



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**SÜREKLİ CAM ELYAF TAKVİYELİ  
POLİPROPİLEN LEVHALARIN  
ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE  
KARAKTERİZASYONU**

---

---

**SAMET ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Mekatronik Anabilim Dalı

Mekatronik Tezli Yüksek Lisans Programı

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ

**İSTANBUL, 2015**

---

---



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**SÜREKLİ CAM ELYAF TAKVİYELİ  
POLİPROPİLEN LEVHALARIN  
ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE  
KARAKTERİZASYONU**

---

**SAMET ŞAHİN**  
(526211010)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Mekatronik Anabilim Dalı  
Mekatronik Tezli Yüksek Lisans Programı

**DANIŞMAN**  
Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ

**İSTANBUL, 2015**


---

**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**KABUL ve ONAY BELGESİ**

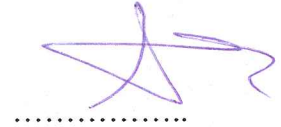
Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Samet ŞAHİN'in "SÜREKLİ CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİPROPİLEN LEVHALARIN ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU" başlıklı tez çalışması, 09 Temmuz 2015 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ (Danışman)  
Marmara Üniversitesi



Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM (Üye)  
Yalova Üniversitesi



Dr. Faruk Altan YILDIRIM (Üye)  
Farplas Oto Yedek Parç. İml. İtl. ve İhr. A.Ş.

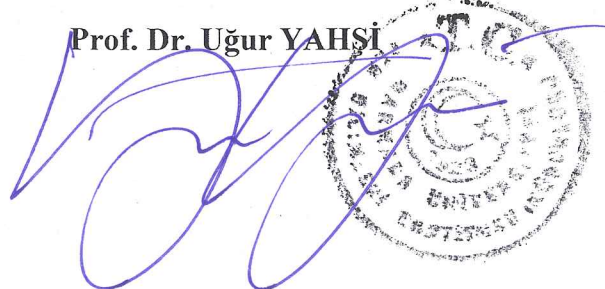


**ONAY**

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03../08../2015 tarih ve 2015/17-02 sayılı kararı ile Samet ŞAHİN'nin Mekatronik Anabilim Dalı Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**

**Prof. Dr. Uğur YAHSI**



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐması, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Genel M¼d¼rl¼đ¼ tarafından San-Tez Projeleri kapsamında “**S¼rekli Elyaf Takviyeli Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin İncelenmesi ve Üretilebilirliği**” başlıklı ve **00940.STZ.2011-2** kod numaralı proje adı altında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Genel M¼d¼rl¼đ¼’ne Őukranlarımı sunuyorum.

# İÇİNDEKİLER

<b>İÇİNDEKİLER/TABLE OF CONTENTS</b>	<b>i</b>
<b>ÖZSÖZ</b>	<b>ii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iv</b>
<b>SEMBOLLER</b>	<b>v</b>
<b>KISALTMALAR</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ BÖLÜMÜ/INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Endüstriyel Önemi</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Amaç</b>	<b>3</b>
<b>2. KOMPOZİT MALZEMELER</b>	
2.1. Kompozit Malzemeler ve Elyaf Takviyeli Kompozitler	4
2.2. Matrise Göre Kompozitler	6
2.3. Polimer Malzemeler	8
2.3.1. Termoplastik Malzemeler	10
2.3.2. Termoset Malzemeler	10
2.4. Elyaf Takviyeli Termoplastik Matrisli Kompozitler	11
2.4.1. Genel Olarak Kullanılan Elyaf Takviye Malzemeleri	13
2.4.1.1. Cam Elyaf	14
2.4.1.2. Karbon Elyaf	16
2.4.1.3. Aramid	17
2.5. Kullanılan Elyaf Boyutuna Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması	18
2.5.1. Kısa Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler	18
2.5.2. Uzun Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler	19
2.5.3. Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler	20
2.6. Mekanik Özelliklerde Elyaf Boyutunun Etkisi	22
2.7. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	23

### **3. SÜREKLİ ELYAF TAKVİYELİ TERMOPLASTİK MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER**

3.1. Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Üretim Metodları	26
3.2. Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Levhaların İşleme (Şekillendirme) Metodları	26
3.2.1. Sıkıştırılmalı Kalıplama	26
3.2.2. Vakumla Kalıplama	27
3.2.3. Diyafram Şekillendirme	27
3.2.4. Rulo Şekillendirme	28
3.2.5. Kompleks ve Trend Teknoloji “Fiberform”	28
3.3. Otomotiv Komponent Uygulamalarında SETK Malzemeler ve Avantajları	28
3.4. Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Tercih Nedenleri	29
3.5. Sürekli Elyaf Takviyeli Polipropilen Matrisli Kompozitlerin Araştırma Çalışmaları	29

### **4. MALZEME VE YÖNTEM**

4.1. Giriş	32
4.2. Çoklu Kalıplama Prosesi ve Numune Üretimi	32
4.2.1. Test Barı Ürün Tasarımı	32
4.2.2. Test Barı Kalıp Tasarımı	34
4.3. Sürekli Elyaf Takviyeli Kompozit Levhaların Çoklu Kalıplama Proses Hattı “ FİBERFORM” ve Teknolojinin Tanımı	36
4.4. Fiberform Proses Hattı İş Adımları	37
4.4.1. Magazin (Çekmece)	38
4.4.2. Referanslama Tablası	38
4.4.3. İnfrared (IR) Isıtıcı Sistem	39
4.4.4. Kuka Robot	41
4.4.5. Robot Eli (Gripper)	44
4.4.6. Ürün Konveyörü	44

4.4.7. Enjeksiyon Makinası	45
4.5. Fiberform Proses Adımları ve Tam Çevrim	46
4.6. Proses Optimizasyonu Önemi ve Oluşan Hatalar	49
4.6.1. Infrared Isıtma Sıcaklığı ve Süresi	49
4.6.2. Enjeksiyon Basıncı ve Sıcaklığı	50
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>	
5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler	51
5.1.1. Polipropilen Matrisli Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Levhalar	51
5.1.2. Kısa Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Granül	52
5.2. Analiz Çalışmalarında Kullanılan Teçhizatlar	52
5.2.1. Termal Analiz	52
5.2.1.1. Isıl Deformasyon Sıcaklığı (HDT) ve VİCAT Yumuşama Sıcaklığı	52
5.2.2. Mekanik Testler	53
5.2.2.1. Levhalara Uygulanan Eğme Testi	53
5.2.2.2. Çentiksiz Darbe Testi	54
5.2.2.3. Ağırlık Düşürme Testi	55
5.2.3. Mikro Yapı (SEM) İncelemeleri	57
5.2.4. Test Barı Numunelerine Uygulanan Eğme Testleri	58
<b>6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME</b>	
6.1. Isıl Deney Sonuçları	60
6.2. Eğme Testi Sonuçları	61
6.3. Darbe Testi Sonuçları	70
6.4. Ağırlık Düşürme Deney Sonuçları	71
6.5. Test Barı Numunelerine Uygulanan Eğme Testi Sonuçları	73
6.5.1. Eğme Testi Sonuçlarının Tekrarlanabilirliği	73
<b>7. GENEL SONUÇLAR</b>	82
<b>8. KAYNAKLAR</b>	
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	



## ÖNSÖZ

Teknolojinin hiç durmaksızın ilerlediği, yaşam alanımız olan globalleşen dünyada teknolojiyi takip etmek ve her zaman daha iyilerini yapmaya çalışmak oluşan rekabette kaçınılmaz bir gerçektir. Globalleşen dünyada bu rekabetin olduğu en önemli sektörlerden biri de malzeme sektörüdür. Bu çalışmada; gelişen dünyayı takip edip gelişen teknoloji çalışmalarında yer almak, ülke gelişimine katkı sağlamak ve kullanılan geleneksel malzemelerden zamanın gerekliliği olan ileri teknolojik malzemelerde yerimizi almamız hedeflenmiştir. Özellikle araştırma ve geliştirme çalışmalarının en yoğun olduğu malzeme sektörü alt dalı kompozit sektörüne büyük katkı sağlayacağı kanaatindeyim. Bu tez çalışması, son yıllarda malzeme sektörünün ihtiyacı olan ve TÜBİTAK Vizyon 2023 un belirlediği stratejik ürün ve teknoloji hedeflerine ve önceliklerine uyumlu, sorunları çözmeye yönelik ürün/yöntem/teknoloji geliştirilmesinin temel alındığı bir çalışmadır. Bu teknoloji ile üretilen parçaların ilk olarak otomotiv sektöründe kullanılması amaçlanmıştır.

Bu yüksek lisans çalışması Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ yürütücülüğünde, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından San-Tez Projeleri kapsamında “*Süreklili Elyaf Takviyeli Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin İncelenmesi ve Üretilebilirliği*” başlıklı ve **00940.STZ.2011-2** kod numaralı proje adı altında desteklenmiştir. Proje, Marmara Üniversitesi, Otomotiv yan sanayiinde faaliyet gösteren lider firmalardan Farplas Oto Yedek Parçaları İml. İth. ve İhr. A.Ş. ve Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Ortaklığında yürütülmüştür.

Tüm bu çalışmalarda benden desteğini hiç esirgemeyen ve araştırmalarımnda bana daima liderlik eden tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ ve Proje izleyicimiz Prof. Dr. Cesim ATAŞ’a , tüm süreçlerde yardımlarını sakınmayan Farplas A.Ş. Ar-Ge Direktörü Dr. F. Altan YILDIRIM’a, Farplas A.Ş. Teknik Danışmanı Fahri KIZILAY’a ve manevi olarak her daim bana destek olan eşim Didem ŞAHİN’e ve aileme şükranlarımı sunuyorum. Proje kapsamında proses hattının prosedür işlemleri ve hattın kurulumunda projeye katkıda bulunan Farplas A.Ş. Proses Geliştirme Takım Lideri Sinan YAMUÇ’a ayrıca teşekkür ederim. San-Tez projesi kapsamında projemizi destekleyen T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’na da şükranlarımı sunuyorum.

**Temmuz, 2015**

**Samet ŞAHİN**

## ÖZET

### SÜREKLİ CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİPROPİLEN LEVHALARIN ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Bu tez çalışması, öncelikli ön şekillendirilmiş prepregler ve bunların birleştirilmesi ile ortaya çıkan sürekli elyaf takviyeli kompozit levhaların temini ve ardından bu levhaların ısıll şekillendirilmesi, plastik enjeksiyonda termoform ve çoklu kalıplama (overmolding) şeklinde gerçekleştirilmiştir. Üretimi yapılan nihai parçalara, gerekli karakterizasyon metotları uygulanmıştır. Bu teknoloji ile üretim çalışmaları için gerekli hattın kurulumu, yurt dışında faaliyet gösteren başta enjeksiyon makinesi üretimi yapan ve teknoloji firması Krauss Maffei ile Farplas Oto Yedek Parçaları İml. İth. ve İhr. A.Ş.'de termoform ve enjeksiyon prosesini tam otomasyonla seri olarak gerçekleştiren özel üretim hattı kurulumu gerçekleştirilmiştir.

Otomotiv sektöründe araç hafifletme amaçlı yürütülen çalışmalarda yapısal dayanım gerektiren araç komponentlerinde çelik yerine polimer kompozit malzemelerin kullanımı en güncel araştırma çalışmaları arasındadır. Sürekli elyafllı termoplastik kompozit malzemeler (SETK) plastik enjeksiyonda termoform ve çoklu kalıplama (overmolding) teknolojisi sayesinde hızlı üretim ve yüksek mekanik dayanım göstermektedir. Ayrıca geri dönüşümlü olmalarıyla da çelik komponentlerin yerini alabilecek özellikler göstermektedirler. Bu çalışma ile mevcut ürünlerde kullanılan kısa cam elyaf malzemeler yerine kullanılacak olup metalik muadillerine göre üretim çevrimleri daha kısa, düşük maliyetli ve metallere göre daha az sera gazı etkisi yapacak ürünlerin ortaya çıkması hedeflenmiştir. Bu çalışmada, çoklu (insörtlü) kalıplama tekniği kullanılarak %47 sürekli elyaf takviyeli polipropilen (PP) kompozit levhalar kullanılarak yapısal bir test parçası tasarımı geliştirilmiş ayrıca kalıp tasarımı ve imalatı da yapılmıştır. Test parçası kullanılarak farklı malzemelerin mekanik davranışları araştırılmıştır. Bu testlerle malzemelerin otomotiv kullanımına uygunluğu incelenmiş ve günümüzde otomotivde yapısal parçalarda kullanılan kısa cam elyafı takviyeli komponentlerle kıyaslanmıştır. Parçanın üretimi için kurulumu gerçekleştirilen hücrenin seri üretime uygunluğu gözlenmiş ve yaşanan problemlerin çözümü için çalışılmıştır. Optimal proses parametrelerinin belirlenmesine ilişkin çalışmalar yapılmıştır.

SETK malzemeler kullanılarak geliştirilen test parçası 3 nokta eğme testlerinde, kısa cam elyafı ile güçlendirilmiş aynı tasarımlara göre çok daha sünek bir deformasyon davranışı, daha yüksek bükülme dayanımı, süneklik ve tokluk göstermiştir.

## **ABSTRACT**

### **FORMING AND CHARACTERIZATION OF CONTINUOUS GLASS FIBER REINFORCED POLYPROPYLENE SHEETS**

This thesis is based on, procurement of pre-shaped prepregs and continuous fiber reinforced composite sheets which formed by combining these prepregs and thermal forming of them, thermoforming in plastic injection and overmolding. Required characterisation methods applied on to the final products. Installation of the serial line with full automation system that is needed for production with thermoforming and injection technology is assembled in Farplas which makes injection molding machine production mainly operates abroad, and technology company Krauss Maffei.

Studies about using of polymer composite materials instead of steel with vehicle components that require structural strength is among the most recent mitigation research studies in automotive sector. Continuous-fiber thermoplastic composite materials (CFRT) in plastic thermoforming and injection molding multiple (overmolding) technology shows rapid production and high mechanical strength. They also show capability about replacement of steel components with being recycled material.

This study will be used instead of short glass fiber material used in existing products, shorter production cycle according to the metallic counterpart, by low cost and metals will lower greenhouse gas effect aimed emergence of product. In this study, multiple (insert a) molding technique, using 47% continuous fiber reinforced polypropylene (PP) test piece structural design using composite sheets also improved mold design and manufacturing is made.

By using test parts, mechanical properties of different materials are investigated. During test periods the parts are evaluated for automotive ind. Application and compared with short glass fiber filled component that are used for structural automotive parts. The cell is produced for part production and it absorbed for serial production feasibility. Then possible problems are tried to solve. Optimum process parameters are determined for solving of problems.

The parts included CFRT one performed better ductile deformation behavior, better bending strength and better ductility and toughness for 3 point bending test condition compare to short glass fiber designed part.

## SEMBOLLER

<b>MPa</b>	: Megapascal
<b>kN</b>	: Kilonewton
<b><math>\rho</math></b>	: Yoğunluk
<b>l</b>	: Boy
<b>d</b>	: Çap
<b>E</b>	: Elastisite modülü
<b>N</b>	: Newton
<b><math>\sigma</math></b>	: Normal gerilme
<b>GPa</b>	: Gigapascal
<b><math>\varepsilon</math></b>	: Birim uzama
<b><math>\sigma_c</math></b>	: Çekme Gerilimi
<b>F</b>	: Yük
<b>F<sub>max</sub></b>	: Uygulanan En Yüksek Kuvvet
<b>g</b>	: Gram
<b>kJ</b>	: Kilo Joule
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metrekare
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metreküp
<b><math>\eta</math>m</b>	: Nanometre
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	: Yoğunluk

## **KISALTMALAR**

<b>SETK</b>	: Sürekli Elyaf Takviyeli Kompozitler
<b>IR</b>	: Infrared
<b>ISO</b>	: International Organization for Standardization
<b>FTIR</b>	: Fourier Transform Infrared Spectrometry
<b>SEM</b>	: Scanning Electron Microscope
<b>MFI</b>	: Eriyik akış indisi
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PA</b>	: Poliamid
<b>PA6</b>	: Poliamid- 6
<b>HDT</b>	: Isıl çarpılma sıcaklığı
<b>ASTM</b>	: American Society For Testing And Materials

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Mikroyapısının Şematik Gösterimi	4
Şekil 2.2 Fiber Takviyelerin Kullanılış Biçimine Göre Sınıflandırılması	5
Şekil 2.3 Matrislerin şematik olarak sınıflandırılması	6
Şekil 2.4 Etilen Monomerinden Polipropilen Eldesi	8
Şekil 2.5 Polimer Zincir Yapılarındaki Farklılıklar	9
Şekil 2.6 Polimer Malzemelerin Sınıflandırılması	9
Şekil 2.7 Yaygın Olarak Kullanılan Termoplastikler	10
Şekil 2.8 Yaygın Olarak Kullanılan Termosetler	10
Şekil 2.9 Termoset ve Termoplastik Arasındaki Farklar	11
Şekil 2.10 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Oluşumu	11
Şekil 2.11 Çekme-Uzama Eğrisi	13
Şekil 2.11 Yaygın Olarak Kullanılan Takviye Malzemeleri	14
Şekil 2.12 Cam Elyaf	16
Şekil 2.13 Karbon Elyaf Çeşitleri	17
Şekil 2.14 Aramid Elyaf Örneği	18
Şekil 2.15 Elyaf boyutuna Göre Termoplastik Kompozitlerin Sınıflandırılması ve Üretim Teknikleri	19
Şekil 2.16 Uzun Elyaf Granüllerinin Üretimi	20
Şekil 2.17 Sürekli Elyafalarda Farklı Örgü Stilleri	20
Şekil 2.18 Laminated(Tabakalı) Kompozit	21
Şekil 2.19 Kesikli ve Sürekli Elyaflı Kompozitlerde Elyaf Uzunluğunun Fonksiyonu Olarak Çekme Dayanımı Değişimi	22
Şekil 2.20 Elyaf Uzunluğunun Mekanik Özelliklere Etkisi ve Malzeme Fiyat Artışı	23
Şekil 3.1 (a) Prepreg ve (b) Levha Şeklindeki Kompozit Yapılar	25
Şekil 3.2 Sıkıştırılmalı Kalıplama Prosesi	26
Şekil 3.3 Vakumla Kalıplama Prosesi	27
Şekil 3.4 Diyafram Şekillendirme	27
Şekil 3.5 Rulo Şekillendirme	28
Şekil 3.6 SETK Malzemeler ile Üretilen Otomotiv Parçaları	29
Şekil 3.7 Krauss Maffei Şirketinin Overmolding Teknolojisi ile Yıllara Göre Üretim Parçaları	31

<b>Şekil 4.1</b> U Profil ve Parça Ölçüleri	33
<b>Şekil 4.2 (a)</b> Feder Yapısı Eklenmemiş ve Eklenmiş Çizimler	
(b) Enjeksiyon İle Eklenecek Feder Yapısı	33
<b>Şekil 4.3</b> Nihai Parça Görselleri	34
<b>Şekil 4.4</b> Test Barı Kalıbı Görselleri	34
<b>Şekil 4.5</b> Dişi ve Sabit Çekirdek Çelikleri	35
<b>Şekil 4.6</b> Kalıp İmalat Sürecinden Görseller	35
<b>Şekil 4.7</b> FiberForm Prosesi İle Üretilen Örnek Parçalar	36
<b>Şekil 4.8</b> FiberForm Hattının Üstten Teknik Resmi	37
<b>Şekil 4.9</b> FiberForm Hattının Sağladığı Avantajlar	37
<b>Şekil 4.10</b> Hücre Dışından ve İçinden Magazin Görseli	38
<b>Şekil 4.11:</b> Refranslama Tablası ve Merkezleme Pimleri.	39
<b>Şekil 4.12</b> İfrared Fırını Kontrol Ekran Görüntüleri (üstte),IR Fırın Görüntüsü	40
<b>Şekil 4.13</b> Kuka Robot Sisteminin Komponentleri	41
<b>Şekil 4.14</b> Kuka Robot'a ait görüntü	42
<b>Şekil 4.15</b> Kuka robotun çalışma alanını gösterir çizim.	42
<b>Şekil 4.16</b> KR C4 Kumanda / Kontrol Kabini Görüntüsü.	43
<b>Şekil 4.17</b> Kuka Robotun Mekanik Aksamaları	43
<b>Şekil 4.18</b> Örnek Robot Eli Tasarımı	44
<b>Şekil 4.19</b> Ürün Konveyörü	45
<b>Şekil 4.20</b> Enjeksiyon Makinası	45
<b>Şekil 4.21</b> Çoklu Kalıplama Proses Adımlarının Şematik Gösterimi	46
<b>Şekil 4.22</b> FiberForm Teknoloji Proses Adımları	47
<b>Şekil 4.23 (a)</b> Yeterli Sıcaklık Değeri ve Isıtma Süresi Gerçekleşmemiş Parça.	
(b) Yeterli Sıcaklık Değeri ve Isıtma Süresi Gerçekleşmiş Parça.	50
<b>Şekil 4.24 (a)</b> Düşük Enjeksiyon Sıcaklığı İle Yaşanan Yapışmama Problemi	
(b) Düşük Enjeksiyon Basıncı İle Yaşanan Nüfuziyet ve Kalıbın Doldurulamaması Problemi	50
<b>Şekil 5.1</b> Dimi 2/2 dokuması	51
<b>Şekil 5.2</b> HDT/Vicat Test Cihazı	53
<b>Şekil 5.3</b> Üniversal Zwick Eğme Test Cihazı	54
<b>Şekil 5.4</b> Zwick Darbe Test Cihazı	55

<b>Şekil 5.5</b> Tipik kuvvet-deplasman eğrileri; (a) kapalı eğri, (b) açık eğri	56
<b>Şekil 5.6</b> CEAST-Fractovis Plus test cihazının ana parçaları	57
<b>Şekil 5.7</b> Taramalı Elektron (SEM) Mikroskobu	58
<b>Şekil 5.8</b> Dartec 600 kN Üiversal Test Cihazı ve Eğme Aparatı	59
<b>Şekil 6.1 (a)</b> Formlanmış feder yapısının eklenmediği levha (b) Kafes yapısının yani mekanik değerlerinin arttırılmasına yönelik feder yapısının eklendiği Test Barı parçası	60
<b>Şekil 6.2</b> Sadece formlanmış 2 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafikleri	63
<b>Şekil 6.3</b> Test Barı 2 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafikleri	65
<b>Şekil 6.4</b> Sadece formlanmış 4 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafikleri	66
<b>Şekil 6.5</b> Test Barı 4 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafikleri	67
<b>Şekil 6.6</b> Test Barı 4 mm ve 2 mm kalınlıktaki PP ve PA numunelerin eğme testi sonuçlarının karşılaştırılması.	69
<b>Şekil 6.7</b> PP Levhaların Ağırlık Düşürme (Delinme) Testi Grafikleri	71
<b>Şekil 6.8</b> PP ve PA6 Levhaların Ağırlık Düşürme Testi Kıyaslama Grafikleri	72
<b>Şekil 6.9</b> Ağırlık Düşürme (Delinme) Testi Yapılan Numune Görüntüleri	73
<b>Şekil 6.10</b> 2 mm'lik levha ile üretilen Test Barı'na ait eğme testi grafiği ve incelenen noktalar	74
<b>Şekil 6.11</b> 4 mm'lik levha ile üretilen Test Barı'na ait eğme testi grafiği ve incelenen noktalar	75
<b>Şekil 6.12</b> 2 mm ve 4 mm'lik levha ile üretilmiş test barı numunelerinin maksimum kuvvet ve son kırılma anında meydana gelen kuvvet değişiklikler.	76
<b>Şekil 6.13</b> Cam Elyaf Takviyeli Dokuma Kumaş Yapısında Yer Alan Atkı ve Çözümleri	78
<b>Şekil 6.14</b> Matris Malzemesinin Takviye Malzemesi (Cam Elyaf) Islatma Fotoğrafları	79
<b>Şekil 6.15</b> Dokuma Biçiminde Cam Elyafında Hasar Gören (Kopan) Birimler	79
<b>Şekil 6.16</b> Enjeksiyon Fazının Levhaya Yapışma Yüzeyi	80
<b>Şekil 6.17</b> Enjeksiyon Fazının Levhaya Yapışma Yüzeyi	81

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1</b> Belli Başlı Takviyelerin Karşılaştırılması	14
<b>Tablo 2.2</b> Başlıca Elyaf Cinslerinin Kompozisyonları (% Olarak)	15
<b>Tablo 2.3</b> Başlıca Elyaf Cinslerinin Mekanik Özellikleri	16
<b>Tablo 2.4</b> Sürekli Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyaf Yönelimleri	21
<b>Tablo 5.1.</b> Kullanılan Levha Tanımlamaları ve Özellikleri	51
<b>Tablo 6.1</b> HDT ve Vicat Yumuşama Sıcaklık Değerleri	60
<b>Tablo 6.2</b> Sadece formlanmış 2 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafiklerinin ortalama değerleri	63
<b>Tablo 6.3</b> Test Barı 2 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafiklerinin ortalama değerleri	65
<b>Tablo 6.4</b> Sadece formlanmış 4 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi Sonuçları	66
<b>Tablo 6.5</b> Test Barı 4 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafiklerinin ortalama değerleri	68
<b>Tablo 6.6</b> Darbe Testi Sonuçları	70
<b>Tablo 6.7</b> 2 mm'lik levha ile üretilen Test Barı'na ait eğme testlerinde incelenen noktalar	74
<b>Tablo 6.8</b> 4 mm kalınlığa sahip test barı numunelerine ait değerler	75
<b>Tablo 6.9</b> 2 mm ve 4 mm'lik levha ile üretilmiş test barı numunelerinin tekrarlanabilirlik testleri neticesinde elde edilen ortalama değerler	77

# 1.GİRİŞ VE AMAÇ

## 1.1. Endüstriyel Önemi

Termoplastik esaslı sürekli elyaf takviyeli kompozitler ile ilgili uluslar arası alanda yapılan çalışmaların geçmişi yaklaşık 15-20 yıla dayanmaktadır. Ülkemizde termoplastik esaslı darbe dayanımı yüksek plastik ürünler üzerinde araştırmalar yapan hemen hemen kimse yoktur.

Termoplastik esaslı sürekli elyaf takviyeli kompozitlerin tam otomasyonla seri üretime uygun olması ve mekanik özellikleri açısından metal ve benzeri parçalar ile imal edilen parçaların yerine kullanılmasının uygun olması yeni trend bu teknolojinin endüstri deki önemini şimdilerde ve gelecek yakın zamanda ortaya koyacaktır.

Özellikle plastik kompozit malzemelerin üretimi esnasında kullanılan kalıpların çok daha uzun süre kullanılması, bakım maliyetlerinin azalması daha düşük sıcaklıklarda işlenebilmeleri, boya ve yüzey koruma işlemlerinin olmaması, kalıpların uzun ömürlü olması, daha hafif olmaları, üretimleri esnasında sera gazı emisyonlarının azalması hedef ürünlerinin çevresel problemlerin oluşmasını engelleyecektir. Katı atık yönetim merkezi 1996 raporuna göre çelik malzemeler için katı atık miktarı yılda %1,3 oranında iken plastikler için ortalama % 0,6 değerlerini geçmediği belirtilmiştir (1). 2014 yılında yayınlanan diğer bir rapor da ise Geri dönüştürülen atıkların % 27'sini plastik, % 4'ünü de metallerin oluşturduğu görülmektedir. Geri dönüşüme yaklaşık 7 kat daha elverişli olan bir malzemeden oluşturulan parçaların kullanılması maliyet açısından da endüstride tercih edilme sebebi olacaktır.

Ancak plastikler kullanılarak üretilecek olan kompozitlerle metal ve metal dışı malzemelerden daha hafif parçalar üretilebilir. Bu durumda plastiklerin gelecek 25 yıl sonra tamamen plastik kompozitlerden yapılacağı hiç te hayal değildir. Hatta bazı ülkelerde otomobil şasi ve motorların karbon, kevler ve cam elyaflarla takviyeli kompozitlerle üretilmesi konusunda çalışmalar çoktan başlamıştır.

Otomotiv endüstrisinde özellikle çevre baskıları nedeni ile termoplastik polimer kompozitler yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Polipropilen (PP), Poliamid 6- 66, ABS en yaygın olarak kullanılan termoplastik polimerleridir.

Mühendislik termoplastik kompozit uygulamalarında da bu nedenle en önemli polimer matris malzemeleri arasında yer almaktadırlar. Düşük fiyatı, mükemmel kimyasal direnci, kolay ve iyi proses edilebilirliği, katkı ve takviye malzemeleri uygulamalarına uygun olması sayesinde otomotiv sektöründe pek çok yerde kullanılmaktadır.

## **1.2. Amaç**

Bu tez çalışmasının amacı, Sürekli cam elyaf takviyeli termoplastik malzemeden imalatı yapılmış levhaların üretileceği hattın kullanımı, levhaların nihai test parçasına kadar dönüşümündeki tüm proses adımlarının öğrenilmesi, levhayı oluşturan ön işlem ile hazırlanan prepreglerin üst üste kullanım sayısına bağlı olarak oluşturulan farklı kalınlıklara sahip PP matrisli levhaların proses parametre farklılıkları ve imalatı yapılan test parçalarına uygulanan karakterizasyon işlemlerinin anlaşılması ve öğrenilmesi amaçlanmıştır.

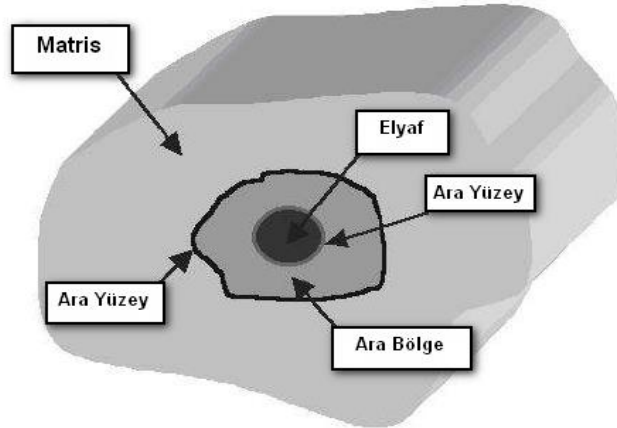
## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

### 2.1. Kompozit Malzemeler ve Elyaf Takviyeli Kompozitler

Malzeme sektörü, ekonomide tüm aktivitelere girdi sağlayan temel sektörlerden biridir. Bu özelliği nedeniyle mikro-elektronik, biyoteknolojik ve nanoteknoloji ile birlikte snai üretimin karakterini dönüştürecek ana teknolojik alanlardan biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle malzeme alanında yoğun olarak çalışılan alanlardan biri de şüphesiz kompozit malzemelerdir. Savunma, havacılık, ve otomotiv sektörlerinde kullanılacak ileri malzemelerin ortaya çıkışı, malzeme biliminin bu gereksinimleri karşılayabilecek çok disiplinli, proses ağırlıklı bir alana dönüşmesi ile ilerlemektedir. Bu bağlamda kompozit malzemeler, polimerik malzemeler, akıllı ve işlevsel malzemeler önümüzdeki yıllarda önemli talep oluşturacak, ileri teknolojik malzeme alanları ülkemiz içinde önemli fırsat alanlarıdır. (3)

Bileşimi kendisini oluşturan, bileşenlerin en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla organik ya da inorganik iki veya daha fazla farklı fazın fiziksel olarak karışımından oluşan malzeme sistemine kompozit malzemeler denir. (4,5)

Kompozit malzemeler kimyasal bağ yapmaksızın, meydana geldikleri bileşenlerin makro seviyede birleşmesi ile oluşurlar ve birbirleri içinde çözünmezler ve makroskobik olarak homojen yapıdadırlar. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mikro yapısı elyaf, matris ve ara bölgeden oluşur. Bileşenler arasındaki fiziksel ve kimyasal ara etkileşimin gerçekleştiği bölge, “ara yüzey” olarak isimlendirilir. Şekil-2.1’de mikroyapı şematik olarak gösterilmiştir.

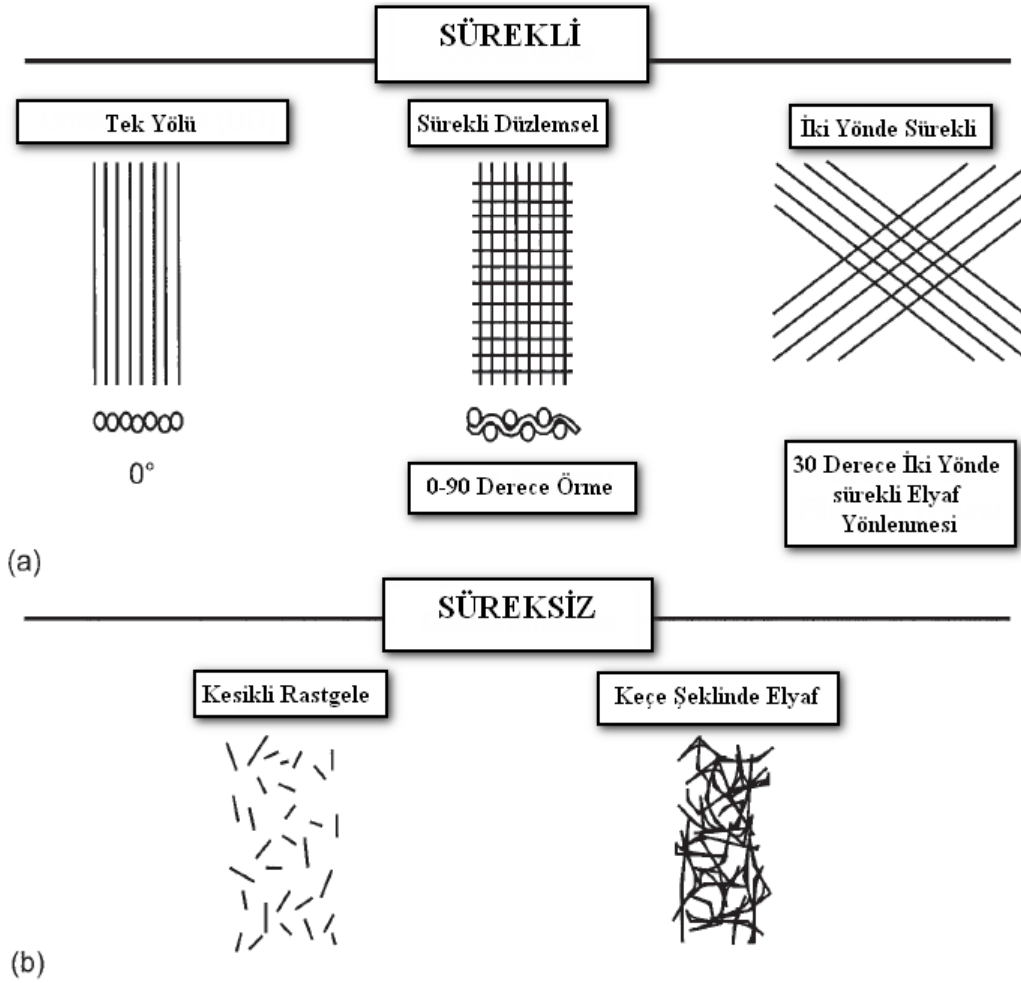


Şekil 2.1. Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Mikroyapısının Şematik Gösterimi. (6)

Kompozitlerin en önemli avantajı, kendisini oluşturan bileşenlerden en iyi özellikleri topladıkları için tüm bileşenlerden üstün olmalarıdır. (6,7,8)

Elyaf en yüksek mekanik özelliklerini enlerinden daha çok boylarına gösterirler. Bu özellikler kompozit malzemelerin metallere rastlanmayan aşırı anisotropik malzeme özelliği göstermelerine neden olur. Bu nedenle tasarım aşamasında elyafın reçine içindeki yerleşimi ve geometrilerini göz önünde bulundurmak çok önemlidir. Malzemenin anisotropik özelliği tasarım aşamasında ürünün uygun yerinde kullanılarak avantaja dönüşebilir. (9)

Elyafın ve elyaf dokumalarının kompozit malzeme içerisinde kullanılış ve diziliş biçimleri oluşturulan kompozit malzemenin mekanik özellikleri açısından son derece önem arz etmektedir. Fiber takviyelerin kullanılış ve diziliş biçimine göre sınıflandırılması Şekil 2.2’de verilmiştir.



