

**KARBON KOMPOZİT ÇARPIŞMA KUTULARINDA  
METAL TAKVİYESİNİN ÇARPIŞMA  
PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**Mehmet Emin ÇELİK**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARBON KOMPOZİT ÇARPIŞMA KUTULARINDA  
METAL TAKVİYESİNİN ÇARPIŞMA PERFORMANSINA ETKİSİNİN  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Mehmet Emin ÇELİK**  
ORCID: 0000-0002-7436-6975

Doç. Dr. Murat REİS  
ORCID: 0000-0001-5853-488X  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

## TEZ ONAYI

Mehmet Emin ÇELİK tarafından hazırlanan "Karbon Kompozit Çarpışma Kutularında Metal Takviyesinin Çarpışma Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Murat REİS

**Başkan** : Doç. Dr. Murat REİS  
Bursa Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



**Üye** : Dr. Öğr.Üyesi Kenan TÜFEKÇİ  
Bursa Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Celalettin YÜCE  
Bursa Teknik Üniversitesi  
Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi  
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof.Dr.Hüseyin Aksel EREN

Enstitü Müdürü

30/01/2020

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

30/01/2020



**Mehmet Emin ÇELİK**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KARBON KOMPOZİT ÇARPIŞMA KUTULARINDA METAL TAKVİYESİNİN ÇARPIŞMA PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

**Mehmet Emin ÇELİK**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Murat REİS

Trafikteki otomobil sayısının artması doğal olarak trafik kazalarının da artmasına sebep olmaktadır. Otomobillerde olası bir kaza durumunda gerek şoför gerekse yolcuların güvenliğini sağlayabilmek amacıyla çeşitli güvenlik sistemleri kullanılmaktadır. Pasif güvenlik elemanlarından biri olan çarpışma kutuları genellikle alüminyum ve çelik malzemelerden üretilmektedir. Fakat her geçen gün yakıt tüketiminin ve karbon emisyonunun azaltılması için çarpışma kutuları dahil araçların birçok elemanı kompozit malzemelerden özellikle de karbon fiber malzemelerden imal edilmek istenmektedir.

Bu çalışmada, metal örgü tel takviyesinin karbon fiber kompozit çarpma kutularının çarpışma performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Silindirik geometriye sahip dört farklı tip metal takviyeli ve iki adet takviyesiz olmak üzere altı farklı tip test numunelerinden üçer adet toplamda on sekiz çarpışma kutusu numunesi üretilmiş ve aynı şartlarda düşürme testlerine tabi tutulmuştur. Deneylerde metal takviyeli karbon fiber çarpışma kutularında tel çapı ve tel yoğunluğu değişken olmak üzere dört farklı AISI304 örgü tel kullanılmıştır. Metal takviyeli numunelerde örgü tel, çift eksenli (biaxial) tipi iki karbon fiber kumaş arasına yerleştirilmiştir. Metal takviyesiz test numunelerinde ise ilk test numunesinde iki kat ve üç kat çift eksenli (biaxial) tipi karbon fiber kumaş, elle yatırma yöntemi ve reçine kullanılarak üretilmiştir. Deneyler sonucunda düşük çaplardaki ince metal tel takviyesinin kalın örgülü tele kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ancak karbon kompozit çarpışma kutularında metal örgü teli takviyesinin, birim kütle başına özgül enerji emilim değerini azalttığı ve bu nedenle çarpışma kutusu performansına kayda değer bir pozitif etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon, kompozit, çarpışma kutusu, örgü tel  
2020, viii + 47 sayfa.

## ABSTRACT

MSc Thesis

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF METAL REINFORCEMENT ON COLLISION PERFORMANCE IN CARBON COMPOSITE CRASH BOXES

**Mehmet Emin ÇELİK**

Bursa Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr Murat REİS

Various safety systems are used to ensure the safety of both drivers and passengers in the event of an accident. Crash boxes which are one of the passive safety elements, are usually made of aluminum and steel materials. However, many elements of vehicles and crash boxes are prefer to be made of composite materials, especially carbon fiber materials in order to reduce fuel consumption and carbon emissions.

In this study, the effect of metal mesh wire reinforcement on collision performance on carbon fiber composite crash boxes was investigated experimentally. A total of eighteen impact box samples were produced from six different types of test specimens, four different types of metal reinforced with cylindrical geometry and two without reinforcement, and subjected to drop tests under the same conditions. In the experiments, four different AISI304 meshed wires were used, with variable wire diameter and wire density in metal reinforced carbon fiber collision boxes. In metal reinforced samples, the mesh wire is placed between two biaxial type carbon fiber fabrics. In the non-metal reinforced test specimens, two and three layers of biaxial carbon-fiber fabric was produced. As a result of the experiments, it has been observed that the reinforcement of thin metal wire with low diameters gives better results than the thick meshed wire. However, it has been found that the reinforcement of metal meshed wire in carbon composite crash boxes reduces the specific energy absorption value per unit mass and therefore has no significant positive effect on crash box performance.

**Keywords:** carbon, composite, collision box, mesh wire  
**2020, viii + 47 pages.**

## TEŞEKKÜR

Tez alıőmam boyunca beni ynlendiren, teknik olarak bilgilendiren ve her anlamda beni destekleyen saygı değer danışman hocam Doc. Dr. Murat REİS'e ve deneylerde yardımlarını esirgemeyen Arő.Gör.Dr.Cihat ENSARİĞLU'na sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Üretim süreçlerinde bana desteklerini esirgemeyen Altuę BAKIRCI ve Furkan ERÇEL'e teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez süresince, kaynaklarını esirgemeyen Bursa Uludağ Üniversitesi Elektromobil Topluluęu'na ve güzel bir çalışma ortamı sunan Bursa Uludağ niversitesi'ne teőekkürlerimi sunarım.

Mehmet Emin ÇELİK  
30/01/2020

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. Kompozit Malzemeler.....	4
2.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları .....	5
2.1.2. Matris Türüne Göre Kompozit Malzemeler.....	6
2.1.3. Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler .....	7
2.1.4. Polimer Matrisli Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri.....	12
2.2. Çarpışma kutusu.....	20
2.2.1. Enerji Emilimi ile İlgili Tanımlamalar.....	20
2.2.3. Çarpışma kutuları ile ilgili yapılan çalışmalar .....	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	25
3.1. Malzeme seçimi .....	26
3.2. Üretim yöntemi seçimi.....	29
3.2.1. Kare geometri sökülebilir kalıp ile numune üretimi .....	29
3.2.2. Kare geometri tek parçalı kalıp ile numune üretimi.....	32
3.2.3. Silindirik karton kutu kalıp ile numune üretimi.....	35
4. BULGULAR .....	38
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	43
KAYNAKLAR .....	45
ÖZGEÇMİŞ .....	47



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$Al_2O_3$	Alüminyum oksit
$E_m$	Özgül enerji emilimi
$E_T$	Toplam sönümleme enerjisi
$F$	Eksenel doğrultudaki ezilme kuvveti
$F_{max}$	Maksimum kuvvet
$F_{ort}$	Ortalama ezilme kuvveti
$J$	Joule
$kg$	Kilogram
$kJ$	Kilojoule
$kN$	Kilonewton
$l$	Çarpışma kutsunun ilk boyuna
$m$	Ağırlık
$m$	Metre
$mm$	Milimetre
$m^2$	Metrekare
$N$	Newton
$S$	Ezilme miktarı (deformasyon miktarı)
$S_b$	Başlangıç deformasyon miktarı
$S_{maks}$	Maksimum deformasyon miktarının
$SiO_2$	Silisyum dioksit
$\eta_F$	Ezilme kuvveti verimi
$\eta_s$	Deformasyon verimi

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
ABS	Anti-Lock Braking System
ASR	Anti Schlupf Regelung
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer
ESP	Electronic Stability Program

