerinde ise numuneler 3J enerji absorbe etmiştir.

### 7.1.2 Kompozit-YYPE Olarak Birleştirilmiş Numunelerin Darbe Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi

Kompozit-YYPE olarak birleştirilmiş numunelere, 5J ve 10J enerji seviyelerinde düşük hızlı darbe deneyi uygulanmıştır. Çizilen grafikler incelendiğinde, eğrilerin kapalı olduğu, yani vurucu ucun sektiği görülmektedir. Kompozit-YYPE birleşiminin düşük hızlı darbe deney sonuçları Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2 Kompozit-YYPE olarak birleştirilmiş numunelerin a) temas kuvveti-deformasyon grafiği, b) enerji-zaman grafiği

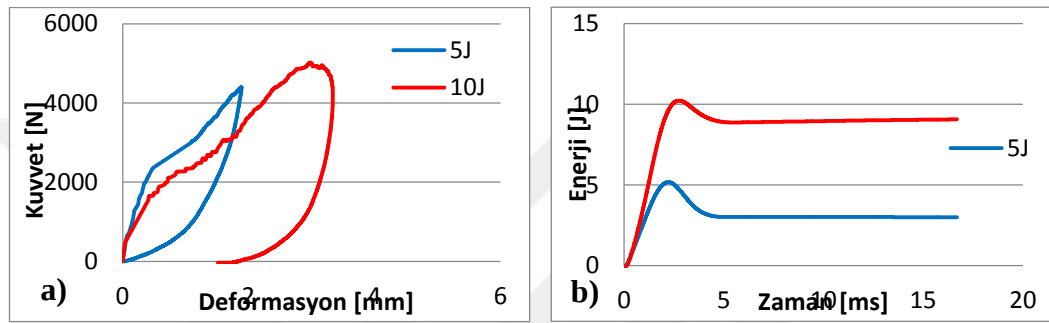
Şekil 7.2.a incelendiğinde, düşük hızlı darbe etkisinin enerjisinin artmasıyla birlikte darbe kaynaklı deformasyonun da arttığı görülmektedir. 5J olan enerji seviyesi için maksimum temas kuvveti 3242 N, 10J olan enerji seviyesi için ise 4450N’ dur. YYPE-YYPE birleşimine göre, kompozit-YYPE birleşiminin darbe etkisinden fazla etkilendiği görülmektedir.

Şekil 7.2.b incelendiğinde ise, enerji seviyesinin artmasıyla birlikte, absorbe edilen enerji miktarının arttığı görülmektedir. 5J olan enerji seviyesi için absorbe edilen enerji miktarı 2,25J, 10J enerji seviyesinde ise, 7,75J olarak bulunmuştur.

Kompozit-YYPE birleşmesinde takviye malzemesi olduğu için, ortalama maksimum temas kuvvetinin, YYPE-YYPE birleşiminden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kompozit yapının içinde bulunan takviye malzemesi birleşme yüzeyinin mukavemetini arttırmıştır.

### 7.1.3 Kompozit-Kompozit Olarak Birleştirilmiş Numunelerin Darbe Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi

Kompozit-Kompozit olarak birleştirilmiş numunelere de 5J ve 10J enerji değerinde düşük hızlı darbe deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen verilerle temas kuvveti-deformasyon grafiği ile enerji-zaman grafikleri çizilmiştir (Şekil 7.3). Bu grafiğe göre



Şekil 7.3 Kompozit-Kompozit olarak birleştirilmiş numunelerin a) temas kuvveti-deformasyon grafiği, b) enerji-zaman grafiği

Şekil 7.3.a incelendiğinde, grafiğin alçalan kısmında geri dönüşün olduğu görülmekte, yani vurucu geri sektiği anlaşılmaktadır. Düşük hızlı darbe etkisinin enerji seviyesinin artmasıyla birlikte, darbe etkiyle oluşan deformasyonun arttığı gözlemlenmektedir. 5J olan enerji seviyesinde, maksimum temas kuvveti, 4400 N 10J enerji seviyesinde ise, 5020 N'dur.

Şekil 7.3.b incelendiğinde ise absorbe edilen enerjinin, enerji seviyesinin artmasıyla birlikte arttığı görülmektedir. 5J enerji seviyesinde malzemenin absorbe ettiği enerji miktarı 3J, 10J enerji seviyesinde ise, 9J olarak bulunmuştur.

Farklı birleştirme tipleri karşılaştırıldığında, YYPE-YYPE birleşiminin maksimum temas kuvvetinin en düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kompozit-Kompozit birleşiminde malzemenin yapısında bulunan takviye malzemesi mukavemeti arttırmış ve bunun sonucunda maksimum temas kuvvetinin bu birleşim şeklinde en fazla olduğu görülmüştür.

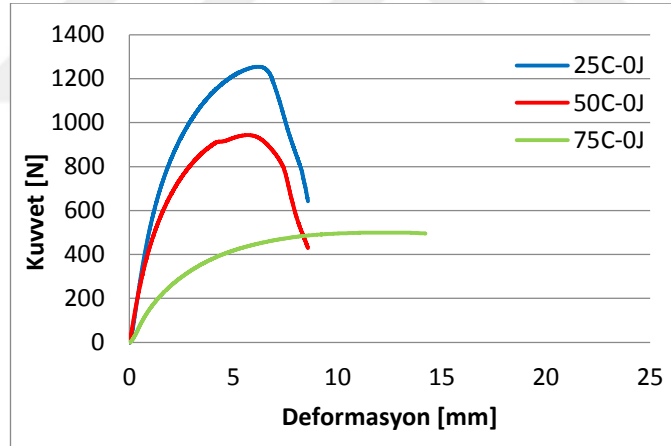
## 7.2 Çekme Deneyi Sonuçları

Darbe yükü uygulanmış ve uygulanmamış olan numunelere, 25°C, 50°C ve 75°C’de 3 tekrar olacak şekilde çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme cihazından alınan verilere göre, numunelerin kuvvet-deformasyon grafikleri çizilmiştir.

### 7.2.1 YYPE-YYPE Birleşiminin Çekme Deneyi Sonuçları

#### 7.2.1.1 YYPE-YYPE Birleşiminde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi

Şekil 7.4 incelendiğinde, sıcaklığın artmasıyla birlikte maksimum kuvvet değerinde önemli oranda düşüşün olduğu görülmektedir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte malzeme daha sünek hale gelmiştir. 25°C’den 50°C’ye çıkıldığında maksimum kuvvet değerinde %24,72’lik bir azalmanın olduğu, 50°C’den 75°C’ye çıkıldığında ise bu azalmanın %46,61 olduğu görülmüştür.

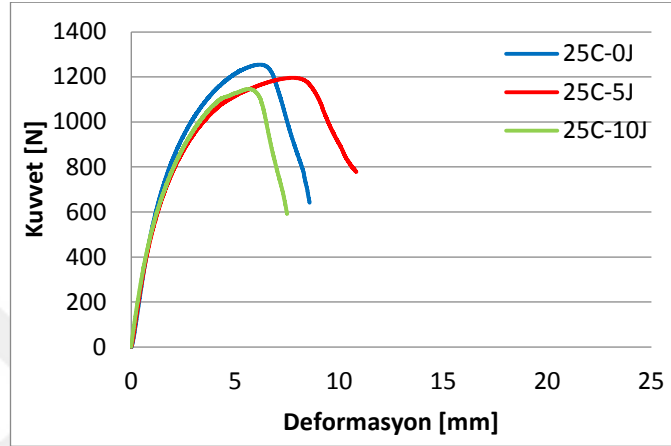


Şekil 7.4 YYPE-YYPE olarak birleştirilmiş numunelerin farklı sıcaklıklar altında kuvvet-deformasyon grafiği

#### 7.2.1.2 YYPE-YPPE Birleşiminde 25°C’ de Darbe Etkisinin İncelenmesi

Şekil 7.5’de görüldüğü gibi 25°C’ de yapılan deneylerde, darbe enerjisinin artmasıyla birlikte maksimum kuvvet değerinin azaldığı görülmektedir. Çünkü darbe etkisi, malzemenin yapısında iç hasar meydana getirir ve bu iç hasar yapının mukavemetini düşürmüştür.