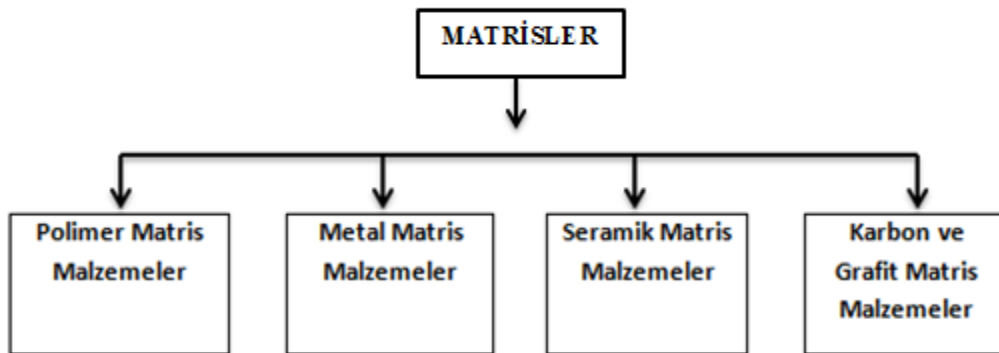
Şekil 2.2. Fiber Takviyelerin Kullanılış Biçimine Göre Sınıflandırılması. (10)

Kesikli elyaflar, polimer matris içerisine genellikle rastgele dağılır. Dağılan bu elyaf yapıları nihai üründe mekanik özellikler açısından izotropik davranır. Sürekli elyaflar ise yükün yönüne paralel olacak şekilde dizilirler. Bir kaç farklı yerden yüke maruz kalacak tasarımlarda, elyafların birden çok farklı yönlerde yerleştirilmesi yada örme şeklinde elyafların kullanılması önerilir. Örme şeklinde kullanılan elyaflar yapıya her zaman en az iki yönde dayanıklılık kazandırır. Elyaf takviyelerinde maruz kalınacak yükün doğrultusu ışığında elyafların yönlendirmeleri ayarlanabilir ve karşılanacak yüke maksimum direnç gösterecek şekilde tasarımlar geliştirilebilir.

Çekme, burulma, eğme, darbe gibi yüklemelerde elyaf yönlendirmesi kompozit yapı içerisinde maruz kalınacak yükün doğrultusuna göre yönlendirilip istenilen dirençlere ulaşılabilir. Kompozitler en genel anlamıyla matris malzemesinin türüne, takviye malzemelerinin türüne ve kompozit yapının şekline göre sınıflandırılır.

## 2.2. Matris Malzemesine Göre Kompozitler

Kompozitleri oluşturan üç ana bileşen matris, takviye dolgu malzemeleridir. Üç ana bileşenden biri olan matris (reçine) istenilen nihai ürün özelliğine göre tüm kriterler göz önünde bulundurularak seçilir. Kullanılan matris malzemeleri olarak kompozitleri, polimer matrisli, metal matrisli, seramik matrisli ve karbon ve grafit matrisli olarak ayırabiliriz. Şekil 2.3'de matrislerin şematik olarak sınıflandırılması gösterilmiştir. (7) Üç sınıf malzeme de matris olarak kullanılmasına rağmen daha çok polimer ve metal matrislerin kullanımı yaygındır. Bunun nedeni oluşturulacak nihai üründe süneklik isteğidir. Seramik malzemeler çok rijit yapıda olduğundan daha çok tokluğu iyileştirme de kullanılır. (11)



Şekil 2.3. Matrislerin şematik olarak sınıflandırılması. (12)

Matris kompozit malzemelerin üç ana bileşeninden biridir. Kullanılan elyafın (lifin) istenen başarıyı göstermesi uygun matris seçimi ile olur. Uygun matris seçimi kompozit malzeme teknoloji için çok kritiktir. Matrisin başlıca görevleri ;

1-Kuvvetleri liflere iletmek,

2-Lifleri, korozyon ve oksidasyon gibi, ortamın etkisi ve darbelerden korumak

3-Bittğinde istenilen özelliklere uygun olması,

4-Maliyet

Matris seçiminde hammaddenin nem ve su alma özelliklerinin de göz önünde bulundurulması önemlidir. Kayma sertliği, boyuna olan basınç mukavemeti, uzaması, kopması, yorulması ve darbe özellikleri de çok önemlidir. Matrisin yüksek bir kayma modülüne sahip olması istenir. Böylece kompozitten elde edilen kayma katılığı sağlanır. Kayma gerilmesi ve kayma modülü, matris için mukavemetten daha önemli bir unsurdur. (13,14)

Matrislerin isimlerini aldıkları malzemelerin özellikleri kısaca,

**Plastikler;** düşük yoğunlukludur. Kısa süreli kimyasal dayanımları iyidir fakat termal stabiliteleri kötüdür. Ayrıca çevresel bozunuma dayanımları vasattır (özellikle güneş ışığının foto-kimyasal özelliklerinden kaynaklanan). Plastik matrislerin tercih sebebi başta hafif olmaları ve takviye malzemelerine uyumluluklarıdır.

**Seramikler;** düşük yoğunluklu olabilir (bazıları çok yoğun olmasına rağmen). Çok iyi termal stabilite ve çok çeşitli saldırıya (aşınma, yıpranma, korozyon) dayanıklıdırlar. Gerçekte çok rijit ve güçlü aynı zamanda kırılğan ve zor şekillendiriliyor olmaları kimyasal bağları nedeniyledir.

**Metaller;** çoğunlukla orta ve yüksek yoğunlukludurlar. Yalnızca magnezyum, alüminyum ve berilyum bu açıdan plastikler ile rekabet edebilir. Çoğu metalin termal dayanımı iyidir ve alaşımlandırma ile korozyona dayanıklı hale gelebilirler. Kullanışlı mekanik özelliklere sahiptirler ve yüksek toklukadırlar. Ayrıca şekillendirmeleri ve birleştirilmeleri orta kolaylıktadır. Esneklik ve çatlak dayanımlarının yüksek olması özetle metallerin tercih edilen mühendislik malzemelerinden olmalarının sebebidir. (15) Kompozit yapılarda elyaflar yükü taşıma işlemini yerine getirirler. Ancak bu görevi yerine getirebilmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü önemlidir. Örnek verecek olursak, bir elyaf demeti düşünülüğünde yük bir ya da birkaç elyaf tarafından

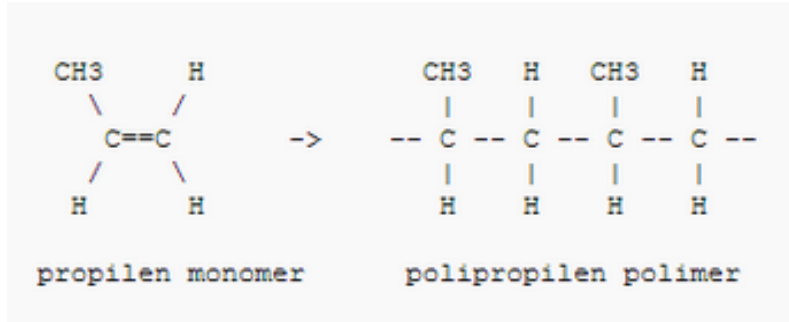
taşınacaktır. Matrisin yapıda var olması yükün tüm elyaflara eşit olarak dağılımını gerçekleştirir. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflar la matris arasında iyi bir adezyon mukavemetinin sağlanması ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özellikleri gerektirir. (16)

Matris olarak Ar-ge kompozit çalışmalarında polimer matrislerin tercih edildiği çok net görülmektedir. Literatür çalışmalarından da anlaşılacağı üzere polimer matrislerin kompozitler de kullanım oranı günümüzde %90-95'i bulmaktadır. (7)

### 2.3. Polimer Malzemeler

Polimer, en basit tanımıyla çok sayıda aynı veya farklı atomik grupların kimyasal bağlarla az veya çok düzenli bir biçimde bağlanarak oluşturduğu uzun zincirli yüksek molekül ağırlıklı bileşikler olarak tanımlanır. Polimerler, birden fazla mer'in(molekülün) ısı ve basınç altında birleşerek uzun zincirlerin meydana gelmesiyle oluşur. (17)

Polimerler, küçük molekülü monomer adı verilen yapıların çeşitli polimerizasyon işlemi ile kimyasal bağ yaparak moleküllere dönüşmesi ile oluşurlar. Şekil 2.4'de propilen monomerinin polipropilen polimerine dönüştüğü gösterilmiştir. (18)

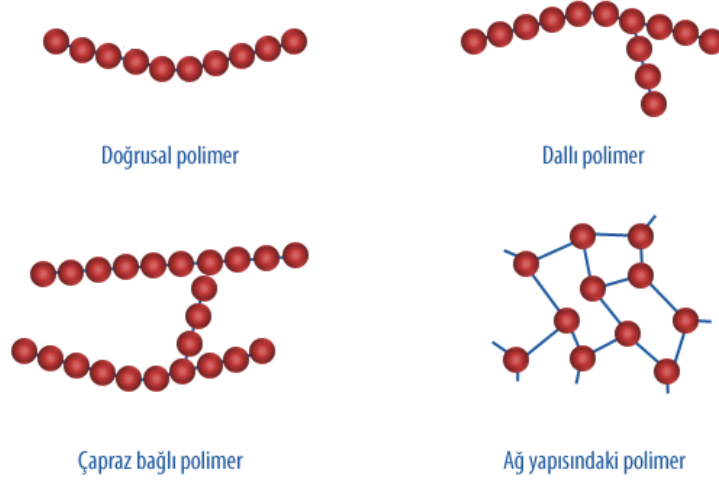


Şekil 2.4. Etilen Monomerinden Polipropilen Eldesi

Bağ yapılarını incelediğimizde monomerleri bir arada tutan bağlar kovalent bağlar, zincirleri bir arada tutan bağların ise Van der Waals bağlarıdır.

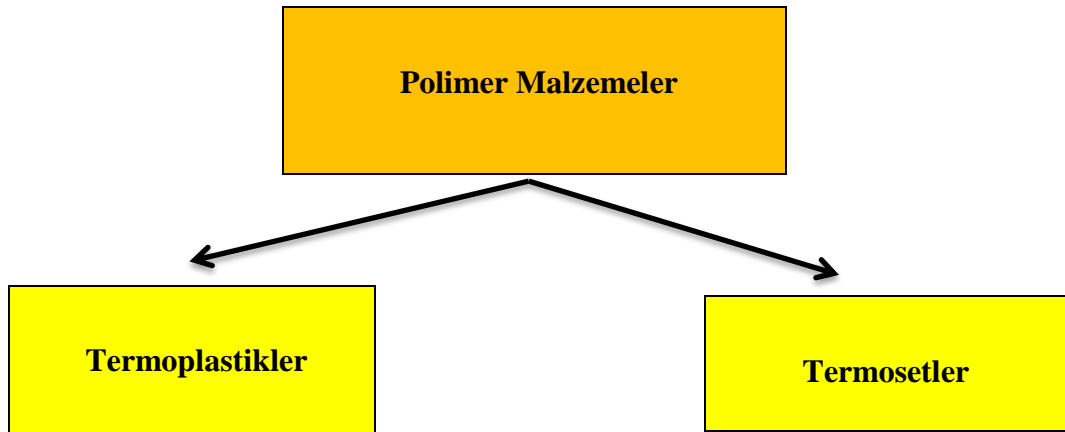
Plastik malzeme olarak bilinen suni polimerler, son 40-50 yıl içinde büyük gelişme göstererek günümüzde metal malzemelerle hemen hemen eşit oranda kullanılmaya başlanmıştır. Polimerler üretilen polimerizasyon sonucu farklı yapıda zincirlere sahip olur ve bu zincir yapılarına göre özellikler kazanırlar. (19)

Polimerlerin termal, mekaniksel, fiziksel, kısacası tüm özelliklerinde bu zincir yapıları adeta karar mekanizmasıdır. Şekil 2.5'te Polimer zincir yapılarındaki farklılıklar gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Polimer Zincir Yapılarındaki Farklılıklar

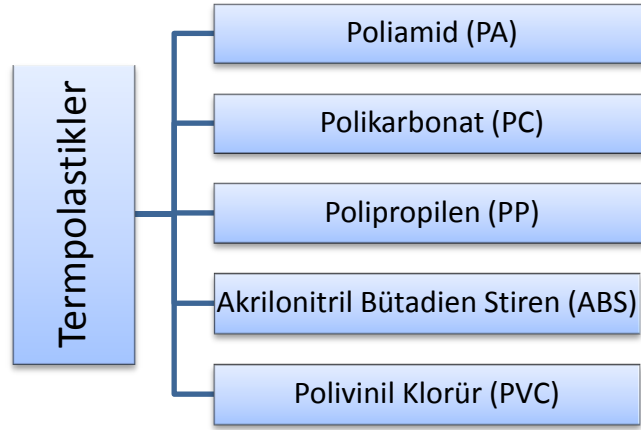
Polimerler termoplastik ve termoset denilen iki ana gruba ayrılabilirler. Isıya maruz kaldıklarında gösterdikleri fiziksel ve kimyasal değişim davranışlarına göre bu isimleri alabilirler. Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Polimer Malzemelerin Sınıflandırılması

### 2.3.1. Termoplastik Malzemeler

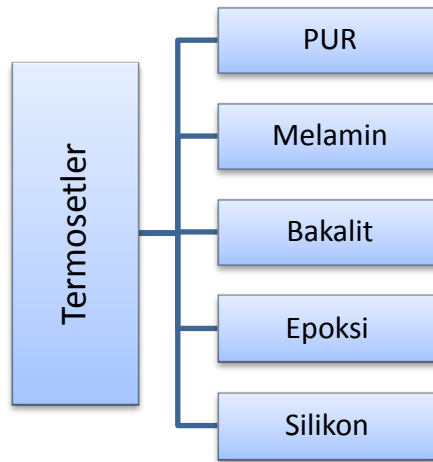
Termoplastikler ısıtıldıklarında yumuşayan, ısıtılıp yarı sıvı haldeyken şekillendirilen ya da kalıplanabilir malzemelerdir. Isıtılıp soğutulduklarında, sadece fiziksel değişime uğramaları termoplastik malzemeleri, termoset malzemelerden ayıran en önemli özelliktir. Bu sayede geri dönüşümleri mümkündür. Otomotiv sektöründe en yaygın kullanılan termoplastikler Şekil 2.7’de gösterilmiştir. (20)



Şekil 2.7. Yaygın Olarak Kullanılan Termoplastikler

### 2.3.2. Termoset Malzemeler

Termoplastiklerin aksine kimyasal tepkime sonucu zincir yapılarında çapraz bağ oluşturan bu malzemelerin geri dönüşümü de mümkün değildir. Yapılarında bulunan çapraz bağlar sayesinde gevrek, yüksek sıcaklığa dayanıklı bir yapı sergilerler. Yaygın olarak kullanılan termoset malzemeler Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Yaygın Olarak Kullanılan Termosetler

Bu iki malzeme grubu arasındaki farklar Şekil 2.9’da gösterilmiştir.

Termoplastikler	Termosetler
Isıtma ve basınçta yumuşar ve böylece tamiri kolaydır.	Isıtmada bozulur.
Yüksek gerinmelerde kopar.	Düşük gerinmelerde kopar.
Uzun raf ömrü	Belirli raf ömrü
Tekrar proses edilebilir.	Tekrar proses edilemez.
Yapışkan değildir ve kullanımı kolaydır.	Yapışkandır.
Kısa proses zamanı	Uzun kürleme zamanı
Yüksek üretim sıcaklığı ve viskozitesi (üretimini zorlaştırıyor)	Düşük üretim sıcaklığı
Mükemmel çözücü direnci	Vasat çözücü direnci

Şekil 2.9. Termoset ve Termoplastik Arasındaki Farklar (20)

#### 2.4. Elyaf Takviyeli Termoplastik Matrisli Kompozitler

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyafın ana görevi gelen yükü taşıyarak dayanım ve rijitliği arttırmaktır. Bir malzemenin elyaf olarak adlandırılabilmesi için ASTM’ye göre;

- Uzunluk/enine ortalama boyut en az 10/1
- En büyük kesit  $\leq 0.05 \text{ mm}^2$
- En büyük genişlik  $\leq 0.25 \text{ mm}$  olmalıdır. (21)

Polimer matrisli elyaf takviyeli kompozitler otomotiv endüstrisinden havacılık ve uzay sanayisine kadar pek çok alanda yaygın bir şekilde, metallere alternatif olarak kullanılmaktadır. Elyaf takviyeli bir kompozit malzemenin meydana gelişi aşağıdaki Şekil 2.10’da şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Oluşumu (21)

Termoplastik elyaf takviyeli kompozitler termoset kompozitlerden ve metallerin bir çoğundan daha hafif olmalarından dolayı başta otomotiv endüstrisi ve havacılık sanayisinde kendilerini kanıtlamışlardır. (22) Günümüzde trend olan ve neredeyse tüm ar-ge çalışmalarında hafif konstrüksiyonlara yönelik çalışmalar hız kesmeden devam etmektedir. Bu çalışmaların çıktısında nihai hedeflerinden biri de yüksek yük taşımanın yanı sıra ağırlığı azaltılmış ve maliyeti düşürülmüş malzemelerdir. İşte bu taleplere en uygun malzeme grubu termoplastik kompozitlerdir. Termoset kompozitlere yakın mekanik özellikler gösteren termoplastik malzemeler üstün kimyasal dirence sahip olup, maliyetleri de daha düşüktür. (23)

Özellikle PP reçine kullanılarak elde edilen kompozitler; PP hammaddenin fiyat düşüklüğü, iyi yorulma ve darbe mukavemeti, iyi kimyasal direnci özellikleri nedeni ile tercih sebebidir. Mutlaka bu tercihte, nihai üründe beklenen özellikleri PP matrisin karşılaması göz ardı edilmemelidir. Termoplastik kompozitlerin en büyük sorunu takviye elyafın matrise yapışması ve fiber uzunluğunun kontrolünün zor olmasıdır. Bu durum erimiş polimerin yüksek viskozitesi sonucunda yüksek kayma stresi, eriyiğin fiberin dış yüzeyine yayılması ve ıslatmasından kaynaklanmaktadır. (24)

Kullanılan matrisin en önemli özelliklerinden biri, gelen yükü elyaflara tekil olarak değil tüm elyaflara transferini sağlamak. Elyafı bir arada tutan matris sayesinde elyaf hareketleri kısıtlanarak çatlak ilerlemesinin azalması veya durdurulması sağlanmaktadır. Elyaf ile takviye yapılması polimerlerin direk olarak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi anlamına gelmektedir. Elyaf iyi bir şekilde matris ile temas sağlamaz ise ıslanmada problem olursa elyaf gerekli şekilde görevini yerine getirmeyecektir. Böyle bir durumda doğru elyafın kullanıldığından emin olunmalı ya da uygun elyaf ise mevcut elyaf da yüzey modifikasyonu yapılarak yüzey iyileştirmeleri yapılabilir. (25)

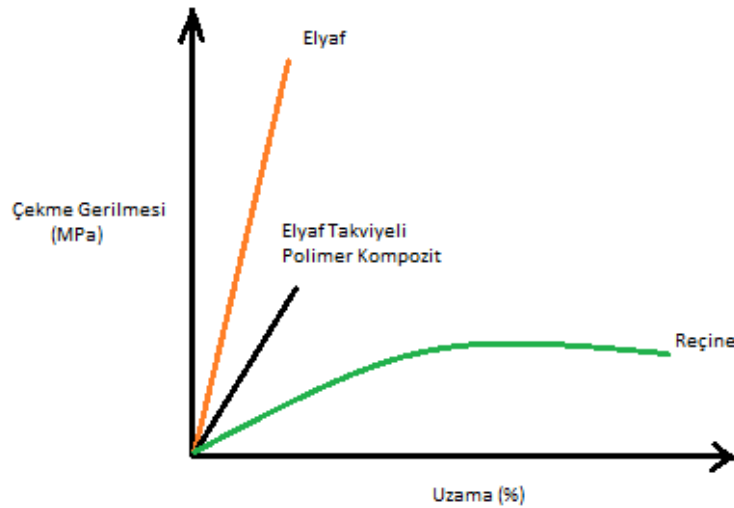
Örneğin cam elyafıyla kuvvetlendirme plastiğin mekanik özelliklerini iki veya üç kat arttırmaktadır. Elyafın matris tarafından iyi ıslanma kabiliyeti, matris ile elyafın temas yüzeyinde kimyasal reaksiyonun olmaması ve elyafın iyi yüzey karakteristiklerine sahip olması önemli bir özelliktir. Eğer elyaf matris tarafından iyi ıslatılmazsa, temas yüzeylerinde boşluklar oluşmaktadır. Bu da temas yüzeyinde ki bağları zayıflatmaktadır. (25)

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretim ve tasarımındaki teknolojik gelişmeler, üretim maliyetindeki düşüş, sistem verimliliğindeki gelişme, emniyet ve güvenilirlik gibi aşamalara gelişimini sağlamıştır. Bunun yanında farklı üretim teknikleriyle kalıplanabilir olması tasarımcı açısından metalin kesilmesi ve şekil verilmesi gibi zorluklardan bağımsız kılmıştır.

Kompozit yapıda elyaf seçiminde göz önünde bulundurulması gereken etmenler ise;

- Hafiflik (özgül ağırlık)
- Mukavemet ve modül (çekme ve basma)
- Yorulma mukavemeti
- Yorulmadaki kopma mekanizması ( malzemenin gevrek ya da sünek olması)
- Elektrik ve ısı iletkenliği
- Ekonomiklik (26)

Elyaf takviyeli kompozitlerde çekme-uzama eğrileri Şekil 2.11’de görülmektedir.



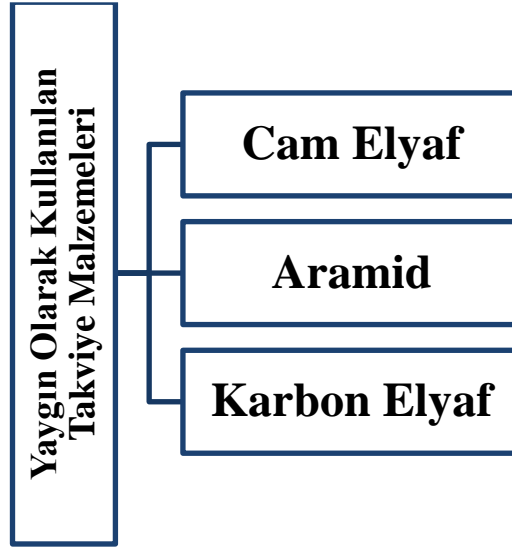
**Şekil 2.11** Çekme-Uzama Eğrisi

Elyaf takviyesi olarak çok farklı malzemeler kullanılmaktadır. İstenilen ürün özelliğine göre matris seçimi ve takviye seçimi yapılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde zirvede takviye olarak cam elyaflar, matris olarak ise termoplastik malzemeler kullanılmaktadır.

#### **2.4.1. Genel Olarak Kullanılan Elyaf Takviye Malzemeleri**

Kullanılan elyaf takviye malzemeleri beklenen hedef ürünlerdeki mukavemet değerinden, matris ile uyumluluğuna kadar bir çok etmenler göz önünde tutularak yapılar içinde kullanılabilirler.

En çok talep gören ve kompozit endüstrisinin öncü takviye malzemesi olarak bilinen takviye malzemesi cam elyafıdır. Diğer yandan cam elyaf zirve de olan bir uygulama malzemesi olsa da bir çok uygulama için, 70-80.000 MPa değerinden daha yüksek bir elastikiyet modülüne gerek duyulabilir. Bu yüksek modül değerlerini karşılayabilmek üzere aşağıda Şekil 2.11’de görüldüğü gibi daha yeni yüksek teknolojik ürünler olan başta karbon elyaf ve aramid elyaflar geliştirilmiştir. (27)



**Şekil 2.11.** Yaygın Olarak Kullanılan Takviye Malzemeleri

Kullanılan belli başlı takviyelerin karşılaştırması Tablo 2.1’de verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Belli Başlı Takviyelerin Karşılaştırılması

Malzeme	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)	Modülüs (GPa)
E-Cam	2.55	2000	80
S-Cam	2.49	4750	89
Aluminyum	3.28	1950	297
Karbon	2.00	2900	525
Kevlar 29	1.44	2860	64
Kevlar 49	1.44	3750	136

#### 2.4.1.1. Cam Elyaf

Hemen hemen tüm termoplastikler cam elyafı ile kuvvetlendirmeye uygun oldukları halde en çok endüstride PP, PA, PS, ABS ve SAN kullanılır. Cam elyaf, çekme elastiklik modülü, boyut kararlılığı, hidrolitik kararlılığı ve yorulma mukavemetini iyileştirir. (28,29)

Kompozisyonlarına bağı olarak değişik harflerle isimlendirilmiş cam elyaf türleri mevcuttur. Tablo 2.2’de kompozisyonlarına bağı olarak cam elyaf türleri gösterilmiştir. Bunlar içinde en çok kullanılan türü ise “E” tipi cam elyaf türüdür. Elektrik ve mekanik özellikleri ile maliyetinin iyi bir denge oluşturması sonucu, bu kalsiyum alüminosilikat bileşiminin, kullanılan toplam cam elyaf takviye malzemeleri içinde %90 Pazar payına sahip olduğu görülmektedir. “E-CR” camı, “E” camının modifiye edilmiş bir türü olup, asitlere karşı dayanım sağlamak amacı ile kompozisyonunda bor içermemektedir. Genellikle kimyasal dayanım istenen tank ve boru imalatında kullanılmaktadır. Yüksek mekanik dayanım aranan ürünler için kullanılan cam elyaf cinsleri Amerika’da “S” camı olarak isimlendirilirken Avrupa’da “R” camı olarak nitelendirilmektedir. Karma malzemenin mukavemetini ve rijitliğini arttıran bu cins cam elyafı otomotiv, havacılık, uzay ve askeri alanlarda, yüksek tekbik performans gereksinimi nedeni ile kullanılmaktadır. Bunların dışında, mükemmel dielektrik özellikler taşıyan ve elektronik endüstrisinde sıkça kullanılan, “D” camı elyafı ve özellikle yüzey tülerinde kullanılan kimyasal dayanımlı “C” camı elyafı da bulunmaktadır. (29,30)

**Tablo 2.2.** Başlıca Elyaf Cinslerinin Kompozisyonları (% Olarak) (31)

	A-Camı	C-Camı	E-Camı	R-Camı	S-Camı
SiO <sub>2</sub>	72.0	64.6	52.4	60.0	64.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.5	4.1	14.4	25.0	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	9.0	---
MgO	2.5	3.3	4.6	6.0	10.3
Na <sub>2</sub> O,K <sub>2</sub> O	14.2	9.6	0.8	---	0.3
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	4.7	10.6	---	---
BaO	---	0.9	---	---	---

Termoplastik takviyesinde en yaygın kullanılan elyaf türü “E” tipi cam elyaflardır. Aşağıda Tablo 2.3’de başlıca elyaf türlerinin mekanik özellikleri gösterilmiştir. Termoplastik enjeksiyonda kullanılan cam elyaf takviyeleri kısa ve uzun cam elyaf olarak kullanılırlar.

Elyaf demetlerinin 3-12 mm uzunluğunda kırılması ile elde edilirler. Çapları ortalama 10 µm olan bu lifler, blend için hammaddenin ekstrüzyon ile çekilmesi ve enjeksiyonu esnasında ortalama 0.3 mm boya kadar kırılarak kısalırlar. (29,32)

**Tablo 2.3.** Başlıca Elyaf Cinslerinin Mekanik Özellikleri (32)

	Elyaf Tipi		
	E-Camı	C-Camı	S-Camı
Çap (µm)	8-14	-	10
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	2540	2490	2490
Çekme Modülü (GPa)	72.4	68.9	85.5
Çekme Mukavemeti (MPa)	3450	3160	4590
Uzama (%)	1.8-3.2	4.8	5.7
Genleşme Katsayısı (x10 <sup>-6</sup> /°C)	5.0	7.2	5.6
Isıl İletim (W/m/°C)	1.3	-	-
Özgül Isı (J/kg/°K)	840	780	940



**Şekil 2.12.** Cam Elyaf

#### 2.4.1.2. Karbon Elyaf

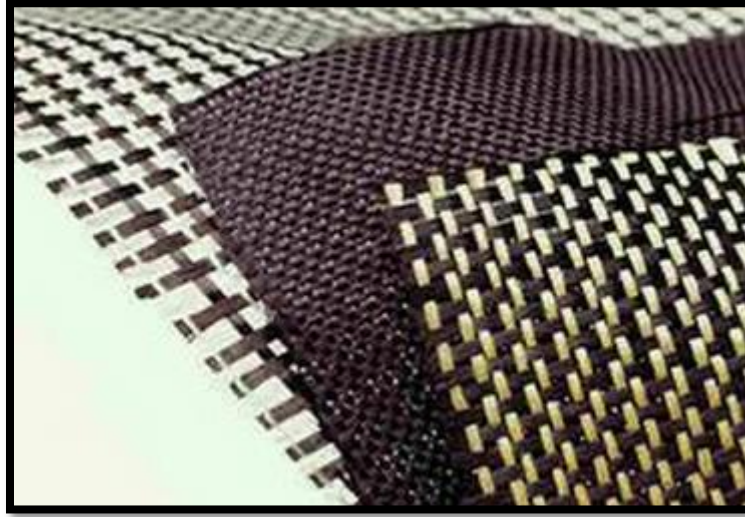
Karbon elyafı ilk defa karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Cam elyafın metale göre sertliğinin çok düşük olmasından dolayı sertliğin 3-5 kat artırılması için çalışmaların yapılması kaçınılmazdı.

Karbon elyaflar ile bu fark ortadan hemen hemen kaldırılmıştır. Karbon elyaflar yüksek ısı ile işleme maruz bırakılarak grafit denilen elyaflar elde edilmektedir. Artık karbon elyafı da grafit elyafı da aynı malzemeyi tanımlamaktadır. Karbon elyaflar çoğunlukla iki malzemedен meydana gelmektedir. Çeşitleri Şekil 2.13’de resimle gösterilmiştir.

-Zift

-PAN (Poliakrilonitril)

Zift tabanlı karbon elyafları göreceli olarak daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. Buna bağlı olarak yapısal uygulamalarda nadiren kullanılırlar. PAN tabanlı karbon elyafları kompozit malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmaları için sürekli geliştirilmektedir. (33)



Şekil 2.13. Karbon Elyaf Çeşitleri

#### 2.4.1.3. Aramid Elyaf

Aramid elyafı piyasada daha çok ticari isimleri Kevlar (DuPont) ve Twaron(Akzo Nobel) olarak bilinmektedir. Kevlar elyafı kompozitler cam elyafı kompozitlere göre %35 daha hafiftir. Cam türü elyaflara yakın basınç dayanıklılığı vardır.

Önemli özellikleri ;

- Yüksek dayanıklılık
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma ve yorulma dayanımı
- Yüksek kimyasal dayanım

-Genellikle rengi sarıdır

-Düşük yoğunluktadır.(33,34)

Bazı tür aramid elyafı ultraviyole ışınlar maruz kaldığında bozulma göstermektedir. Sürekli karanlıkta saklanmaları gerekmektedir. DuPont firmasının iki adet kevlar türü bulunmaktadır. Kevlar 29 ve kevlar 49 olarak ikiye ayrılır. Kevlar 29 üstün darbe dayanımı özelliğine sahip olup bu nedenle çoğunlukla kurşun geçirmez yelek gibi uygulamalarda kullanılırlar. Aramid elyaf görseli Şekil 2.14’de sunulmuştur.