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye İstatistik Kurumu Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri.....	1
Şekil 1.2. Bir aracın iskelet yapısı ve çarpışma kutuları .....	2
Şekil 2.1. Kompozit malzeme (PerOX 2009) .....	4
Şekil 2.2. Takviye elemanlı kompozit malzemeler; a)Elyaf takviyeli kompozit, b) Partikül takviyeli kompozit, c) Tabakalı kompozit, d) Karma kompozit ..	8
Şekil 2.2. Cam elyaf.....	9
Şekil 2.4. Aramid elyaf .....	9
Şekil 2.4. Aramid elyaf .....	10
Şekil 2.5. Karbon elyaf.....	11
Şekil 2.6. El yatırması yöntemi .....	13
Şekil 2.7. El yatırması yöntemi .....	13
Şekil 2.8. Vakum poşetleme yöntemi .....	14
Şekil 2.9. Filament Sarma Yöntemi .....	15
Şekil 2.10. Filament Sarma Yöntemi .....	16
Şekil 2.11. Vakum İnfüzyon Yöntemi (Poliya) .....	17
Şekil 2.12. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi .....	18
Şekil 2.13. Otoklav ile Kürlenme Yöntemi.....	19
Şekil 2.1. İdeal bir çarpışma kutusunun Kuvvet-Deformasyon miktarı grafiği.....	21
Şekil 3.1. a) Düşme test cihazı, b) Kullanılan takviye örgü tel, c) Kullanılan karbon fiber kumaş (biaxial).....	25
Şekil 3.2. Çarpışma kutusunun boyutları .....	26
Şekil 3.3. Karbonfiber takviye malzemesi (Çift eksenli (biaxial) karbon fiber kumaş-408 gr/m <sup>2</sup> ).....	27
Şekil 3.4. Matris malzemesi olarak kullanılan epoksi reçine ve sertleştirici .....	27
Şekil 3.5. Takviye malzemesi olarak kullanılan paslanmaz örgü tel .....	28
Şekil 3.6. Kare geometriye sahip kalıp .....	29
Şekil 3.7. Kalıp ayırıcı sprej, sertleştirici ve epoksi reçine malzemeleri .....	30
Şekil 3.8. Uygun ölçülerde kesilmiş karbon fiber ve çelik örgü tel malzemeleri .....	31
Şekil 3.9. Kalıp yüzeyine sarılan örgü tel takviye malzemesi .....	31
Şekil 3.10. Kürlenmeye bırakılan numune.....	32
Şekil 3.11. Kare geometriye sahip tek parça kalıp.....	33
Şekil 3.12. Tamamen reçine ile ıslatılmış karbon fiber kumaş.....	33
Şekil 3.13. Köşe kısımlara konulan L şeklindeki çelik saclar.....	34
Şekil 3.14. Kürlenmeye bırakılan numune.....	34
Şekil 3.15. Karton boru .....	35
Şekil 3.16. Jelatin ile kaplanan karton boru .....	35
Şekil 3.17. Numuneler için kesilen çelik ve karbon fiber malzemeler.....	36
Şekil 3.18. Örgü tel ile kaplanmış ve ip ile bağlanmış numune.....	36
Şekil 3.19. Karton kalıp ile beraber kesilen numuneler .....	37
Şekil 3.20. Deney için hazırlanan numuneler .....	37
Şekil 4.1 Üretilen numune tipleri .....	38
Şekil 4.2. Deney sonrası çarpışma kutularının deformasyonları a) 0,47-14 b) 0,47-12 c) 0,37-20 d) 0,25-20 e) X3 f) X2 .....	38
Şekil 4.3. Çarpışma kutularının Deplasman-Kuvvet verileri .....	39
Şekil 4.4. Çarpışma kutularının sönmüledikleri enerji miktarları.....	40

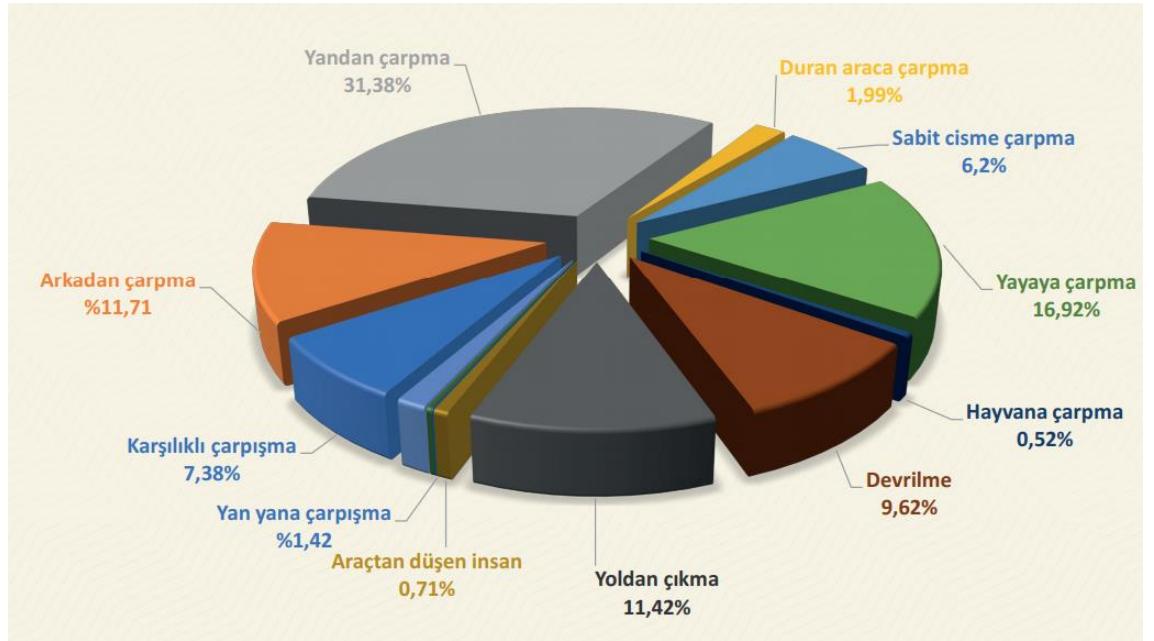
Şekil 4.6. Çarpışma kutuları numuneleri ile düşen kutla arasında oluşan .....	41
maksimum ve ortalama kuvvetler .....	41

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Pekiştirici olarak kullanılan liflerin fiziksel özellikleri .....	6
Çizelge 3.1. Çarpışma kutusu numune tipleri .....	26

## 1. GİRİŞ

Her geçen gün kara yolu ulaşımı artmakta ve buna paralel olarak da trafik yoğunluğu da artmaktadır. Taşıt sayısının artması beraberinde kazalarında artmasına neden olmaktadır. Otomobil üreticileri kazaların en aza indirgenmesi veya kaza anında sürücülerin zarar görmemesi için güvenli araçlar tasarlanmakta ve üretilmeye çalışılmaktadır.



**Şekil 1.1.** Türkiye İstatistik Kurumu Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri (Yaprak ve Akbulut 2019)

Şekil 1.1'de Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2018 kaza istatistikleri görülmektedir. Burada gerçekleşmiş trafik kazalarının %11,71'i arkadan çarpma, %7,38'i karşılıklı çarpışma ve %1,99'u duran araca çarpma olarak görülmektedir. Her ne kadar araçların yandan çarpışma oranı yüksek olsa da ön ve arkadan çarpma oranlarının da yüksek olduğu görülmektedir.

Otomotiv firmaları kaza anında çarpışma güvenliğini sağlamak amacıyla birçok çalışma yapmaktadır. Otomotiv firmaları trafik kazalarının en aza indirgenmesi ve ayrıca kaza olsa bile kaza sonrası kayıpların azaltılmasına için çaba harcamaktadırlar. Bu konuda

birçok güvenlik sistemi geliştirilmiştir. Bu güvenlik sistemleri aktif ve pasif güvenlik sistemi olarak iki gruba ayrılmaktadır(Altın 2018).