Oda sıcaklığında yapılan deneylerde darbe enerjisi uygulanmamış numune ile 5J enerji seviyesinde darbe enerjisi uygulanmış numunelerin maksimum kuvvet değerleri karşılaştırıldığında, %4,63'lük bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. Darbe enerji seviyesi 10J'e çıktığında ise bu azalmanın uygulanmamış haline göre %8,81 oranında azaldığı görülmüştür.

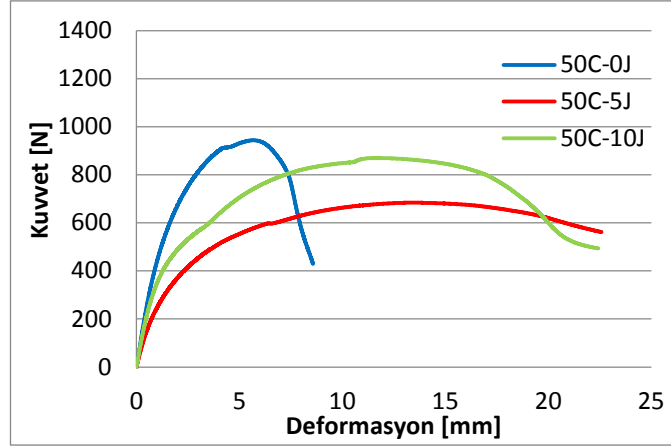


Şekil 7.5 YYPE-YYPE birleşiminde 25°C'de darbeli darbesiz numunelerin kuvvet-deformasyon grafiği

#### 7.2.1.3 YYPE-YPPE Birleşiminde 50°C' de Darbe Etkisinin İncelenmesi

Şekil 7.6'da görüldüğü gibi 50°C'de yapılan deneylerde, darbe etkisiyle birlikte maksimum kuvvet değerinde azalma olduğu görülmektedir. Numune üzerine 5J darbe enerjisi uygulanmasıyla birlikte maksimum kuvvet değerinin, uygulanmamış haline göre %13,67 oranında azaldığı görülmüştür. Enerji seviyesi 10J değerinde çıktığında ise bu azalma %6,92 olarak bulunmuştur.

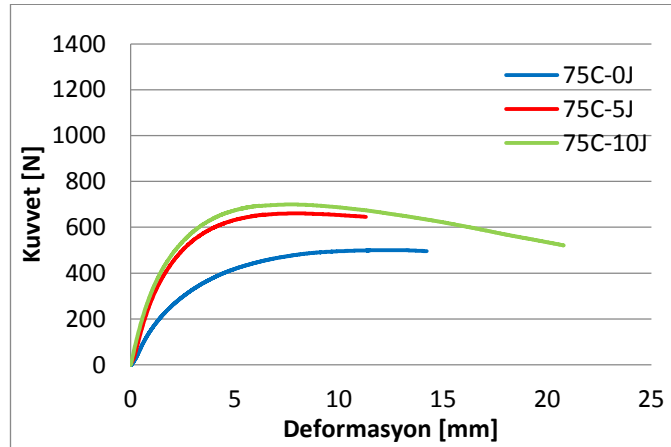
25°C ve 50°C'de yapılan deneyler karşılaştırıldığında, darbe uygulanmamış numunelerin maksimum kuvvet değerlerinde sıcaklığın artmasıyla birlikte, %24,72'lik bir azalmanın, 5J enerji seviyesinde darbe uygulanmış numunelerde %31,86'lık bir azalmanın olduğu ve 10J enerji seviyesinde darbe uygulanmış numunelerde ise %24,08'lik bir azalmanın olduğu görülmüştür.



Şekil 7.6 YYPE-YYPE birleşiminde 50°C'de darbeli darbesiz numunelerin kuvvet-deformasyon grafiği

#### 7.2.1.4 YYPE-YPPE Birleşiminde 75°C' de Darbe Etkisinin İncelenmesi

75°C'de yapılan deneylerde, darbe etkisiyle birlikte maksimum kuvvet miktarının arttığı görülmüştür. 5J ve 10J enerji değerlerindeki darbe etkisiyle birlikte maksimum kuvvet değerinin birbirine çok yakın çıktığı görülmektedir (Şekil 7.7). Darbe enerjisinin 5J'e çıkmasıyla birlikte, maksimum kuvvet miktarında %30,95'lik bir artış 10J' çıkmasıyla birlikte ise, %36,86'lık bir artış olduğu görülmüştür.



Şekil 7.7 YYPE-YYPE birleşiminde 75°C'de darbeli darbesiz numunelerin kuvvet-deformasyon grafiği

25°C'de yapılan deneylerle karşılaştırıldığında, darbe enerjisi uygulanmamış numunelerde sıcaklığın artmasıyla birlikte maksimum kuvvet miktarında %59,81'lik

bir azalma, 5J enerj seviyesinde %44,82'lik bir azalma ve 10J enerji seviyesinde ise %39,01'lik bir azalma olduğu görülmüştür.

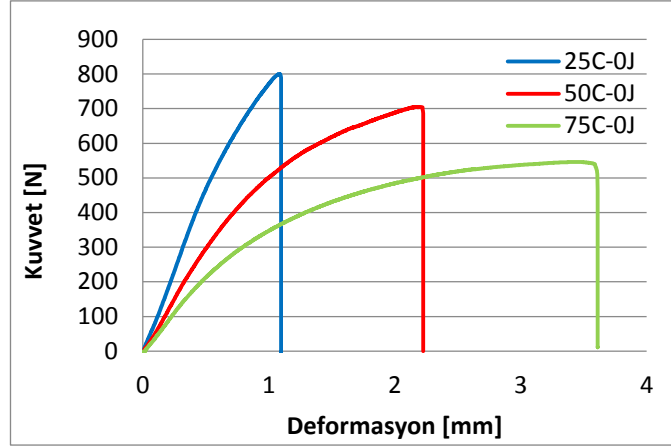
50°C ve 75°C'de yapılan deneyler karşılaştırıldığında ise, sıcaklığın artmasıyla birlikte darbe yükü uygulanmamış numunelerin maksimum kuvvet miktarı %46,61 oranında, 5J enerji seviyesinde darbe yükü uygulanmış numunelerde %19,01 ve 10J darbe enerjisi uygulanmış numunelerde ise %19,66 oranında azalma olduğu görülmüştür.

25x25mm birleşme alanına sahip ve tekil olarak birleştirilmiş levhalara, farklı sıcaklıklarda çekme deneyleri uygulanmıştır. Ancak kopmanın birleşme yüzeyinden olmadığı, birleşme bitiminin hemen ardından olduğu görülmüştür. Bu durumda, ani alan değişiminden kaynaklı, birleşme yüzeyinde gerilme yığılması oluşmakta, oluşan bu gerilme yığılması kesme kuvvetinden daha kritik olmaktadır yorumu çıkarılmıştır.

## **7.2.2 Kompozit-YYPE Birleşiminin Çekme Deneyi Sonuçları**

### **7.2.2.1 Kompozit-YYPE Birleşiminde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi**

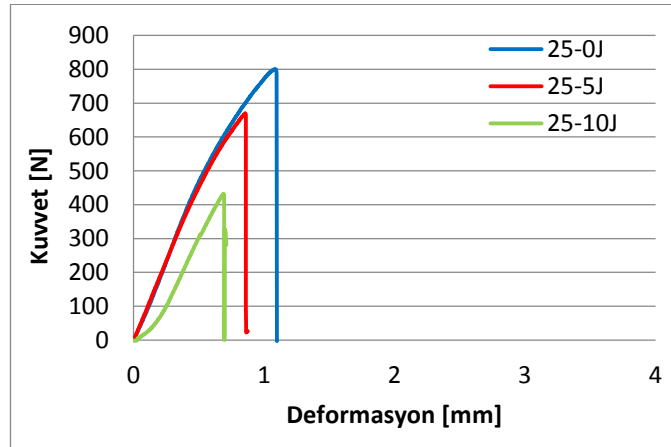
Kompozit-YYPE birleşme şeklinde artan sıcaklıkla birlikte, maksimum kuvvetin azaldığı görülmektedir. Sıcaklığın oda sıcaklığından 50°C'ye çıkmasıyla birlikte maksimum kuvvet değeri %11,87 oranında azalmıştır. Sıcaklığın 75°C'ye çıkmasıyla birlikte azalma miktarı %31,75 olarak gözlemlenmiştir. (Şekil 7.8).