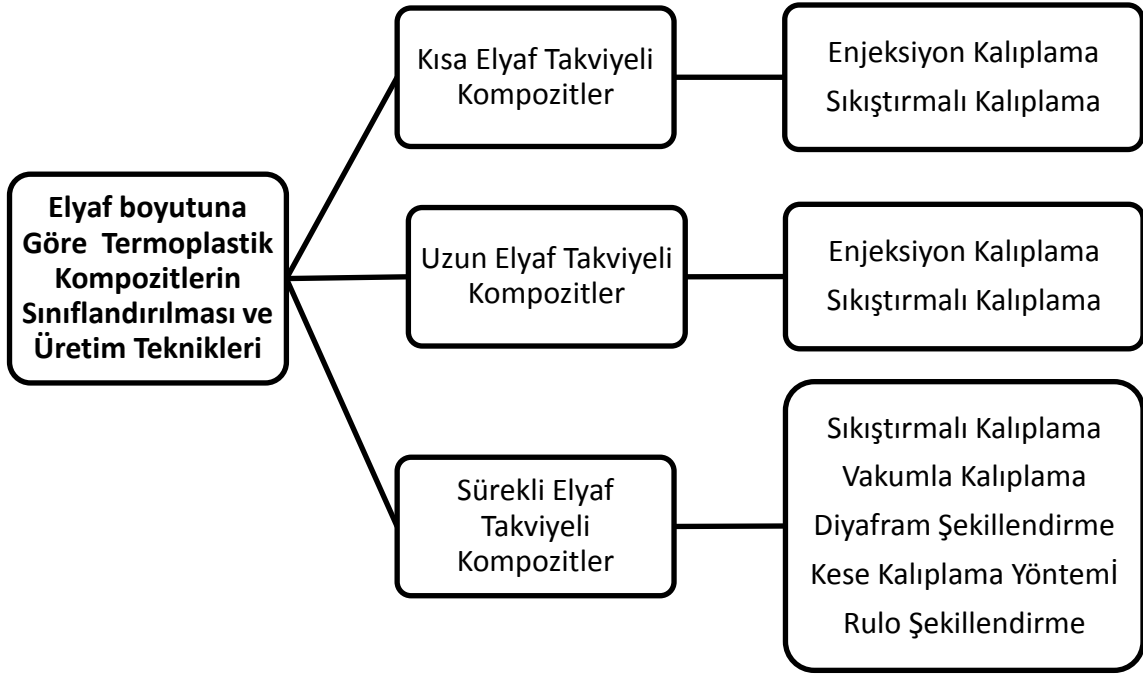
**Şekil 2.14.** Aramid Elyaf Örneği

## **2.5. Kullanılan Elyaf Boyutuna Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması**

Matris malzemesinin içerisine takviye olarak kullanılan elyaflar farklı boyutlarda ve formlarda kullanılırlar. Kesikli lifler, polimer matris içerisine genellikle rastgele dağıtılırlar ve böylece bir kompozit mekanik özellik açısından izotropik davranır. Sürekli lifler genelde yükün yönüne paralel olacak şekilde reçine içerisine yatırılırlar. Birkaç yönden yükleme ile karşılaşacak kompozitler liflerin maruz kalınan yükün doğrultusunda yerleştirilmesi veya dokumalar kullanılarak hazırlanabilir. (35)

### **2.5.1. Kısa Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler**

Kısa elyaf olarak adlandırılan elyaflar yaklaşık 1-5  $\mu\text{m}$  çapında ve 0,5-6 mm uzunluğunda üretilirler. Mekanik özellikleri uzun ve sürekli elyaf takviyeli kompozitlere göre daha düşük olmasına rağmen işleme kolaylığı ve işleme süreçlerinin daha az maliyetli olması endüstrinin bir çok alanında tercih sebebi olmalarını sağlamışlardır. Kısa elyaf takviyeli kompozitler ile ürün üretilmesi düşünülürken kullanılan matris malzemesinin viskozite ve elastikiyet davranışları iyi bilinmelidir.

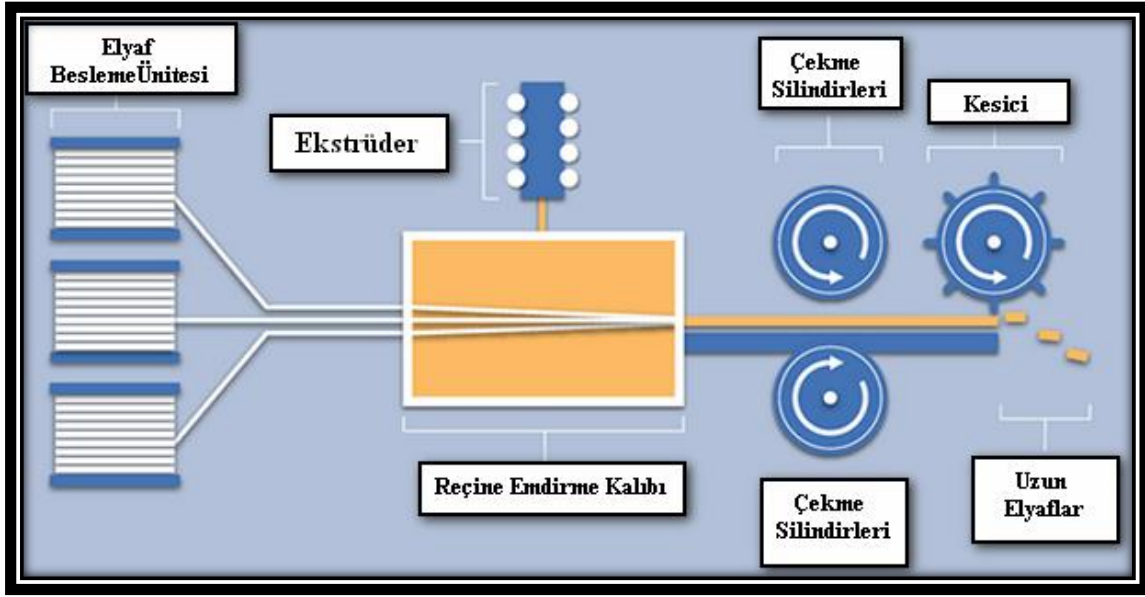


**Şekil 2.15.** Elyaf boyutuna Göre Termoplastik Kompozitlerin Sınıflandırılması ve Üretim Teknikleri

Elyaf boyutuna göre termoplastik kompozitlerin sınıflandırılması ve üretim teknikleri Şekil 2.15’de gösterilmiştir. Bu bilgi ışığı altında elyaf yönlenmelerini mümkün olduğunca kontrol altına alarak istenilen maksimum mekanik değerleri, fiberlerin akış yönüne paralel olacak şekilde getirilmesi ile sağlayabiliriz. (36)

### 2.5.2. Uzun Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler

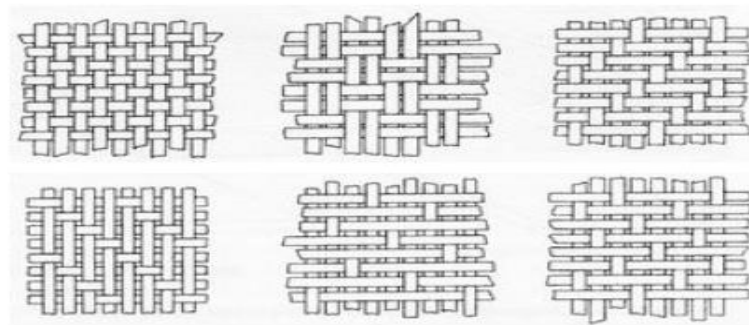
Elyaf boyutunun 10 mm’den uzun olduğu kompozit malzemelerdir. Uzun cam elyafları kullanılarak geliştirilen ürünler, sadece termoplastik yapıdaki matris malzemeleri ile gerçekleştirilmeyip, termoset esaslı matris malzemeleri kullanılarak geliştirilmektedir. Uzun elyaf granüllerinin üretimi Şekil 2.16’da gösterilmektedir. Uzun cam elyaflı, termoset esaslı kompozitlerde genellikle, cam elyafları, 25-50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır. (37)



Şekil 2.16. Uzun Elyaf Granüllerinin Üretimi (38)

### 2.5.3.Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler




Yönlendirilme özelliklerinden dolayı diğer takviye elemanlarına göre daha üstün özelliklere sahiptirler. Kompozitin kullanıldığı yer ve üzerine gelen yüklemde çekme, basma ve eğilme gerilmeleri için istenilen değerlere ulaşabilir. Tek yönde çekme dayanımına maruz kalan bölgeler, yönlendirilmiş uzun elyaflar nedeniyle elyaf doğrultusunda maksimum performans gösterirler. Ancak elyaf eksenine dik doğrultuda düşük özellikler elde edilir çünkü yük matris dayanımı ile muhatap olur. Elyaf eksenine hem dik hem de paralel kuvvet uygulandığında mekanik özellikleri iyileştirmek için değişik açılarda takviye yapmak ya da dokuma şeklinde Şekil 2.17'de görüldüğü gibi farklı örme stilleri kullanılan elyafların kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Dokumalar kompozite her zaman en az iki yönde dayanıklılık kazandırılan takviye edicilerdir. Üç boyutlu dokumalarda kompozitin mekanik dayanımı her üç yönde artırılır. (39)



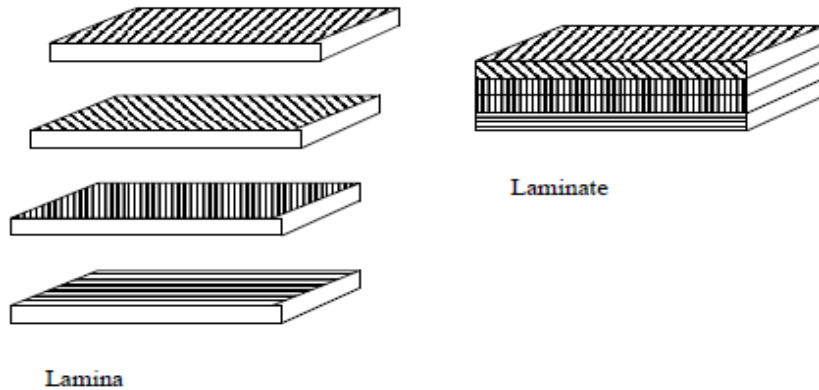
Şekil 2.17. Sürekli Elyaflarda Farklı Örgü Stilleri

Sürekli elyaf takviyeli kompozitlerde elyaflar hacim olarak %60'a kadar bulunabilir. Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemelerde kullanılan elyaf yönelimleri Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.4.** Sürekli Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyaf Yönelimleri(40)

<b>Tek Yönlü Elyaf Oryantasyonu</b>	<b>Hacimsel Elyaf Oranı Oryantasyon Yönünde Artıkça Mukavemet Artar.</b>		<b>Takviye Türü:</b> Sürekli Elyaf Sarma <b>Üretim Şekli :</b> Pultrizyon, Sıkıştırırmalı Kalıplama
<b>Çift Yönlü Elyaf Oryantasyonu</b>			<b>Takviye Türü:</b> Dokuma Cam Elyafı <b>Üretim Şekli :</b> Filaman Sarma, Film İstifleme, Sıkıştırırmalı Kalıplama.
<b>Çok Yönlü Elyaf Oryantasyonu</b>			<b>Takviye Türü:</b> Çok Yönlü Örmeye, Katmanlı Üretim <b>Üretim Şekli :</b> Sıkıştırırmalı Kalıplama, Film İstifleme

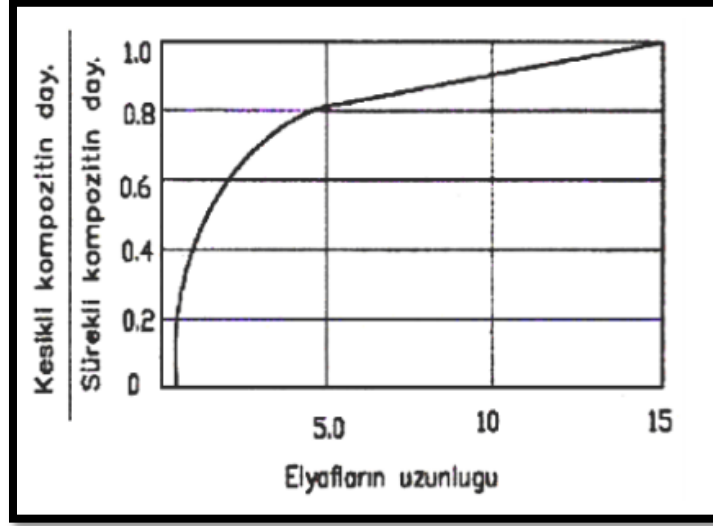
Sürekli cam elyaf takviyeli kompozitler rekabetçi ve diğer kompozitlere göre taşıdığı özellikler bakımından daha çok tercih edilmektedirler. Başlıca özellikleri hafif olmaları, yapı potansiyeli, entegre tasarım, korozyon direnci ve yüksek enerji emilimidir. Sürekli elyaf takviyeli kompozitler lamina adı verilen ince tabakaların birleşmesi ile oluşurlar. Herbir laminanın içinde takviye lifler aynı veya farklı yönlerde yönlendirilmiş olabilirler. Birçok lamina (tabaka) arzu edilen kompozit yapıyı elde etmek için laminate (katlı tabaka) adı verilen bir yapı içinde birleştirirler. Şekil 2.18'de laminate (katlı tabaka) şekli gösterilmiştir. (41)



**Şekil 2.18.** Laminated (Tabakalı) Kompozit

## 2.6. Mekanik Özelliklerde Elyaf Boyutunun Etkisi

Kısa elyaf veya Uzun elyaf takviyeli kompozitler aynı elyaf hacim oranlarında sürekli elyaf takviyeli kompozitlerden daha düşük mekanik değerler gösterirler. Çok uzun elyaflar için dayanım sürekli elyaf takviyeli kompozitlere yaklaşmaktadır.



**Şekil 2.19.** Kesikli ve Sürekli Elyaflı Kompozitlerde Elyaf Uzunluğunun Fonksiyonu Olarak Çekme Dayanımı Değişimi (39)

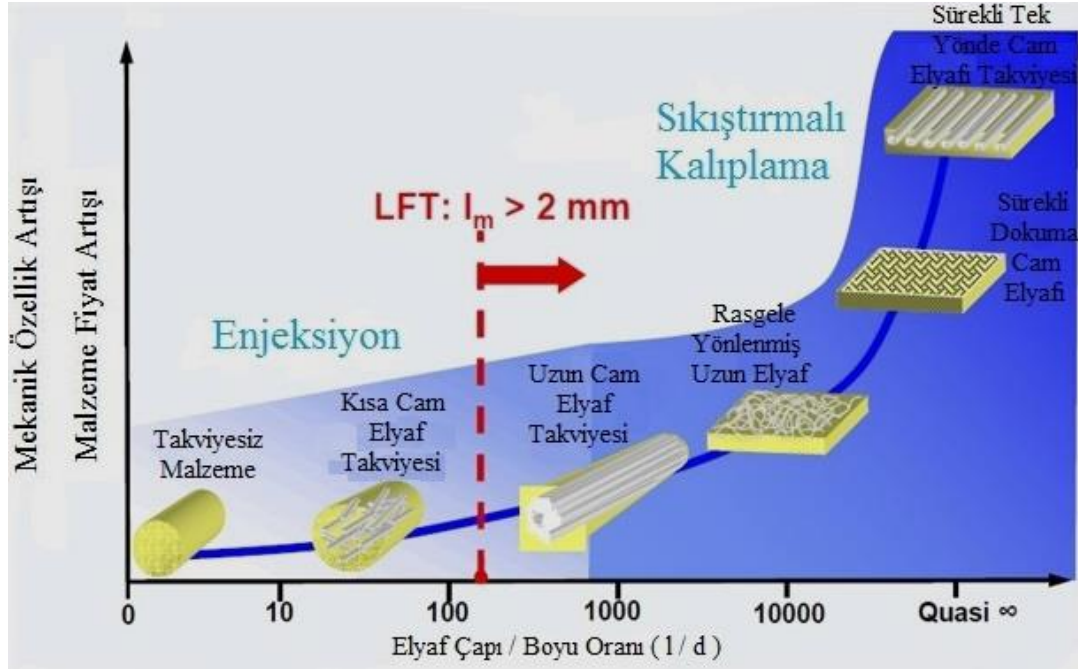
Elyaf boy/çap oranında, büyük boy/çap oranına sahip olan kesikli elyafların matris içine daha kolay katılması ile çekme dayanımı ve elastisite modülde yeterli artışlar sağlanabilmektedir. Elyaf içeriğine bağlı olarak dayanımın arttığı görülmektedir. Örneğin, elyaf uzunluğunun kritik elyaf uzunluğunu eşit olması halinde yaklaşık 800 MPa dayanım elde edilirken kritik elyaf uzunluğunun 2 katına çıktığında ise bu değer yaklaşık 1260 MPa değerlerine ulaşmaktadır. (40)

Kompozitlerde malzemenin etkili bir güçlendirme ve direngenliği arttırmak için kritik bir fiber uzunluğu gereklidir.

$$l_c = \frac{\sigma_f^* d}{2\tau_c}$$

Burada  $\sigma_f^*$  = çekme mukavemeti,  $d$  = fiber çapı,  $2\tau_c$  = fiber-matris bağ mukavemeti  
Fiber uzunluğu “l” arttıkça, fiber takviyesi daha etkili olur. Sonuç 15  $l_c$ 'den büyük ise

sürekli, daha küçük değerlere karşılık gelen elyaf türü ise süreksiz veya kısa elyaflardır. Elyaf boyutlarına göre mekanik özellik değişimi ve malzeme maliyet artışı aşağıda Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Elyaf Uzunluğunun Mekanik Özelliklere Etkisi ve Malzeme Fiyat Artışı (42)

## 2.7. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

### Avantajları ;

- Yüksek dayanım ve rijitlik,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Mükemmel aşınma direnci,
- Yüksek sıcaklık kapasitesi,
- İyi korozyon direnci,
- İyi termal ve ısı iletkenliği,
- Düşük Ağırlık,
- Çekicilik ve estetik görünümü, olarak sayılabilir.

**Dezavantajları;**

-Üretim güçlüğü

-Pahalı olması

-İşlenmesinin güç olması yanında maliyetin yüksek oluşu ve gerekli yüzey elde edilmeyişi,

-Diğer malzemeler gibi geri dönüşümün (recycle) olmayışı,

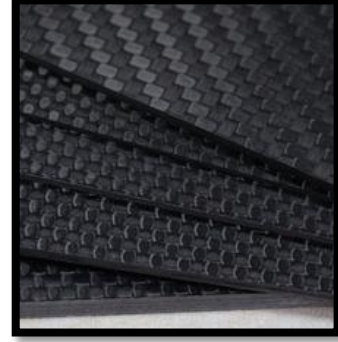
-Kırılma uzamasının az oluşu, gibi faktörler sayılabilir. (43)

### 3. SÜREKLİ ELYAF TAKVİYELİ TERMOPLASTİK MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemelerde tarih boyunca termoset ve termoplastik matris malzemelerin arasında uçurum olmuştur. Termoset malzemelerin geri dönüşüm olmamaları, uzun çevrim sürelerine ihtiyaç duymaları ve kimyasal olarak özel üretim tesisleri ve özel depolama alanına ihtiyaç duymaları nedeniyle endüstriyi farklı malzeme arayışlarına yöneltmiştir. Termoplastik matrisler ise genelde farklı formlarda ön şekillendirme ile levha haline getirilen formlarda Şekil 3.1 (a) ve prepreg Şekil 3.1 (b) adı verilen ürünler halinde üretilirler. Termoplastik esaslı matrisler ile lede edilen bu tür levhalar için özel depolama işlemi gerekmez ve çok uzun süre saklanabilirler. Bilindiği üzere termoplastik yapılar olduğu için ısıtılma işlemi ile çok kolay şekilde şekillendirilebilir ve çevrim süreleri çok kısadır. (44)



(a)



(b)

Şekil 3.1. (a) Prepreg ve (b) Levha Şeklindeki Kompozit Yapılar (44)

Birçok akademik çalışmaya konu olan sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemeler, sahip oldukları yüksek dayanım ve düşük yoğunluk avantajları ile otomotiv endüstrisinde yürütülen metal malzemelere alternatif malzeme olma konusunda ön plana çıkmaktadırlar. Termoplastik kompozit malzemelere uygulanan mekanik etki sırasında gözlemlenen, matris kırılması, matris-elyaf arası bağların kırılması, katmanlar arası kayma eğilimi ve elyaf kırılması adımlarının, metal malzemelere uygulanan mekanik etki sırasında gözlemlenen katlanma ve burulma adımlarına benzer mekanik davranış olması termoplastik SETK malzemelerin metal malzemelere alternatif olabileceğinin en iyi kanıtı olarak gösterilmektedir. (45-46)

### 3.1. Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Üretim Metotları

Termoplastik kompozit sektörü ve üniversite veya bilim kurumlarında sürekli elyaf takviyeli kompozit ile ilgili araştırmacıların ve girişimlerin bu malzemelerin üretim metotları ile ilgili geliştirdikleri metotlar vardır. SETK levhalarda kullanılan dokuma stilleri istenilen her şekilde tasarlanabilirken bu malzemelerin matrisinin termoplastik olması bu dokumaların sınırlılığını belirlemiştir. (47)

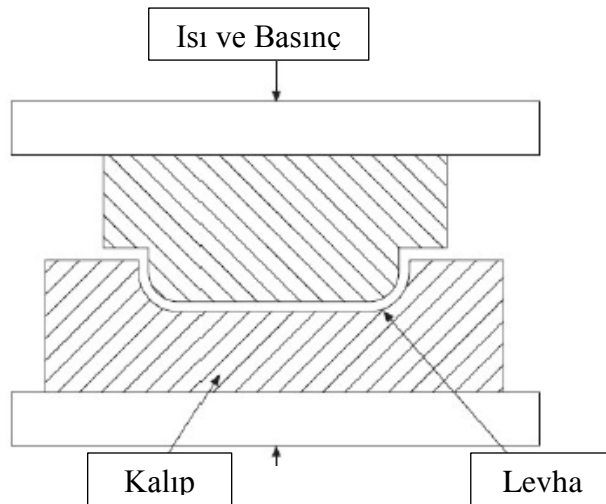
Başlıca üretim metotları; kat matris metodu, film istifleme metodu, toz metodu, birlikte örme metodudur.

### 3.2. Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Termoplastik Levhaların İşleme (Şekillendirme) Metotları

Sürekli elyaf takviyeli termoplastik levhaların şekillendirilmesi, levhanın yumuşayacağı kadar ısıtılması ile basınç kullanılarak şekillendirme yapılacak kalıbın şeklini alması ile sürecini tamamlar. SETK'lerde işlenebilirlik fiziksel değişimi temsil eder.

#### 3.2.1. Sıkıştırılmalı Kalıplama

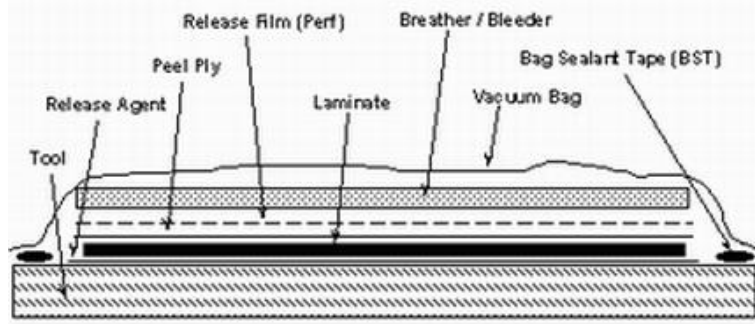
Ön şekillendirilmiş sıvama işlemi ile ıslatılmış kompozit levhaların Şekil 3.2'de gösterildiği gibi iki kalıp yarımı içerisinde koyularak ısıtma ve basınç altında kalıbın şeklini alması ile şekillendirilmesidir. Isıtma işlemi kalıba konmadan önce dışarıda da yapılmaktadır.



Şekil 3.2. Sıkıştırılmalı Kalıplama Prosesi (48)

### 3.2.2. Vakumla Kalıplama

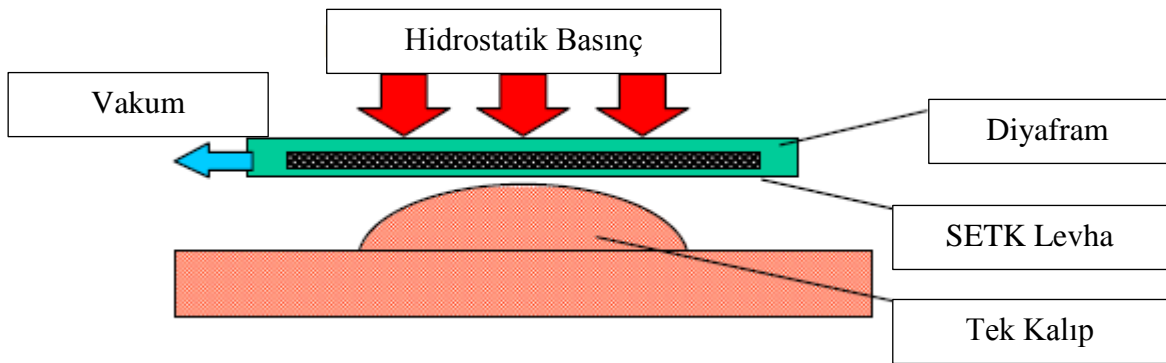
Yumuşama sıcaklığına kadar ısıtılmış levhanın kalıp içerisine yerleştirilerek uygulanan vakum ile levhanın kalıbın şeklini alması ile gerçekleştirilen bir üretim tekniğidir. Ayırıcı bir film kullanılarak hava geçirgenliğine sahip bir kumaş kullanılarak tek taraflı bir kalıpta işlem gerçekleştirilir. Şekil 3.3’de vakumlama kalıplama prosesi gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Vakumla Kalıplama Prosesi

### 3.2.3. Diyafram Şekillendirme

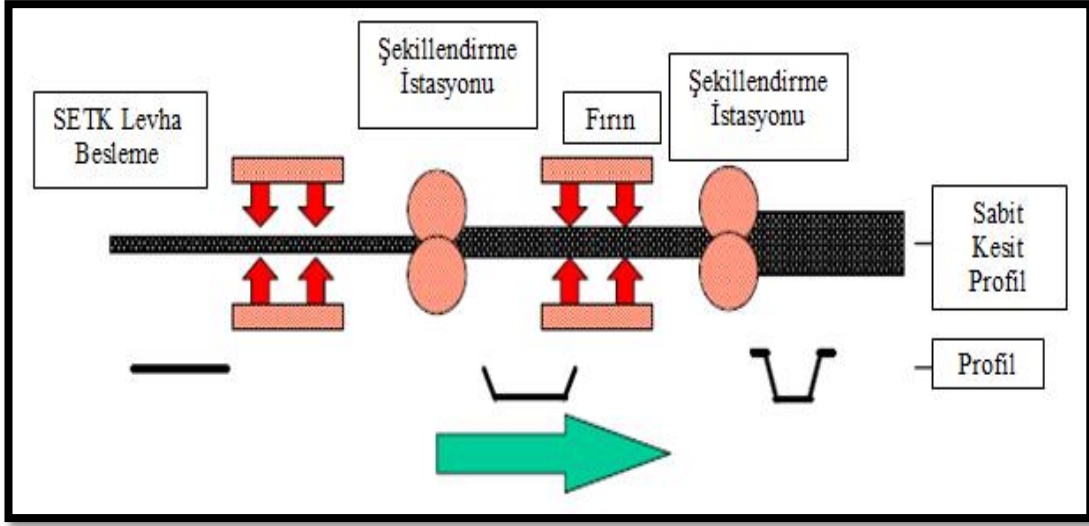
Çok kompleks parçaların şekillendirilmesinde mükemmel sonuç veren diyafram şekillendirmede Şekil 3.4’de gösterildiği üzere ısıtılmış levhanın membranlar arasında hava takviyeli olarak uygulanan basınç ile kalıbın şeklini alması ile gerçekleştirilir.



Şekil 3.4. Diyafram Şekillendirme (49)

### 3.2.4. Rulo Şekillendirme

Ön ısıtılmış levhaların şekillendirme haddelerinden geçerek hat sonunda final profil şeklini alması ile gerçekleşen bir tekniktir. Şekil 3.5’de proses süreci gösterilmiştir. Beslemesi yapılan levhaların hat üzerinde fırınlar vasıtasıyla da ısıtılması devam eder.



Şekil 3.5. Rulo Şekillendirme (49)

### 3.2.5. Kompleks ve Trend Teknoloji “Fiberform”

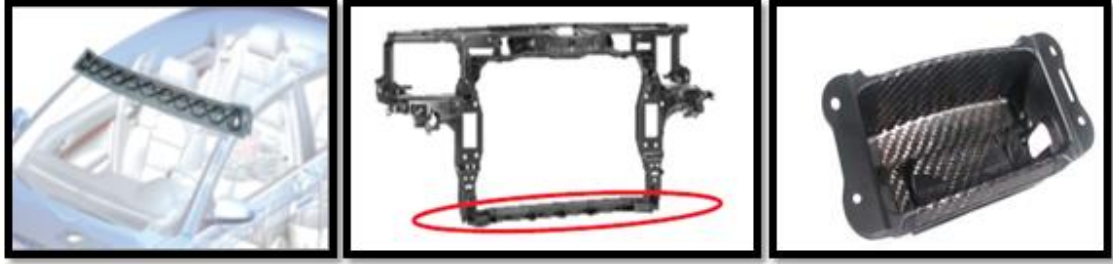
Fiberform ile şekillendirme, bir çok uygulamanın entegre olmuş halidir. Bu teknoloji bu tezin esas çalışma konusudur. Bu tezde elde edilen numunelerin üretildiği hat olan fiberform’un detaylı anlatımı bölüm 4’te yer almaktadır.

### 3.3. Otomotiv Komponent Uygulamalarında SETK Malzemeler ve Avantajlar

Otomotiv sektörü yüksek adetli üretim ile çalıştıklarından zaman kavramı çok önem arz etmektedir. Bundan dolayı ürün üretimlerinde bileşenlerin en uygun malzeme ile ve en kısa sürede üretilmesi en temel hedeftir. Bu hedefe ulaştırılması öngörülen dünya genelinde araştırma çalışmaları devam eden günümüzde trend malzeme olarak gösterilen SETK malzemeler gün geçtikçe otomotivde ismini duyurmaktadır.

Araç üreticileri, son yıllarda otomotiv sektöründen beklenen, düşük CO<sub>2</sub> salınımı ve yakıt tüketimi özelliğine sahip fakat kullanım sırasında yüksek performans sergileyen araçların üretilebilmesi için araç hafifletme çalışmaları kapsamındaki araştırmalarına hız

vermişlerdir. Araçlar üzerinde bulunan metal bazlı parçaların toplam araç ağırlığı üzerindeki payının yüksek olması, otomotiv sektöründe en güncel Ar-Ge faaliyetlerinden olan araç hafifletme çalışmalarını mevcut durumda kullanılan metal malzemelere alternatif malzeme olarak SETK 'ler ön plana çıkmıştır. (1-3) Şekil 3.6'da SETK malzemeler ile üretilen başlıca otomotiv parçaları gösterilmiştir.



**Şekil 3.6.** SETK Malzemeler ile Üretilen Otomotiv Parçaları

Diğer bir husus bu malzemelerin otomotiv dünyasında kullanılmasının hedeflenmesi araç ağırlıklarının hafifletilmesi ve yolcu can güvenliğinin sağlanmasıdır. SETK'ler açısından yolcu can güvenliğinin sağlanması, kaza anında çarpmanın etkisi ile darbe sönmüleyici parçaların maruz kaldıkları etkiyi kırılarak, parçalanarak değil kademeli olarak karşılanan kuvveti sönmülemeleri ile gerçekleşir.

### **3.4. Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Tercih Nedenleri**

En bariz tercih nedenleri seri üretime uygunluğu ve çevrim sürelerinin düşük olmasıdır. Sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit levhaların (prepreg) şekillendirilmeleri, matris yapısının termoplastik yapıda olması nedeni ile otomotivdeki yüksek adetli üretime uygun olarak kısa çevrim sürelerinde gerçekleştirilebilmektedir.

Bununla beraber, geri dönüşümlü olmaları ve termoset malzemeler için ihtiyaç duyulan özel depolama alanları gibi bölümlere ihtiyaç duymaması endüstriyel üretim açısından bu malzemeleri avantajlı kılan en önemli faktörlerdendir. (48)

### **3.5. Sürekli Elyaf Takviyeli Polipropilen Matrisli Kompozitlerin Araştırma Çalışmaları**

Sürekli cam elyaf takviyeli polipropilen matrisli kompozitlerin üretimi, şekillendirmesi ile ilgili literatür çalışmaları incelenmiş olup, dikkat çeken birkaç çalışma birer paragrafla aşağıda özetlenmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan çoklu kalıplama yöntemi ile ilgili oldukça az sayıda çalışmaya rastlanmıştır.

H. Hamada, K. Fujihara, A. Harada hazırlamış oldukları bir makalede Sürekli cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit yapılarda bağlayıcı ajan malzemeler çalışmışlardır. Maleik anhidrit ve Amino Silan bağlayıcı ajanları ile modifiye çalışmalarında bulunmuşlardır. Yüksek ve düşük yoğunluklu PP'ler ile çalışmışlardır. Bu iki malzeme arasında eğilme testleri kıyaslanmıştır.

Michael P. Knox yayınlamış olduğu bir bildiriye termoplastik kompozitlerin üretimi, proses edilebilirliği ve uygulamaları ile ilgili bilgilendirmelerde bulunmuştur. SETK kompozitlerin geleneksel termoplastik işleme tekniklerinden ayrıldığını dile getiren Knox, SETK'lar ile üretim yapılabilen teknikleri anlatmıştır. Ancak Knox'un yayınladığı bildiriye yöntemler çoklu kalıplama yöntemi gibi seri üretime çokta uygun olduğu söylenmez. Overmolding teknoloji şu an açık ara önde bir teknolojidir.

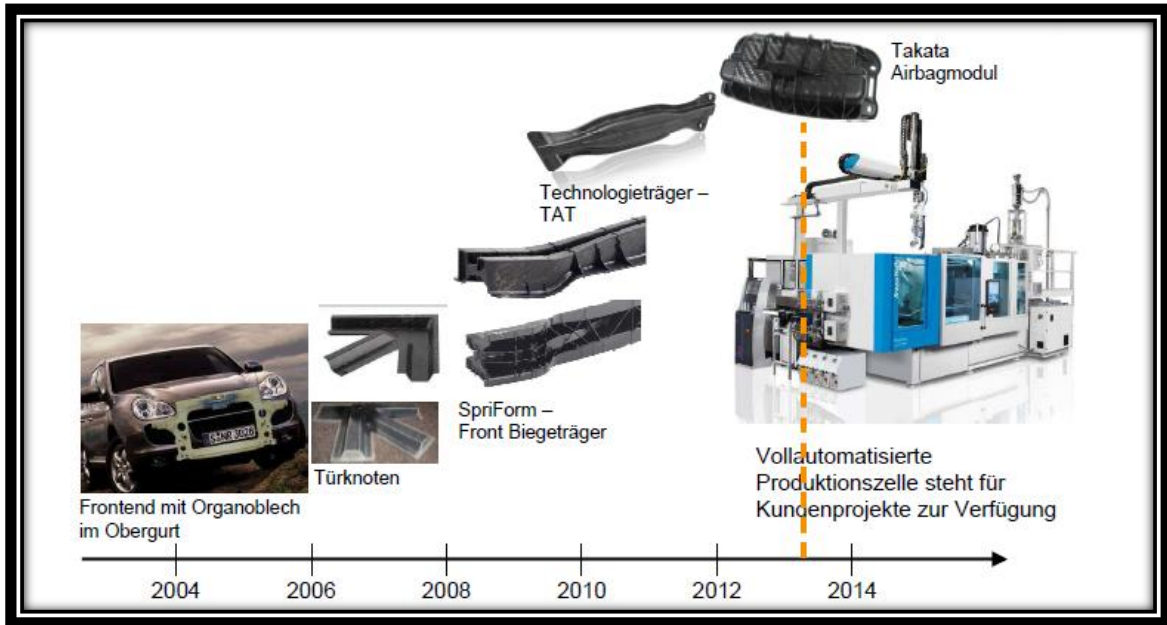
Tencate firmasının yöneticilerinden biri olan Thomas Smith, SETK malzemeler ile ilgili bir sunum hazırlamış ve bu sunumda PA6 matrisli SETK levhaların diğer malzeme grupları ile karşılaştırılması, uzun cam elyaf takviyeli malzemeler ile kıyaslanması gibi bilgilendirmeler yapmış, mekanik değerlerini sunmuştur. Overmolding teknolojisinden de bahseden Smith ve ekibi bu alanda bir çok çalışmayı sonlandırmış ve yeni çalışmalar ile teknolojiye katkı sağlamaya devam etmektedirler.