Aktif güvenlik sistemleri kazanın meydana gelme olasılıklarını düşürürken pasif güvenlik sistemleri ise kaza olduktan sonra yolcuların zarar görmemesini sağlayan sistemlerdir. Aktif güvenlik sistemlerine örnek verilecek olursak; kilitleme önleyici sistem (ABS), anti patına sistemi (ASR), elektronik denge programı (ESP), hız kontrolü ve park sensörü gibi sistemler örnek verilebilir. gibi sistemler, kontrolü, park sensörü gibi sistemler örnek verilebilir. Pasif güvenlik sistemleri ise aktif güvenlik sistemlerinin yetersiz kaldığı zamanlarda devreye giren elemanlardır. Çarpışma kutuları, emniyet kemeri, hava yastığı gibi taşıt elemanları pasif güvenlik sistemlerindedir. Emniyet kemeri yolcuların kaza anında ileriye doğru hareketini kısıtlarken, hava yastıkları olası bir çarpma durumunda yolcuların alabileceği darbelerin şiddetini emerek ölüm ve yaralanma olasılığını düşürür. Çarpışma kutuları ise olası bir çarpışma anında, çarpışma anında oluşabilecek darbeleri emerek yolcuların bu darbelerden en az seviyede etkilenmesini sağlamaktır. Çarpışma kutuları araçların ön ve arka kısımlarında bulunup hem önden hem de arkadan olan çarpışmalarda güvenliği sağlar (Kılıç 2018).



**Şekil 1.2.** Bir aracın iskelet yapısı ve çarpışma kutuları

Büyüyen dünya nüfusu nedeni ile araç kullanımı artmaktadır. Araç kullanımlarındaki artış petrol ürünlerinin kullanımını artırmakta ve tüketmektedir. Buna paralel olarak

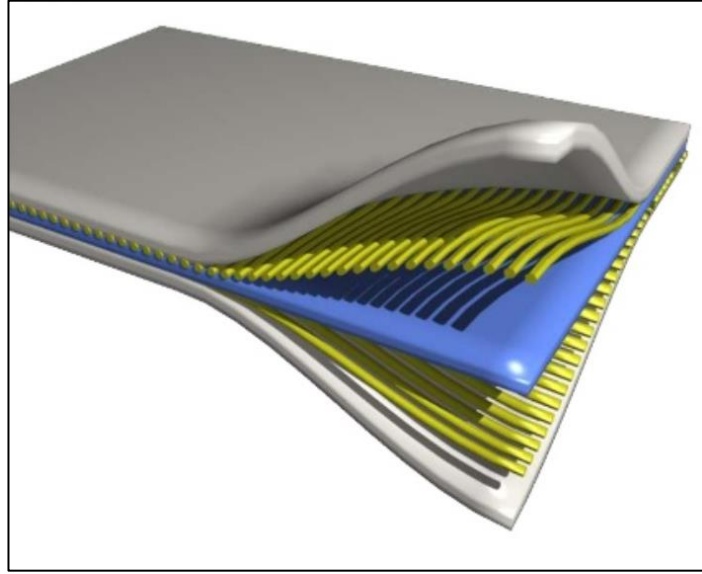
karbon salınımlarından dolayı her geçen gün çevre kirliliği artmaktadır. Bu nedenle son zamanlarda otomotiv üreticileri araçlardaki yakıt tüketimlerini azaltmak için araçlardaki ağırlık yaratan birçok komponenti hafifletmek zorundalar. Bu bağlamda araçta bulunan birçok parça özellikle karbon fiber olmak üzere kompozit malzemelerden üreilmeye başlanmıştır. Karbon fiber malzeme çarpışma kutularında da kullanılmakta ve bunların üzerine alışmalar yapılmaktadır (Ersoy 2016).

Bu tez konusunda da karbon fiber malzemeden üretilmiş çarpışma kutularında metal takviyesinin çarpıma performansını nasıl etkilediği deneysel olarak incelenmektedir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Kompozit Malzemeler

İstenilen özellikleri sağlamak için en az iki malzeme olacak şekilde fiziksel olarak, makro yapıda bir araya gelerek oluşan yeni malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemelerin üretimindeki amaç, tek başına istenilen özellikleri sağlamayan ve birbiri içinde çözünmeyen malzemelerin birleştirilerek özelliklerin iyileştirilmesidir. Kompozit malzemeler matris malzemesi (birleştirici) ve takviye malzemesi olmak üzere iki temel bileşenden oluşur. Kompozit malzemeler sahip oldukları dayanımlarını takviye malzemesinden alırken tokluk ve süneklik gibi özelliklerini de matris malzemelerden alırlar. Matris malzemesinin en büyük görevi ise takviye malzemelerini bir arada tutmaktır (Chawla 1987).



Şekil 2.1. Kompozit malzeme (PerOX 2009)

Kompozit malzemeler gerek hafiflik gerekse dayanım özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılabilir. Özellikle de havacılık sanayisinde çok kullanılmaktadır. Her geçen gün kompozit malzemelerin üretimi gelişmekte ve bundan dolayı birçok sektörde de kullanımı artmaktadır. Özellikle son zamanlarda artan yakıt tüketimini azaltmaya yönelik olan çalışmalarda araçların birçok komponenti de kompozit malzemelerden üretilmektedir. Her ne kadar kompozit malzemelerin birçok avantajının



olsa da dezavantajları da olmaktadır. Bu dezavantajların azalmasına paralel olarak kompozit malzemelerin üretimi ve kullanımı da artmaktadır (Tornero 2015).

### **2.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları**

Kompozit malzemeler metallere göre birçok farklı özelliğe sahip olabildiğinden dolayı tercih edilebilmektedir. Özellikle de hafif ürünler üretilbildiği için birçok avantaj sağlamaktadırlar. Fiber takviyeli kompozitlere bakıldığında korozyon direnci, elektrik, ses ve ısı izolasyonu sağlamalarından ötürü üstünlük sağlanmaktadır. Kompozit malzemelerin avantajları yanında dezavantajları da olmaktadır. Bu dezavantajlarının azaltılması durumunda metal malzemelerin yerini hızlı bir şekilde kompozit malzemelerin alması anlamına gelmektedir.

Kompozit malzemelerin avantajları aşağıda belirtilmiştir:

- Yüksek dayanım
- Rijitlik
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Korozyon direnci
- Termal ve ısı iletkenliği
- Hafiflik
- Estetik görünüm
- Tasarım esnekliği
- Metallere göre yüksek kopma uzaması

Dezavantajları ise:

- Üretimin zorluğu
- Nem tutma
- Yüksek maliyet
- Geri dönüşümsüz olma

- Düşük kırılma uzaması
- Metallere yapışmaması (İnce 2014)

### 2.1.2. Matris Türüne Göre Kompozit Malzemeler

Matris malzemeler kompozit içerisinde bulunan elyaf malzemelerini destekleyip bir arada tutmak için kullanılan malzemelerdir. Kompozit malzemelere gelen yük matris malzeme tarafından karşılanıp takviye malzemelerine dağıtılır. Kompozit malzemelerin maksimum çalışma sıcaklığında matris malzemesi belirleyicidir. Bu nedenler matris malzemesi seçilirken buna dikkat edilmelidir. Matris malzemeler takviye malzemesine göre daha düşük dayanıklılığa sahiptir. Matris malzemeler, elastik veya kırılğan olabilir. Yoğun olarak kullanılan matris malzemeler polimerler, metaller ve seramiklerdir. Her matrisin kendine özel avantaj ve dezavantajları vardır (Kaya 2016).

Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler:

Polimer matrisli kompozitler genellikle petrokimya esaslı ürünler olup günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Polimer matrisler korozyon direnci yüksek olan malzemelerdir. Polimer matrisli kompozitler termoplastik ve termo-set malzemeler olarak ikiye ayrılır.

Liflerle pekiştirilmiş kompozitler özellikle endüstride çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Pekiştirici malzeme olarak cam, karbon ve kevlar gibi lifler kullanılır.

Çizelge 2.1'de pekiştirici malzemelerin fiziksel özellikleri görülmektedir.

**Çizelge 2.1.** Pekiştirici olarak kullanılan liflerin fiziksel özellikleri (Bodur 2016)

Malzeme	Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Çekme mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Elastisite modülü (N/mm <sup>2</sup> )
Cam lifi	2,54	2410	70000
Karbon lifi	1,75	3100	220000
Kevlar lifi	1,46	3600	124000

Polimer kompozitlerde en çok kullanılan bağlayıcı malzemeler polyester ve epoksidir. Pekiştirici liflerin miktarlarının atması kompozit malzemenin mukavemetin yükselmesini sağlamaktadır. Polimer kompozitlerin en belirgin ve en önemli özelliği özgül mukavemet değeri ve elastisite modülüdür. Bu özelliklerinden dolayı metallere göre üstün durumdadırlar (Demir ve ark. 2018).