Şekil 7.8 Kompozit-YYPE olarak birleştirilmiş numunelerin farklı sıcaklıklar altında kuvvet-deformasyon grafiği

#### 7.2.2.2 Kompozit-YYPE Birleşiminde 25°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi

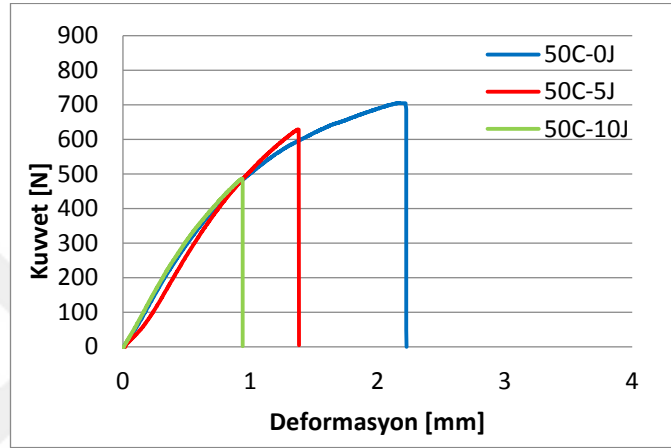
Kompozit-YYPE birleşiminde, 25°C’de yapılmış deneylerde, darbe etkisiyle birlikte maksimum kuvvetin gözle görülür oranda azaldığı görülmüştür (Şekil 7.9). 5J enerji seviyesindeki ilk darbe etkisiyle birlikte maksimum kuvvet mikyarı %16,38 oranında azalmıştır. Darbe enerji seviyesi 10J’e çıkarıldığında maksimum kuvvet oranı 5J’e göre %35,43 oranında azalmıştır.



Şekil 7.9 Kompozit-YYPE birleşiminde darbeli ve darbesiz numunelerin 25°C’de kuvvet-deformasyon grafiği

### 7.2.2.3 Kompozit-YYPE Birleşiminde 50°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi

50°C’de yapılan deneylerde de darbe etkisiyle birlikte maksimum kuvvetin azaldığı görülmüştür (Şekil 7.10). 5J enerji seviyesindeki darbe etkisiyle maksimum kuvvet %10,78 oranında azalmıştır. Enerji seviyesi 5J değerinden 10J çıkarıldığında bu azalma oranının %22,58’e çıkmıştır.

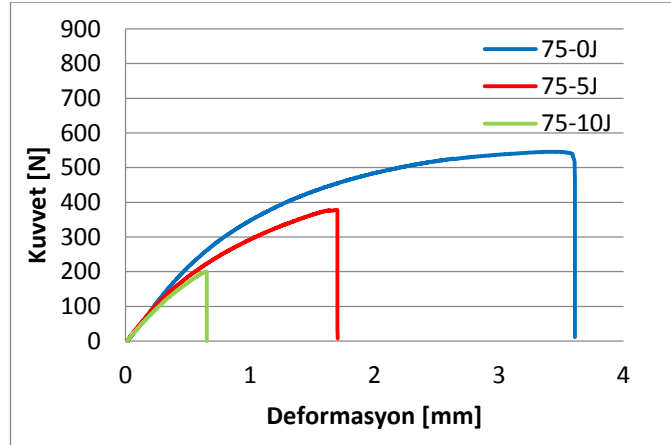


Şekil 7.10 Kompozit-YYPE birleşiminde darbeli ve darbesiz numunelerin 50°C’de kuvvet-deformasyon grafiği

25°C ve 50°C’de yapılan deneyler karşılaştırıldığında, darbe enerjisi uygulanmamış numunelerin maksimum kuvvet miktarı artan sıcaklıkla beraber %11,87 oranında azalmıştır. 5J enerjisi uygulanmış numunelerde bu değer %5,98 iken 10J enerji değerinde %12,73 olduğu gözlemlenmiştir.

### 7.2.2.4 Kompozit-YYPE Birleşiminde 75°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi

75°C’de yapılan deneylerde de maksimum kuvvet değerinin darbe etkisiyle beraber azaldığı görülmüştür (Şekil 7.11). Bu sıcaklık değerinde yapılmış deneylerde karşılaştırma yapıldığında, darbe etkisi uygulanmamış numune ile 5J enerji seviyesinde darbe etkisi uygulanmış numunenin maksimum kuvvet değerleri karşılaştırıldığında %30,77 oranında azaldığı görülmüştür. Darbe enerji seviyesinin 5J’den 10J’e çıkmasıyla beraber bu azalma oranı %47,35 olarak bulunmuştur.



Şekil 7.11 Kompozit-YYPE birleşiminde darbeli ve darbesiz numunelerin 75°C’de kuvvet-deformasyon grafiği

25°C ve 50°C’de yapılmış deneylere bakıldığında, darbe enerjisi uygulanmamış numunelerin sıcaklığın artmasıyla beraber maksimum kuvvet miktarlarında %31,75 oranının bir azalma, 5J darbe enerjili numunelerde %43,49 oranında ve 10J enerji seviyesindeki numunelerde ise %53,93 oranında bir azalma olduğu görülmüştür.

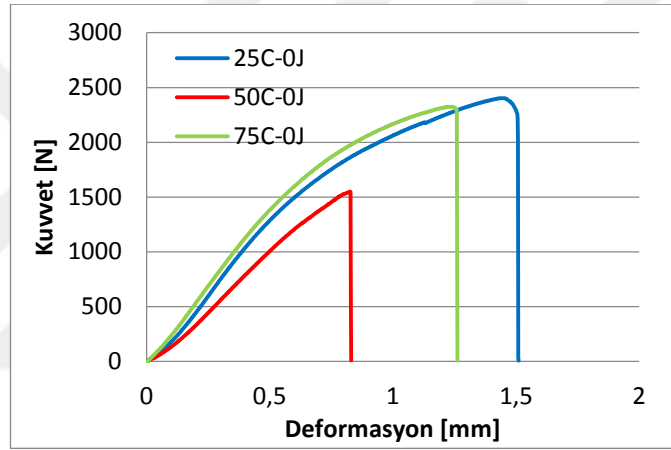
50°C ve 75°C’de yapılan deneylerde ise, darbe etkisi olmayan numunelerin maksimum kuvvet miktarı %22,55, 5J enerji seviyesinde darbe uygulanmış numunelerde %39,91 ve 10J enerji seviyesinde darbe uygulanmış numunelerde ise %59,14 oranında maksimum kuvvet değerinin azaldığı görülmüştür.

25x25mm birleşme alanına sahip kompozit-YYPE birleşimine farklı sıcaklıklar altında çekme deneyleri uygulanmıştır. Bu numunelerde kopmaların birleşme yüzeyinden olduğu görülmüştür.

### 7.2.3 Kompozit-Kompozit Birleşiminin Çekme Deneyi Sonuçları

#### 7.2.3.1 Kompozit-Kompozit Birleşiminde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi

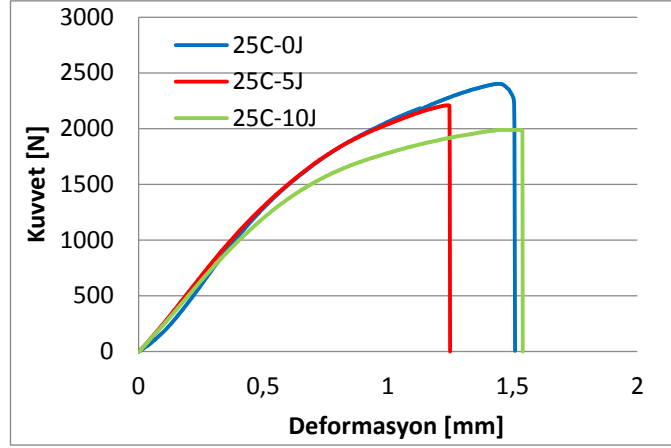
Kompozit-Kompozit birleşiminde sıcaklık etkisi incelendiğinde, 50°C’de yapılan deneylerde, maksimum çekme dayanımının 25°C’ye göre daha düşük olduğu ancak sıcaklığın 75°C’ye çıktığında, 25°C’den yine düşük, 50°C’den daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 7.12). Sıcaklığın oda sıcaklığından 50°C’ye çıkmasıyla maksimum kuvvet %17,03 oranında azalmıştır. Ancak sıcaklığın 50°C’den 75°C’ye çıkmasıyla birlikte maksimum kuvvet değeri, %16,41 oranında azalmıştır.