R.Scherer Polipropilen yapı,karışım ve kompozitleri-3 kitabında yayınlamış olduğu bir makalede, SETK levhaların terform prosesi ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada termoform prosesi ile optimizasyon çalışmaları yapılmış olup, levhaların termoform edilebilirliği saptanmıştır.

Yine polipropilen yapı,karışım ve kompozitleri-3 kitabında başka bir yazar olan B.Z.Jang ise sürekli cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit malzemelerin kırılma performanslarını detaylı olarak incelemiştir. Burada havacılık sektöründe kullanılan kompozitlerde ihtiva edilen matrisler yerine PP matrisinin kırılma performansı incelenmiştir. Özellikle kullanım yerlerine göre bu kompozitlerde belli özellikler istenir.

Örneğin, bu makalede de yer verildiği gibi havacılık sektöründe bu tür malzemelerin kullanılması söz konusudur. Bu nedenle kırılma performansı, çatlak performansı son derece kritiktir.

Overmolding teknolojisinin önder firmalarından biri olan Krauss Maffei şirketinde proses mühendisi olarak görev yapan Stefan Schleri ise yayınlamış olduğu bir sunumda SETK yapıların yıllar geçtikçe daha da gelişmiş seri üretime uygun, ergonomik bir şekilde üretilebilirliğine değinmiştir. Organik ön yüz ile başlayıp, kapı düğümü , ön kapı barı güvenlik parçası üretimi ve tam otomatik sistem ile üretime devam eden bir süreci sunumunda yer vermiştir. Şekil 3.7’de süreç görseli sunulmuştur.



Şekil 3.7 Krauss Maffei Şirketinin Overmolding Teknolojisi ile Yıllara Göre Üretim Parçaları

## **4. MALZEME VE YÖNTEM**

### **4.1. Giriş**

Bu çalışmada; sürekli cam elyaf takviyeli termoplastik levhaların mekanik özelliklerini, termal koşullar altındaki davranışlarını incelemek amacıyla, dokuma şeklindeki elyaf takviyeli termoplastik kompozitlerin, ilk adımda çeşitli laboratuvar testleri gerçekleştirilerek çalışmaya başlanılmıştır. Belli bir yol alındıktan sonra çoklu kalıplama prosesine uygun prototip test barı tasarlanmış olup, kalıp imalatı yapılmış ve elde edilen numunelerin bükülme davranışları incelenmiştir. Kullanılan levhaların özellikleri, kullanılan diğer hammadde deneysel çalışmalar da detaylandırılmıştır. Çoklu kalıplama prosesi ise “FiberForm” teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

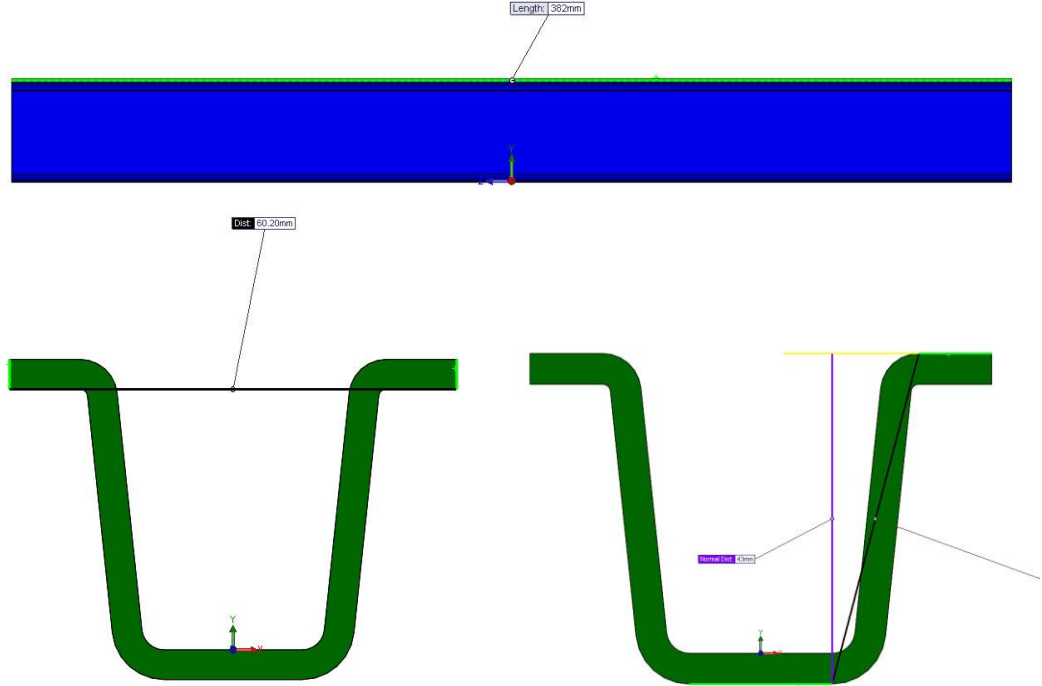
### **4.2. Çoklu Kalıplama Prosesi ve Numune Üretimi**

Proje kapsamında ve bu çalışma kapsamında, sürekli cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin çoklu kalıplama tekniğine uygun olarak test barı prototip parçası ve parçaya ait kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir.

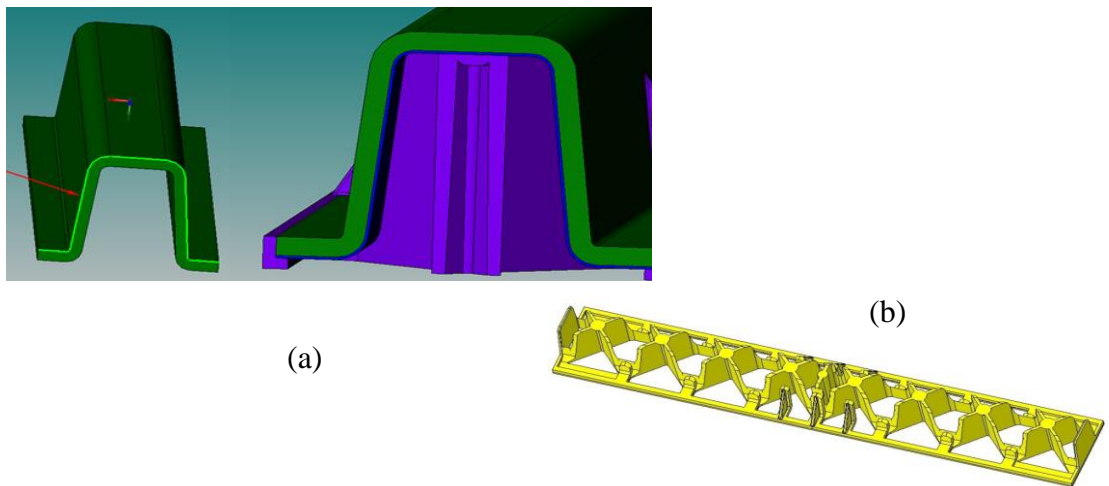
#### **4.2.1. Test Barı Ürün Tasarımı**

SETK malzemelerin çoklu kalıplama prosesinde ait malzeme ve proses parametrelerinin iyi kavranabilmesi amacı doğrultusunda tasarımına başlanan test parçasına ait teknik resim ve 3D detay çizimleri aşağıda sunulmuştur. Tasarlanan prototip ürün, 0,5, 1, 2 ve 4mm kalınlıklarında PP matris yapısındaki SETK levhaların ısıtılarak ısıl şekillendirme işlemi ile “U” profil haline getirilmesi, ardından, şekil alan levhanın üzerine plastik enjeksiyon işlemiyle eklenen feder yapıları aracılığıyla kafes yapısı içerisine alınması adımları ile üretilmek üzere tasarlanmıştır. 0,5 mm ve 1 mm’lik levhalar çoklu kalıplama tekniğinde uygun olarak proses edilemediğinden deneysel çalışmalarda bu numuneler saf dışı bırakılmıştır. “U” profil halini alan levha üzerine yapılacak enjeksiyon işleminde, oluşturulan test barının mekanik özelliklerinin daha üstün olması amacı ile, şekillendirilen levha üzerine %30 kısa cam elyaf takviyeli PP granülü kullanılacaktır. Test barında rijitliği sağlamak amacıyla levhanın etrafına, enjeksiyon ile eklenecek kafes yapısı 4 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Belirlenen amaçlar doğrultusunda üretimi hedeflenen prototip parçanın tasarımı Farplas bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan parçanın sırasıyla U profil hali test barı numunelerinin ölçüsü, enjeksiyon ile eklenecek feder yapısı ve nihai parça görselleri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3'te verilmiştir.

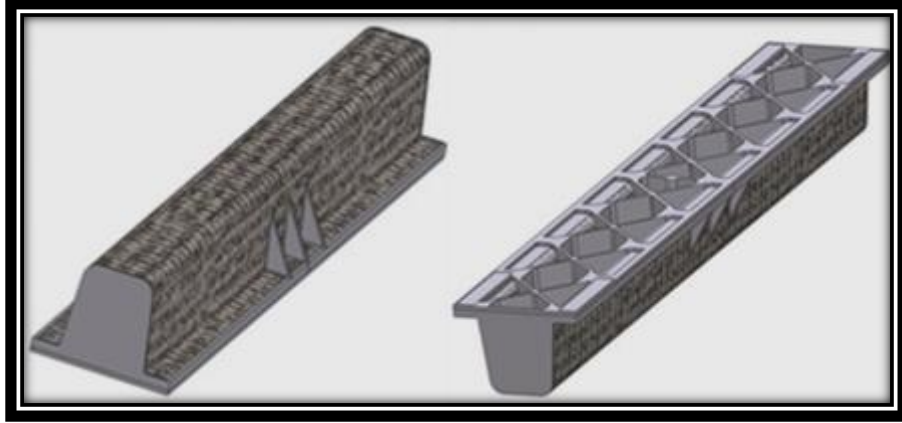


Şekil 4.1 U Profil ve Parça Ölçüleri



Şekil 4.2. (a) Feder Yapısı Eklenmemiş ve Eklenmiş Çizimler

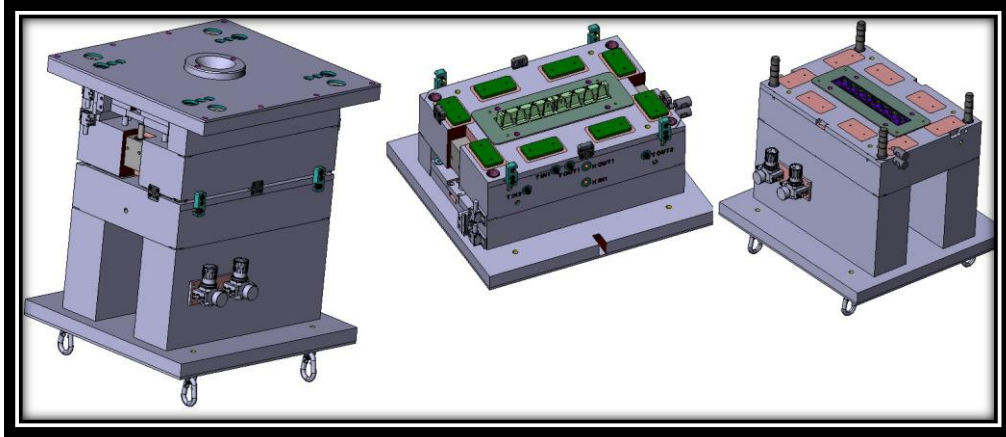
(b) Enjeksiyon İle Eklenecek Feder Yapısı



**Şekil 4.3.** Nihai Parça GörSELLERİ

#### 4.2.2. Test Barı Kalıp Tasarımı

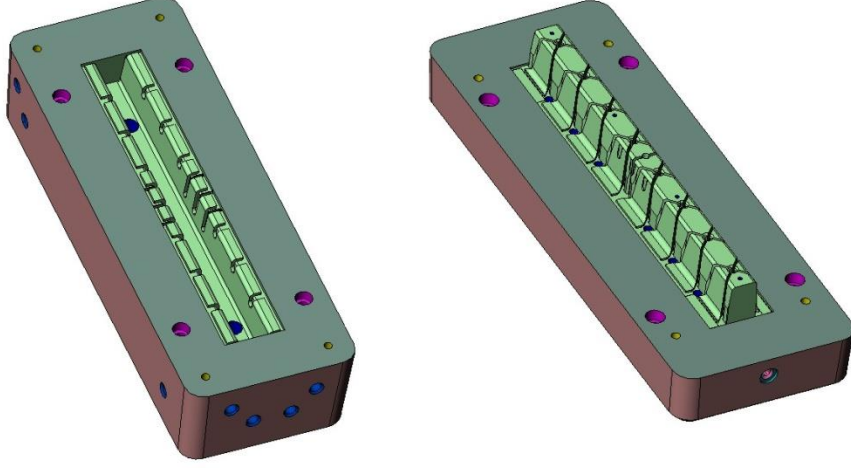
Üretilen kalıp geleneksel plastik enjeksiyon kalıplarından farklı bir yapıdadır. Tasarlanan parçanın özelliklerine bağlı olarak, parçanın dört farklı kalınlıktaki SETK levhalar ile üretiliyor olması neticesinde modüler yapıda bir kalıp tasarlanmıştır. Kalıp enjeksiyon işlemi öncesi kapanma hareketi ile ısıtılmış SETK levhaya “U” profil şekli vereceğinden, kalıbın hareketli kısmı dört farklı kalınlığa sahip lokmalı sistem ile üretilmiştir. Enjeksiyon işlemi ile kaburga eklenecek kavite ise sabit tarafta olacak şekilde tasarlanmıştır.



**Şekil 4.4** Test Barı Kalıbı GörSELLERİ

Farklı levha kalınlıkları ile çoklu prosesi gerçekleştirebilmek amacı ile kalıbın hareketli kısmı modüler yapıda olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarım sayesinde dört farklı kalıp imal etmek yerine tek kalıp imalatı gerçekleştirilmiş olup, farklı bir kalınlıkta test numunesi imal etmesi istenildiği takdirde sadece kalıbın çekirdek kısmı değiştirilecek olup zamandan ve ekstra kalıp maliyetinden tasarruf imkanı sağlanmıştır.

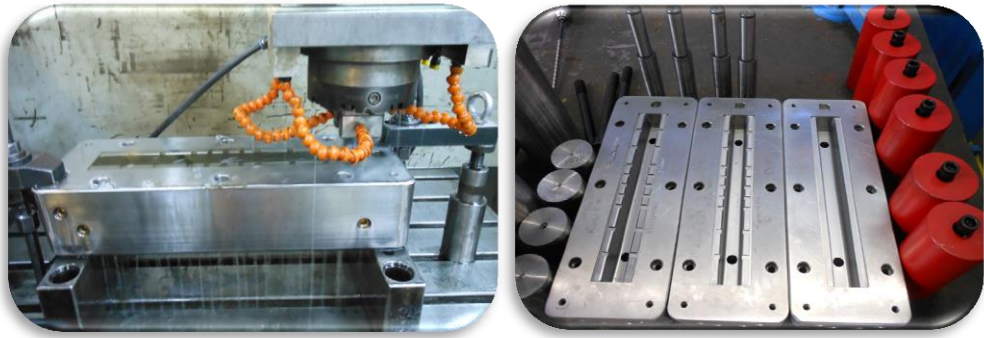
İmal edilen modüler çekirdeklerden dişi ve sabit taraf çelikleri Şekil 4.5’de sunulmuştur.



**Şekil 4.5** Dişi ve Sabit Çekirdek Çelikleri

Çoklu kalıplama prosesi çevriminde, ısıtılarak yumuşatılmış levhanın sıcak şekillendirilme aşamasında robot aracılığıyla kalıba transfer edilmektedir. Kalıp içerisine transferi gerçekleştirilmiş levha kalıbın kapanma hareketinden önce sabitlenmelidir. Eğer bu sabitleme işlemi gerçekleştirilemez ise kalıp zarar görebilir. Kalıp tasarımı sırasında sabitleme ile ilgili çalışmalar neticesinde, kalıbın açık olduğu konumda robot tarafından getirilen ısıtılmış levhanın sabitlenmesi üzerine basit sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Kalıp imalat süreçleri proje ile desteklenen bu çalışmada proje ortağı olan Farplas Oto Yedek Parçaları İml. ve İtl. A.Ş. kalıphanesinde işlenmiştir. Kalıp imalat süreçlerindeki görseller Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



**Şekil 4.6** Kalıp İmalat Sürecinden Görseller

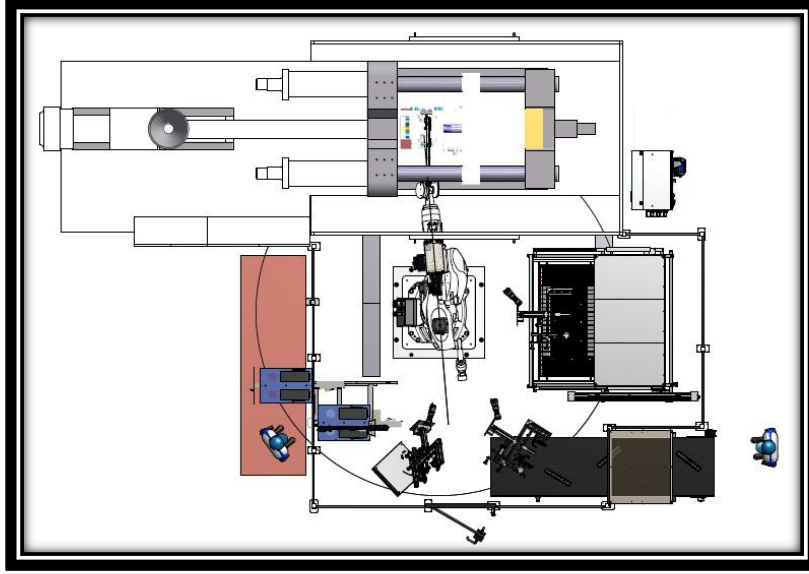
### 4.3.Sürekli Elyaf Takviyeli Kompozit Levhaların Çoklu Kalıplama Proses Hattı “FiberForm” ve Teknolojisinin Tanımı

“Fiberform” teknolojisi ismini ticarileştiren ve teknolojiye bu ismi veren, Almanya kökenli başta enjeksiyon alanında lider bir firma olan ve teknoloji firması olarak geçen “Krauss Maffei” şirkettir. Diğer firmalar ise kendileri bu teknolojiye başka isimler vererek piyasada pazar payı oluşturmaktadırlar. Termoplastik matrisli levhaların ısıll şekillendirme yöntemleri, SETK levhalara sadece kabuk yapısında bir form kazandırırken, oluşturulmak istenen parçanın detay yapıların oluşturulmasında yetersiz kalmaktadır. Bu noktada, plastik enjeksiyonda çoklu kalıplama tekniğı (overmolding) kullanılarak geliştirilen parçalarda, termoplastik SETK malzemenin sahip olduğı yüksek mekanik dayanım ve enjeksiyonla üretim tekniğı ile oluşturulabilen detaylı yapı avantajı bir arada sunmaktadır. (49-50) Çoklu kalıplama tekniğı, tasarlanan parça boyutuna göre ölçülendirilmiş SETK levhanın ısıtılması, ısıtılan levhanın enjeksiyon kalıbı vasıtasıyla ön şekil verilmesi ve ardından üzerine enjeksiyon işlemi ile detay yapılarının eklenmesi adımlarını içeren bir süreçtir. Bu süreci oluşturan teknolojinin adı ise “FiberForm”dur. (49-51)



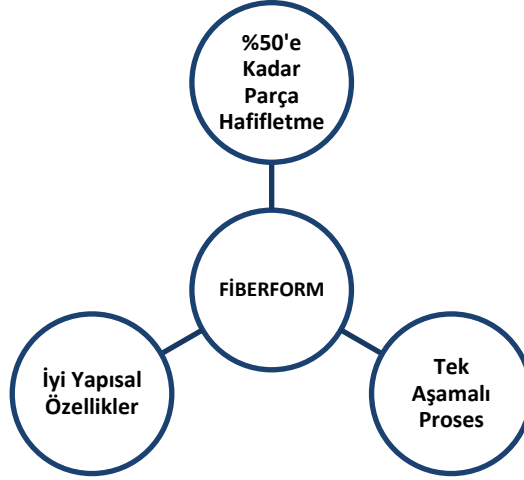
**Şekil 4.7.** FiberForm Prosesi İle Üretilen Örnek Parçalar

Bu çalışmada üretimin yapıldığı hattın üstten çizilmiş teknik resmi Şekil 4.8’de verilmiştir. Bu hattın en değerli avantajı ise seri üretime uygun parça üretmesi ve çok fazla bileşenin tam otomasyon ile entegre oluşu ve çevrim sürelerinin çok kısa olması ve teknolojinin günümüzde trend olmasının en önemli özellikleri arasındadır.



**Şekil 4.8.** FiberForm Hattının Üstten Teknik Resmi

Fiberform ile elde edilen çıktılar başta otomotiv dünyası olmak üzere bir çok endüstrinin yüzünü güldürmüştür. Bu hat üzerindeki çalışmalar son derece devam etmektedir.



**Şekil 4.9** FiberForm Hattının Sağladığı Avantajlar (52)

#### **4.4. FiberForm Proses Hattı İş Adımları**

Çoklu kalıplama prosesi hattında iş istasyonlarını tanımak çok önemlidir. Proses hattı iş istasyonlarını, 6 (altı) ana bileşen olarak ayırabiliriz. SETK levhanın hattın çekmece istasyonundan beslenip, konveyörden alınmasına kadar geçen sürede levha toplamda altı ana bileşen ile temas durumundadır. Kısaca bu istasyonları tanıyalım.

“FiberForm” ’a ait tüm istasyonların ve altı eksenli robotun bir enjeksiyon makinesiyle elektronik olarak haberleşmesi aracılığıyla çoklu kalıplama prosesini gerçekleştirmektedir.

#### 4.4.1. Magazin (Çekmece)

Fiberform teknoloji ile üretilmesi istenen parçanın geometrisine uygun olarak kesimi yapılmış sürekli elyaf takviyeli kompozit levhaların hat beslemesi için yerleştirildiği çekmece diye de isimlendirilen Şekil 4.10’da gösterilen bileşendir. Magazin (çekmece) hattın diğer bir bileşeni olan KUKA robot ile haberleşerek kendisinde levhanın var olduğu bilgisini sensör teknolojisi ile gönderen özel imalat ile fiber form teknolojisine dahil edilmiş sistemin bir üyesidir.

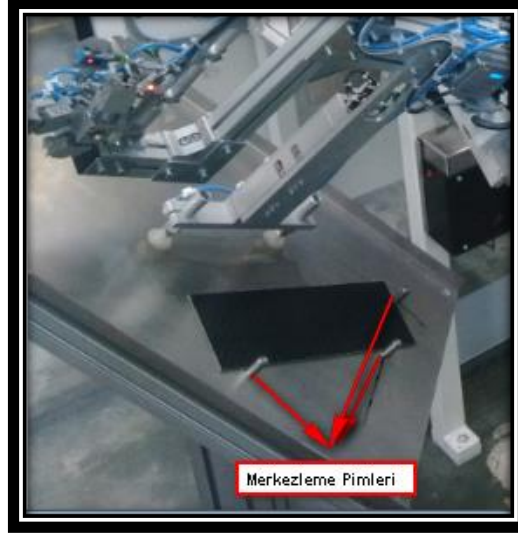


Şekil 4.10 Hücre Dışından ve İçinden Magazin Görşeli

Magazin (çekmece) sisteminde, üretim esnasında sürekli besleme yapılabilmesi için emniyet devre dışı bırakılmıştır.

#### 4.4.2. Referanslama Tablası

Bu bileşende, magazin sisteminden alınan levhanın çok düzgün bir şekilde IR ısıtıcı sisteme taşınması ve akabinde kalıba götürülmesi sağlanır. Levhaların sürekli aynı şekilde taşınması çok kritiktir. Bu nedenle referanslama tablası sisteme dahil edilmiştir. Levhanın aynı şekilde taşınmaması kalıpta çok ciddi hasarlar oluşturabilir. Isıtılmış levhanın kalıp içine taşınması ve ardından kalıbın kapatılması ile şekil alması nedeni ile ufak bir merkezleme problemi kalıbın ezilmesine sebebiyet verebilir. Bu tablanın kullanılması, her defasın da levhanın tam kalıp içerisindeki boşluğa yerleştirilmesini mümkün kılar.



**Şekil 4.11.** Refranslama Tablası ve Merkezleme Pimleri.

Üretilen test tool parçası için kullanılan merkezleme pimleri yukarıdaki Şekil 4.11’de görülmektedir. Ancak farklı bir parça çalışılması istendiğinde merkezleme pimleri konumları parça geometrisine göre değişiklik gösterebilir. Referans tablası sensör teknolojisi ile parçanın tam oturduğu bilgisini sisteme göndermektedir.

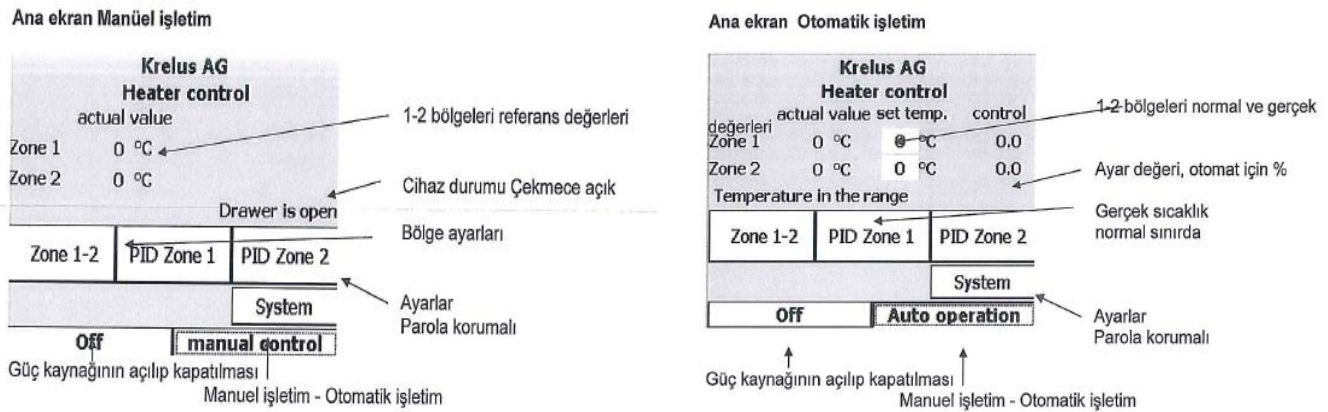
#### **4.4.3. İnfrared (IR) Isıtıcı Sitem**

Isıtma IR’in yalnızca kullanım alanlarından bir tanesidir. Tam bir ileri kompozit şekillendirme teknolojisi olarak ismini duyuran fiberform teknolojisi içinde, vazgeçilmez bir yer edinmiştir. Malzemenin istenilen çalışma sıcaklığı malzemenin bir çok özelliğini etkilendiğinden ısıtma fonksiyonunu yerine getiren ekipmanın maximum verim ve hassiyet özelliklerini kendinde barındırması çok önemlidir. Bu özellikler düşünüldüğünde, Fiberform teknolojisinde ısıtma prosesi için IR ısıtıcı sistem diğer ısıtma yöntemlerine göre tercih edilme sebebi olmuştur. Kullanılan IR sistem Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

Isıtıcı sitem, “Infrared Teknolojisi” ile üretilmiş ihtiyaca göre tasarlanmış sistem bileşenidir. Siemens S7-1200 ve KPT 400 ile ısıtma kumandası mevcuttur. İmlatçısı, Krelus Infrared firmasıdır. Sistem kontrol ünitesi ve IR fırından oluşmaktadır. Sıcaklık ayarlaması kontrol panelinden girilerek sağlanmaktadır.

IR sistemlerde istenilen sıcaklık değeri on-off döngüsü ile sabit tutulur. İstenilen sıcaklık değerine ulaştığında sistem kendini “off” yapıp istenilen sıcaklık değerinin altına düştüğünde “on” yaparak sıcaklığın hep aynı değerde kalmasını sağlar. On-off döngüsü çok hızlı bir şekilde sistemde vuku bulur. IR sistemde kullanılan özel metaller sıcaklığı en iyi şekilde transfer ederler.

Isıtıcı sistemin rolü fiberform teknolojisinde çok önemlidir. Isıtmanın verimsiz olduğu yada stabil olmadığı durumda bir çok problem yaşanma ihtimali vardır. Levhaların opsiyonlarına göre sıcaklık optimizasyonu değişmektedir. Manuel mod ile optimal sıcaklık değerlerini deneme imkanı söz konusudur. Manuel modda Isıtma sisteminde bekletilme süresi sizin müsaade ettiğiniz süredir. Optimizasyonu yapılan levha opsiyonlarının seri olarak üretilmesi otomatik mod ile gerçekleştirilir. Aşağıda kontrol ekranı ve IR fırının görselleri sunulmuştur.



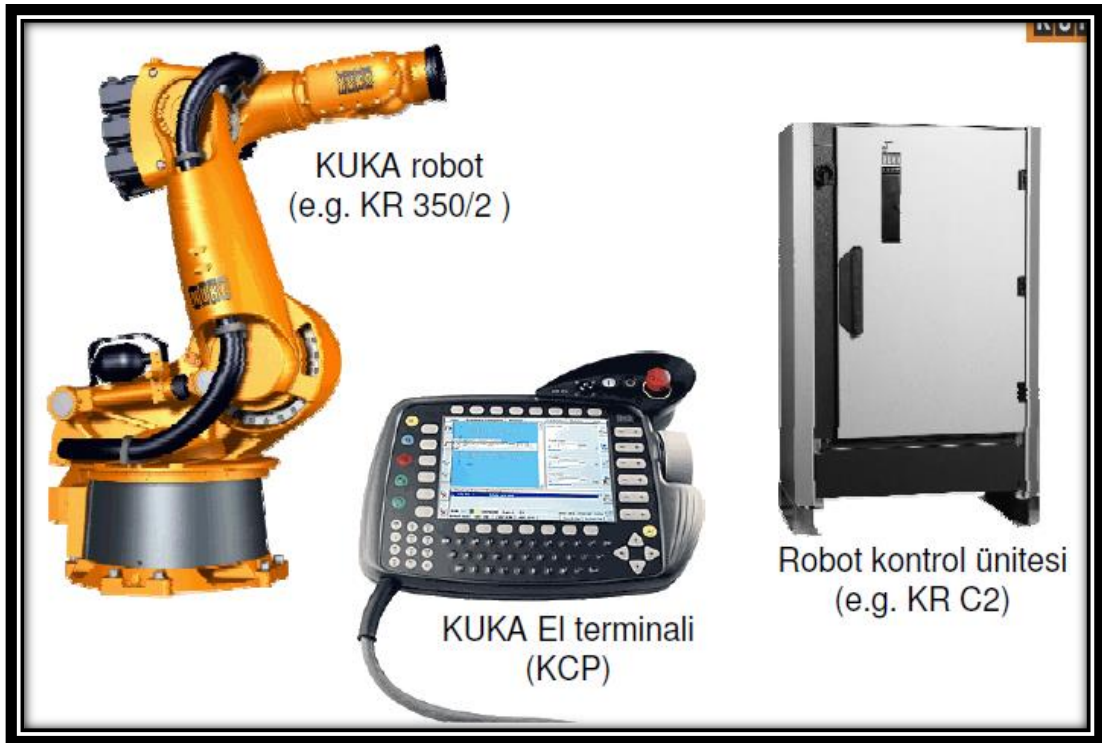
**Şekil 4.12.** İfrared Fırını Kontrol Ekran Görüntüleri (üstte),IR Fırın Görüntüsü

#### 4.4.4. Kuka Robot

Fiberform prosesinde işlemler arasındaki hız çok kritiktir. Adımlar arasındaki döngünün çok hızlı ve esnek olarak ilerlemesi, istenen nihai ürünün sağlam alınmasını beraberinde getirir. Anlatılan bu hız ve esnekliği sunan sınıfı arasında en iyi özelliklere sahip olan KUKA ROBOT fiberform teknolojisinde tercih edilmiştir.

Kullanılan robot Şekil 4.13’de gösterilmiş olup, Kuka’nın 6 eksenli, KR 120 R 2500 PRO modelidir. Teknolojide 6 eksenli robotun seçilmesinin nedeni, istasyonlar arasında bir çok iş yükünün olması ve var olan işin karşılanması için 6 eksene ihtiyaç duyulmasıdır. Sistemin her bir bileşeni çok önemlidir. Ancak robot, sistemi kontrol eden, sistemin gerekli iş adımlarını sırasıyla ve hatasız bir şekilde yapmasını sağlar. Sistem yazılımı, kullanılabilirliği, müdahale edilmesi ve anlaşılabilirliği konularında basit bir arayüze sahip olmalıdır. Kuka’nın kendi bünyesinde çalışan yazılım mühendisleri tarafından gerçekleştirilen yazması basit müdahale edilebilirliği kolay KUKA SIM Fiberform teknolojisi içinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Kuka Robot, robot, kontrol ünitesi ve kontrol paneli kısımlarından oluşmaktadır. Robot ile ilgili detay bilgiler vermek faydalı olacaktır. Robota ait teknik veriler ve genel bilgilendirmeler aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 4.13. Kuka Robot Sisteminin Komponentleri

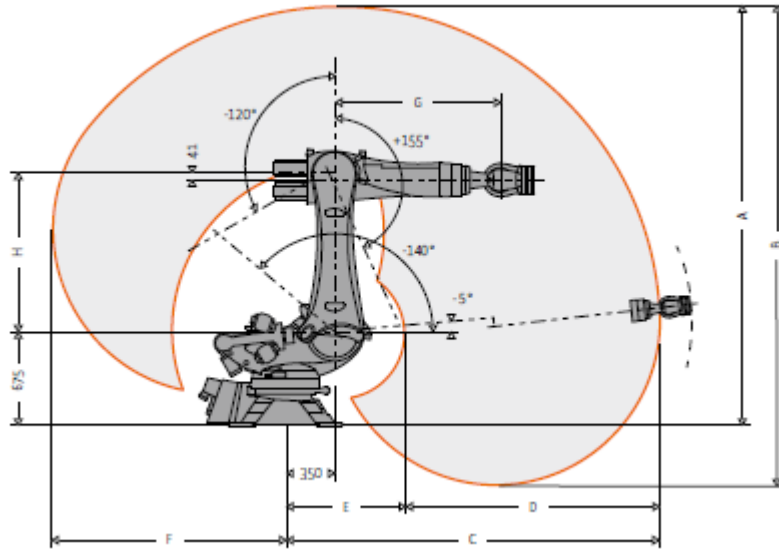
Kuka Robotun Avantajları ;

Aşağıda Şekil 4.14’de görüldüğü gibi kuka’nın avantajları kullanımını kolaylaştırmaktadır.