#### Metal Matrisli Kompozitler Malzemeler:

Metal matrisli malzemeler, ana malzemenin metal ve metal alaşımı olan malzemelerdir. Bu malzemeler yüksek çalışma sıcaklığı gereken durumlarda kullanılabilir. Bu özelliklerinden dolayı polimer malzemelere göre avantajları olmaktadır. Ayrıca metal matrisli kompozit malzemelerin dayanımları da polimer kompozitlere göre daha iyidir (Uygur ve Saruhan 2004).

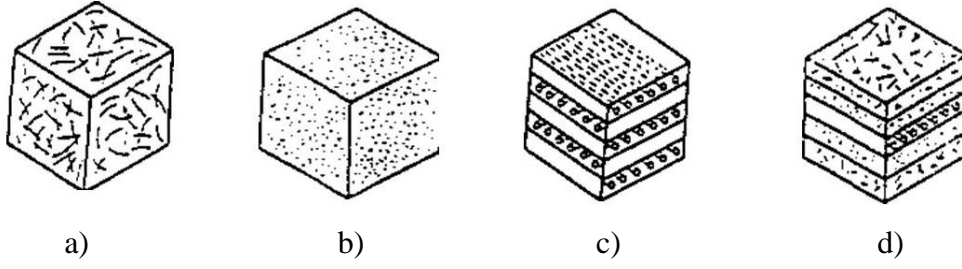
#### Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler:

Seramik malzemelerin yüksek sıcaklık dayanımları ve hafifliklerinden dolayı kullanılırlar. Seramik kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıkların olduğu alanlarda kullanılırlar. Seramik malzemeler sert ve kırılabilir olduklarından dolayı liflerle takviye edilirler. Seramik malzemelerin bir diğer özelliği de elektriksel olarak iyi bir yalıtkanlık özelliğine sahiptirler (Kalemtaş 2015).

### **2.1.3. Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler**

Matris malzemesi içerisine istenilen şartları sağlayacak şekilde takviye malzemesi ilave edilir. Takviye malzemesi olarak farklı tiplerde malzeme kullanılabilir.

Şekil 3.2’de takviyeli kompozit tipleri gösterilmiştir.



**Şekil 2.2.** Takviye elemanlı kompozit malzemeler; a) Elyaf takviyeli kompozit, b) Partikül takviyeli kompozit, c) Tabakalı kompozit, d) Karma kompozit

#### Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler:

Kompozit malzemelerde yer alan temel mukavemet elemanı matris malzemesinin içerisinde bulunan elyaflardır. Bu elyaf malzemeler düşük yoğunluk, yüksek elastisite ve yüksek sertlik değerlerine sahiptirler. Ayrıca kimyasal korozyon dirençleri de iyidir. Bu elyaflar içerisinde en çok bilinen ve en eski tip elyaflar cam elyaflardır. Son yıllarda ise bu elyafların yerini karbon ve aramid elyaflar almaktadır. Karbon ve aramid elyaflar özellikle havacılık sektöründe çok kullanılmaktadır. Bu elyafların özellikle düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Karbon ve aramid elyafların maliyetlerinde düşüşe paralel olarak başka alanlarda da kullanımları artmaktadır. Bu elyafların mikroyapısal özelliklerin üstün olması, küçük tane boyutları ve küçük çaplı olmaları ve elastisite modüllerininin yüksek olması yüksek performanslı malzemeler olmasını sağlamaktadır.

Cam elyafı kısaca tanımlamak gerekirse cam ipliğidir denilebilir. Silisli kum, asit borik, kireç taşı, alüminyum ve magnezyum karışımı ile elde edilir. Yalıtım ve dokumada yoğun olarak kullanılmakta olup ayrıca birçok plastik üründe de güçlendirici rolü vardır. Eritilmiş camın küçük deliklerden geçirilip karıştırılması ile üretilir. Yüksek dayanımlarından dolayı kompozit malzemelerde kullanılmaktadır.

#### Cam elyaflar;

- Yüksek çekme mukavemeti,
- Birim ağırlığa düşen mukavemetin çeliğe göre yüksek olması
- Elektrik yalıtkanlığı,

- Düşük ısı direnç,
- Korozyona karşı yüksek direnç,
- Yanmaya karşı direnç
- Kimyasal malzemelere karşı direnç gibi özelliklere sahiptirler (Castro 2017).



**Şekil 2.2.** Cam elyaf

Kendi içinde de kompozit yapı olan bor elyaflar, çekirdek olarak nitelendirilen ince bir flamanın etrafı bor ile kaplanarak imal edilir. Çekirdek olarak genellikle tungsten kullanılır, ancak yeni uygulamalarda karbon çekirdek ta kullanılabilir. Bor elyafların 2040 °C değerinde erime sıcaklıkları vardır (Aksoylu 2007).



**Şekil 2.4.** Aramid elyaf

Silisyum karbür elyaflar, bor elyaflar gibi silisyum karbürün tungsten malzeme çekirdek etrafına kaplanması ile imal edilir. 0,1-0,14 mm çap aralılarında üretilebilmektedir. Özellikle de yüksek sıcaklıklarda olan özellikleri bor elyaflarından daha iyi olabilmektedir. Silisyum karbür elyaflar mukavemet özelliklerinin %30'nu 1370 °C'de kaybederken bor elyaflar 640 °C'de kaybetmektedir. Ayrıca silisyum karbür elyaflar çoğunlukla titanyum matrisle kullanılır. Bor elyaflara göre olumsuz olan özelliği ise daha yüksek yoğunluğa sahip olmalarıdır (Castro 2017).

Uçak yapılarında kumanda yüzeylerinde kullanılan aramid elyaflar, düşük basma mukavemetlerinden dolayı karbon elyaflar ile beraber kullanılmaktadır. Elektrik iletkenliği olmayan aramid elyaflar, düşük basma mukavemetine sahiptirler.

Aramid elyafların önemli özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Yüksek çekme dayanımı,
- Yüksek darbe dayanımı,
- Yüksek aşınma dayanımı,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Yüksek kimyasal dayanımları gibi özellikleri vardır (Tunç 2012).



**Şekil 2.4.** Aramid elyaf

Alümina alüminyum oksit olarak ta bilinir ( $Al_2O_3$ ). Alümina Elyaf lar elyaf formundaki 0,02 mm çapında olan bu malzemenin Silisyum dioksit ( $SiO_2$ ) ile kaplanmasıyla imal edilir.

Bu elyafların çekme mukavemetlerinin yeterinde yüksek olmamasına karşın basma mukavemeti yüksektir. Yüksek sıcaklıklara dayanımlarından dolayı özellikle uçak motorlarında kullanılmaktadır (Can 2019).

Karbon elyaf, bir diğer adı ile karbon fiber malzeme, teknoloji ürünü bir malzemedir. Çelik malzemelere göre çok 4,5 kat hafif olması ve ayrıca 3 kat daha fazla dayanıma sahip olmasından dolayı bu malzemelerin kullanımı artmaktadır. Günümüzde maliyetlerinin yüksek olması ve üretimin seri üretime uygun olmaması nedeni ile özellikle havacılık sektöründe yoğun olarak kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişimi ile beraber hem maliyet hem de üretim yöntemlerinin gelişmesi ile otomotiv sektöründe de kullanımı artmaktadır.

Karbon elyaflar çoğunlukla plastik matrisler ile beraber kullanılırlar. Bu plastik matrislerden en çok kullanılan türleri epoksi reçineleridir. Bunun dışında alüminyum ve magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılabilir (Chawla 1987).



**Şekil 2.5.** Karbon elyaf

#### **2.1.4. Polimer Matrisli Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri**

Polimer matrisli kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri, reçine yapısı, elyaf ve dokumanın tipi, üretim yöntemi gibi birçok parametrelerden etkilenmektedir. Üretilen polimer matrisli bir kompozitin içerisinde aynı malzemeler olmasına rağmen üretim yönteminin farklı olması bile mekanik ve fiziksel özelliklerinde büyük değişimlere neden olabilmektedir. Bu nedenle bu tür kompozit malzemelerde üretim yönteminin üretilen kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkisi büyüktür.