Şekil 7.12 Kompozit-Kompozit olarak birleştirilmiş numunelerin farklı sıcaklıklarda kuvvet-deformasyon grafiği

#### 7.2.3.2 Kompozit-Kompozit Birleşiminde 25°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi

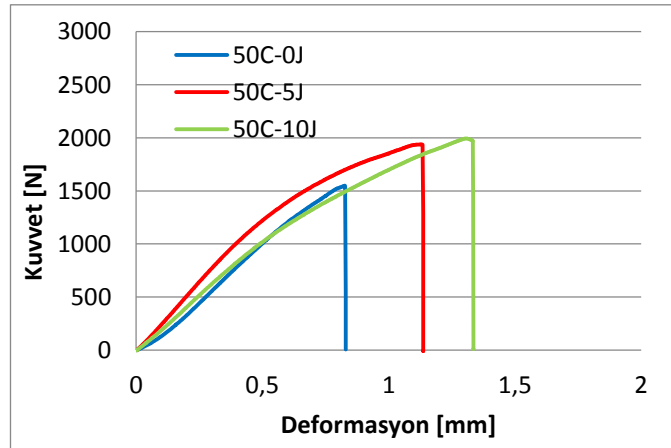
Kompozit-Kompozit birleşiminde 25°C’de yapılan deneylerde, darbe etkisiyle birlikte malzemenin maksimum kuvvet değerinde azalmanın olduğu görülmüştür (Şekil 7.13). Oda sıcaklığında yapılan deneylerde, 5J darbe enerjisi uygulanmış numunenin maksimum kuvvet miktarı, darbe enerjisi uygulanmamış numuneye göre %7,99 oranında azalmıştır. Darbe enerji seviyesinin 10J değerine çıkmasıyla beraber numunelerin maksimum kuvvet değeri 5J enerji seviyesindeki haline göre %10,00 oranında azalmıştır.



Şekil 7.13 Kompozit-Kompozit birleşiminde, darbeli ve darbesiz numunelerin 25°C’de kuvvet-deformasyon grafiği

#### 7.2.3.3 Kompozit-Kompozit Birleşiminde 50°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi

50°C’de yapılan deneylerde, darbe etkisiyle birlikte, maksimum kuvvet değerinde azalma gözlemlenmiştir (Şekil 7.14). 50°C’de darbe enerjisi uygulanmamış numunenin maksimum kuvvet değeri, 5J enerji seviyesinde darbe uygulanmış numuneye göre %2,81 oranında az olarak bulunmuştur. 5J darbe enerjisi uygulanmış numunenin maksimum kuvvet değeri 10J uygulanmış haline göre ise %20,03 oranında az olarak bulunmuştur.



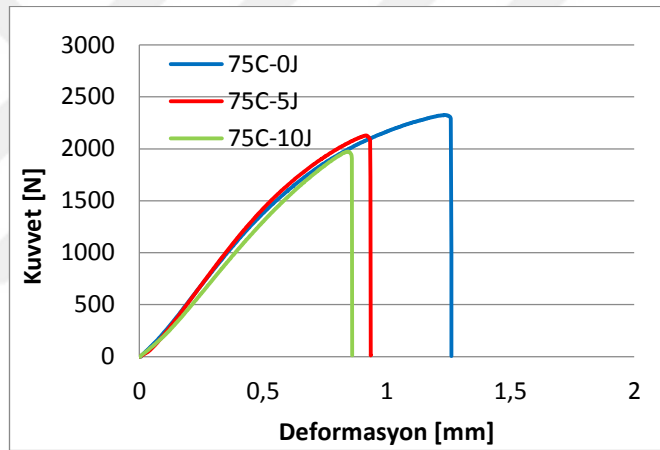
Şekil 7.14 Kompozit-Kompozit birleşiminde, darbeli ve darbesiz numunelerin 50°C’de kuvvet-deformasyon grafiği

25°C ve 50°C’de yapılan deneylere bakıldığında, sıcaklığın artmasıyla beraber numunelerin maksimum kuvvet değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Darbe

uygulanmamış numunelerin artan sıcaklıkla beraber maksimum kuvvet değeri %17,03 oranında, 5J enerji seviyesindekilerin %12,37 oranında ve 10J enerji seviyesindekilerin %22,12 oranında azalmıştır.

#### 7.2.3.4 Kompozit-Kompozit Birleşiminde 75°C’de Darbe Etkisinin İncelenmesi

Darbe etkisiyle birlikte birleşme yüzeyinin maksimum kuvvet değerinde bir azalma olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 7.15). 75°C’de yapılan deneylerde, darbe yükü uygulanmamış numunenin, 5J enerji değerinde darbe yükü uygulanmış numuneye göre maksimum kuvveti %8,27 oranında fazla olarak bulunmuştur. 5J darbe yükü uygulanmış numunenin 10J uygulanmış numuneye göre maksimum kuvvet miktarı %7,28 olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 7.15 Kompozit-Kompozit birleşiminde, darbeli ve darbesiz numunelerin 75°C’de kuvvet-deformasyon grafiği

25°C ve 75°C’de yapılmış deneylerde karşılaştırma yapıldığında, darbe yükü uygulanmamış numunelerin maksimum kuvvet miktarı %3,41, 5J enerji seviyesinde darbe yükü uygulanmış olanların %3,71 ve 10J olarak uygulanmış olanların ise %0,81 oranında azaldığı görülmüştür.

50°C ve 75°C’dek numuneler arasında karşılaştırma yapıldığında ise, sıcaklığın artmasıyla beraber darbe etkisi altında olmayan numunelerin maksimum kuvvet miktarları %16,41, 5J enerji seviyesinde darbe etkisi altında olanların %9,86 ve son olarak 10J darbe etkisi altında olanların ise %27,37 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

25x25mm birleşme alanına sahip, kompozit-kompozit levha birleşimindeki kopmalar da birleşme yüzeyinden gerçekleşmiştir.

### 7.3 Hasarlı Numunelerin İncelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, darbe ve çekme deneyi sonrası numunelerin dijital resimleri verilmiş ve numunelerin hasar durumları incelenmiştir.

#### 7.3.1 Darbe Deneyi Sonrası Numunelerin İncelenmesi

Darbe deneyi sonrası numunelerin alt ve üst yüzeyleri görsel olarak verilmiştir. Görsel inceleme sonrasında, vurucu ucun tüm numunelerden hasar meydana getirdiği ancak delinme olmadığı görülmüştür. Yani vurucu uç, tüm numunelerden geri sekmiştir.

YYPE-YYPE birleşimleri incelendiğinde, vurucu ucun yakın olduğu üst yüzeylerde hasarın oluştuğu, alt yüzeylerde de çökmelerin olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 7.16 ve Şekil 7.17). 10J enerji seviyesinde düşük hızlı darbe deney uygulanmış numunenin 5J enerji seviyesindeki numuneye göre daha fazla çökme miktarına sahip olduğu gözle görülmektedir.