Şekil 4.14. Kuka Robot’a ait görüntü

Çalışma alanı <sup>1)</sup>	Ölçüler A	Ölçüler B	Ölçüler C	Ölçüler D	Ölçüler E	Ölçüler F	Ölçüler G	Ölçüler H	Hacim
KR 120 R2500 pro	2.826 mm	3.051 mm	2.496 mm	1.699 mm	797 mm	1.532 mm	1.000 mm	1.150 mm	55 m <sup>3</sup>



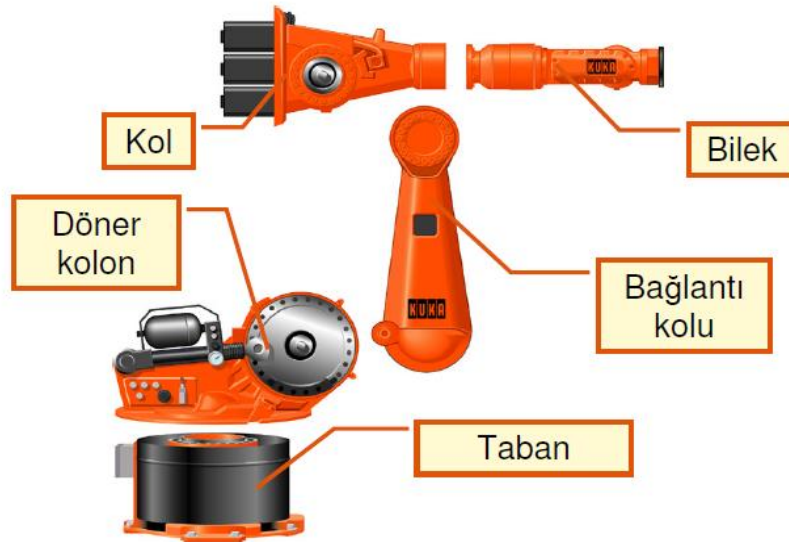
Şekil 4.15. Kuka robotun çalışma alanını gösterir çizim.

Sitemde kullanılan robot KRC4 kumandadır. Çeşitli programlama dillerine hakim olmakla birlikte, KUKA robot mekaniğiyle tam bir uyum içindedir. KR C4 ile birlikte, Safety Control, robot control, motion control, logic control ve Process Control gibi entegre tüm kontrol sistemleri ortak bir veri temeline ve alt yapıya sahip olur ve bunları akıllıca kullanabilir.



Şekil 4.16. KR C4 Kumanda / Kontrol Kabini Görüntüsü.

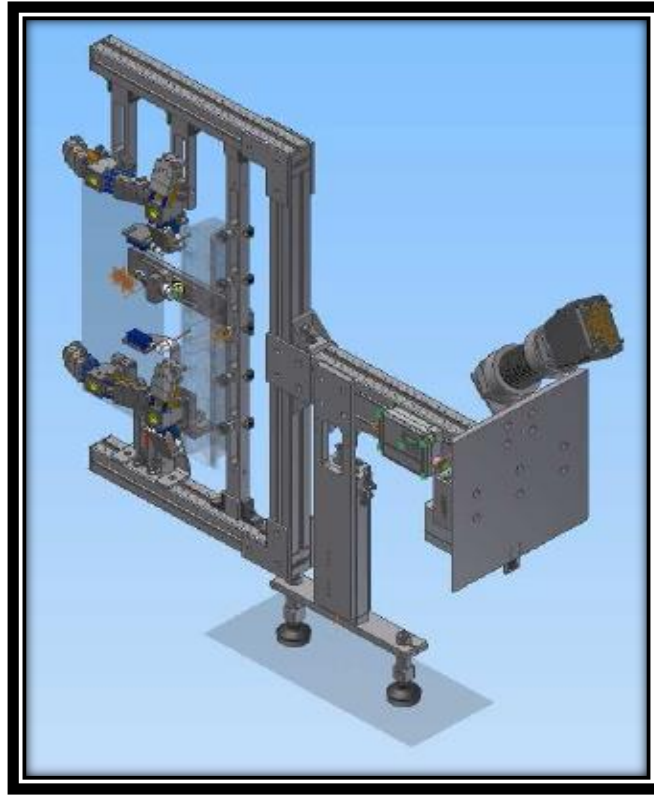
Kuka robotun mekanik yapısı Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Kuka Robotun Mekanik Aksamaları(53)

#### 4.4.5. Robot Eli (Gripper)

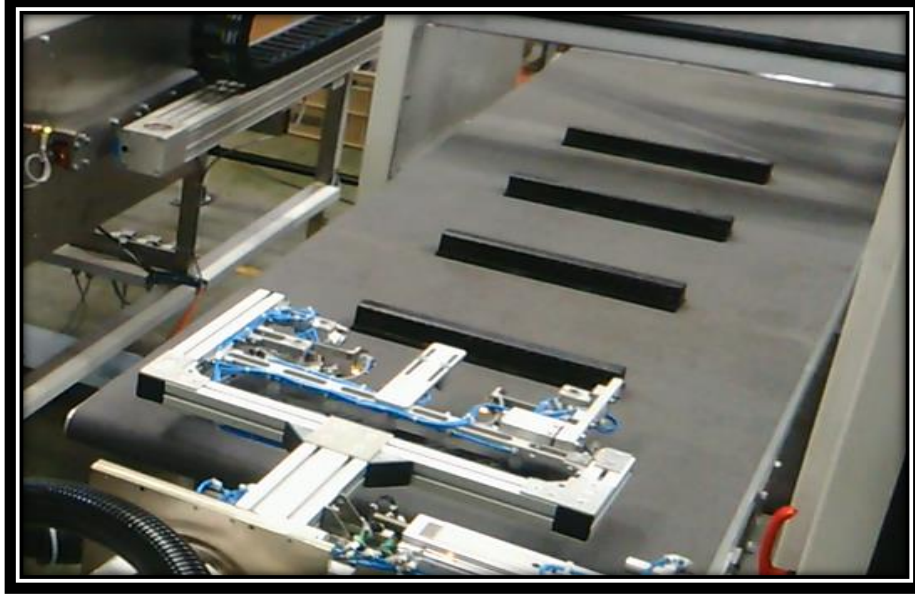
Proses iş istasyonlarına parçanın taşınma işlemi robot eli ile gerçekleştirilmektedir. Sisteme ilk yüklenen levhaların magazinden alınıp, infrared sisteme konulması işlemine kadar robot elindeki vantuz sistemi ile gerçekleştirilebilir. Ancak infrared de yarı ergiyik hale gelen levhanın vantuz ile taşınması söz konusu değildir. Bu nedenle robot elinin özel bir şekilde dizayn edilmesi şarttır. Fiberform hattında kullanılan robot eli özel tasarlanmış hem vantuz sistemi hem de yarı ergiyik haldeki levhayı kalıba transfer edebilmesi için çelik iğnelerle dizayn edilmiş bir mekanizmaya sahiptir. Şekil 4.18’de resmi gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Örnek Robot Eli Tasarımı

#### 4.4.6. Ürün Konveyörü

Isıtılan levha, robot elinin iğneli kısmı ile kalıp içerisine transfer edildikten sonra, kalıbın kapanması ile levhanın açık profil haline dönüşmesi, ardından, enjeksiyon işlemi ile çevrim tamamlanmasına müteakip biten ürün konveyör üzerinden kapalı alan dışına taşınır. İş güvenliği sebebi ile altı eksenli robotun çalışma sahasında herhangi bir operatör bulunmaması gerektiğinden üretim çevrimi tamamlanmış parça konveyör yardımı ile çalışma sahası dışına taşınmaktadır. Şekil 4.19’da görüldüğü üzere kumaş özel bir keçe tarzı kumaş olup yüksek sıcaklıklarda çalışabilir bir malzemedir.



**Şekil 4.19.** Ürün Konveyörü

#### **4.4.7. Enjeksiyon Makinası**

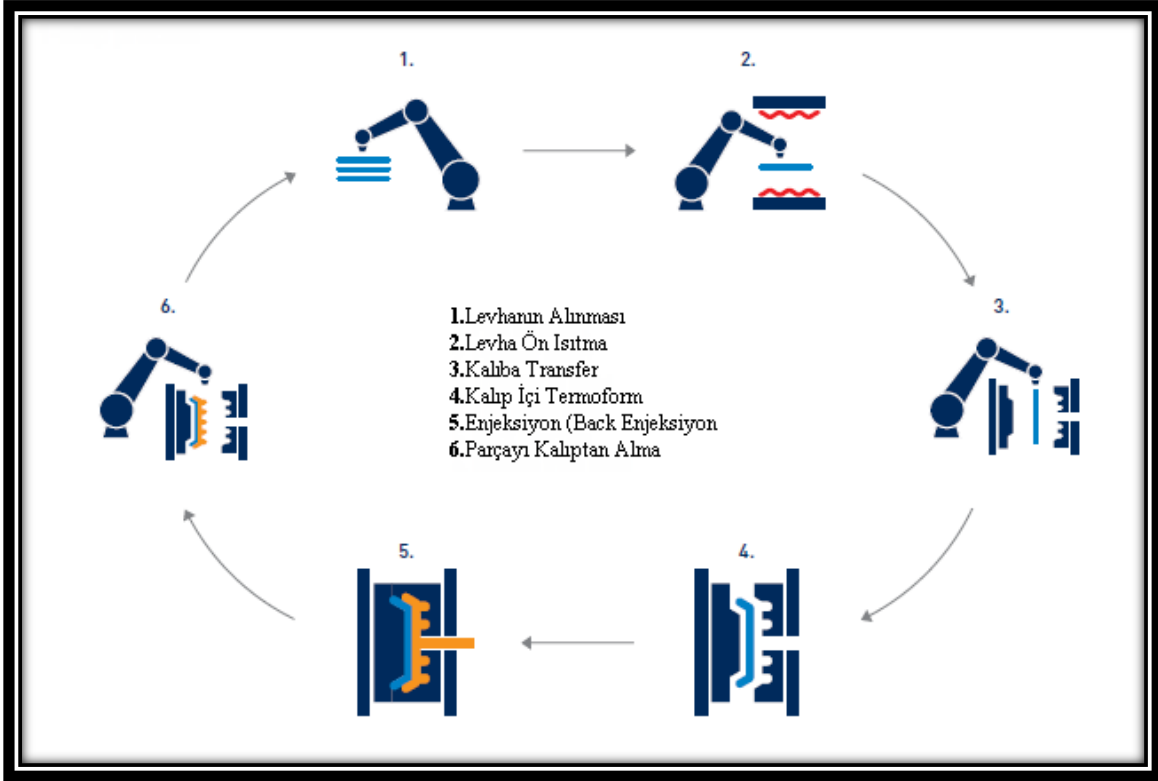
“FiberForm” ’a ait tüm istasyonların ve altı eksenli robotun bir enjeksiyon makinesiyle elektronik olarak haberleşmesi aracılığıyla çoklu kalıplama prosesini gerçekleştirmektedir. FiberForm hattının elektronik olarak bağlanacağı enjeksiyon makinesinin seçimi, enjeksiyon makinesinin kapama gücü tonajı, tasarlanan parçanın büyüklüğü ve şekillendirilmiş levha üzerine yapılacak enjeksiyon işleminde eklenecek yapıların toplam gramajı dikkate alınarak yapılmaktadır.



**Şekil 4.20.** Enjeksiyon Makinası

#### 4.5. Fiberform Proses Adımları ve Tam Çevrim

Çoklu kalıplama prosesi temel olarak 6 (altı) adımda anlatılabilir. Şekil 4.21’de şematik olarak verilen bu adımların her birinde yapılan işlem kısaca tanımlanmıştır.



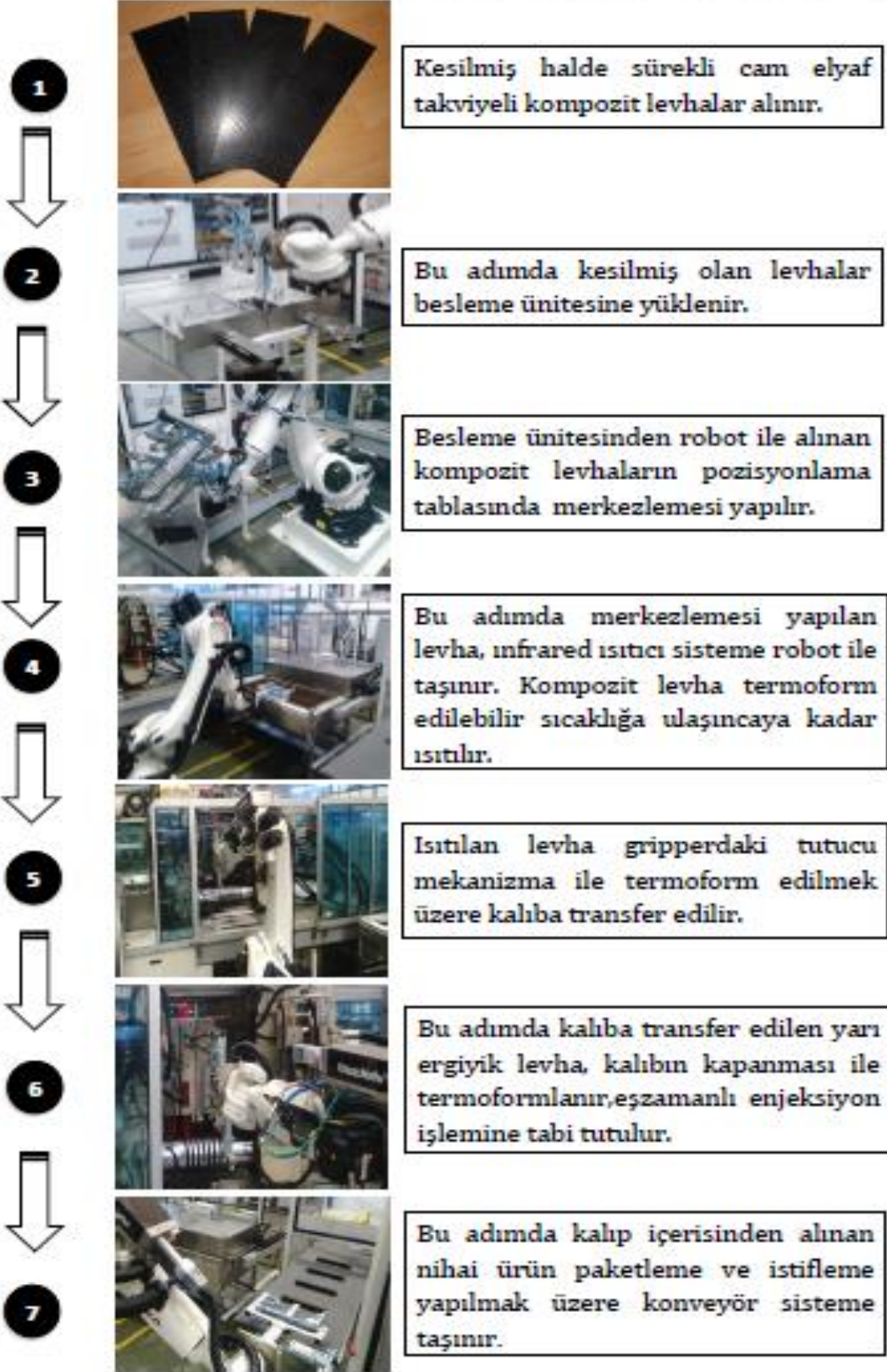
Şekil 4.21. Çoklu Kalıplama Proses Adımlarının Şematik Gösterimi

Yüksek hacimli parça üretimlerinde montaja hazır çok geniş aralıkta üretim imkanı sağlayan çoklu kalıplama yöntemi aynı zamanda maliyette rekabetçi bir teknolojidir. (54)

Çoklu kalıplama teknolojisinde fiberform uygulamasında çok fazla değişken vardır. Bu değişkenlerin hepsine çok iyi hakim olmak ve prosesi çok iyi anlamak gerekir. Bu kadar değişken ile çalıştırılan sistemde bu yetkinliğe sahip olmak oldukça profesyonellik gerektirmektedir.

Aynı zamanda bu proses adımlarında prosesi optimize etmek bir çok değişkene müdahale etmek demektir. Aşağıda 4.6 başlığı altında proses optimizasyonu konusu detaylandırılmıştır.

## FIBERFORM TEKNOLOJİSİ PROSES ADIMLARI



Şekil 4.22. FiberForm Teknoloji Proses Adımları

Yukarıda görülen proses akışından da anlaşılacağı gibi konveyör dahil 7(yedi) adımda proses tamamlanır. Proses adımları birbiri ile entegre olarak ve otomatik mod ile çalışır. Zaman kavramı bu proses için son derece önemlidir. Magazin Sistemine el ile levha beslemesi yapılmaktadır. Magazin de levha kalmaz ise tam otomasyon sistemiyle donatılmış bu proses de robota giden sinyal neticesinde robot magazin önünde besleme yapılanaya kadar bekler. Besleme yapıldığı bilgisi geldiğinde ise otomatik olarak çalışmaya devam eder. Gripper tarafından vakum yardımı ile alınan levha referanslama ile sürekli aynı noktalardan ta ki kalıbına yerleştirilene kadar götürülmesini sağlar.

Refranslama noktasından alınan levha infrared ısıtıcıya taşınır. Kızak (sürgülü) sistem ile tasarlanan IR ısıtıcıya yerleştirilen levha, türüne bağlı olarak önceden saptanmış IR parametrelerine setlenmiş sistem sürgü ile üst bölge kapanır ve ısıtma başlar. Yukarıda bahsedildiği üzere zaman çok kritik bir parametredir. Isıtıcı da optimal bir ısıtma gerçekleştirmediğiniz her bir çevrim IR sistemden sonraki kalıp adımında büyük maddi riskleri beraberinde getirir. Buna karşın hücrede robot eline özel bir ısı ölçer ilave edilmiş olup, levhanın formlama sıcaklığından çok farklı bir sıcaklık değerine ulaştığında el levhayı kalıba transfer etmez.

IR sistem parametrelerinde kullanılan değerler levha matris malzemesinin işleme sıcaklığına yakın değerlerdir. Bu değerler IR sistemin manuel olarak kullanılması ile optimize edilmiş değerlerdir. İyi optimizasyon edilmemiş parametrelerin doğurduğu en büyük tehlike kalıbın ezilme tehlikesidir. IR sistemde gripperın özel yapılmış mekanizması ile kalıba taşınan levhanın gidiş hızı saniyeler belki de milisaniyeler ile olmaktadır. Çünkü plastiklerin thermoform ile şekillendirilmesi camsı geçiş sıcaklığının (Tg) üstün de bir sıcaklıkta gerçekleşir. Bundan dolayı IR sistemde kullanılan değerlerde Tg sıcaklığının üstünde Erime Sıcaklığı (Tm) sıcaklığının altında değerlerde olmalıdır.

Kalıp bu proses için özel tasarlanmış olup, oldukça iyi çalışılması ve fizibilitesi yapılması gereken bir konudur. Kalıbın tasarımı parça geometrisine, kullanılan malzemeye göre değişiklik gösteren diğer bir fonksiyondur. IR sistemden taşınan levhanın şekillenmesi için kalıbın olabildiğince, robot elinin (gripper) çıkmasına müteakip en kısa sürede kapanması istenmektedir. Levhanın kalıpta durabilmesini sağlayan bir mekanizmanın kalıba entegre edilmesi şarttır. Bu proses de kalıbın spesifik hale dönüşmesini sağlayan en önemli unsur levha tutucu mekanizmadır.

Soğutma kanallarının çok iyi şekilde yerleştirilmesi enjeksiyon kalıplarında olduğu gibi istenen en önemli konulardan biridir. Sitemin bir kompleks olarak her adımda istediği hassasiyet tüm sistemin ne kadar hassas olduğunu ortaya koyar.

Kalıba entegre edilecek mekanizmalar doğrultusunda hidrolik veya pnomatik bağlantılara gerek duyulabilir.

Levhanın, kalıbın kapanmasından önceki adımda ihtiyaç duyduğu kalıpta asılı kalma işlemi pnömatik sistem ile çalışan ileri pimler ile sağlanmıştır. Yapılan deneme ve seri üretim şartlarına uygunluğunda olumlu sonuçlar alınmıştır. Enjeksiyon prosesin de içinde olduğu Fiberform prosesinde enjeksiyon makinesi kullanımı geleneksel enjeksiyon proseslerinde ki ile çok benzemektedir. Buradaki en önemli nokta Fiberform prosesinin entegre edileceği enjeksiyon makinasında ;

\*Haberleşme Sistemi (Euromap entegrasyonu)

\*Kovan, Vida Sisteminin uygunluğu, dikkat edilmesi gereken başlıca konulardandır.

Üretimin yapılacağı tesisteki donanıma bağlı olarak , kalıp için ek su ısıtma ve soğutma sistemlerine ihtiyaç duyulabilir. Kalıplarda kullanılacak levhaların matrisine bağlı olarak kalıp sıcaklıkları 40°C ile 80°C arasında değişiklik gösterebilir.

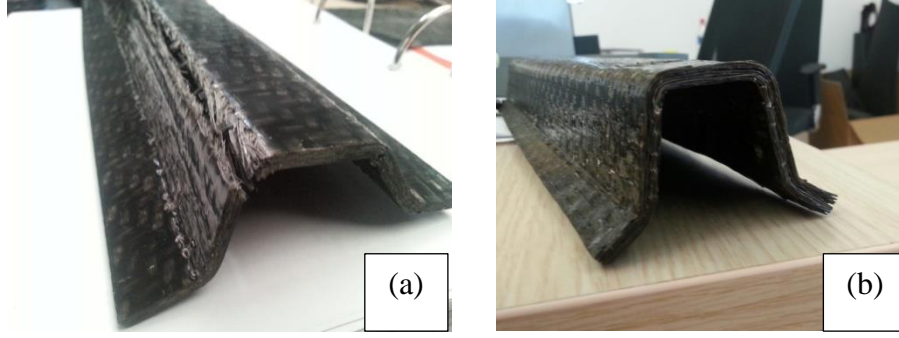
#### **4.6. Proses Optimizasyonu Önemi ve Oluşan Hatalar**

Optimizasyon sürecinde, çoklu kalıplama prosesinden elde edilen test numune parçasının özelliklerini etkileyen parametre çalışmaları yürütülmüştür. Proses optimizasyon çalışmaları sürecinde çalışılan parametreler ve etkilediği faktörler şunlardır:

##### **4.6.1. Infrared Isıtma Sıcaklığı ve Süresi**

SETK levhanın sıcak şekillendirilebilmesi için optimal sıcaklık ve süre ayarı en kritik parametrelerden biridir. Laboratuvar çalışmaları sırasında tespit edilen vicat yumuşama sıcaklığı referans alınarak çalışmalara başlanmıştır. Isıtma sisteminin vicat deney düzeneğinden farklı olarak IR ile sağlanmasından dolayı ısıtma süresinin optimizasyonu için önem arz etmiştir.

IR ile ısıtmanın hızlı bir şekilde olması neticesinde uzun ısıtma sürelerinde SETK levhaların yanmasına sebebiyet vermiş olup, kısa ısıtma sürelerinde ise levhanın şekillendirilirken deforme olduğu gözlemlenmiştir.



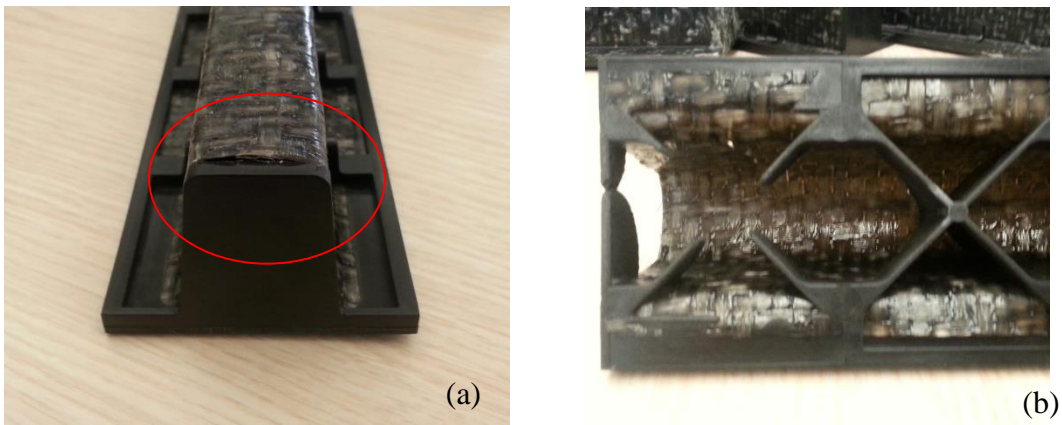
**Şekil 4.23.** (a) Yeterli Sıcaklık Değeri ve Isıtma Süresi Gerçekleşmemiş Parça.  
(b) Yeterli Sıcaklık Değeri ve Isıtma Süresi Gerçekleşmiş Parça.

#### 4.6.2. Enjeksiyon Basıncı ve Sıcaklığı

SETK levhanın optimal ısıtma sıcaklığı ve süresi tespitinin ardından enjeksiyon fazında etkili olabilecek parametrelerin tespiti adına çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, enjeksiyon ile enjekte edilen ergiyik plastiğin sıcaklığı ve enjeksiyon basıncının eklenen yapıların levha ile bütünleşmesini etkileyen kritik temel parametre olduğu saptanmıştır.

Enjeksiyon sıcaklığının düşük olması, enjekte edilen malzemenin kalıp yüzeyinde tam ilerlememesine ve levhanın ihtiva ettiği matris fazı ile yapışma derecesini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Enjeksiyon ve tutma basıncının düşük olması ise enjekte edilen ergiyik plastiğin levha içerisine nüfuziyet derecesini düşürdüğü ve eklenen geometrinin levha ile tümleşik bir yapı oluşturamadığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.24.** (a) Düşük Enjeksiyon Sıcaklığı İle Yaşanan Yapışmama Problemi  
(b) Düşük Enjeksiyon Basıncı İle Yaşanan Nüfuziyet ve Kalıbın Doldurulamaması Problemi

## 5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan test barı parçasının tasarımına girdi sağlamak için proje başlarında test barının üretildiği levhalara bir takım analizler yapılmıştır. Test barı parçasına ise yapılan deneysel çalışmalar aşağıda anlatılmıştır.

### 5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

#### 5.1.1. Polipropilen Matrisli Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Kompozit

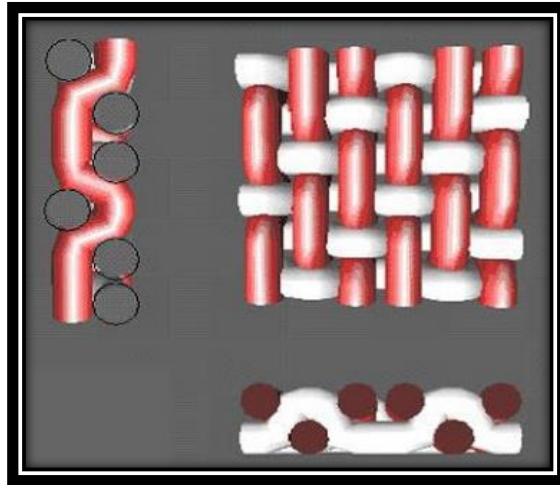
##### Levhalar

Sürekli cam elyaf takviyeli PP matrisli levhalar üzerinden alınan numuneler ile malzeme karakterizasyonu ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aşağıda yer alan tabloda levhaların özellikleri belirtilmiştir.

**Tablo 5.1.** Kullanılan Levha Tanımlamaları ve Özellikleri

Matris	Elyaf Oryantasyonu	Elyaf Takviye Türü	Elyaf Takviye Oranı	Levha Kalınlığı
PP	Dokuma (dimi 2/2)	Cam Elyaf	47%	2 mm
PP	Dokuma (dimi 2/2)	Cam Elyaf	47%	4 mm

Kullanılan levha dokuma şeklinde elyaf ihtiva eder. Kompozit levhalardaki dokumalar çok farklı geometrielerde dokunabilirler. En yaygın kullanılan dokuma tipleri bezayağı, dimi, saten örgü dokumalarıdır. Bu çalışmada kullanılan levhaların dokuma stili dimi 2/2 örgüsüdür.



**Şekil 5.1.** Dimi 2/2 dokuması (55)

Bu çalışmanın aynı zamanda Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından San-Tez projeleri kapsamında desteklenmesinden dolayı gizlilik nedeniyle, kullanılan levhaların ticari isimleri paylaşılmamıştır.

### **5.1.2.Kısa Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Granül**

Levhanın ısıtılarak kalıp içerisine transferinden sonra, gerçekleşen enjeksiyon işlemi için %30 cam elyaf takviyeli polipropilen kullanılmıştır. Bu kafes yapının daha sağlam olması adına takviyesiz PP hammadde yerine cam elyaf takviyeli hammadde kullanılmıştır. Levhada oluşturulan kafes yapısı ve feder eklentileri mutlaka levha matrisine uyumlu bir hammadde olmalıdır. Kullanılan hammaddenin ticari ismi gizlilik sözleşmesi nedeni ile paylaşılmamıştır. Kullanılan hammadde ile ilgili karakterizasyon analizleri yapılmıştır. İlgili hammadde polipropilen hammadde ve kısa cam elyafın karışımı ile ekstrüder ile elde edilmesi ile üretilmiştir.

## **5.2. Analiz Çalışmalarında Kullanılan Teçhizatlar**

Sürekli cam elyaf takviyeli PP levhaların analizlerinde kullanılan teçhizatlar alt başlıklar halinde sunulmuştur. Uygulama yöntemleri ve analiz mantığı da anlatılmıştır.

### **5.2.1. Termal Analiz**

PP kompozit levhaların ısı altındaki davranışlarını analiz etmek için ısıl deformasyon testleri ve vicat yumuşama sıcaklığı analizleri uygulanmıştır.

#### **5.2.1.1.İsil Deformasyon Sıcaklığı (HDT) ve VİCAT Yumuşama Sıcaklığı**

Vicat yumuşama sıcaklığı testi, plastik malzemelerin sabit yük altında yumuşama sıcaklık dayanım noktasının tespiti işleminde kullanılır. Deney düzeneği sabit sıcaklıkta bir yağ banyosu ve ucunda düz iğnesi olan bir batırma kolundan oluşmaktadır. Vicat yumuşama sıcaklığı testi ISO 306 standartına göre uygulanmıştır. 10 mm x10 mm boyutlarındaki 3 adet test numune cihaza yerleştirilmiştir. Numuneye uygulanan toplam yük 1000 gr.'dır. Bunun 67 gr. baskı kafasından, 70 gr. İse mikrometre baskı yayından kaynaklanmaktadır. Geri kalan 863 gr. İse ağırlık diskleri ile sağlanmıştır. Sistem 50 °C'de ısıtılmış yağ banyosunun sıcaklığı standartlarda genellikle 50 °C/saat belirtilen bir hızla arttırılır. 1 kg yükü batırılan iğnenin 1 mm<sup>2</sup> lik bir yüzeye 1 mm girdiği sıcaklık vicat yumuşama sıcaklığıdır. (56)

Isıl deformasyon sıcaklığı testi ise, plastik malzemelerin sabit yük altında deformasyona uğrama sıcaklık dayanım noktasının tespiti işleminde kullanılır. Testin uygulaması ISO 75'e göre gerçekleştirilmiştir. 80 mm x 10 mm boyutlarındaki 3 adet test numunesi cihaza yerleştirilmiştir. Cihazda mesnetler arası mesafe 64 mm olarak ayarlanmıştır. Numuneye uygulanan toplam yük 137 gr.'dır. Bu ağırlığın bileşenleri 67 gr. baskı kafası ve 70 gr. ise mikrometre baskı yayından meydana gelmektedir. Bu analiz ile elde edilen veriler test barını oluşturan kompozit levhaların termoform edilebilir sıcaklığı için bize yol gösterici olmuştur. (58)

Bu test işlemleri, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Malzemeler İşleme ve Karakterizasyon Laboratuvarında Devotrans marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.2. HDT/Vicat Test Cihazı

## 5.2.2. Mekanik Testler

### 5.2.2.1. Levhalara Uygulanan Eğme Testi

Sürekli Cam Elyaf Takviyeli kompozit levhaların ve proje ile ilgili üretimi yapılan test barı parçasına yük altındaki davranışları incelemek amacıyla, üç nokta eğme testleri uygulanmıştır. Levhalar üzerinden elde edilen numuneler, ISO 178 standartına göre Marmara Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Plastik karakterizasyon laboratuvarında bulunan Zwick Z010 marka universal test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Dokuma şeklinde sürekli cam elyaf takviyeli polipropilen matrisli levhalardan alınan numuneler ve kısa cam elyaf takviyeli enjeksiyon numunelerinin maksimum eğilme dayanımı tespit edilmiş ve birbirleri arasındaki farklar gösterilmiştir.

Deneyler 80x10 mm ebatlarındaki numuneler kullanılmış olup, destek açıklığı 64 mm olarak alınmıştır. (58)



Şekil 5.3. Üniversal Zwick Eğme Test Cihazı

#### 5.2.2.2. Çentiksiz Darbe Testi

Malzemenin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini belirlemek için yapılan bir test metodudur. Ani darbelere karşı dayanım yüksek olan malzeme seçimi, için malzemenin kopmaya karşı olan direnci darbe testi ile ölçülmektedir. Malzemenin ani darbelere karşı dayanımı, tokluğu ile yakından ilişki içerisinde. Tokluk bir malzemeyi kırmak için gerekli enerji miktarı olarak tanımlanabilir. Darbe deneyi süresince malzeme tarafından soğurulan enerji, malzemenin dayanımının ve tokluğunun bir ölçüsü olarak kullanılabilir.

Deneyin uygulamasında; belli uzunluktaki ( $l$ ) sarkıcın ucundaki belli bir ağırlığa ( $G$ ) sahip çekic belli bir yükseklikten ( $h_1$ ) numuneyi kırması için serbest bırakılmaktadır. Bu uygulamada ağırlık serbest bırakılmadan önce çekicinin potansiyel enerjisi " $G \times h_1$ " iken numune kırıldıktan sonra belli bir yüksekliğe ( $h_2$ ) çıkan çekicinin potansiyel enerjisi " $G \times h_2$ " olmaktadır.