Kompozitlerde üretim yöntemi seçilirken birçok parametrenin göz önünde bulundurulması gerekir. Üretim yöntemi belirlenirken, kompozit malzemenin hangi şartlarda kullanılacağı, ihtiyaç duyulan ürün sayısı, ürünün boyutu, üretim yöntemi maliyeti gibi parametreler göz önünde bulundurulabilir.

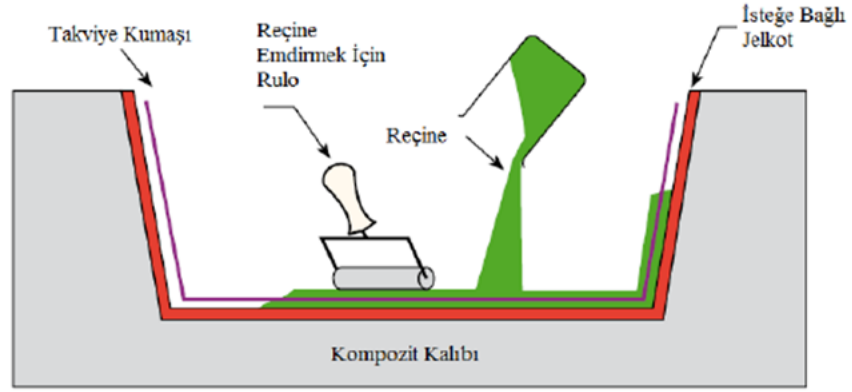
El Yatırması Yöntemi:

El yatırması yöntemi düşük adetteki üretimlerde tercih edilmektedir. Bu yöntem ile üretilen kompozit malzemelerde genellikle takviye malzemesi olarak karbon, cam, aramid elyaf kullanılırken, matris malzemesi olarak ta polyester, epoksi, fenolik ve vinilester reçineler kullanılmaktadır.

El yatırması yönteminde üretilen parçanın kalıbı hazırlandıktan sonra, kalıp yüzeyine önce parçanın kalıptan kolayca ayrılabilmesi için kalıp ayırıcı uygulanır ve sonrasında sprey veya fırça yardımı ile jelkot uygulanır. jelkot malzemesi yeterli derece sertleştikten sonra kullanılacak olan takviye malzemesi jelkot olan yüzeye yerleştirilip reçine takviye malzemesi üzerine dökülür. Takviye malzemelerinin üzerine reçine döküldükten sonra iç kısımlarda hava kabarcıklarının kalmaması için rulolama yapılır.

Parçada istenilen kalınlık sağlanana kadar bu işlem tekrar edilir. Parçanın atmosferik basınçta kısa bir süre sonunda sertleşmesi için reçine içerisine katalizörler ve hızlandırıcı gibi ek malzemeler eklenir. Şekil 2.6'da bu yöntem şematik olarak gösterilmiştir.



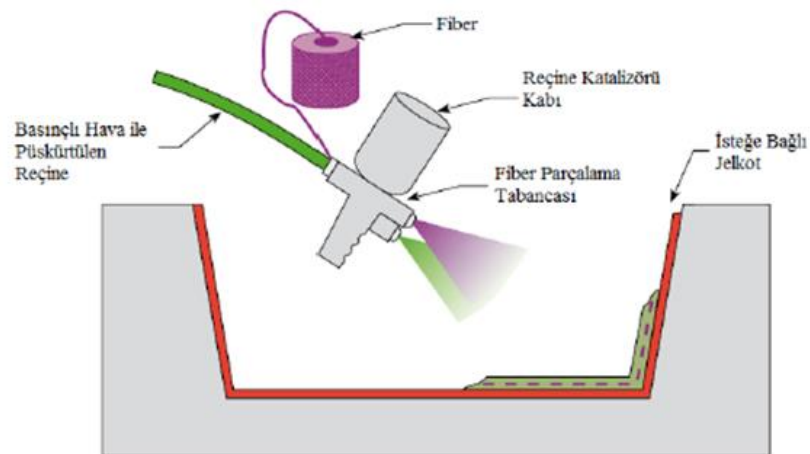


Şekil 2.6. El yatırması yöntemi

El yatırması yöntemi düşük bir yatırım maliyetine sahiptir. Bu nedenle az sayıda parça ihtiyacı durumlarında bu yöntem tercih edilebilmektedir. Bu yöntem ile üretilen parçalarda mekanik ve fiziksel özellikler değişkenlik gösterebilmektedir (Işık 2008).

Püskürtme Serim Yöntemi:

Bu yöntemde uygulama tabancasına basınçla gelen reçine katalizör ile birleşerek ve aynı zamanda tabanca üzerinden kırılan elyaflar ile beraber kalıba püskürtülür. Bu yöntemde de ürünler el yatırmasındaki yöntemdeki gibi atmosferik basınçta ilave ısı gerekmeden üretilir. Kalıp üzerine püskürtülen elyaf ve reçine, iç kısımlarda hava kalmaması için rulo ile sıkıştırılabilir (Işık 2008).



Şekil 2.7. El yatırması yöntemi

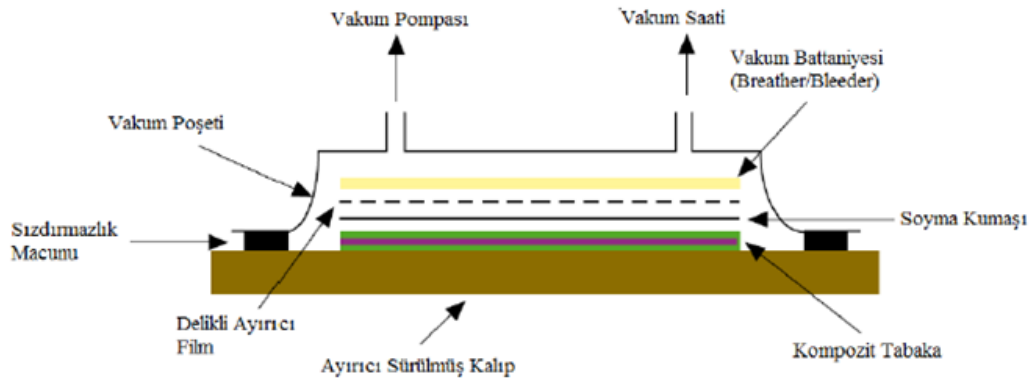
Püskürtme serim yönteminde ürünün homojenliği operatör olan kişiye bağlı olduğu için tam olarak sağlanmayabilir. Bundan dolayı üretilecek olan ürünlerde takviye ve matris homojenliğini sağlamak amacı ile bazı uygulamalarda püskürtme işlemi robotlar ile yapılmaktadır.

Bu yöntemde takviye malzemesi genellikle cam elyaf iken matrisi malzemesi de polyester olmaktadır. El yatırması yöntemine göre daha hızlı olmakla beraber, yüksek reçine oranından dolayı kompozitin ağırlığı artmaktadır. Bunun dışında kontrolsüz elyaf dağılımlarından dolayı düşük mekanik özellikler ortaya çıkmaktadır (Işık 2008).

#### Vakum Poşetleme:

Kompozit malzeme üretimi için yapılan kalıp önce kalıp ayırıcı ile kaplanır. Kalıp ayırıcıdan sonra kullanılacak olan elyaf ve reçine malzemesi kalıp yüzeyine el yatırması yöntemindeki işleme benzer şekilde kaplanır. Bu işlemden sonra hem kompozit malzemesinin yüzeyinin düzgün çıkması hem de delikli naylon vakum poşetinin daha kolay ayrılması için soyma kumaş yerleştirilir. Soyma kumaşının üst kısmına fazla reçinenin geçişi için delikli naylon ve bu malzemenin üstüne de her yere düzgün basınç yapılabilmesi için vakum battaniyesi yerleştirilir. Sızıntı olmayacak şekilde vakum poşeti ile tüm yüzeyler kapatılır. Son olarak vakum pompası yardımı ile içerdeki hava çekilerek vakum poşetinin kompozit yüzeyine baskı yapması sağlanır. Belirli bir süre sonunda kompozit malzeme kuruduktan sonra kalıptan ayrılır (İnce 2014).