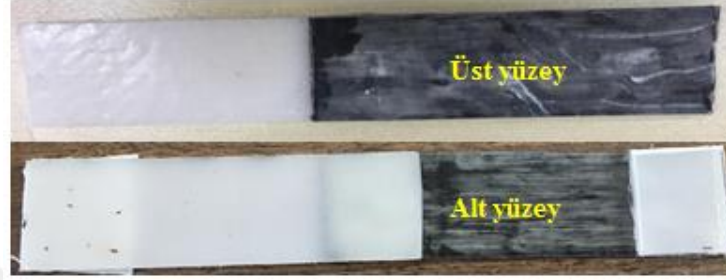


Şekil 7.16 YYPE-YYPE birleşiminde 5J'de darbe sonrası hasar şekilleri (Kişisel arşiv, 2019)

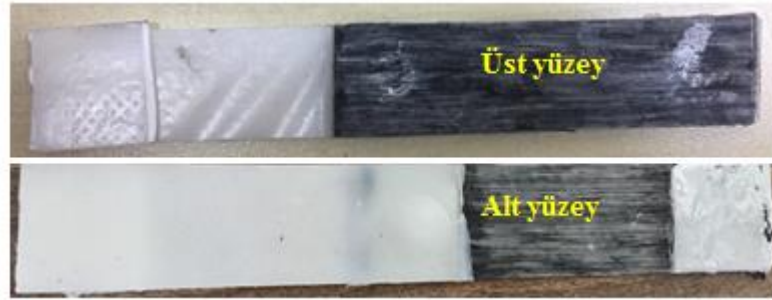


Şekil 7.17 YYPE-YYPE birleşiminde 10J'de darbe sonrası hasar şekilleri (Kişisel arşiv, 2019)

Kompozit-YYPE birleşimleri incelendiğinde, düşük hızlı darbe deneyi sonrası hasarların oluştuğu açıkça görülmektedir. Vurucu ucun yakın olduğu üst yüzeyde (kompozit bölgesi), hasar miktarı alt yüzeye göre daha fazladır (Şekil 7.18 ve Şekil 7.19). Darbe enerjisinin 5J'den 10J seviyesine artmasıyla beraber, alt yüzeydeki hasar miktarının daha fazla olduğu gözle görülmektedir.



Şekil 7.18 Kompozit-YYPE birleşiminde 5J'de darbe sonrası hasar şekilleri (Kişisel arşiv, 2019)

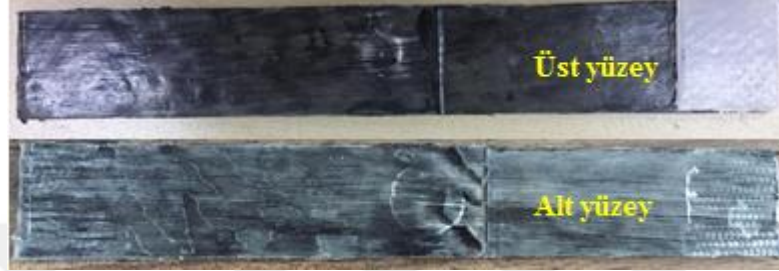


Şekil 7.19 Kompozit-YYPE birleşiminde 10J'de darbe sonrası hasar şekilleri (Kişisel arşiv, 2019)

Kompozit-Kompozit birleşimleri incelendiğinde ise, her iki enerji seviyesi için de, alt ve üst yüzeylerde hasarların oluştuğu açıkça görülmektedir. Ayrıca 10J enerji seviyesinde, alt yüzey incelendiğinde, yapıyı oluşturan laminalarda ayrılmaların olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, laminaların darbe direncinin cam elyaf takviyeli polipropilen granüllerden fazla olmasıdır (Şekil 7.20 ve 7.21).



Şekil 7.20 Kompozit-Kompozit Birleşiminde 5J’de darbe sonrası hasar şekilleri (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 7.21 Kompozit-Kompozit birleşiminde 10J’de darbe sonrası hasar şekilleri (Kişisel arşiv, 2019)

### 7.3.2 Çekme Deneyi Sonrası Numunelerin İncelenmesi

Çekme deneyi sonrasında numuneler görsel olarak incelendiğinde, YYPE-YYPE birleşiminde, 25°C ve 50°C’de yapılan deneylerde tüm numuneler birleşme yerlerinin kenarından kopmuştur (Şekil 7.22, 7.23 ve 7.24). Bunun nedeni, ani alan genişlemesinden kaynaklı gerilme yığılmaları oluşmuştur. Oluşan bu yığılmalar kesme kuvvetinin önüne geçmiş ve hasar meydana gelmiştir. 75°C’de yapılan deneylerde ise, numunelerin birleşme yerlerinden uzakta kopmalar meydana gelmiştir. Bu sıcaklık değerinde yapının tamamı ciddi düzeyde yumuşadığı için, ince bölgelerinin tamamı çekme dayanımı açısından kritik hale gelmiştir.



Şekil 7.22 YYPE-YYPE birleşiminde 25°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0J darbe enerji, b) 5J darbe enerji, c) 10J darbe enerjili (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 7.23 YYPE-YYPE birleşiminde 50°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0J darbe enerji, b) 5J darbe enerji, c) 10J darbe enerjili (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 7.24 YYPE-YYPE birleşiminde 75°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0J darbe enerji, b) 5J darbe enerji, c) 10J darbe enerjili (Kişisel arşiv, 2019)

Kompozit-YYPE birleşiminde yapılan tüm çekme deneylerinde, ayrılmalar birleşme yüzeylerinden gerçekleşmiştir (Şekil 7.25, 7.26 ve 7.27). Burada iki farklı malzeme birleşimi gerçekleştiğinden, birleşme seviyesi makro düzeyde kalmıştır. Bunun sonucu olarak ayrılmalar birleşme yerlerinden olmuştur. YYPE-YYPE birleşmesinde aynı malzeme oldukları için birleşmeler mikro düzeydedir.



Şekil 7.25 Kompozit-YYPE birleşiminde 25°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0J darbe enerjisi, b) 5J darbe enerjisi, c) 10J darbe enerjisi (Kişisel arşiv, 2019)

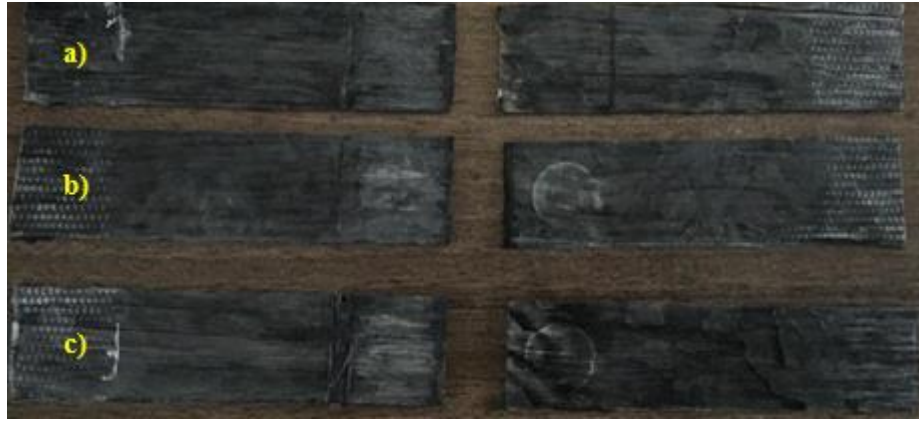


Şekil 7.26 Kompozit-YYPE birleşiminde 50°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0J darbe enerjisi, b) 5J darbe enerjisi, c) 10J darbe enerjisi (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 7.27 Kompozit-YYPE birleşiminde 75°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0J darbe enerjisi, b) 5J darbe enerjisi, c) 10J darbe enerjisi (Kişisel arşiv, 2019)

Kompozit-Kompozit birleşiminde de, tüm kopmalar birleşme yüzeylerinde gerçekleşmiştir (Şekil 7.28, 7.29 ve 7.30). Kompozit yapılarda birleşmeler makro düzeyde olduğu için buradaki ayrılmalarda birleşme yüzeylerinden gerçekleşmiştir. Artan sıcaklıkla beraber YYPE-YYPE birleşiminde olduğu gibi malzemenin kritik bölgesi değişmemiştir.