Test numunesi ISO 179 ve ISO 180 standartlarında Tip 1A ve 1EU olarak tanımlanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test numunesi 80x10x4 mm ölçülerindedir.

Darbe test sonuçları ani uygulanan yük altında malzemenin kırılması için gerekli enerji miktarını,  $\text{kJ/m}^2$  cinsinden verir. Malzemelerin kırılma dayanımlarının tespiti için kullanılan Izod darbe testi; ISO 179 standartlarına göre levhadan kesilen numuneler 25 kJ'lük sarkacın düşürülmesiyle yapılmıştır. Darbe deneyi testlerinde Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunan Zwick marka cihaz kullanılmıştır. Aşağıdaki şekilde darbe test cihazı görselleri gösterilmiştir.(58)



Şekil 5.4. Zwick Darbe Test Cihazı

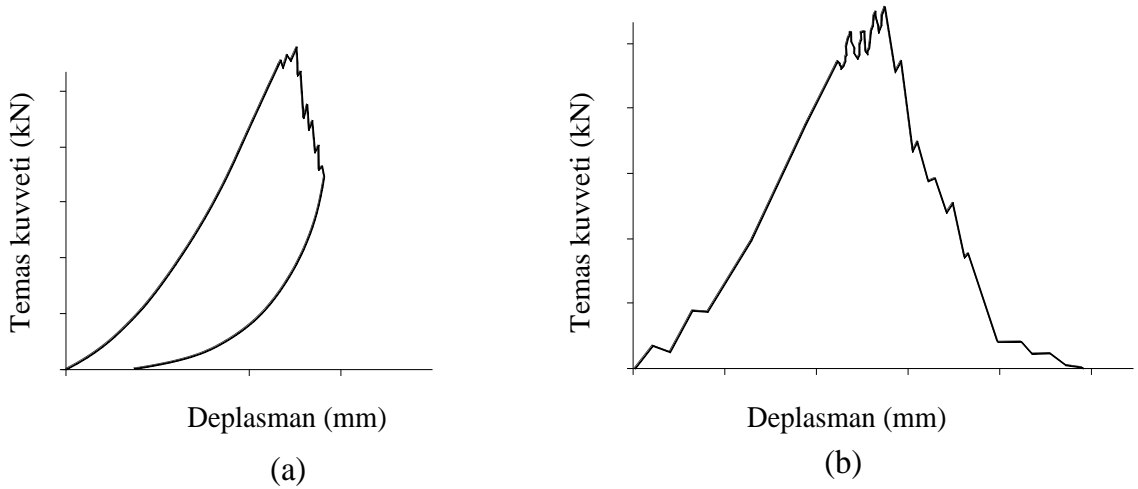
### 5.2.2.3. Ağırlık Düşürme Testi

Testler, ağırlık düşürme esasına göre çalışan CEAST-Fractovis Plus cihazında yapılmıştır. Aşağıda gösterilen testin uygulandığı cihaz ile küçük enerjilerden ( 2-3 J) büyük enerji ( 1800 J) değerlerine kadar test yapma imkanı vardır. Cihazın, ağırlığın numuneye çarptıktan sonra geri sıçrayıp (delinmeyen numuneler için ) tekrar ikinci (veya daha fazla) kez çarpmasını engelleyen bir mekanizması (anti-rebound system) mevcuttur.

Testlerde 12,7 mm çapında küresel uca sahip bir darbe ucu kullanılmıştır. Darbede düşürülen toplam ağırlık ( darbe ucu, load-cell vs dahil) 5 kg'dır. Enerji değişimleri vurucu kütlenin yüksekliği değiştirilerek sağlanmaktadır. Sistemde ayrıca yüksek enerjiler elde etmek için yay sistemi bulunmaktadır. Testlerde 100x100 mm boyutlarında onarılmış kare numuneler kullanılmıştır. Mevcut test cihazı ile numuneleri 76 mm çapında bir daire boyunca çepeçevre sabitleyerek test etme imkanı vardır. Vurucu ucun çarpma anındaki hızı bir hız sensörü ile ölçülmektedir.

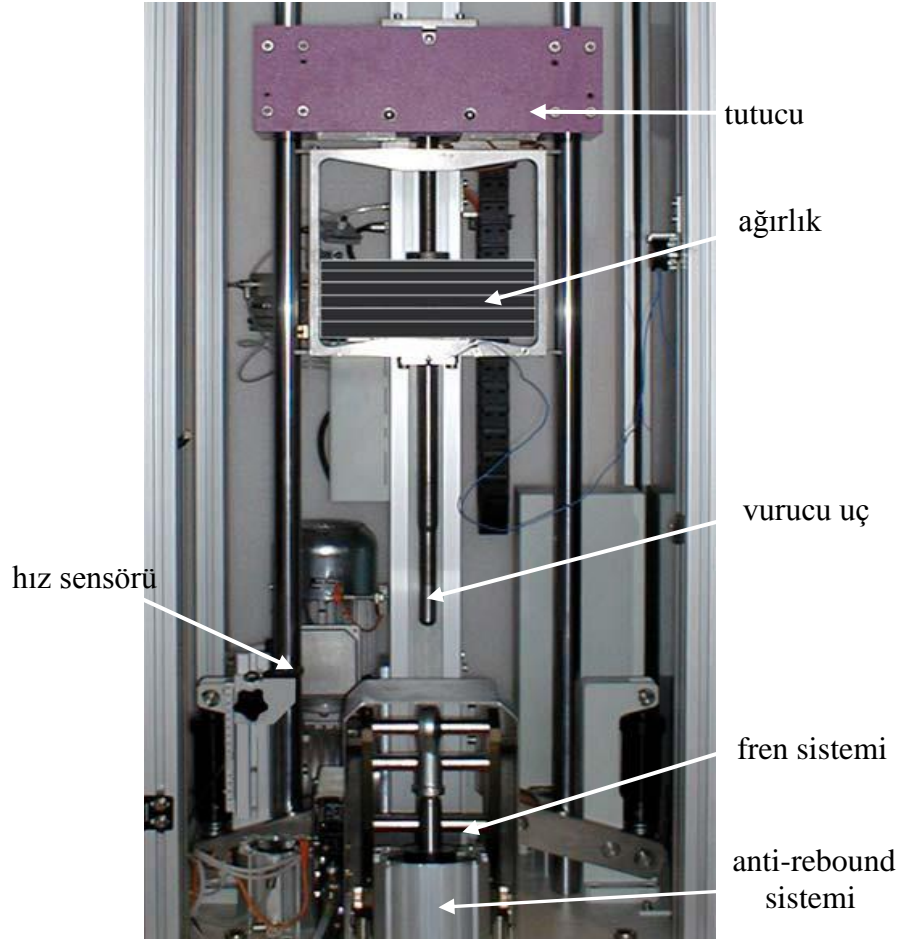
Darbe testinde; çarpan uca bağlı olan load-cell yardımı ile kuvvet- zaman eğrisi elde edilir. Daha sonra cihazdan ilgili datalar alınıp kinematik denklemler de kullanılarak (bir program vasıtası ile) çok çeşitli eğriler (kuvvet-deplasman, absorbe edilen enerji-zaman, hız-zaman, vb) ve veriler elde edilebilir. Darbe testlerini yorumlama da bu verilerden yararlanılabilir. Özellikle kuvvet-deplasman eğrileri darbe süresince malzeme cevabında meydana gelen değişimleri ve hasarları yorumlamak için çok önemli ipuçları içerir. Darbe enerjisi değerine bağlı olarak değişmekle birlikte, bu eğriler genellikle kapalı ve açık eğri olarak ortaya çıkar, Şekil 5.6'da bu grafikler gösterilmiştir.

Kapalı eğriler delinmemiş açık eğriler ise delinme eşiğindeki veya delinmiş numunelerin hasar mekanizmalarını temsil ederler. Bu eğrilerin altındaki alan (eğri ile yatay deplasman eksenini arasındaki alan) bize darbe olası süresince numune tarafından absorbe edilen enerji değerini vermektedir. Darbe enerjisi ise düşen ağırlığın serbest bırakılmadan önce sahip olduğu potansiyel enerji olarak ifade edilebilir.



**Şekil 5.5.** Tipik kuvvet-deplasman eğrileri; (a) kapalı eğri, (b) açık eğri

Ağırlık düşürme testleri İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mekanik Testler Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Aşağıda test cihazının görseli sunulmuş olup cihazı oluşturan mekanizmaların tanımı yapılmıştır.



Şekil 5.6. CEAST-Fractovis Plus test cihazının ana parçaları

### 5.2.3. Mikroyapı (SEM) İncelemeleri

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile malzemelerde yapılabilecek her türlü katkı ve faz değişimleri, metal-metal, iletken-yarı iletken, yarı iletken-yarı iletken tabakaların kontak yapıları, kristal yapıların kontak yapıları, karışım ve alaşım yapıları, biyoteknolojik numunelerin incelenmesi işlemleri yapılabilmektedir. Ayrıca; tozların, seramik ve diğer malzemelerin yüzey ve kesitlerinin; yüksek büyütme oranları ile morfolojik analizi için kullanılmaktadır.

Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) görüntü oluşumu; yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun detektörlere toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirilerek ekrana aktarılmasıyla elde edilir.

Analiz çalışmalarında kullanılan numuneler yaklaşık 10 nm kalınlığında %80 altın, %20 paladyum alaşımı ile kaplanmıştır. Mikroyapı analiz çalışmaları Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında bulunan ve aşağıda gösterilen Philips SC 7620 marka SEM cihazı ile kırılan yüzeylerin analiz fotoğrafları 2.5 kV gerilim altında çekilmiştir.



**Şekil 5.7.** Taramalı Elektron (SEM) Mikroskobu

#### **5.2.4. Test Barı Numunelerine Uygulanan Eğme Testleri**

Çoklu kalıplama tekniği ile kullanılarak üretilen test barı parçalarına üç nokta eğme testi uygulanmıştır. Eğme testleri, Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan ve aşağıda gösterilen 600 kN kapasiteli Dartec universal test cihazında gerçekleştirilmiştir.

Prototip test barı numunesi herhangi bir standarta uygun bir yapıda bir numune olmadığından deneyler sırasında baz alınan test hızı ve mesnet açıklığı mesafesi herhangi bir standartı baz alınarak seçilmemiştir. Deneyler sırasında makinenin sahip olduğu standart üç nokta eğme testi ekipmanları kullanılmış olup, mesnetler arası mesafe geniş tutularak eğme işlemi gerçekleştiren hareketli ekipmanın kompozit numune yüzeyini hasara uğratmaması sağlanmıştır.

Deneylerin uygulanması sırasında destek açıklığı 280 mm alınmış olup deney hızı 10 mm/dk olarak ayarlanmıştır.



**Şekil 5.8.** Dartec 600 kN Üniversal Test Cihazı ve Eğme Aparatı

## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Sonuç ve değerlendirme bölümünde, bu çalışmada kullanılan sürekli cam elyaf takviyeli polipropilen levhalara, test barı parçasına ve kafes yapısı ve federlerin oluşmasında kullanılan granül hammaddeye uygulanan testlerin sonuçları anlatılacaktır.

### 6.1. Isıl Deney Sonuçları

Vicat yumuşama noktası termoplastiğin yumuşamaya başladığı sıcaklığı verir. Vicat, termoplastik maddelerin ve bileşiklerin yumuşama özellikleriyle ilgili farklılıklarını tanımlamak için kullanılır. HDT ise maddelerin ısıya karşı dayanımları ve polimerlerin termal davranışları hakkında bilgi verir. Isıl deformasyon sıcaklığı belirleme testinde numune belirli hızda ısıtılan bir yağ banyosu içerisine konulur. Standartlarda belirtilen eğilme değerine ulaştığında, HDT sıcaklığına erişilmiş olunur. (57) Aşağıdaki tabloda üç farklı varyasyonda numunelerin Vicat ve HDT analiz sonuçları görülmektedir. Levha kalınlıkları baza alındığında HDT ve vicat yumuşama sıcaklık değerlerinde çok küçük değişiklik söz konudur. Ancak cam elyaf takviyesi oranını düşmesi ve kısa cam elyaf takviyeli matrislerde değerlerin düştüğü bariz bir şekilde gözükmemektedir.

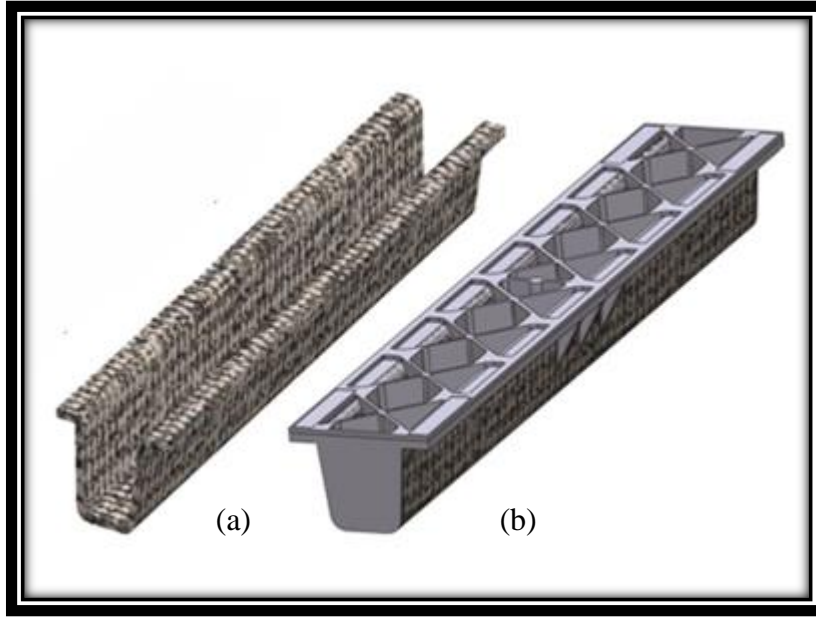
**Tablo 6.1.** HDT ve Vicat Yumuşama Sıcaklık Değerleri

Numune Türü	Numune Kalınlığı (mm)	Isıl Deformasyon Sıcaklığı (°C)	Vicat Yumuşama Sıcaklığı (°C)
% 47 Dokuma Cam Elyaf Takviyeli PP Levha	2	<b>165,2</b>	<b>171,3</b>
% 47 Dokuma Cam Elyaf Takviyeli PP Levha	4	<b>167,3</b>	<b>172,3</b>
% 30 Cam Elyaf Takviyeli PP Granül	4	<b>154,4</b>	<b>158,6</b>

## 6.2.Eğme Testi Sonuçları

Tez çalışması kapsamında , sürekli cam elyaf takviyeli polipropilen matrisli levhalardan üretilen test barlarının davranışlarını, maksimum eğme değerlerini ve bu kuvvetteki sehim değerlerini incelemek adına aşağıda detayları verilecek test uygulamaları yapılmıştır. Testlerde iki varyasyon kullanılmıştır. Uygulanan testler, final parça yani levhanın formlanması ve enjeksiyon işleminin yapılması ile elde edilen numuneler birde sadece formlama işlemine tabii tutulmuş, kafes yapısını oluşturan enjeksiyon fazının yapılmadığı numunelere uygulanmıştır.

Burada ulaşılmaması hedeflenen öğrenme noktası formlanmış feder yapısının eklenmediği levha ile kafes yapısının yani mekanik değerlerinin arttırılmasına yönelik feder yapısının enjeksiyon fazı ile ilavesinden sonra mekanik özelliklerde oluşan değişimi görmektir. Şekil 6.2'de formlanmış feder yapısının eklenmediği levha ile kafes yapısının yani mekanik değerlerinin arttırılmasına yönelik feder yapısı gösterilmiştir.

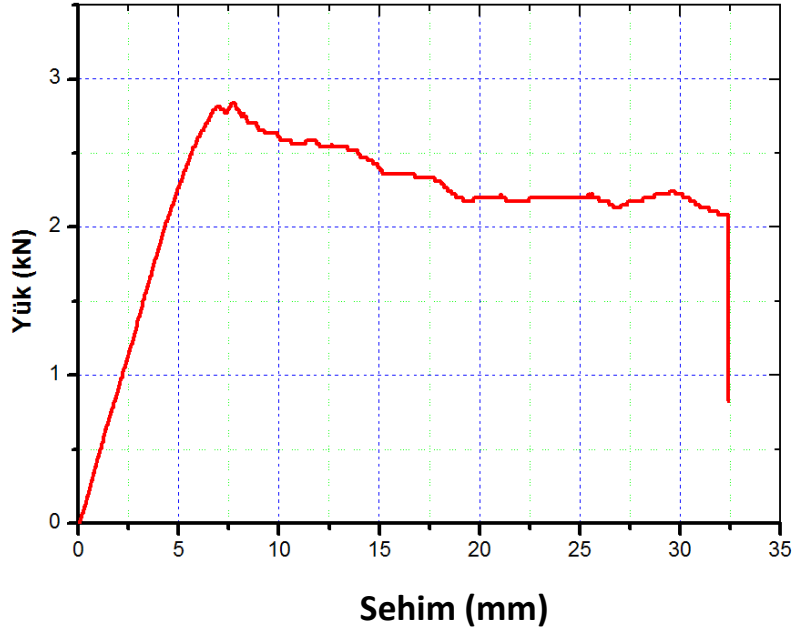


**Şekil 6.1 (a)** Formlanmış feder yapısının eklenmediği levha (b) Kafes yapısının yani mekanik değerlerinin arttırılmasına yönelik feder yapısının eklendiği Test Barı parçası

Test numunelerinin eldesinde ilk olarak Sürekli elyaf takviyeli polipropilen levhalardan sadece formlanmış levhalar alınmıştır. Tam çevrimde en son adım olan enjeksiyon fazının gerçekleşmemesi ile bu parçaların alımı mümkündür.

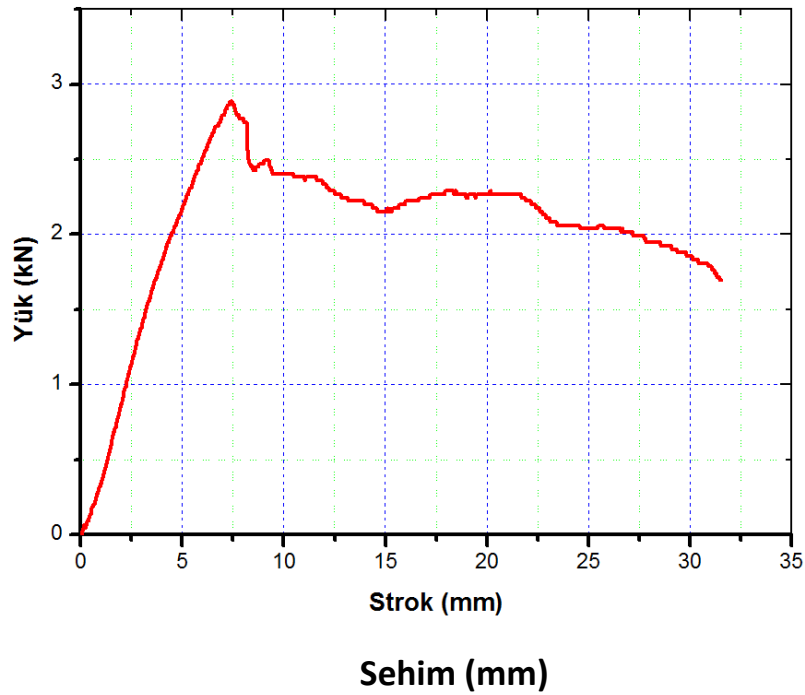
Ardından feder yapıları oluşturularak test barı parçaları elde edilmiştir. Lokmalı olarak tasarımı yapılan kalıp dört farklı kalınlığa sahip levhaların işlenmesine elverişlidir. Ancak proses açısından en uygun olan kalınlıklar 2 mm ve 4 mm'dir. Uygulanan eğme testlerinde numune alınabilen 1 mm kalınlığa sahip numune sonuçları da paylaşılacaktır. 2 mm SETK levhanın sadece formlanması ile elde edilen sonuçlar Şekil 6.3 'de grafiksel olarak paylaşılmıştır.

### PP 2mm Levha (PP2N\_1)

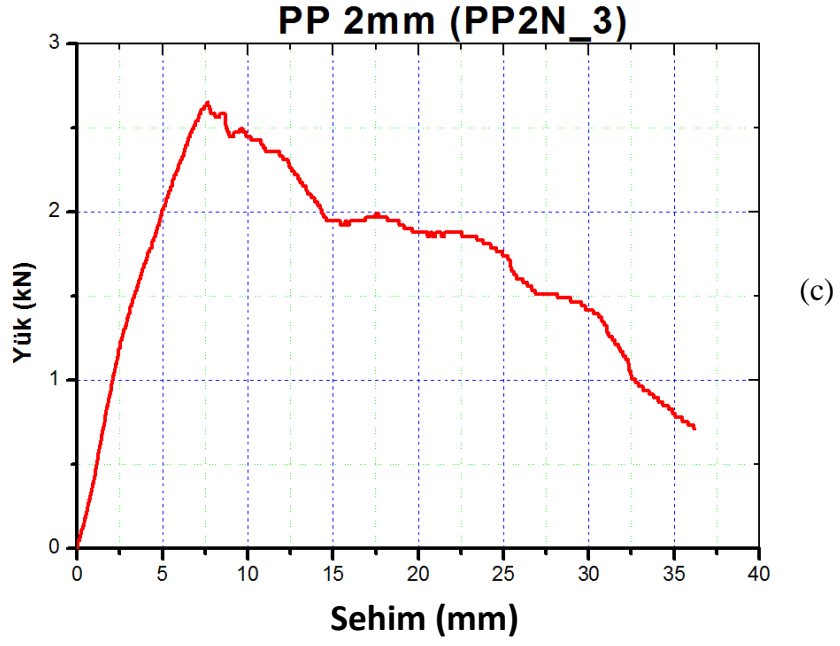


(a)

### PP 2mm (PP2N\_2)



(b)



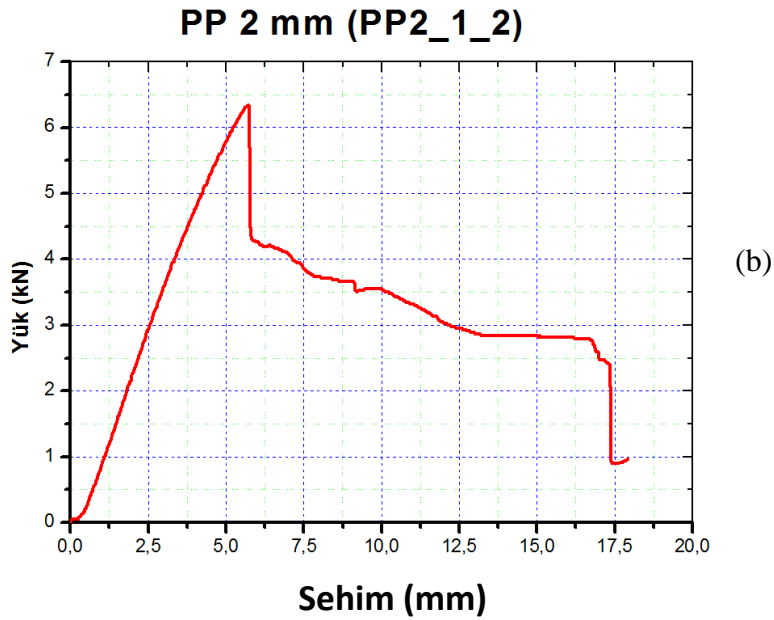
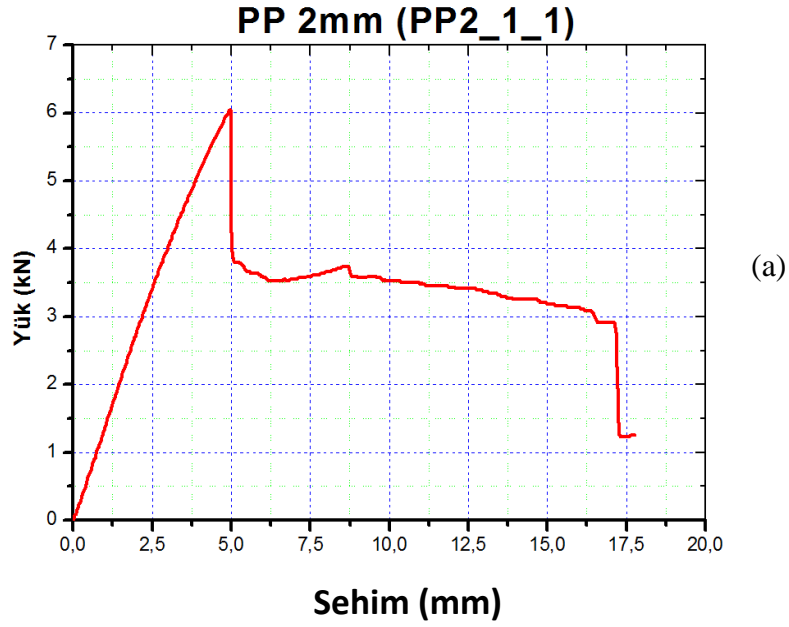
**Şekil 6.2** Sadece formlanmış 2 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafikleri

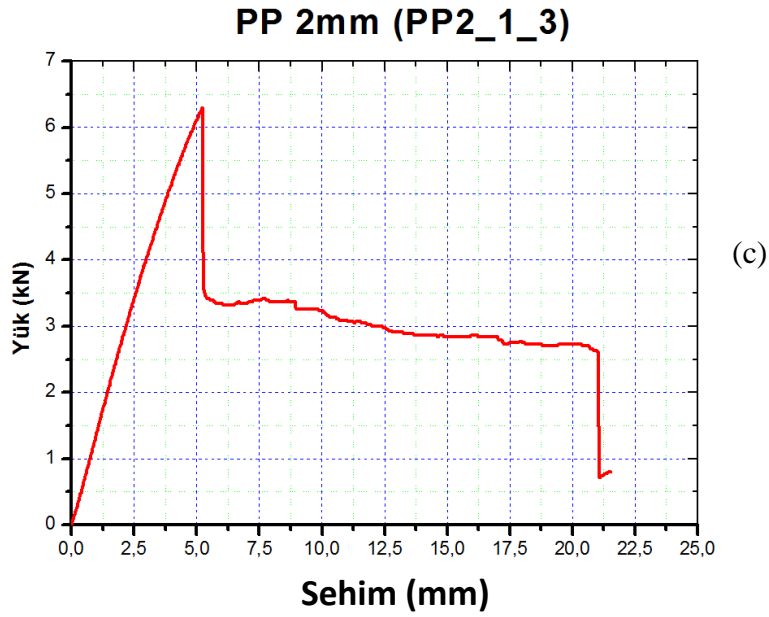
Numune Türü	Maksimum Eğme Kuvveti (Kn)	Sehim (mm)
2mm Sadece Formlanmış Levha (PP2N_1)	2,8	35
2mm Sadece Formlanmış Levha (PP2N_2)	2,82	32
2mm Sadece Formlanmış Levha (PP2N_3)	2,75	32,5
<b>Ortalama</b>	<b>2,79</b>	<b>33,16</b>

**Tablo 6.2** Sadece formlanmış 2 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafiklerinin ortalama değerleri

Öncelikle bu grafikleri kısaca tanıyalım. Grafikte yer alan “y” eksenini kuvvet (kN) eksenini olup “x” ekseninde ise yüke bağlı olarak meydana gelen sehim (mm) görülmektedir. Sadece formlama işlemi gerçekleştirilmiş SETK numunelerin eğme testleri sonuçlarına bakıldığında 2 mm kalınlığa sahip numunelerde ortalama maksimum eğme kuvveti 2,79 kN , sehim ise 33,16 mm’dir.

Sadece formlama işlemi gerçekleştirilmiş PP matrisli SETK levhaların eğme testleri sonrasında, elde edilen bulgular, test barı numunesinin testleri sonrasında göstereceği mekanik davranışın, incelenen sadece formlanmış numunenin mekanik davranışlarını içeren bir davranış yönündedir. Çoklu kalıplama prosesi 2 mm lik PP matrisli SETK levha kullanılarak gerçekleştirilen Test Barı numunesine ait eğme testi sonuçları Şekil 6.5’de grafiksel olarak gösterilmiştir.





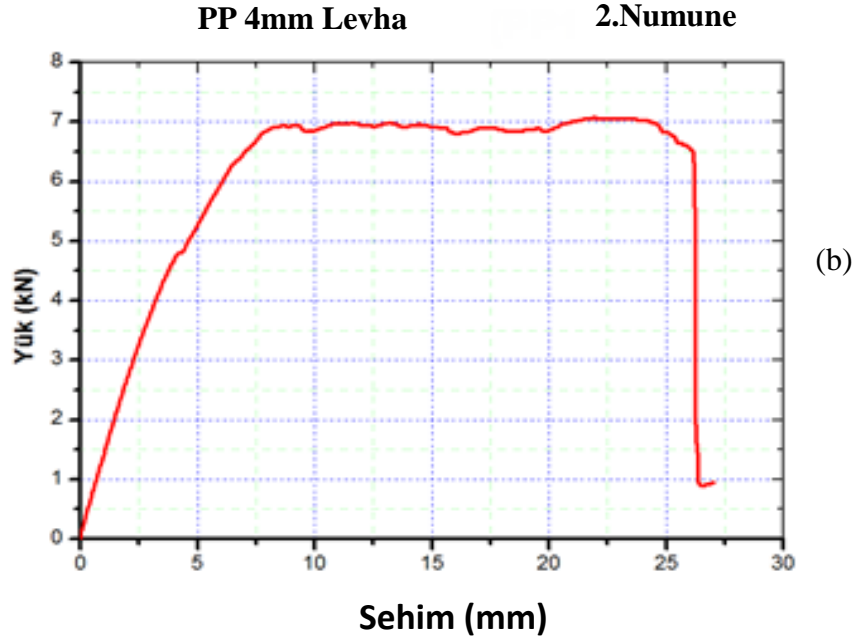
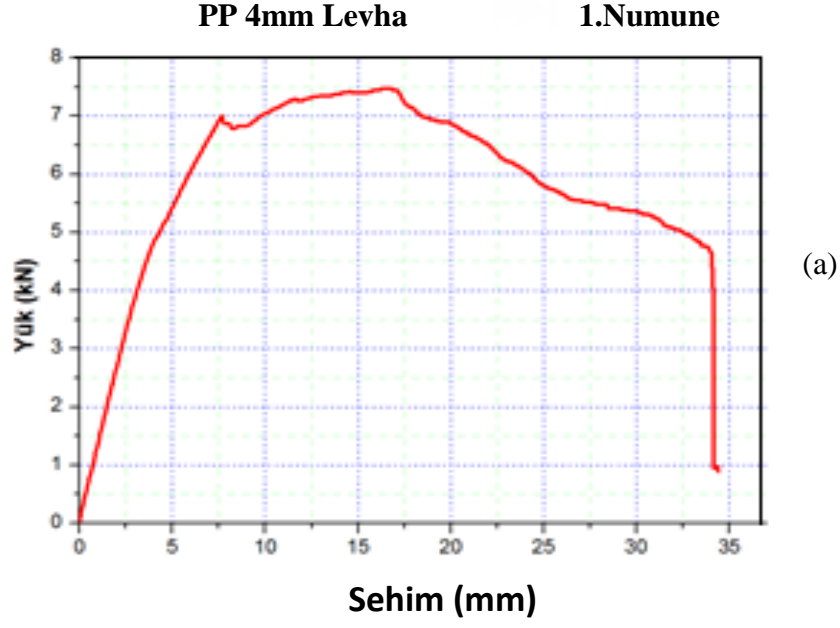
**Şekil 6.3** Test Barı 2 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafikleri

**Tablo 6.3** Test Barı 2 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafiklerinin ortalama değerleri

Numune Türü	Maksimum Eğme Kuvveti (Kn)	Sehim (mm)
2mm Test Barı (PP2_1_1)	6,1	17,5
2mm Test Barı (PP2_1_2)	6,4	17,5
2mm Test Barı (PP2_1_3)	6,3	21,35
<b>Ortalama</b>	<b>6,2</b>	<b>18,78</b>

Test Barı SETK numunelerin eğme testleri sonuçlarına bakıldığında 2 mm kalınlığa sahip numunelerde ortalama maksimum eğme kuvveti 6,2 kN , sehim ise 18,78 mm'dir.

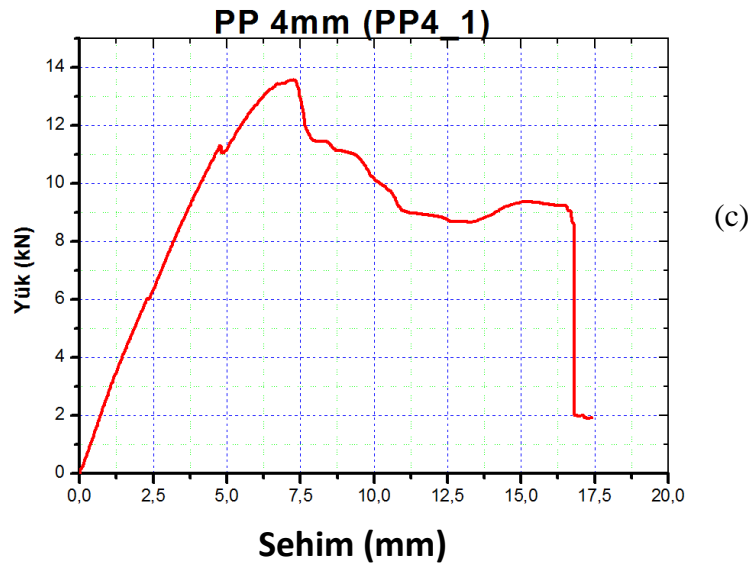
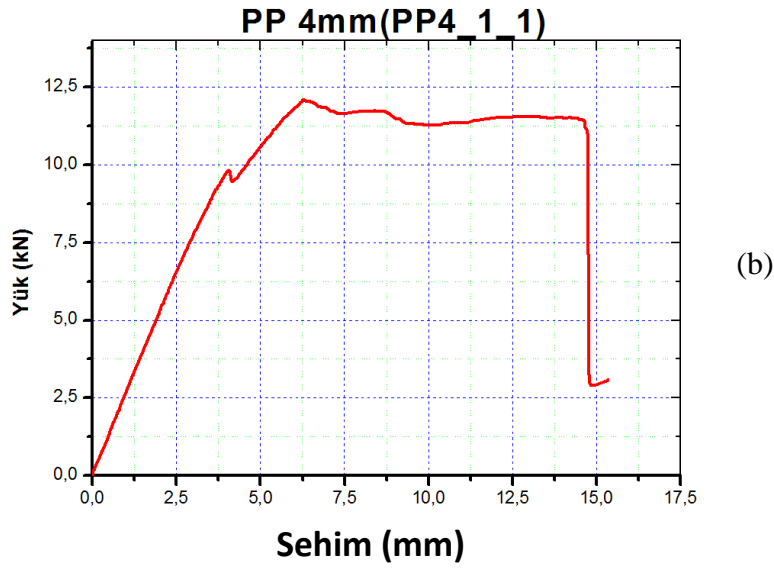
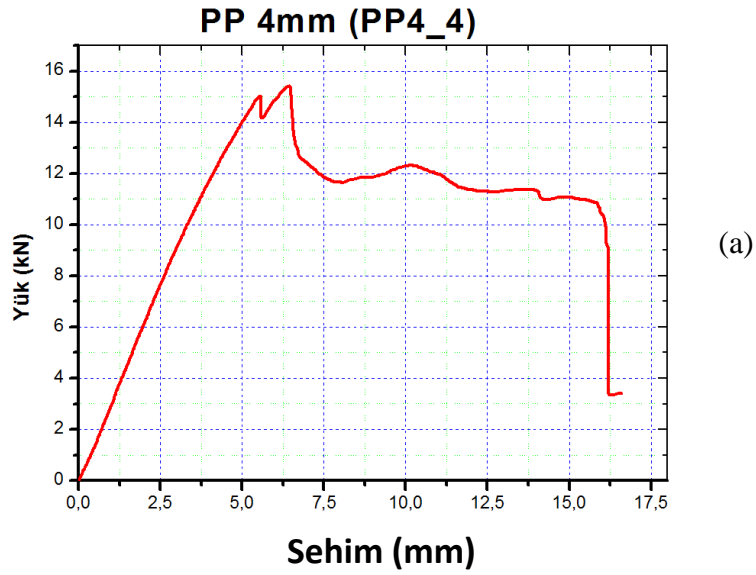
Çoklu kalıplama prosesi ile üretilmiş 4 mm SETK levhanın sadece formlanması ile elde edilen sonuçlar ise Şekil 6.7 'da grafiksel olarak paylaşılmıştır. Bu numunelerde beklenen davranış değişikliklerinde en önemli değişim, daha fazla kalınlığa sahip levhalar olduğundan, takviye fazı ve matris fazı daha fazla olduğu için maksimum eğme kuvvetindeki iyileşmedir.