Şekil 2.8’de bu yöntem şematik olarak gösterilmektedir.



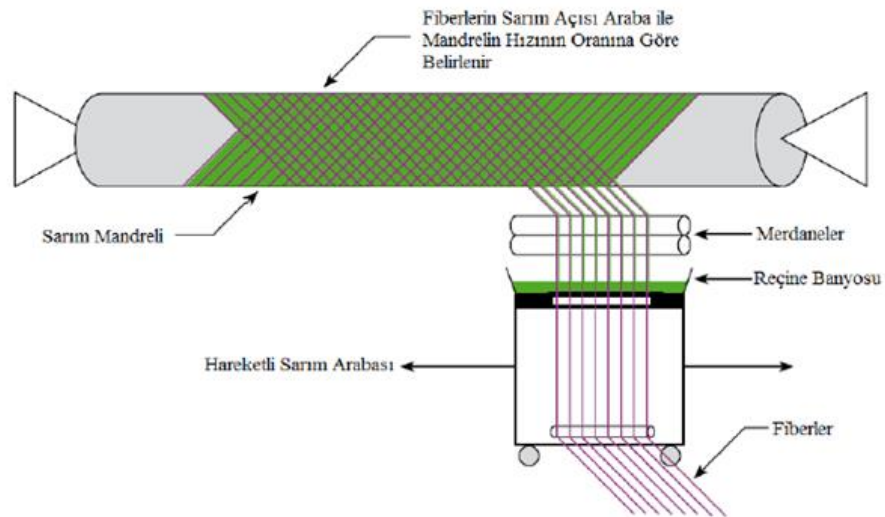
Şekil 2.8. Vakum poşetleme yöntemi

Bu yöntemde, vakum sayesinde reçinenin elyaf içine daha homojen şekilde dağılması sağlanmaktadır. El yatırması yöntemine göre mekanik ve fiziksel özellik bakımından daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Ayrıca vakum çekilmesi ile oluşan basınç sayesinde kompozit malzemede oluşan boşluklar en az seviyeye indirebilmektedir. El yatırması yöntemine göre çok daha iyi sonuçlar elde edilmekte ancak üretim yöntemi maliyeti yüksektir. Bu yöntem özellikle konsept ve yarış araçların gövde parçaları, gemi gövdeleri gibi alanlarda tercih edilmektedir.

#### Filament Sarma Yöntemi:

Bu yöntem ile genellikle içi boş silindirik veya oval parçalar üretilebilmektedir. Tank, boru gibi ürünlerin üretilmesinde tercih edilmektedir. Diğer yöntemlere kıyasla seri üretime daha uygun bir yöntem denilebilir. Takviye malzemesi olarak genellikle cam, karbon, aramid gibi elyaflar kullanılırken, matris malzemesi olarak ta epoksi polyester ve fenolik malzemeler kullanılabilir.

Bu yöntemde kullanılacak olan elyaf önce reçine içinden geçirilir. Elyaf malzeme reçine içeresinden geçirildikten sonra mandrel üzerine istenilen açılarda sarılır. Bu yöntemde kür işlemi atmosfer basıncında herhangi bir ısıtma işlemi olmadan gerçekleştirilebilir (Tugay 2009).



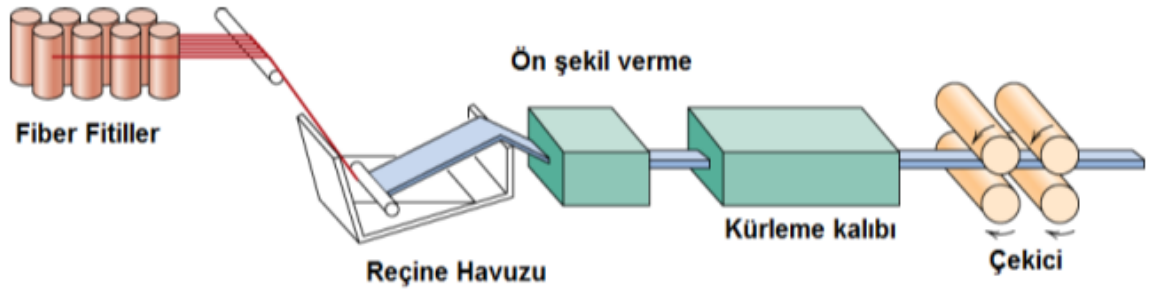
**Şekil 2.9.** Filament Sarma Yöntemi

Bu yöntemde üretim prosesi otomatik olduğu için seri üretime uygundur. Ayrıca sarım açılarının uygun şekilde ayarlanması ile yüksek mukavemetli ürünler elde edilebilir.

#### Pultrüzyon Yöntemi:

Bu yöntem ile farklı kesitlerde profiller üretilmektedir. Seri üretime uygun olan bu yöntemde farklı türde elyaflar kullanılabilir. Reçine olarak ta polyester, epoksi, fenolik ve vinilester kullanılabilir.

Bu yöntemde elyaflar reçine banyosundan geçirilip ıslatılır. Islatılmış elyaflar bu işlemde sonra şekil vermek için kalıba girer. Ürün şeklini aldıktan sonra küreleme kalıbının içine girer ve nihai ürün üretilmiş olur. Bir çekici yardımıyla ürün çekilerek istenilen ölçülerde kesilir (Topçu ve ark. 2018).



**Şekil 2.10.** Filament Sarma Yöntemi

Bu yöntem ile yüksek kalitede ve yüksek mukavemetli ürünler elde edilebilmektedir. Üretim yöntemi otomatik olduğundan dolayı seri üretime uygundur. Üretilen ürünlerde kalite anlamında tekrarlanabilirlik vardır. Üretim prosesinde ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve üretilen ürün şekillerinin kısıtlı olması da bu üretim yönteminin dezavantajları arasındadır.

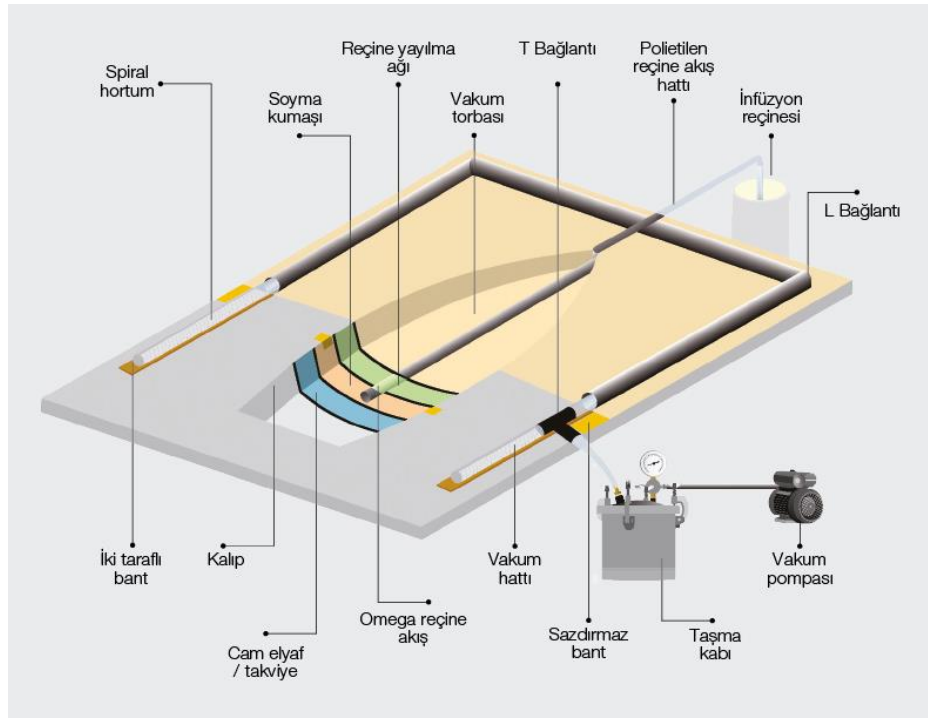
#### Vakum İnfüzyon Yöntemi:

Vakum infüzyon yönteminde özellikle büyük parçaların üretilmesi daha kolaydır. Kullanılan takviye malzemesi herhangi bir tipteki kumaş olabilir. Matris malzemesi

olarak ta epoksi, polyester ve vinilester kullanılabilir. Özellikle rüzgar türbini, tekne gövdeleri ve araç gövdeleri üretilebilmektedir.