Şekil 7.28 Kompozit-Kompozit birleşiminde 25°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0J darbe enerjisi, b) 5J darbe enerjisi, c) 10J darbe enerjisi (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 7.29 Kompozit-Kompozit birleşiminde 50°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0J darbe enerji, b) 5J darbe enerji, c) 10J darbe enerjili (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 7.30 Kompozit-Kompozit birleşiminde 75°C çekme deneyi sonrası numuneler a) 0J darbe enerji, b) 5J darbe enerji, c) 10J darbe enerjili (Kişisel arşiv, 2019)

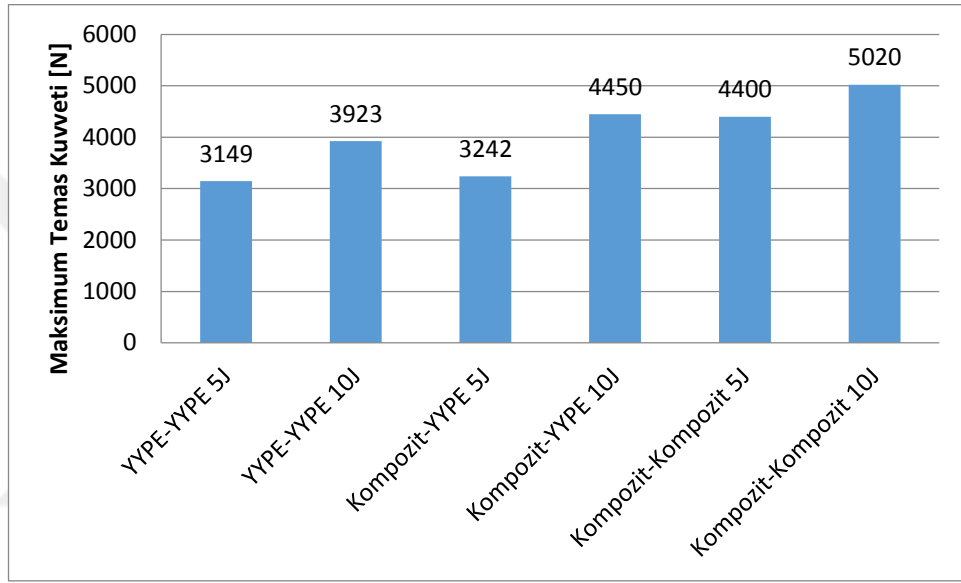
#### 7.4 Farklı Birleştirme Şekillerinin Karşılaştırma

Bu bölümde, numunelerin farklı birleşim türü açısından ve farklı darbe enerji değerleri açısından sahip oldukları maksimum temas kuvveti değerleri, absorbe edilen enerji değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca çekme deneyleri verilerinden elde edilen verilere göre, yine farklı birleşim türü, sıcaklık etkisi ve darbe etkisi açısından maksimum deformasyon kuvvetlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

##### 7.4.1 Maksimum Temas Kuvveti Karşılaştırması

Maksimum temas kuvveti bakımından karşılaştırma yapıldığında, 10J enerji seviyesinde Kompozit-Kompozit birleşiminin 5020 N ile en fazla temas kuvvetine sahip olduğu görülmektedir. Görsel numunelerden de anlaşıldığı gibi, bu birleşim

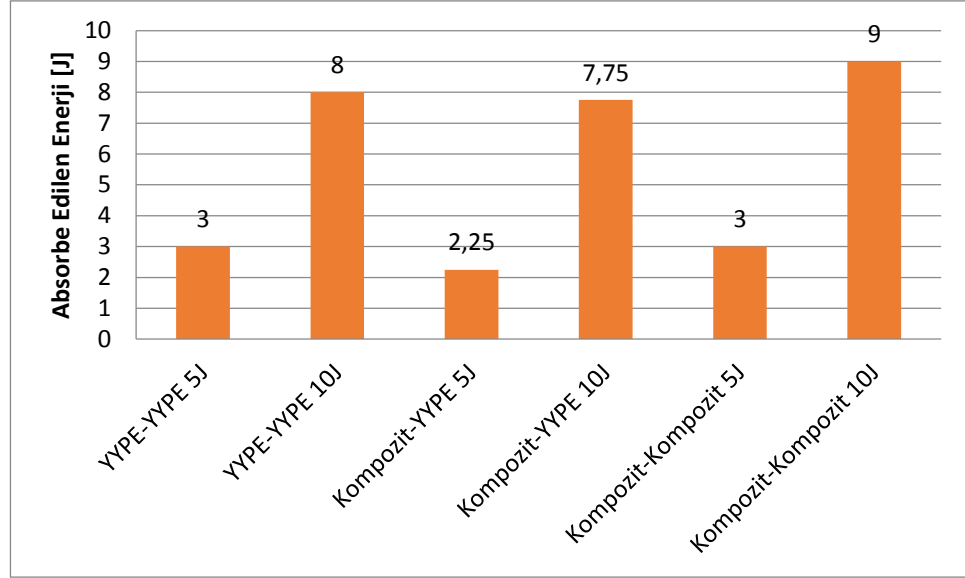
yöntemi darbe enerjisinden en çok etkilenmiş olan birleşim yöntemidir. YYPE-YYPE birleşiminin darbe enerjisinden etkilenme oranının daha düşük olması kaçınılmaz bir durumdur. Çünkü yüksek yoğunluklu polietilen granüllerin süneklik kabiliyeti fazladır. Maksimum temas kuvvetinin karşılaştırıldığı grafik Şekil 7.31’de verilmiştir. Darbe enerjisiyle birlikte en kritik artış %27,15 oranıyla Kompozit-YYPE birleşiminde görülmüştür. En düşük artış se, %12,35 oranıyla Kompozit-Kompozit birleşimindedir.



Şekil 7.31 Numunelerin maksimum temas kuvveti yönünden karşılaştırılması

#### 7.4.2 Absorbe Edilen Enerji Karşılaştırması

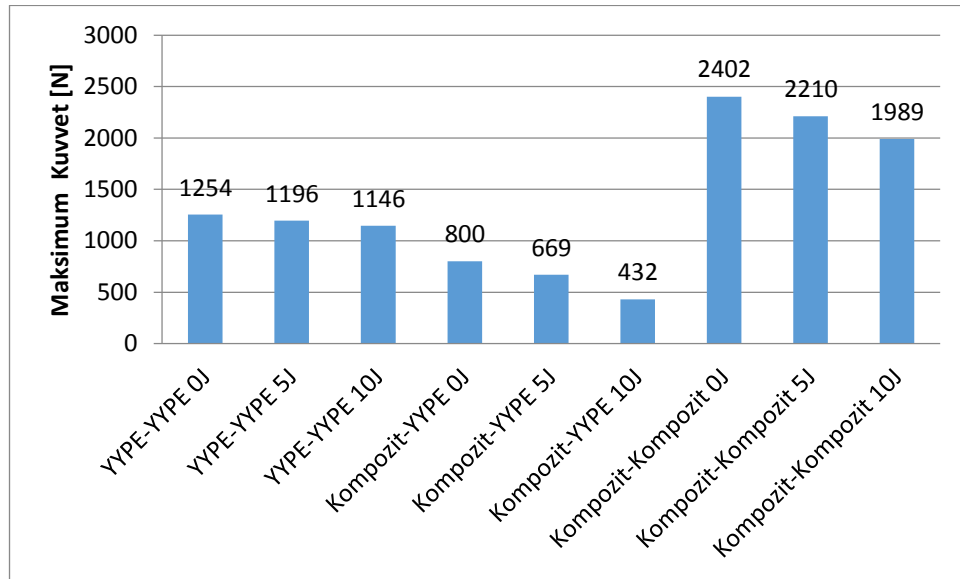
Absorbe edilen enerji bakımından karşılaştırma yapıldığında, maksimum enerjinin, Kompozit-Kompozit birleşiminde olduğu görülmektedir. Tüm birleşim şekillerinde, 5J enerji seviyesinde absorbe edilen enerji miktarı birbirine çok yakındır. Absorbe edilen enerji karşılaştırması Şekil 7.32’de verilmiştir. 10J enerji seviyesinde en kritik durumda olan numune Kompozit-Kompozit birleşim numunesidir. En güvenilir numune ise Kompozit-YYPE numunesidir.