**Şekil 6.4** Sadece formlanmış 4 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafikleri

**Tablo 6.4** Sadece formlanmış 4 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuçları

Numune Türü	Maksimum Eğme Kuvveti (Kn)	Sehim (mm)
4mm Sadece Formlanmış Levha (PP4N_1)	7,6	34
4mm Sadece Formlanmış Levha (PP4N_2)	7,1	27
<b>Ortalama</b>	<b>7,35</b>	<b>30,5</b>



Şekil 6.5 Test Barı 4 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafikleri

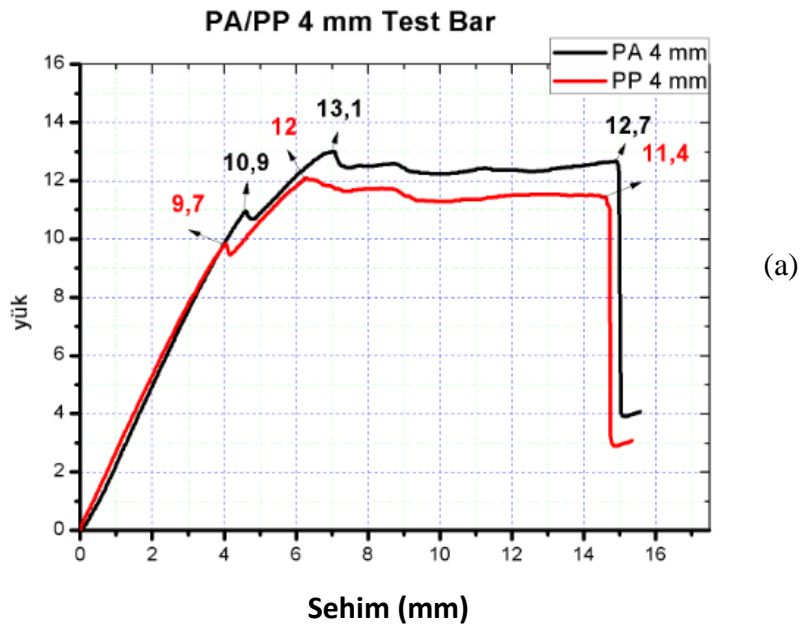
**Tablo 6.5** Test Barı 4 mm kalınlıktaki numunelerin eğme testi sonuç grafiklerinin ortalama değerleri

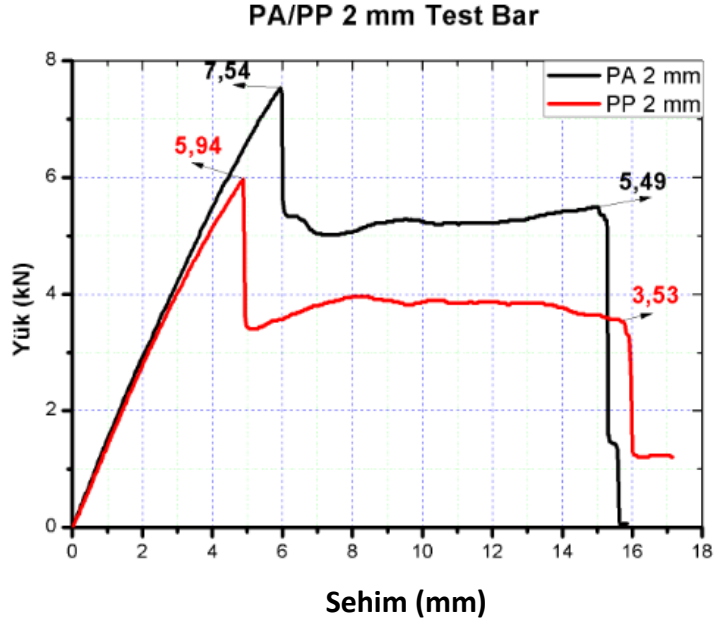
Numune Türü	Maksimum Eğme Kuvveti (Kn)	Sehim (mm)
4mm Test Barı (PP4_1_1)	11,5	15
4mm Test Barı (PP4_1_2)	15,2	16
4mm Test Barı (PP4_1_3)	13,7	17
<b>Ortalama</b>	<b>13,4</b>	<b>16</b>

4 mm levhanın sadece formlanması ile elde edilen numunelerinin ortalama olarak maksimum 7,35 kN yüke dayanım gösterdiği, kuvvetin uygulamasının devam ettiği durumda ise 30,5 mm kadar şekil değişimi gösterdiği ve ani bir kırılma davranışı ile kırıldığı gözlemlenmiştir.

4 mm kalınlıkta PP matrisli SETK levha ile üretimi gerçekleştirilmiş Test Barı'nın ise, ortalama olarak maksimum 13,4 kN yüke dayanım gösterdiği ve uygulanan kuvveti 16 mm kadar şekil değişimi sehim vererek karşılamıştır. Eğme testi, özel bir tasarım olan test barlarına uygulandığından standart bir numune eldesi ile değil direk nihai parçaya uygulanmıştır.

Bu tez çalışmasının desteklendiği projeye bağlı diğer bir tez çalışması da PA levhaların şekillendirilmesi ve karakterizasyonudur. İlgili tez çalışmalarında elde edilen değerlerin PP levhalar ile kıyaslanması Şekil 6.11 de paylaşılmıştır.





(b)

**Şekil 6.6** Test Barı 4 mm ve 2 mm kalınlıktaki PP ve PA numunelerin eğme testi sonuçlarının karşılaştırılması.

4 mm levhanın sonuçları karşılaştırıldığında PP numunenin maksimum 12 kN yüke dayanım gösterdiği, PA numunenin ise 13,1 kN yüke dayanım gösterdiği gözlemlenmiştir. Kuvvetin uygulamasının devam ettiği durumda ise PP numunenin 17,3 mm kadar şekil değişimi gösterdiği PA numunenin ise 14,8 mm şekil değiştirdiği ve ani bir kırılma davranışı ile kırıldıkları gözlemlenmiştir.

2 mm levhanın sonuçları karşılaştırıldığında PP numunenin maksimum 5,94 kN yüke dayanım gösterdiği, PA numunenin ise 7,34 kN yüke dayanım gösterdiği gözlemlenmiştir. Kuvvetin uygulamasının devam ettiği durumda ise PP numunenin 15,1 mm kadar şekil değişimi gösterdiği PA numunenin ise 14,7 mm şekil değiştirdiği ve ani bir kırılma davranışı ile kırıldıkları gözlemlenmiştir.

Numunelerin karşılaştırılmasında PA matrisli test barlarının beklendiği üzere mekanik dayanımlarının PP matrisli numuneye göre daha iyi olduğunu gözlemlenmiştir. Matris malzemenin özelliklerinin direk olarak etkisini görmekteyiz. PA aromatik zincir yapısına sahip olduğundan, alifatik yapıda olan PP malzemeden mekanik özellikler açısından daha üstündür.

### 6.3. Darbe Testi Sonuçları

Darbe testinde, çentikli veya çentiksiz bir numunenin kırılması için gerekli olan enerji miktarı belirlenir. Darbe testi numunenin test ekipmanına bağlanışına ve üzerinde çentik oluşturulup oluşturulmadığı durumlara göre farklı çeşitlerde uygulanabilir. Deneysel çalışmalar, sürekli dokuma cam elyafı takviyeli PP levha üzerinden alınan numuneler ve enjeksiyon fazı sırasında kullanılan kısa cam elyafı takviyeli malzemedan üretilmiş, ISO 179 ve ISO 180 standartlarında belirtilen 80x10 mm ölçülerindeki numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen bulgular Tablo 6.6' da sunulmuştur.

**Tablo 6.6.** Darbe Testi Sonuçları

Numune Türü	Numune Kalınlığı (mm)	Izod Darbe Dayanımı (kJ/m <sup>2</sup> )	Charpy Darbe Dayanımı (kJ/m <sup>2</sup> )
% 47 Dokuma Cam Elyafı Takviyeli PP Levha	2	79,4	98
% 47 Dokuma Cam Elyafı Takviyeli PP Levha	4	83	103,64
% 30 Cam Elyaf Takviyeli PP Granül	4	32,6	48

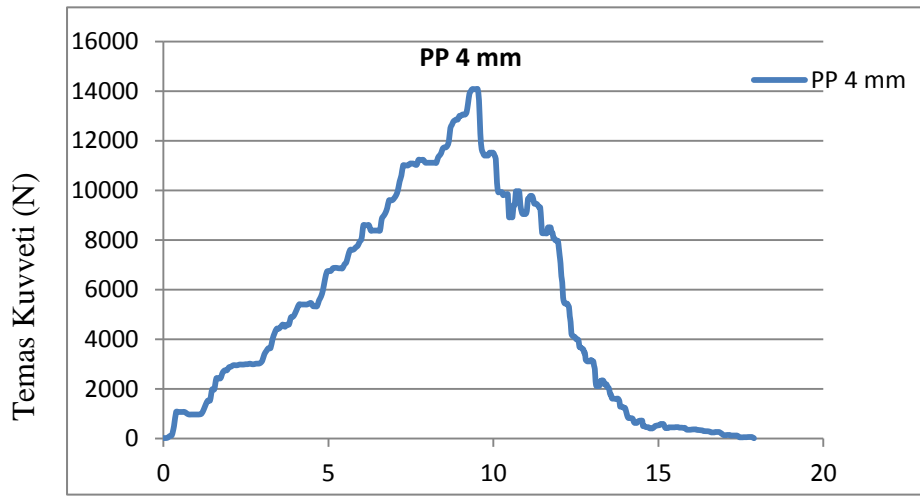
Darbe testine tabii tutulan numuneler izod ve charpy olarak test edilmişlerdir. Numune kalınlıkları 2 mm ve 4 mm olarak kullanılmış olup, her kalınlık için iki farklı metod ile darbe testi uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Tablodan da izleneceği üzere her metot da %47 dokuma cam elyaf takviyeli numunelerde kalınlıklar arasında çok ufak farklılıklar bulunmaktadır. %30 cam elyaf takviyeli PP granül numunesi sonuçlarına bakarak %47 ile takviye edilen levhaların darbe dayanımdaki iyileşmeyi çok net görebiliriz.

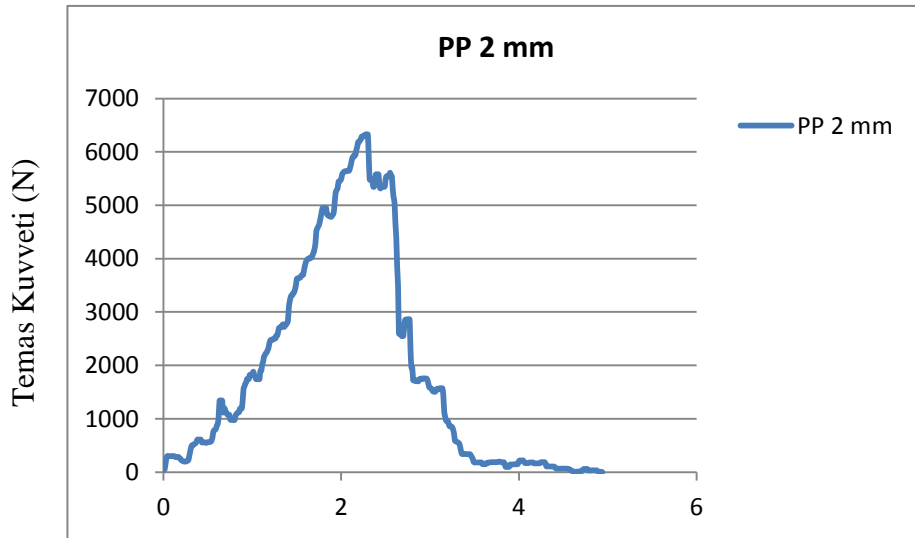
#### 6.4. Ağırlık Düşürme Deney Sonuçları

Burada, 2 ve 4 mm kalınlıklarındaki dokuma E-camı takviyeli PP kompozit plakaların delinme (perforation) testleri yapılmıştır. Delinme testi yapıldığı için kuvvet-deplasman eğrileri üstte açıklanan “açık eğri” (Şekil 5.5) formuna uymaktadır. 4 mm ve 2 mm kalınlık değerlerine sahip PP kompozit plakaların delinmesi için gerekli olan enerjiler yaklaşık olarak 93 Joule ve 33 Joule olarak bulunmuştur. Eğrilerden de görüleceği gibi benzer durum delinme esnasındaki maksimum temas kuvveti için de söz konusudur.

4 mm ve 2 mm kalınlık değerlerine sahip PP kompozit plakalar için delinmedeki maksimum temas kuvveti yaklaşık 14 kN ve 6.3 kN olarak bulunmuştur.



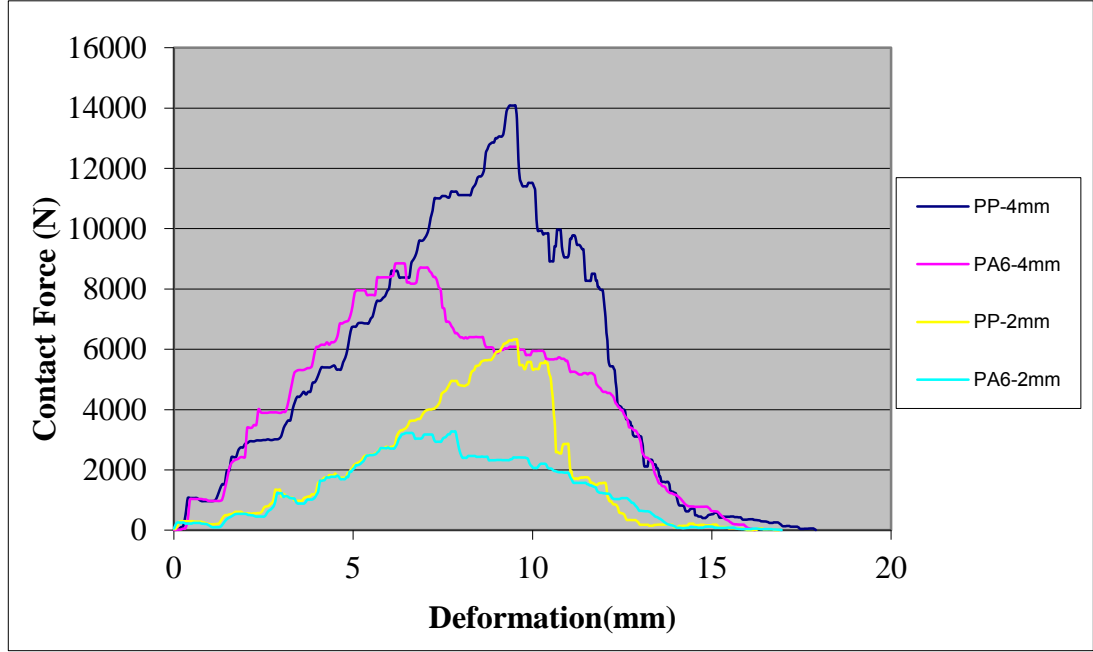
Deformasyon (mm)



Deformasyon (mm)

Şekil 6.7. PP Levhaların Ağırlık Düşürme (Delinme) Testi Grafikleri

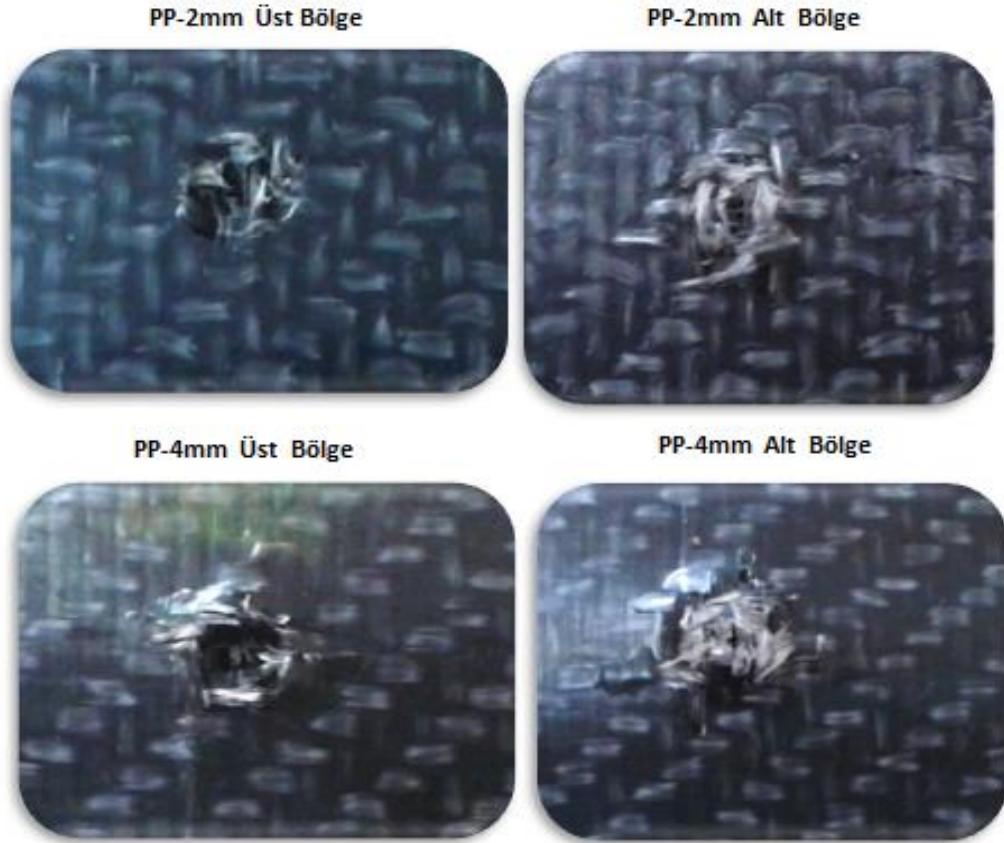
Bu tezin desteklendiği projede yer alan, diğer bir yüksek lisans çalışmasında ise PA6 matrisli SETK levhaların ağırlık düşürme testi sonuçları ile PP levhaların sonuçları aşağıda verilen grafikte kıyaslanmıştır.



Şekil 6.8. PP ve PA6 Levhaların Ağırlık Düşürme Testi Kıyaslama Grafikleri

4 mm ve 2 mm kalınlık değerlerine sahip PP kompozit plakaların delinmesi için gerekli olan enerjiler yaklaşık olarak 93 Joule ve 33 Joule olarak elde edilirken, cam-elyaf takviyeli PA6 için delinme eşikleri yaklaşık 72 J ve 22.5 Joule olarak bulunmuştur. Eğrilerden de görüleceği gibi benzer durum delinme esnasındaki maksimum temas kuvveti için de söz konusudur. Eğrilerden de görüleceği gibi; 4 mm ve 2 mm kalınlık değerlerine sahip PP kompozit plakalar için delinmedeki maksimum temas kuvveti yaklaşık 14 kN ve 6.3 kN iken PA6 için bu değerler 8.9 kN ve 3.3 kN olarak bulunmuştur.

Bu testin uygulanışı sonucu, ağırlık düşürüldüğünde ilk yükü karşılayan levhanın üst yüzeyi (yüke bakan yüzey) ve yükün etkisi ile bombenin olduğu alt (arka ) yüzey vardır. Bu yüzeyler üst bölge ve alt bölge olarak isimlendirilmiştir. Teste tabii tutulmuş numune görüntüleri Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



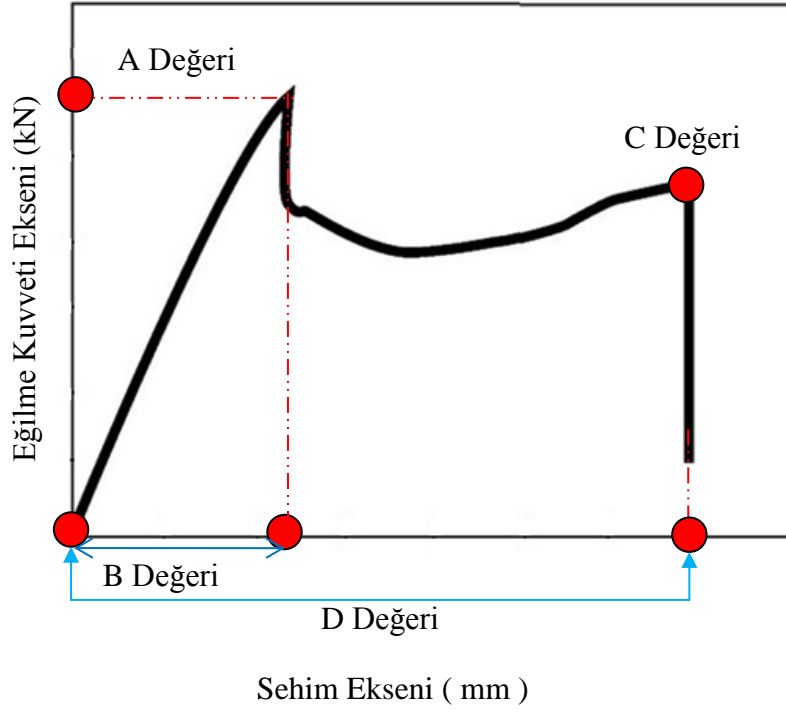
**Şekil 6.9.** Ağırlık Düşürme (Delinme) Testi Yapılan Numune Görüntüleri

## **6.5. Test Barı Numunelerine Uygulanan Eğme Testi Sonuçları**

### **6.5.1 Eğme Testi Sonuçlarının Tekrarlanabilirliği**

PP matrisli SETK levha ile üretilen tümleşik yapıların üretim koşulları seri üretim koşullarına yakın olduğundan, sürekli elyaf takviye fazında meydana gelen oryantasyon değişiklikleri ve enjeksiyon fazındaki kısa cam elyaf dizilimi mekanik değerler üzerinde farklılıklara yol açabilir.

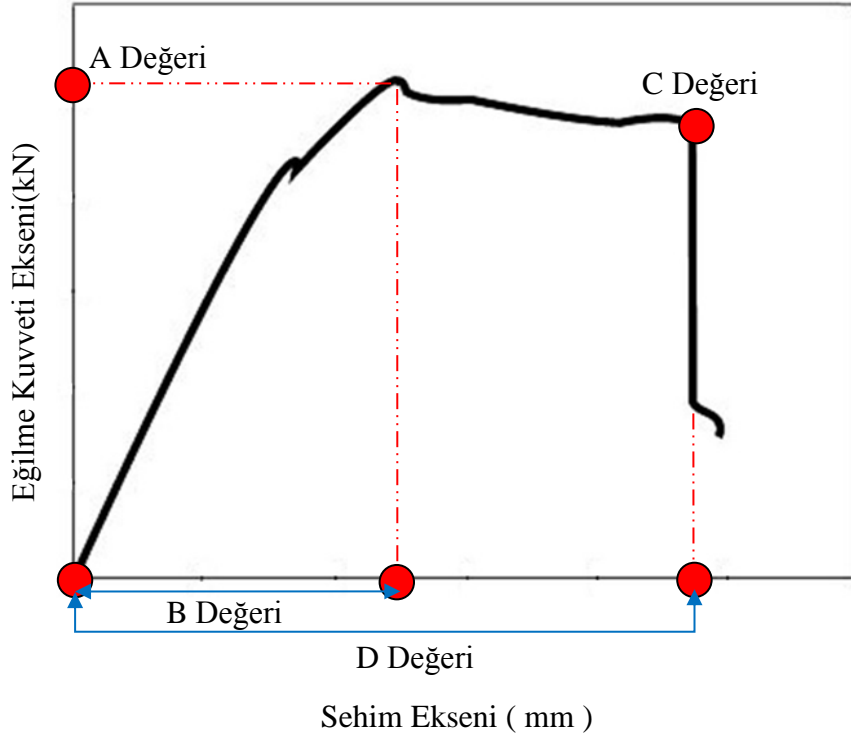
Çalışma sırasında özellikleri incelen Test Barı numunesinin SETK malzeme ile desteklenen tümleşik yapıdaki türleri arasında yapılan mekanik değerlerin tekrarlanabilirlik testleri neticesinde bu farklılık ortaya konulmuştur. Şekil 6.10 ve Şekil 6.11' de SETK malzeme ile desteklenmiş yapıdaki Test Barı numunelerinin testleri sonucunda elde edilen grafikler üzerinde incelenen noktalar belirtilmiş olup, Tablo 6.7 ve Tablo 6.8' te belirlenen noktalardaki elde edilen sayısal değerler sunulmuştur.



**Şekil 6.10.** 2 mm'lik levha ile üretilen Test Barı'na ait eğme testi grafiği ve incelenen noktalar

**Tablo 6.7** 2 mm'lik levha ile üretilen Test Barı'na ait eğme testlerinde incelenen noktalar

2 mm Levha Desteklenmiş Test Barı	$F_{max}$ (kN) (A)	$F_{max}$ @ Sehim (mm) (B)	$F_{son}$ Kırılma (kN) (C)	Toplam Sehim Miktarı (mm) (D)	Plastik Deformasyon (D-B)
1.Numune	6,1	5	2,96	17,5	12,5
2.Numune	6,4	6	2,8	17,5	11,5
3.Numune	6,3	5,3	2,78	21,35	16,05
4.Numune	6,2	5,8	2,86	18,40	12,6
5.Numune	5,9	5,1	2,79	17	11,9
Sapma (+/-)	0,19	0,43	0,074	1,74	1,85



**Şekil 6.11.** 4 mm'lik levha ile üretilen Test Barı'na ait eğme testi grafiği ve incelenen noktalar

**Tablo 6.8.** 4 mm kalınlığa sahip test barı numunelerine ait değerler

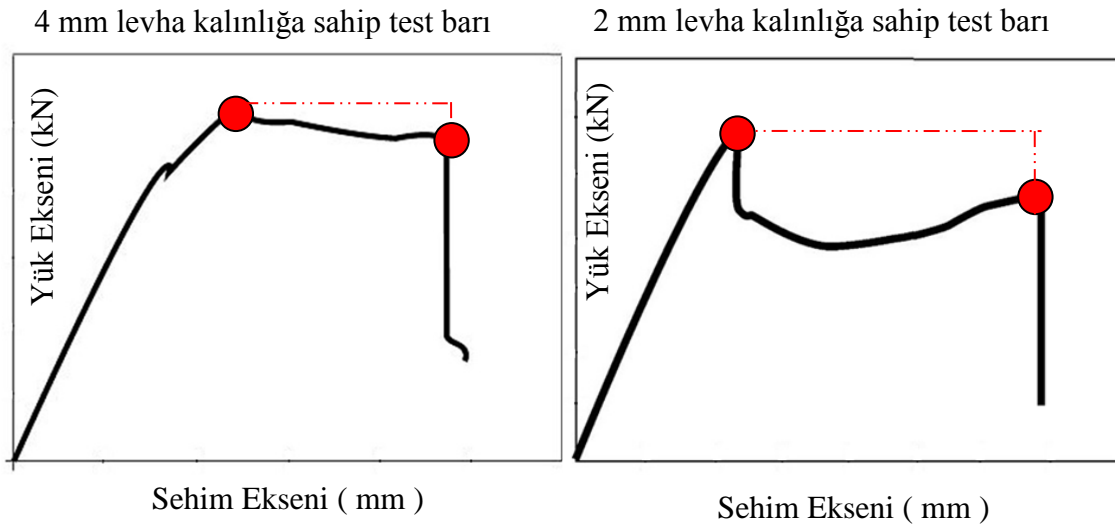
4 mm Levha Desteklenmiş Test Barı	$F_{max}$ (kN) (A)	$F_{max}$ @ Sehim (mm) (B)	$F_{son}$ Kırılma (kN) (C)	Top. Sehim Miktarı (mm) (D)	Plastik Deformasyon (D-B)
1.Numune	12	6,25	11,25	15	8,75
2.Numune	15,2	6	11	16	10
3.Numune	13,7	7	9	17	10
4.Numune	12,6	6,5	10,8	16	9,5
5.Numune	13,4	7	11,3	16,8	9,8
Sapma (+/-)	1,21	0,44	0,95	0,79	0,52

Tablo 6.7 incelendiğinde, 2 mm PP matrisli SETK levha kullanılarak üretimi gerçekleştirilen numunelerde ilk kırılma anında maksimum eğilme kuvveti değeri elde edilirken ilk kırılma anının gerçekleştiği yük değerleri arasındaki standart sapma 0,19 olarak meydana gelmiştir.

Toplam deformasyon miktarları arasında standart sapma miktarının 1,74 olduğu gözlemlenirken, plastik deformasyon miktarında meydana gelen standart sapma değerinin 1,85 olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 6.8 'de ise, 4 mm lik PP matrisli SETK kullanılarak üretimi gerçekleştirilen yapıdaki test barı numunelerinin eğme testlerine ait sonuçlar görülmektedir. Bu değerler arasında toplam sehim miktarındaki standart sapma 0,79 olarak gözlemlenirken plastik deformasyon miktarında ise standart sapmanın 0,52 olduğu gözlemlenmiştir. 4 mm lik PP matrisli SETK levha kullanılarak üretilen test barı numunelerinin maksimum dayanım kuvveti ortalama olarak, 13,38 kN gözlemlenmiştir. Buna karşılık 2 mm lik PP matrisli SETK levha kullanılarak üretimi gerçekleştirilen test barı numunelerinin maksimum eğilme kuvveti 6,18 kN olarak saptanmıştır.

#### **Farklı Kalınlıklarda PP SETK Levha Kullanılarak Üretimi Gerçekleştirilen Test Barı Parçalarının Eğme Dayanımlarının Kıyaslanması**

Üretimi gerçekleştirilen 2 mm ve 4 mm kompozit levha ile test barı numunelerine ait mekanik verilerin tekrarlanabilirliği üzerine gerçekleştirilen çalışmalar da elde edilen sayısal değerlerin ortalamaları ele alındığında, maksimum dayanım kuvvetleri ve kırılma noktaları arasındaki değişimlerin farklı olduğu gözlemlenebilir. Şekil 6.12' de ele alınan değerler belirtilmiştir. Tablo 6.9' da ise 2 ve 4 mm' lik PP matrisli SETK levhaların tekrarlanabilirlik testi sonrasında elde edilen sayısal değerleri içermektedir.



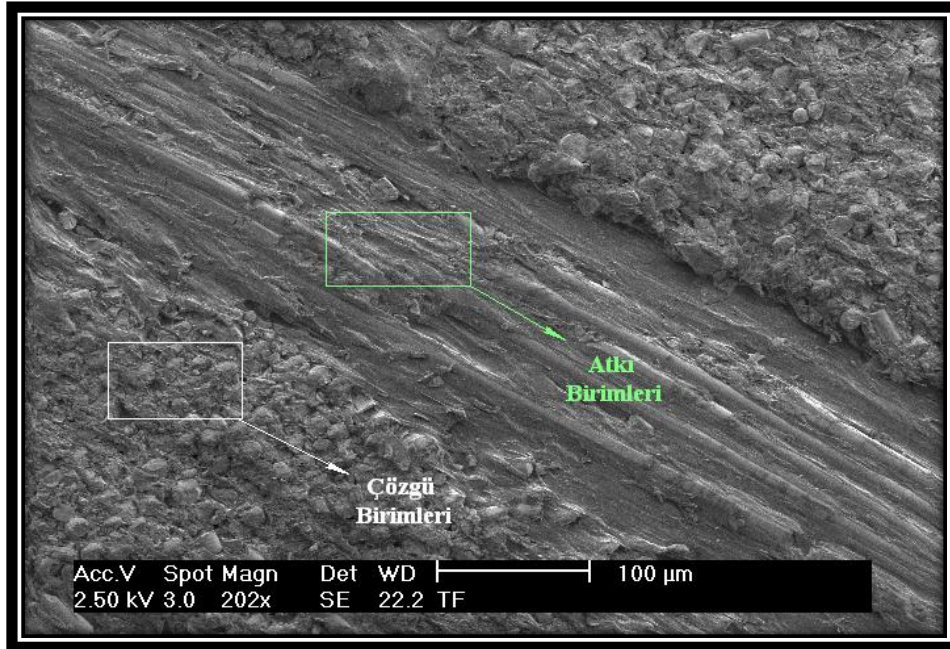
**Şekil 6.12** 2 mm ve 4 mm'lik levha ile üretilmiş test barı numunelerinin maksimum kuvvet ve son kırılma anında meydana gelen kuvvet değişiklikler.