Vakum infüzyon yönteminde öncelikle kompozit kalıbında kullanılacak olan yüzeylere kalıp ayırıcı sürülür. Sonrasında kullanılacak olan elyaf kuru şekilde kalıba serilir. Elyaf üzerine kürtleme işleminden sonra kolayca kompozit malzemeden ayrılabilen soyma kumaşı serilir. Soyma kumaşının üzerine reçine geçişini kolaylaştıran akış filesi (reçine yayılma ağı) serilir. Kalıbın çevresi ve orta kısımlarından reçine geçişi için spiral hortumlar konular ve sonrasında vakum poşeti ile kalıbın tüm yüzeyleri kapatılır. Vakum poşeti altında kalan hava vakum pompası ile çekilirken infüzyon reçine haznesindeki reçine de spiral hortumlara çekilir. Bu sayede çekilen reçine kalıbın tüm kısımlarına yayılır fazla olan reçine çıkış kabına aktarılır.

Bu yönteme benzer olan vakum poşetleme yöntemine göre daha hızlıdır. Ayrıca elyaf içindeki boşluklarda minimum seviyeye düşürülmektedir. Ürün kalitesi yüksek olmakla beraber üretimi yapan operatöre de bağlıdır. Operatör hatası üründe ciddi hatalara neden olabilir (Ulus 2018).



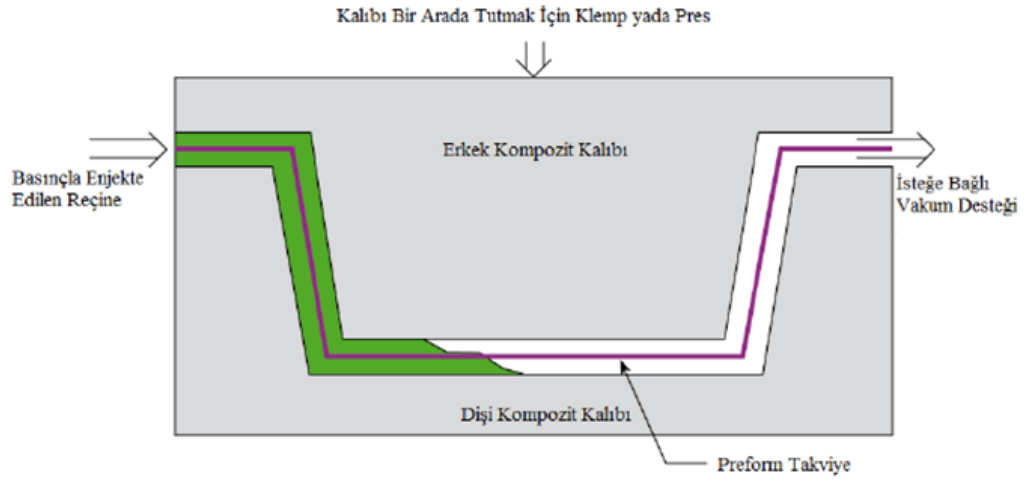
Şekil 2.11. Vakum İnfüzyon Yöntemi (Poliya)

## Reçine Transfer Kalıplama:

Bu üretim yöntemi özellikle de vakum infüzyon yöntemine çok benzemektedir. Vakum infüzyonundan farkı ise vakum infüzyon yönteminde tek kalıp yüzeyi olduğu, için tek yüzey hassaslığı varken reçine transfer kalıplamada her iki yüzeyde de hassasiyet sağlanabilmektedir.

Bu yöntemde herhangi bir kumaş kullanılabilir. Matris malzemesi olarak ta polyester, epoksi, fenolik ve vinilester kullanılabilir. Özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerinde küçük ve karmaşık parçaların üretilmesinde kullanılmaktadır.

Reçine transfer kalıplama yönteminde elyaf malzemesi kuru şekilde kalıba serilir. Sonrasında ikinci kalıp ile kapatılır. İkinci kalıp pres veya klemp yardımı ile kapatılabilir. Kalıp tamamen kapatıldıktan sonra reçine kalıp boşluğuna enjekte edilir. Kalıp içinde bulunan elyaf malzeme tamamen ıslatıldıktan sonra reçine akışı durdurulur ve ürünün kürlenmesi beklenir. Kürlenme ortam sıcaklığında veya kalıplara ısı verilerek yapılabilir.



**Şekil 2.12.** Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi

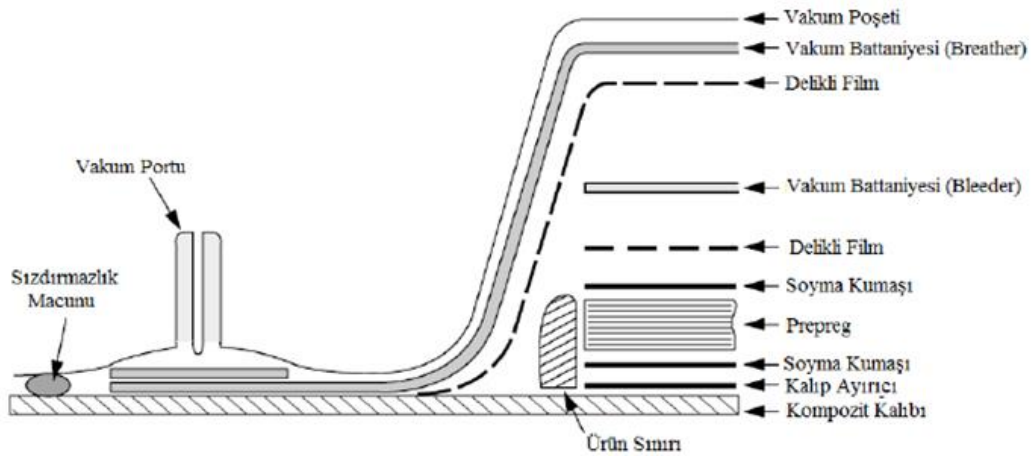
Bu yöntem ile minimum boşluklu ürünler üretilebilmektedir. Ayrıca iki taraflı kalıp kullanıldığı için hem her iki yüzeyin hassasiyeti iyi hem de ürünün kalınlığı kontrol

altına alınabilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı olarak ta ilk kurulum maliyeti yüksek olması denilebilir (İnce 2014).

#### Otoklav ile Kürleme Yöntemi:

Bu yöntemin temeli vakum poşetleme yöntemine dayanmakta fakat bu yöntemden farklı olarak önceden reçine emdirilmiş (prepreg) elyaflar kullanılmaktadır. Herhangi bir kumaş tipi kullanılabilir. Matris malzemesi olarak ta epoksi polyester ve fenolik reçineler kullanılabilir. Bu yöntem ile özellikle yüksek performans gerektiren parçalar üretilmektedir. Özellikle havacılık ve otomotivde kullanılmaktadır.

Bu yöntemde önceden reçine emdirilmiş (prepreg) kumaş kalıp ayırıcı sürülen bir kalıba serilir. Serilen prepreg kumaşın üzerine reçinenin kolayca yayılması ve üretilecek ürün yüzeyinin yapıştırma ve boyama için uygun yüzey oluşturması için soyma kumaşı serilir. Soyma kumaşından sonra kürleme işlemi esnasında oluşabilecek gazların ve fazla reçinenin geçişi için delikli naylon serilir. Delikli naylondan geçen reçinenin absorbe edilebilmesi, elyaf matris oranının optimum olmasını, yüksek basınç altında keskin köşelerin parçaya zarar vermesini önlemek ve vakumun parçanın her alanına yayılmasını sağlamak için delikli naylon üzerine vakum battaniyesi serilir. Son olarak vakum poşeti ile hava almayacak şekilde kaplanarak vakum alınır. Vakuma alınan kalıp yüksek basınçlı olan sıcak gaz (120-180°C) altında kürlenmek üzere otoklava alınır.