Şekil 7.32 Numunelerin absorbe edilen enerji miktarı bakımından karşılaştırılması

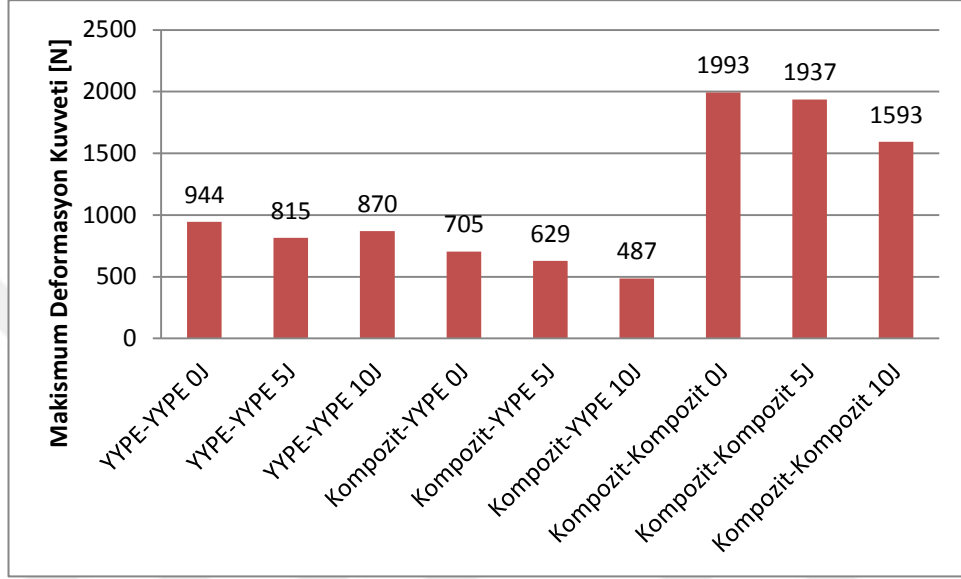
#### 7.4.3 Maksimum Çekme Dayanımı Bakımından Karşılaştırma

25°C’de yapılan deneylerde, maksimum çekme dayanımının Kompozit-Kompozit birleşiminde olduğu görülmektedir. Sahip olduğu darbe enerjisiyle birlikte, maksimum çekme dayanımında azalma meydana gelmiştir (Şekil 7.33).



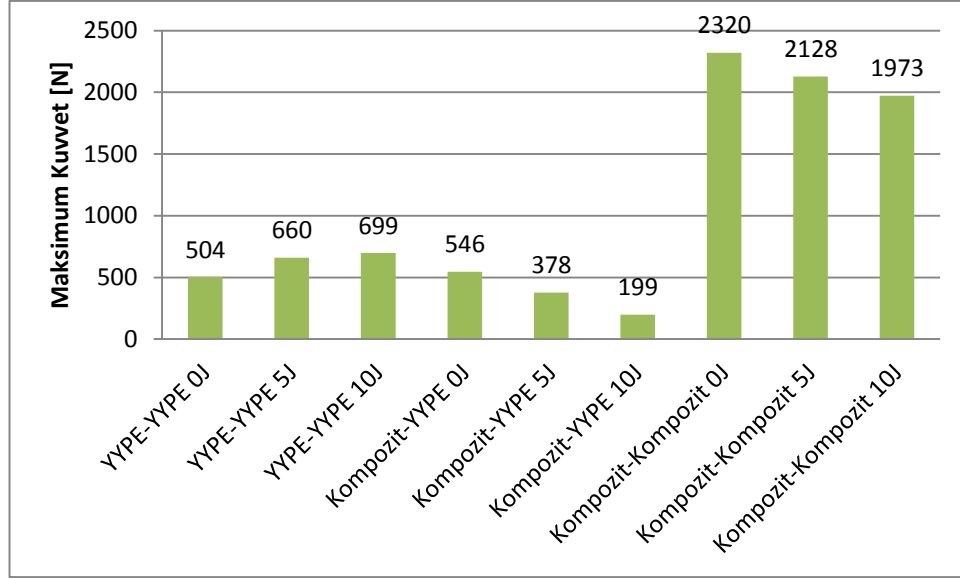
Şekil 7.33 25°C’de maksimum çekme dayanımı kuvvetlerinde karşılaştırma

50°C’de yapılan deney verileri incelendiğinde, maksimum çekme dayanımında yine kompozit-kompozit birleşiminde olduğu görülmektedir (Şekil 7.34). Ancak bu sıcaklık değerinde, darbe etkisiyle birlikte maksimum kuvvet değeri artmıştır. Bu sıcaklık değeri, kompozit malzemenin birleşme yüzeyi için, kritik sıcaklık değeridir ve darbe etkisiyle birlikte daha iyi yapışma yüzeyi elde edilmiş ve mukavemet değerlerinde artış gözlenmiştir.



Şekil 7.34 50°C’de maksimum çekme dayanımı kuvvetlerinde karşılaştırma

75°C’de yapılan deneylerde, maksimum çekme dayanımı Kompozit-Kompozit birleşiminde gözlenmiştir (Şekil 7.35). Hatta bu sıcaklık değerinde yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar 25°C’de yapılanlarla çok yakın çıkmıştır. Şekil 7.33, Şekil 7.34 ve Şekil 7.35 karşılaştırılması yapıldığında da Kompozit-Kompozit birleşimi için 50°C sıcaklık değerinin kritik değer olduğu yorumu çıkarılmıştır.



Şekil 7.35 75°C’de maksimum çekme dayanımı kuvvetlerinde karşılaştırma

## **BÖLÜM SEKİZ**

### **YARGILAR VE SONUÇLAR**

Bu çalışmada, termoplastik kompozitlerin farklı sıcaklıklarda mekanik özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) granüller kullanılarak 2 mm kalınlığında levhalar elde edilmiştir. Ayrıca 2 mm kalınlığında, cam elyaf takviyeli polipropilen granül ve cam elyaf takviyeli laminalar kullanılarak kompozit levhalar elde edilmiştir. Elde edilen bu levhalar tekil bindirme yöntemi kullanılarak, YYPE-YYPE, Kompozit-YYPE ve Kompozit-Kompozit şeklinde sıcak presleme işlemiyle, 25x25 mm birleşme alanına sahip olacak şekilde birleştirilmiştir.

Tekil bindirme yöntemiyle birleştirilmiş olan numunelere, 5J ve 10J değerinde düşük hızlı darbe deneyleri uygulanmıştır. Sonrasında, darbeli ve darbesiz olan numunelere 25°C, 50°C ve 75°C'de çekme deneyleri uygulanmıştır. Deney sonrasında elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Tüm birleştirme yöntemlerinde, (YYPE-YYPE, Kompozit-YYPE ve Kompozit-Kompozit) delinme eşiği enerjisinin 10J değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Numunelere uygulanmış olan 5J ve 10J enerji değerlerindeki darbe değerlerinde delinen numune olmamıştır.
- YYPE-YYPE birleşimi ile Kompozit-YYPE birleşimi kıyaslandığında, 5J enerji seviyesinde yapılan darbe deneylerinde, maksimum temas kuvvetinin, %2,95 oranında arttığı, absorbe edilen enerji miktarının ise %25 oranında azaldığı görülmüştür. 10J enerji seviyesinde yapılan deneylerde ise, maksimum temas kuvveti %13,43 oranında artmış, absorbe edilen enerji değeri ise %3,13 oranında azalmıştır.
- Kompozit-YYPE birleşimi ile Kompozit-Kompozit birleşimi kıyaslandığında ise, 5J enerji seviyesinde yapılan darbe deneylerinde, Kompozit-Kompozit birleşimi yaparak maksimum temas kuvveti %35,72 oranında ve absorbe

edilen enerji miktarı da %33,34 oranında artmıştır. 10J değerinde yapılan deneylerde karşılaştırma yapıldığında ise, maksimum temas kuvvetinde %12,81 oranında, absorbe edilen enerji miktarında ise %16,13 oranında artış olduğu gözlenmiştir.