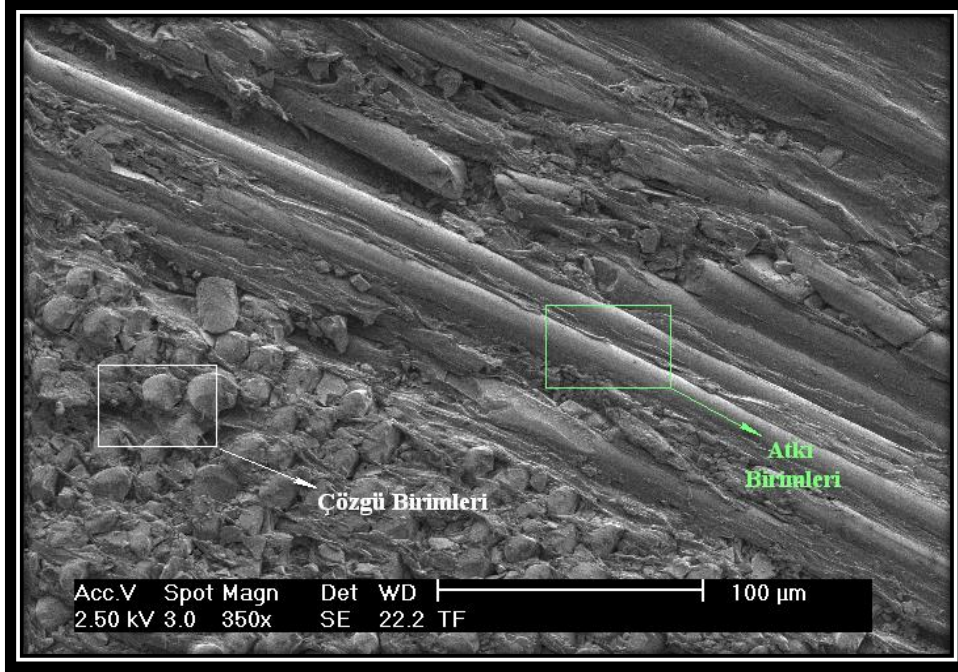
**Tablo 6.9.** 2 mm ve 4 mm'lik levha ile üretilmiş test barı numunelerinin tekrarlanabilirlik testleri neticesinde elde edilen ortalama değerler

Test Barı Türü	$F_{max}$ (kN) (A)	$F_{max}$ @ Sehim (mm) (B)	$F_{son}$ Kırılma (kN) (C)	Top. Sehim Miktarı (mm) (D)	Plastik Deformasyon (D-B)
2 mm test barı	<b>6,18</b>	<b>5,44</b>	<b>2,83</b>	<b>18,35</b>	<b>12,91</b>
4 mm test barı	<b>13,38</b>	<b>6,55</b>	<b>10,67</b>	<b>16,16</b>	<b>9,61</b>

### 6.6. Mikroyapı İncelemeleri

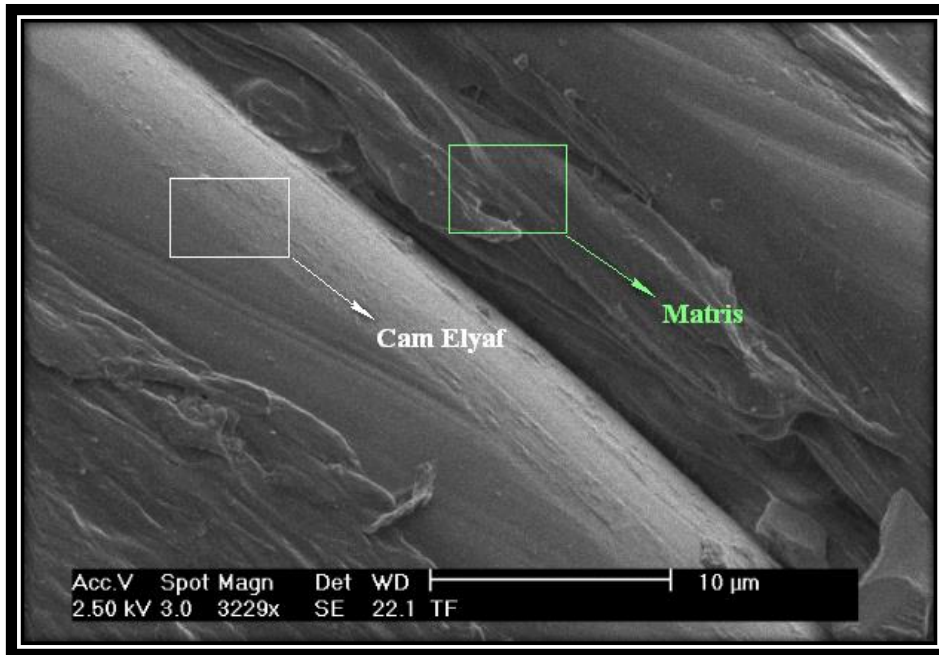
Üretimi yapılan 2 mm ve 4 mm kalınlığa sahip sürekli cam elyaf takviyeli polipropilen matrisli test barlarına uygulanan eğme testleri sonucunda kırılmaya maruz kalan numunelerin hasar gören yüzeylerini taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile detaylı incelenmiştir. Üç nokta eğme testine tabii tutulan ve test sonucu kırılma yüzeyleri oluşan kompozit numunelerde, kompoziti oluşturan dokuma kumaş yapısının ihtiva ettiği birimlerin SEM fotoğrafları Şekil 6.13'de gösterilmiştir.

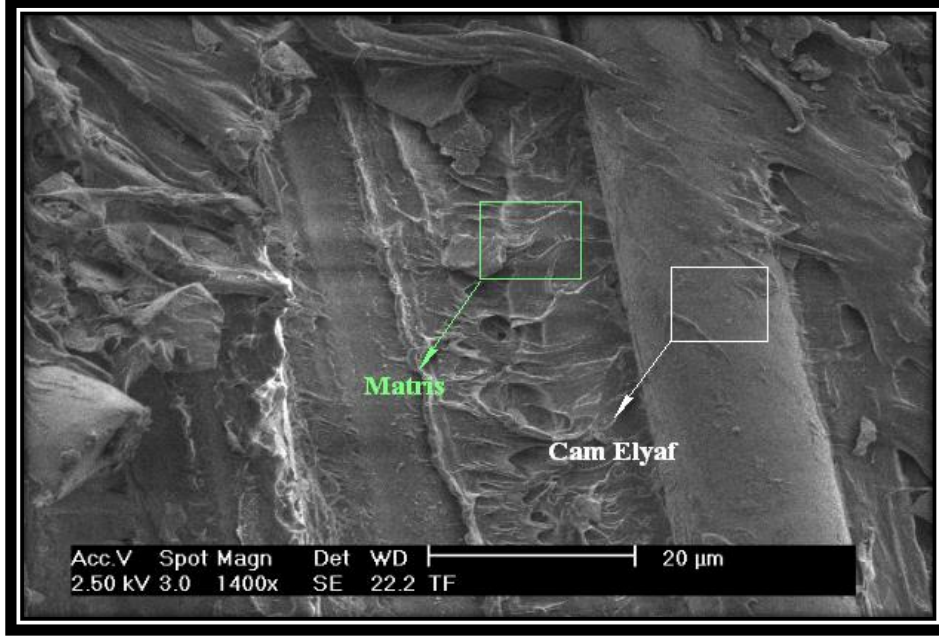




**Şekil 6.13.** Cam Elyaf Takviyeli Dokuma Kumaş Yapısında Yer Alan Atkı ve Çözü Birimleri

Bu çalışmada kullanılan SETK malzemelerde en önemli faktörlerden biride takviye malzemesinin matris malzeme tarafından ıslatılabilirliğidir. Bu durumu gözlemlemek çok önemlidir. Bir takviye malzemesinin matris tarafından ıslatılamaması durumu direk olarak yapının mekanik değerleri ile ilgilidir. Bu nedenle kompozit yapı çalışmalarında ilk tasarım dönemlerinde malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli husus matris ve takviyenin uyumluluğu ve proses edilebilirliğidir.

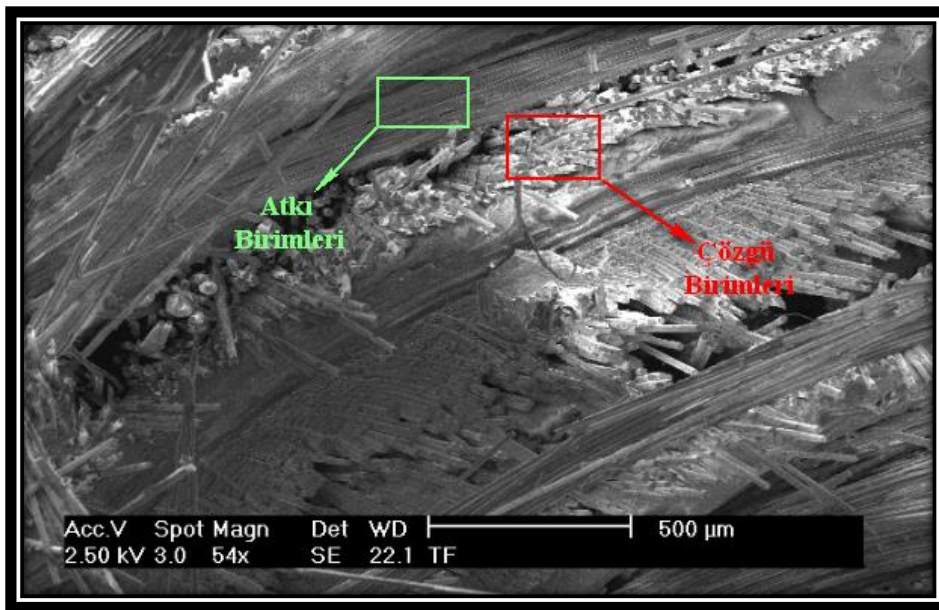




**Şekil 6.14.** Matris Malzemesinin Takviye Malzemesi (Cam Elyaf) İslatma Fotoğrafları

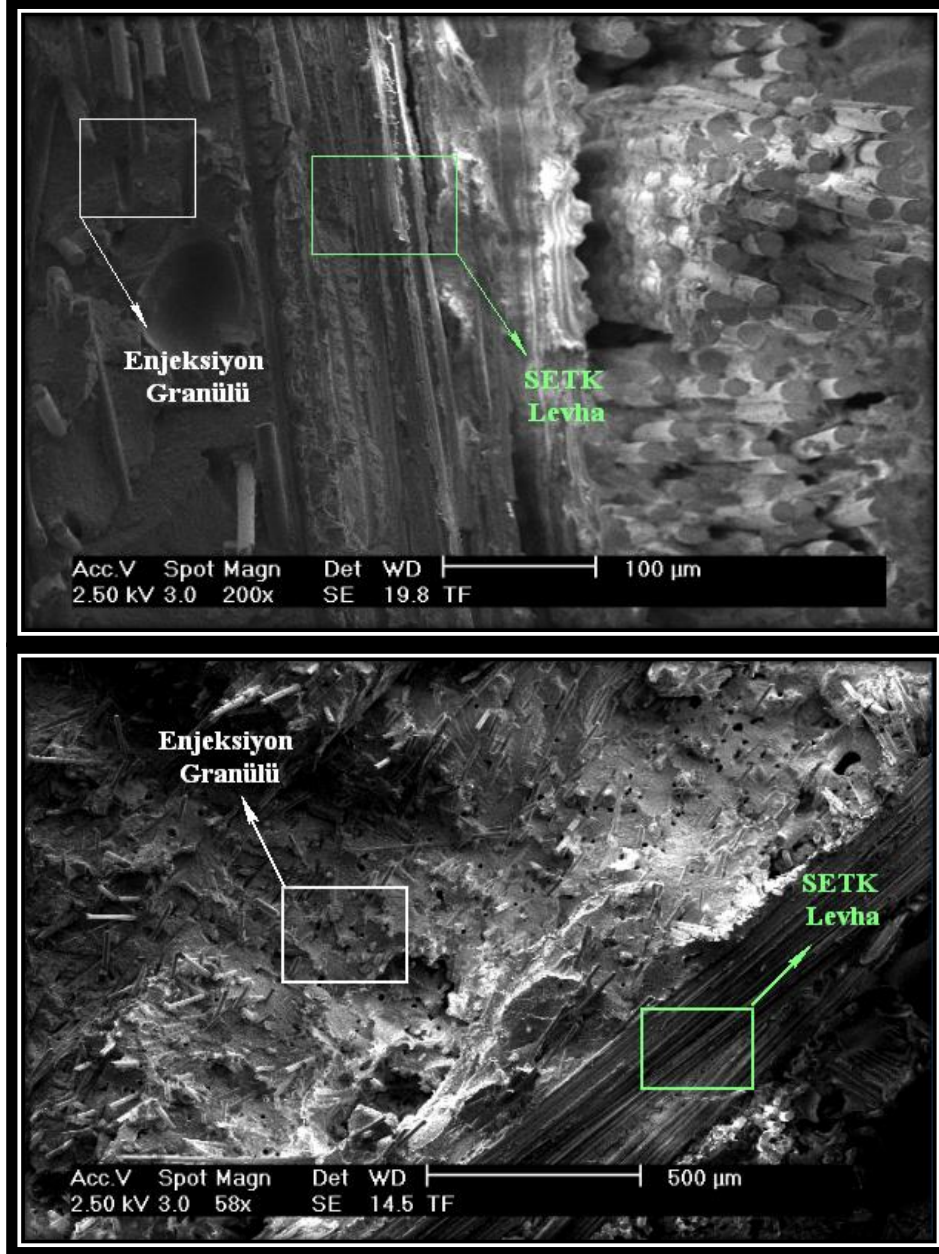
Bu durumu gözlemek için SEM tercih edilen görüntüleme aletidir. Yukarıda Şekil 6.14’de çalışmada kullanılan kompozit malzemenin matris-takviye arasındaki ıslatılabilirliğe bakılmıştır. Şekillerde gösterilen fotoğraflardan da anlaşılacağı üzere matrisin takviyeyi ıslatabildiği gözlemlenmiştir.

Şekil 6.15’de ise eğme testinde eğme yönüne dik pozisyonda duran elyafların eğme kuvvetinin etkisi ile elyafların kopmaya maruz kaldığı gözükmektedir.

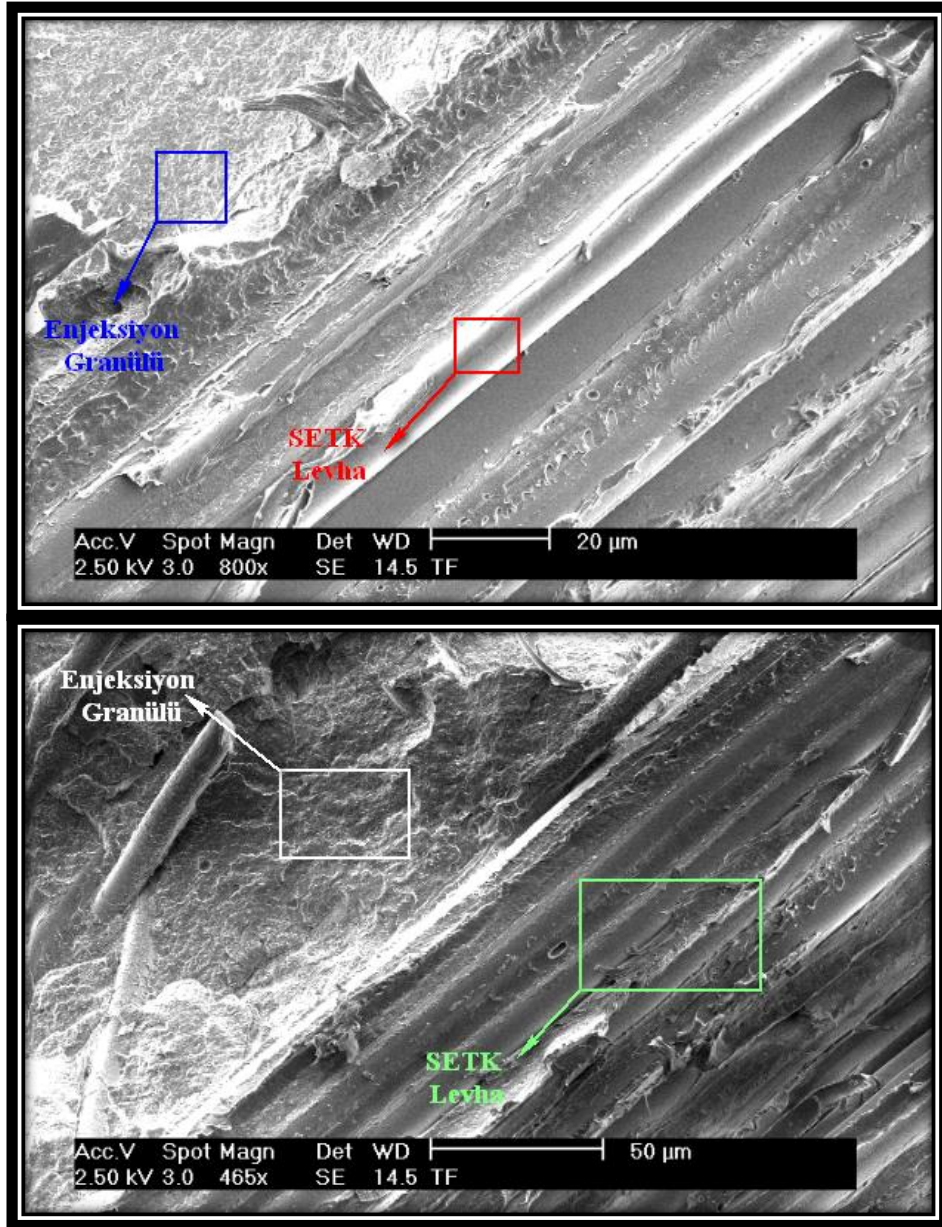


**Şekil 6.15.** Dokuma Biçiminde Cam Elyaf da Hasar Gören (Kopan) Birimler

Üretilen test barı parçasında, nihai ürün de istenilen mekanik değerlerin sağlanmasında en önemli noktalardan biride enjeksiyon fazı ile eklenen kafes yapısıdır. Levha ile enjeksiyon fazında eklenen bu kafes ve kaburga yapıları kusursuz levha ile kaynaşmalıdır ki mekanik değerler istenilen seviyede olabilsin. Kaburga yapıları, “U” formunda formlanan levhanın içini dolduran federvari yapılardır. Bu yapıların nihai ürün özelliklerinde çok büyük etkisi vardır. Enjeksiyon malzemesi (matris) ile levha arasındaki yapışma yüzeyi Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de gösterilmiştir.



Şekil 6.16. Enjeksiyon Fazının Levhaya Yapışma Yüzeyi



**Şekil 6.17.** Enjeksiyon Fazının Levhaya Yapışma Yüzeyi

Enjeksiyon ile levhaya eklenen kafes ve kaburga yapılarının, çekilen SEM fotoğrafları incelendiğinde iyi derecede kaynaştıkları gözlemlenmiştir.

## 7. GENEL SONUÇLAR

Bu tez çalışmada, polipropilen matrisli sürekli cam elyaf takviyeli kompoit malzemelerin başta otomotiv olmak üzere diğer sektörlerinde beklentilerine uygun olarak nihai ürün üretimi, çoklu kalıplama yöntemi ile bu kompozitlerin proses edilebilirliği, şekillendirilmesi ve karakterizasyonu çalışılmıştır. Tüm bu ihtiyaçlara cevap verebilmek adına bu malzemelerin detaylı tanınması ve karakterizasyonu için test barı adı verilen numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin farklı kalınlıklardaki davranışlarını izlemek adına farklı kalınlıktaki levhaların şekillendirilebildiği bir kalıp tasarımı yapılmıştır. Üretimi başarı ile gerçekleştirilmiş numunelerin mekanik değerleri yapılan test ve analiz çalışmaları ile belirlenmiş ve hedef davranışlardan rijitlik ve toplam deformasyon davranışları için testler gerçekleştirilmiştir. Tüm bu testler 2 mm ve 4 mm levha kalınlıklarına sahip test barı parçalarında gerçekleştirilmiştir. Nihai test parçasını meydana getiren sürekli cam elyaf takviyeli levha ve kısa cam elyaf takviyeli matris malzemenin özellikleri ayrıca incelenmiştir. Kıyaslama yapmak adına bileşenlerin mekanik reçetesini bilmek çok önemlidir.

Polipropilen matrisli SETK levhaların matris malzemesi ile ortaya çıkardıkları mükemmel mekanik değerler öncelikli üç nokta eğme testi ile incelenmiştir. SETK malzemelerin kısa cam elyaf takviyeli PP malzemelere göre mekanik özelliklerdeki sağladığı avantajlar test parçaları üzerinde gerçekleştirilen üç nokta eğme testleri ile incelenmiştir. Yapılan eğme testleri neticesinde, 2 mm kalınlıktaki levhalar ile üretilen test barı parçalarının maksimum 6,18 kN'luk yüke dayanım gösterdiği, 4 mm kalınlıktaki levhalar ile üretilen test barı parçalarının ise, 13,38 Kn yüke dayanım gösterdiği tespit edilmiştir.

Tez çalışmasında PP matrisli sürekli cam elyaf takviyeli kompozit levhaların şekillendirilmesi çoklu kalıplama yöntemi adı verilen özel bir hücre ile devreye alınmış ileri teknolojik bir hat ile gerçekleştirilmiştir. Ticari olarak bu tez çalışmasında kullanılan teknolojinin adı "FiberForm" teknolojisidir.

Test parçasının üretimi için gerekli kalıp tasarımı, teknolojinin gerekliliği olan hem enjeksiyon hem de termoforma uygun olarak tasarlanmıştır.

Parça üretiminde uygulanan proses bir çok değişkenliği beraberinde getirmektedir. Proses optimizasyonu bu tez çalışmasının en önemli bölümlerinden bir tanesidir. Kullanılan levhaların şekillendirilmesi tam otomasyon ile çalışan bir hücre içerisinde çok hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu nedenle ısıtılan levhanın kalıp içerisine transferi ve formlanması en kritik durumlardan bir tanesidir. Bu adımdaki değişkenler, levhanın optimal düzeyde ısıtılması, gerekli hızda kalıba transfer edilebilmesi ve kalıbın gecikme yaşanmadan kapatılması çok önemlidir. Bu nedenle levhaların matrisine bağlı olarak ısıtma dereceleri çok önemlidir. PP matrisli SETK levhalarda bu değer ortalama 180 °C civarında olduğu test ile belirlenmiştir.

Eğme testine tabii tutulan numunelerde kuvvetler ve sehim miktarları arasında ufak farklılıklar olduğu saptanmıştır. Bu farklılıkların oluşmasındaki sebep, elyaf oryantasyonu üzerinde meydana gelen değişikliklerdir. Proses optimizasyonun çok doğru yapılmaması da diğer bir sebep olarak gösterilebilir.

Tez çalışmasında başlıca, kompozit levhaların şekillendirilmesi ile test barı parçası üretilmiş ve karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Kullanılan teknolojinin seri üretime uygunluğu en önemli noktalardan biridir. Hat ile üretimde göz önünde bulundurulmuş koşullardan biri seri üretime uygunluğudur. Tez çalışmasında kullanılan malzemelere uygun tasarımlar gerçekleştirildiğinde bazı metal parçaların yerini alabileceği literatür ve güncel yürütülen araştırma geliştirme çalışmalarında gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasının başta otomotiv endüstrisi olmak üzere diğer alanlarda da yapılan ve yapılacak çalışmalara faydalı olacağı kanaatindeyim. Öneri olarak, bu çalışmada üretimi yapılan test numunelerine uygulanan test ve analiz sonuçlarının, yani mekanik özelliklerin, otomotiv dünyasında kullanılan metal aksamlar ile kıyaslanması ve termoplastik matrisli SETK malzemeler kullanılarak geliştirilecek otomotiv komponentlerinin kullanım alanlarını genişletmesine ışık tutacak nitelikte bir çalışmadır.

## KAYNAKLAR

- [1] MSW 1996; Katı atık yönetim merkezi US raporu.
- [2] **Yetim A.**, (Haziran 2014) Geri Dönüşüm Sektörünün Dünyadaki Genel Görünümü ve Türkiye'deki Durumu, Ar-Ge Bülten, 11-16
- [3] **Arıcasoy O.**, (Aralık 2006), ITO Kompozit Sektör Raporu 4-6
- [4] **Vural M.**, (2000), “*Polimer ve Kompozit Malzemeler*” İTÜ Makine Fakültesi
- [5] **Kaya Kerim D.**, (Haziran 2008), “*Kompozit Malzemelerin Kayma Testi İçin Aparat Tasarımı, İmalatı ve Kayma Gerilmesi Analizi*”
- [6] **Baydar G., Bekem A., Doğu M., Gemici Z., Ünal A.**, (Aralık 2011), “*Production and Characterization of Continous E-Glass Fiber Reinforced Polypropylene*”, Journal of Engineering Naturel Science
- [7] **Peters, S.T.**, (1998), “*Handbook of Composites*”, 2. Baskı Chapman & Hall London.
- [8] **Seçkin E., Sarıkanat M., Yıldız H.**, (2009), “*Methods Used in Reinforcement of Interface Resistance in Carbon Fiber Supported Termoplastic Composites*”
- [9] **Turan K., Gül M.**, (2009), “*Düzelemine Dik Doğrultuda Yüklenmiş Tabakalı Kompozit Levhalarda Elasto-Plastik Gerilme Analizi*”, Journal of Enginnering Fırat Üniversitesi,Elazığ
- [10] **Campbell F.C.**, “*Introduction to Composite Materials*”, ASM International Chapter 1
- [11] **Aydın A., Mayıs 2012**, “Malzeme Bilimi –II Kompozitler Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- [12] **Pandey P.C.**, (August 2004) , Composite Material II Sc., Bangalare
- [13] **Ulcay Y.**, (1989), “*The Effect of Surface Treatment on the Bonding Properties of Spectra Fibers for Use in Composites Structures*”, Maryland Collage Park University, USA.
- [14] **Ulcay Y., Akyol M., Gemci R.**, (2002), “*Investigation of Different Cure Methods on The İnterfacial Strenght of Polymer Based Fiber Reinforced Composite*”, Enginnering Faculty, Uludağ University, Bursa

- [15] **Harris B.**, (1999), “*Enginnering Composite Materials The Institute of Materials*” , London
- [16] **Şahin Y.**,2006, ”*Kompozit Malzemelere Giriş*”, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [17] **Saçak M.**, (2008), “*Polimer Kimyası*”, Gazi Kitabevi, Ankara
- [18] **Taşdemir M.**, (2006), “Polimer Malzemeler Ders Notu” Marmara Üniversitesi, İstanbul
- [19] **Akkurt S.**, (1991), “*Plastik Malzeme Bilgisi*”, İ.T.Ü Makine Fakültesi, İstanbul.
- [20] **Paksoy Ö.**, (Ocak 2008), “*Plastik Enjeksiyon Prosesinde Elyaf Yönlenmesinin İncelenmesi*” , İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul
- [21] **Aran A.**, (1990), “*Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler*”, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- [22] **Radden P.**, (January 2011), “*Success is a Matter of Materials*”, Railway Tecnology International.
- [23] **Grauer D.**, (January 2011), “*Leading The Way Through Innovatio*”, *Thermoplastic Composites Capture New Market's*” Railway Tecnology International
- [24] **F. T. Farbekung**, Continous Glass Fiber Reinforced PA6 by Using New Impregnation Die.
- [25] **Güllü A., Özdemir E., Demir H.**, (2001), “Investigation of the Effect of Glass Fiber Reinforcements and Enjection Parameters on PP and PA-6 Plastics”, Niğde Üniveristesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, CH,5 Sayı :1, Niğde.
- [26] **Ulcay Y.**, (1989), “*The Effect of Surface Treatment on the Bonding Properties of Spectra Fibers for Use in Composites Structures*”, Maryland Collage Park University, USA.
- [27] **Yurddaş Ç., Afşar E.**, “CTP Teknolojisi”, Cam Elyaf Sanayii A.Ş., Kocaeli
- [28] **Akkurt S.**, (1991), “*Plastik Malzeme Bilgisi*”, İ.T.Ü Makine Fakültesi, İstanbul.
- [29] **Paksoy Ö.**, (Ocak 2008), “*Plastik Enjeksiyon Prosesinde Elyaf Yönlenmesinin İncelenmesi*” , İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul.
- [30] Cam Elyaf Sanayi A.Ş. Home Page (30.04.2015)  
[http://www.camelyaf.com.tr/turkce/soru\\_cevaplar.php](http://www.camelyaf.com.tr/turkce/soru_cevaplar.php)

- [31] **Hyer, M.W.**, (1998) “*Stres Analyses of Fiber Reinforced Materials*”, McGraw Hill, Boston.
- [32] **Rosato, Dominick V.**, (1997), “*Designing with Reinforced Composites*” , Hanser, New York.
- [33] **Arıcasoy O.**, (Aralık 2006), ITO Kompozit Sektör Raporu, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
- [34] **Uçsular İ.**, (2007), “*Termoplastik Kompozitlerde Farklı Fiber Örgü Yapılarının Isıl Yükleme Davranışları Üzerindeki Etkileri*” Manisa.
- [35] **Saçak M.** “Polimer Teknolojisi” (2005), Gazi Kitabevi, Ankara
- [36] **J.K.Kim, J.H. Song**, (2007) “Rheological Properties And Elyaf Orientations of Short Elyaf-Reinforced Plastics, “Department of Chemical Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Kyungbuk 790-784, Korea.
- [37] **Kuppinger J.**,(April 2013), “*Developing an automation process to reduce the labour cost of producing composites: providing a route to mass production of composite components*”, Global Automotive Lightweight Materials, London.
- [38] Long Fiber Reinforced Termoplastic Composite Pellets, Erişim Tarihi : 24.04.2015  
<http://www.plasticomp.com/complet/>
- [39] **Şahin, Y.** (2000) “Kompozit Malzemelere Giriş”, Gazi Kitabevi, Ankara, 1-3, 65-66, 67-68, 87-88, 79-86, 38-41, 254, 211-215
- [40] Designing with fiber reinforced plastics/composites , Molded Fiber Glass Companies, Ashtabula
- [44] [http://www.speautomotive.com/SPEA\\_CD/SPEA2012/pdf/TP/TP2.pdf](http://www.speautomotive.com/SPEA_CD/SPEA2012/pdf/TP/TP2.pdf)
- [45] **Wedgewood, A. , Granowicz, P. , Zhang, Z. ,** (2014) “*Multi-Scale Modeling of an Injection Over-Molded Woven Fabric Composite Beam*” , SAE Technical Paper 2014
- [46] **R. Holschuh<sup>1</sup>, P. Mitschang<sup>1</sup>, R. Schledjewski**, (2009) “*Controlled Influence of Component Properties Using Hybrid Techniques by Combining Different Lightweight Structures*” , 18th International Conference on Composite Materials.
- [47] **T. Czigan, j. Karger-Koesis**, (2002) “*Handbook of Thermoplastic Polymers*”, Chapter 24, Textile Fabric-Reinforced Thermoplastic Polyester Composites,

WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim

[48] **D. Bonefeld, C. Obermann**, (2012), “*A Hybrid Technique For Serial Production of 3D Parts of Continious Fiber Reinforced Thermoplastics*”, ECCM15 - 15TH European Conferance On Composite Materials, Venice.

[49] **D. Bonefeld, C. Obermann**, (2012), “*A Hybrid Technique For Serial Production of 3D Parts of Continious Fiber Reinforced Thermoplastics*”, ECCM15 - 15TH European Conferance On Composite Materials, Venice.

[50] **M.Fiorotto, G. Lucchetta**, (2013), “*Experimental Investigation of a New Hybrid Molding Process to Manufacture High-Performance Composites*” International Journal of Material Forming, 6(1):179-185, Padova.

[51] **A. Jäschke, U. Dajek**, (2004), “*Dachrahmen in Hybridbauweise*”, Sonderdruck aus VDI-Tagungsband Nr. 4260 S. 25 - 45 © VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.

[52] “*The Perfect Combination of Thermoforming and Injection Molding, Engineering Passion*”, Krauss Maffie, Germany

[53] Kuka Roboter GmbH, (2005) , “*KR C2 Edition 2005 Controller*”, Germany

[54] **Mitzler J.**, (2011) “*Integrated Production Process For Plastic Hybrid Components, Cost Competitive Production with Fiber Form*”, Krauss Maffie, Almanya

[55] Dokuma Türleri , [www.dokumatasarim.blogspot.com](http://www.dokumatasarim.blogspot.com) , Erişim Tarihi : 27.03.2015

[56] Turhan, M. (2007), “*CTP’lerin Mekanik Özelliklerine Elyaf Hacim Oranlarının Etkisinin Araştırılması*”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

[57] **Savaşçı, Ö. T.; Uyanık, N.; Akovalı, G.** , (2002) “*Plastikler ve Plastik Teknolojisi*”, Pagyay, İstanbul, 325-400.

[58] **Yerleşen U.** (2015), “*Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Poliamid 6 Levhaların Şekillendirilmesi ve Karakterizasyonu*”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

Samet ŞAHİN, 1988 yılında Bursa'nın Kestel ilçesinde dünyaya geldi. Lise Eğitimini Bursa Çimento Fabrikası Anadolu Teknik Lisesi Elektrik bölümünde okul birincisi olarak tamamladı. 2007 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Alanında lisans eğitimini alan Şahin 2008 yılında Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yandal programına kabul aldı. Yine 2008 yılında ikinci üniversite olarak Laborantlık ve Veteriner Sağlık Teknikerliği programına kayıt yaptırıp, 2010 yılında bu programdan mezun oldu. 2011 yılında ise lisans eğitimini M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi üçüncüsü olarak bitiren Şahin, aynı yıl Marmara Üniversitesi Mekatronik A.B.D. 'nda Tezli Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Ders aşamasını 2012 yılında tamamlayarak tez çalışmalarına Sanayi Bakanlığı Destekli SAN-TEZ projeleri kapsamında sanayi tezi olarak hazırlık çalışmalarına başladı.

Farplas Oto Yedek Parçaları İml. ve İhr. A.Ş. firmasının da ortak olduğu bu proje kapsamında şirkette 2013 yılında araştırmacı olarak profesyonel iş hayatına atıldı. Mayıs 2014 yılı itibariyle Projeden bağımsız Farplas A.Ş. kadrosunda Proses Geliştirme Mühendisi olarak çalışmaya başlayan ŞAHİN, halen görevini sürdürmektedir.

Üniversite Eğitim-Öğretim yıllarında başarı bursları ile desteklenmiş olup, proje kapsamında uluslararası sempozyumda proje ekibi ile ortak bildiri yayını yapılmıştır. Evli ve yabancı dili İngilizcedir.

### **Bilimsel Eserler**

1-) *“Investigation of Continuous Fiber Reinforced PA6 and PP Matrix Composites as Structural Automotive Components”* Y. Umut, S.Samet, Y. Altan, O. Mustafa, 4<sup>th</sup> International Polymeric Composites Symposium, Exhibition and Brokerage Event, 7 – 9 May 2015.