- Çekme testi sonuçlarına bakıldığında, YYPE-YYPE birleşiminin birleşme yüzeyinden değil de birleşme yüzeyinin hemen bitiminden koptuğu görülmüştür. Bu durumda, ani alan değişimlerinden kaynaklı olarak meydana gelen gerilme yığılmalarının, kayma gerilmesinden daha kritik rol oynadığı kanısına varılmıştır.
- YYPE-YYPE birleşiminin artan sıcaklıkla beraber maksimum çekme dayanımında azalma olduğu gözlenmiştir.
- YYPE-YYPE birleşiminde darbe etkisinin numuneler üzerindeki çekme dayanımı açısından olumsuz etkilere yol açtığı, maksimum çekme kuvvetinde azalma olduğu görülmüştür.
- Kompozit-Kompozit birleşiminde artan sıcaklıkla beraber, maksimum çekme kuvvetlerinde azalmaların olduğu gözlemlenmiştir. Ancak 50°C'deki dayanımı 75°C'ye göre daha az olarak bulunmuştur. 50°C'nin bu malzeme için kritik değer olduğu kanısına varılmıştır.
- Kompozit-YYPE birleşimi çekme kuvvetlerinin en az çıktığı, mukavemetin en az olduğu birleşme şeklidir. Bu birleşme şeklinde, farklı malzelerin makro düzeyde birleşmiş olması malzemenin çekme kuvvet değerlerinin diğerlerine oranla düşük olmasına neden olmuştur.
- Numunelerin termoplastik esaslı malzemeler olması sebebiyle sıcaklık etkisi tüm numunelerdeki dayanımı azaltmıştır.

Yukarıdaki tüm sonuçlar dikkate alındığı, özellikle cam elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin, artan sıcaklıkla beraber yapıştırma dayanımlarında azalmalar olduğu görülmüştür. Bu durumda, malzemenin çalışma koşulları içinde sıcaklık faktörüne dikkat edilerek tekil bindirme yöntemiyle yapıştırılması uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Aldaş, K. Ve Şen, F. (2012). Karma bağlantılı kompozit plaklarda farklı sıcaklıklar etkisiyle oluşan gerilmelerin analizi. *Mühendislik*, 3 (1), 21-30
- Abrate, S. (2011). *Impact engineering of composite structures*. (1.Baskı). İtalya: CISM, Udine
- Al-Shamary, A.K.J., Karakuzu, R., Özdemir, O., (2016), Lowvelocity impact response of sandwich composites with different foam core configurations, *Journal of Sandwich Structures and Materials*. 18(6), 754-768.
- Argoud, N., Rousseau, J., Piezel, B., Chettah, A., Cadu, T., Fiore, A. ve diğer., (2018). Multi-axial testing of thick adhesive bonded joints of fibre reinforced thermoplastic polymers. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 84 (2018), 37-47
- Aydın, A.Ö. (2014). *Çevresel koşulların yapıştırılmış kompozitlerin mekanik performanslarına etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
- Balasubramanian, M. (2013). Introduction to composites. *Composite materials and processing* (1-10). London: CRC Press.
- Biron, M. (2013). *Thermoplastics and thermoplastic composites* (1. Baskı). Amsterdam: Elsevier.
- Campbell, F.C. (2010). *Structural composite materials* (1. Baskı). Ohio: ASM International.
- Chanda, M. (2018). *Plastics Technology Handbook* (5. Baskı). London: CRC Press.
- Chawla, K.K. (2012). *Composite Materials*. (3. Baskı). London: CRC Press.

- Çetinel, H. (2000). Polietilen ve polipropilenin mekanik özelliklerinin incelemesi. *DEU Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik*, 2 (3), 79-87
- Devine, A. (1979). *Engineering Design Handbook. Joining of Advanced Composites* (No. DARCOM-P-706-316). Army materiel development and readiness command alexandria va.
- Demir, Y.C. (2019). *Farklı ısı koşulların yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerin mekanik performans ve yapısal özellikleri üzerine etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu
- Diez de Ulzurrun, I., Lopez, F., Herreros, M.A. ve Suarez, J.C., (2007). Tests of deck-to-hull adhesive joints in GFRP boats. *Engineering Failure Analysis*, 14 (2007), 310–320
- Evcin, A. (2017). *Polimer malzemeler*. 22 Şubat 2018, <http://blog.aku.edu.tr/evcin/files/2017/05/10-polimer-uygulamalar%C4%B1-termoplastik-polimerler.pdf>
- Fernandes, R.L., de Moura, M.F.S.F., ve Moreira, R.D.F., (2016). Effect of temperature on pure modes I and II fracture behavior of composite bonded joints. *Composites Part B*, 96 (2016), 35-44
- Gay, D. (2014). *Composite materials: design and applications*. Paris: CRC press.
- Ghanbari, E., Sayman, O., Pekbey, Y. ve Özdemir, O., (2016). Experimental analysis of single-lap composite joints with two different adhesives at various conditions. *Journal of Composite Materials*, 50(13), 1709–1715
- Her, S.C., (1999). Stress analysis of adhesively-bonded lap joints. *Composite Structures*, 47 (1999), 673-678

- Heshmati, M., Haghani, R., ve Al-Emrani, M., (2016). Effects of moisture on the long-term performance of adhesively bonded FRP/steel joints used in bridges. *Composites Part B*, 92 (2016), 447-462
- Jones, R. M. (2014). *Mechanics of composite materials*. New York: Taylor & Francis Group.
- Kaw, A. K. (2006). *Mechanics of composite materials* (2. Baskı) (16-19). Boca Raton: CRC press.
- Mallick, P.K. (2007). *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design*. London: CRC Press.
- Mallick, P.K. (2018). *Processing of polymer matrix composites*. London: CRC Press.
- Murakami, S., Sekiguchi, Y., Yokoi, E., ve Furusawa, T., (2016). Strength of cylindrical butt joints bonded with epoxy adhesives under combined static or high-rate loading. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 67 (2016), 86-93
- Murray, R.E., Roadman, J., Beach, R., (2019). Fusion joining of thermoplastic composite wind turbine blades: Lap-shear bond characterization. *Renewable Energy*, 140 (2019) 501-512
- Özdemir, O. ve Kandaş, H. (2018). Cam lifi takviyeli polipropilen kompozitlerde kalınlığın ve sıcaklığın darbe davranışına etkileri. *Tekstil ve Mühendis*, 25 (110), 103-112.
- Petkim, (2017). *Ürün teknik özellikleri*. 29 Mart 2018, [https://app.petkim.com.tr/web/files/urunler/tr/UR.15-BF-U1542\\_1.pdf](https://app.petkim.com.tr/web/files/urunler/tr/UR.15-BF-U1542_1.pdf)

- Rotella, G., Alfano, M., Schiefer, T. ve Jansen, I., (2015). Enhancement of static strength and long term durability of steel/epoxy joints through a fiber laser surface pre-treatment. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 63 (2015), 87-95
- Rösler, J., Harders, H. ve Bäker, M. (2007). *Mechanical behaviour of engineering materials. Metals, ceramics, polymers, and composites*. Berlin: Springer-Verlag
- Sayman, O., Arikan, V., Dogan, A., Soykok, İ.F. ve Dogan, T. (2013). Failure analysis of adhesively bonded composite joints under transverse impact and different temperatures. *Composite: Part B*, 54 (2013), 409–414
- Soykok, İ.F., (2015). End geometry and pin-hole effects on axially loaded adhesively bonded composite joints. *Composites Part B*, 77 (2015), 129-138
- Şenel, M., Kırılı, A. ve Kurşun, A. (2009). Düşük hızlı darbe deney düzeneği için geri sekme (rebound) frenleme ve kontrol sistemi. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 1(2009), 1575-1580
- Tolinski, M. (2015). *Additives for polyolefins. Getting the most out of polypropylene, polyethylene and tpo*. (2. Baskı) London: Elsevier Inc.
- Vinson, J. R., ve Sierakowski, R. L. (2006). *The behavior of structures composed of composite materials* (2. Baskı). Netherlands: Springer Science and Business Media.
- Zhan, X., Gu, C., Wu, H., Liu, H., Chen, J., Chen, J., ve diğerleri, (2016). Experimental and numerical analysis on the strength of 2060Al–Li alloy adhesively bonded T joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 65 (2016), 79-87

Zhao, K. ve Xu Roy, L. (2015). Size effect of the adhesive bonding strengths of metal/polymer similar and dissimilar material joints. *The Journal of Adhesion*, 91(12), 978-999