Şekil 2.13. Otoklav ile Kürleme Yöntemi

## 2.2. Çarpışma kutusu

### 2.2.1. Enerji Emilimi ile İlgili Tanımlamalar

Çarpışma kutularının yük altında nasıl bir davranış sergilediğini belirtmek için çeşitli kavramlar kullanılmaktadır. İdeal bir çarpışma kutusunda, çarpışma kutularının en temel kavramlarından olan enerji emilimi ve ezilme kuvveti verimi değerlerinin yüksek olması beklenmektedir. Bir diğer deyişle çarpışma kutusunun yüksek enerji emilimi yapması beklenirken aynı zamanda çarpışma bölgesinde oluşan kuvvetlerin de birbirine yakın olması istenmektedir. Çarpışma bölgesinde oluşan kuvvetlerin birbirine yakın olması, araç içinde bulunan yolcuların çarpışma anında meydana gelen darbelerden en az seviyede etkilenmesi anlamına gelmektedir. Bundan dolayı çarpışma bölgesinde oluşan maksimum kuvvet ile ortalama kuvvet arasındaki farkın az olması istenmektedir. Her ne kadar bu iki kavram önemli olsa da gün geçtikçe başka kavramlarda önemini artırmaktadır. Örneğin günümüzde araçların hem yakıt tüketiminin azaltılması hem de karbon emisyonunun azaltılması için araçların hafif olması istenmektedir. Bu nedenle çarpışma kutularının da hafif olması önemli bir konudur. Bu nedenle bir diğer kavram olan özgül enerji emiliminin de yüksek olması beklenmektedir. Çarpışma kutularının geliştirilmesi için yapılan çalışmalarda her ne kadar enerji emilimi artırılmaya çalışılsa da aynı zamanda çarpışma kutularının hafifletilmesi de gerekmektedir. Çarpışma kutuları ile alakalı bir diğer kavram olan deformasyon verimini ise çarpışma kutusunun ezilme miktarının çarpışma kutunun ilk boyuna oranı olarak ifade edilmektedir. Çarpışma kutuları, çarpışma esnasında oluşan enerjiyi ezilerek sönmüledikleri için bu değerlerin yüksek olması istenmektedir.

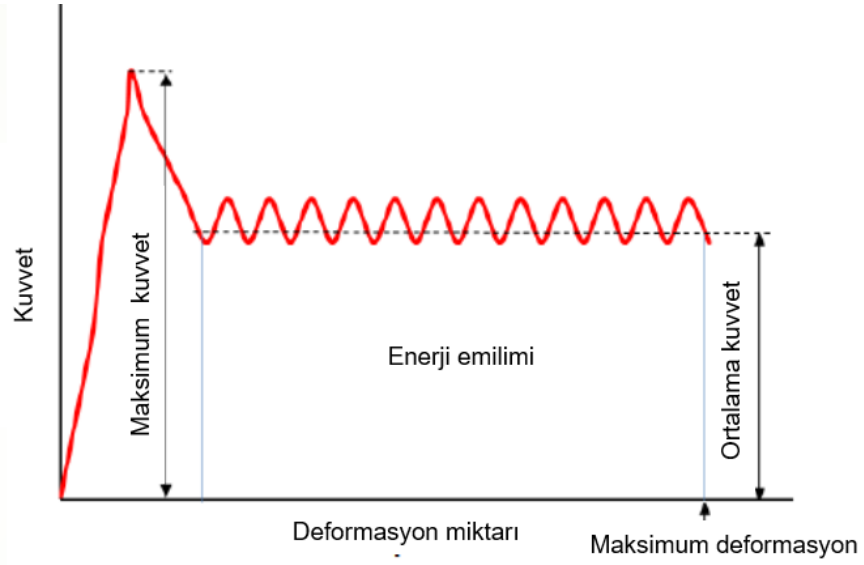
Toplam Enerji Emilimi:

Çarpışma kutusunun sönmülediği enerji olarak ifade edilebilir. En basit tabiri ile çarpışma anında oluşan kuvvetlerin yaptığı iş olarak ta tanımlanabilir. Çarpışma anında oluşan kuvvetler çarpışma kutusunda ezilmelere neden olmakta ve o bölgede bir iş yapılmaktadır. Toplam emilen enerji ( $E_T$ ), çarpışma bölgesinde oluşan kuvvetlerin yaptığı iş olarak ifade edilmektedir. Toplam enerji emilimi (kJ), (2.1)'de gösterilen denklem ile hesaplanabilir (Chathbai 2007).



$$E_T = \int_{S_b}^{S_s} F \cdot dS \quad (2.1)$$

Burada, F (kN) çarpışma bölgesindeki aksenal doğrultuda oluşan ezilme kuvvetini ve S (mm) ise çarpışma kutusunda meydana gelen ezilme (deformasyon) miktarını ifade etmektedir. Denklem (2.1), çarpışma kutularında ortaya çıkan Kuvvet-Deformasyon eğrisi altında kalan alan anlamına gelmektedir (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1.** İdeal bir çarpışma kutusunun Kuvvet-Deformasyon miktarı grafiği

Maksimum Ezilme Kuvveti:

Çarpışma kutularında, çarpışma bölgesinde meydana gelen en büyük aksenal kuvvet olarak ifade edilebilir. Genellikle ezilmenin ilk başladığı alanda bu kuvvet oluşmaktadır. İdeal bir çarpışma kutusunda maksimum kuvvetin çok yüksek olması istenmemektedir. Çünkü bu değer büyük olması çarpışma anından yolculara iletilen kuvvetin de yüksek olması anlamına gelmektedir. Çarpışma anında iletilen kuvvetlerin büyük olması yolculara zarar verebilmektedir.

Ortalama Ezilme Kuvveti:

Ortalama ezilme kuvveti çarpışma bölgesinde oluşan kuvvetlerin ortalaması olarak ifade edilir. Ortalama kuvvet denklem (2.2)'de belirtildiği gibi toplam sönümlenen enerjinin deformasyon miktarına bölünmesi ile bulunabilir (Yıldız ve Demirci 2015).

$$F_{ort} = \frac{E_T}{S_s - S_b} \quad (2.2)$$

Burada;  $F_{ort}$  ortalama ezilme kuvveti,  $E_T$  toplam sönümlene enerjiyi,  $S_s$  son deformasyon miktarını,  $S_b$  ise ilk deformasyon miktarını göstermektedir.

Ezilme Kuvveti Verimi:

Araçların çarpışma kutularında kaza anında oluşacak darbelerin yolculara en az seviyede iletilmesi için bu çarpışma kutularının ezilme kuvveti verimlerinin yüksek olması beklenmektedir. Denklem (2.3)'te belirtildiği üzere ezilme kuvveti verimi ( $\eta_F$ ), çarpışma bölgesinde oluşa ortalama kuvvetinin ( $F_{ort}$ ) maksimum kuvvete ( $F_{max}$ ) bölünmesi ile elde edilir.

$$\eta_F = \frac{F_{ort}}{F_{max}} \quad (2.3)$$

Ezilme kuvveti veriminin yüksek olması için çarpışma anında çarpışma noktasında oluşan maksimum kuvvetin ortalama kuvvete yakın olması gerekmektedir. Ezilme kuvveti veriminin yüksek olması çarpışma kutusunun yüksek enerji emilimi yaptığı anlamına gelmez. Sönümlene enerjisinin yüksek olması için oluşan ortalama kuvvetlerin de yüksek olması gerekmektedir. Çarpışma kutularında çarpışma performansının yüksek olması için ezilme kuvveti veriminin de yüksek olması gerekmektedir (Altın ve ark. 2017).

Özgül Enerji Emilimi:

Çarpışma kutularında emilen toplam enerjinin çarpışma kutusunun ağırlığına oranı olarak ifade edilmektedir. Çarpışma kutusunun birim kütlesi başına düşen enerji emilimi olarak da ifade edilebilir. Denklem (2.4)'te de belirtildiği gibi özgül enerji emilimi ( $E_m$ ), emilen toplam enerjinin ( $E_T$ ), Çarpışma kutusunun ağırlığına ( $m$ ) bölünmesi ile elde edilir.

$$E_m = \frac{E_T}{m} \quad (2.4)$$

Özgül enerji emilimi, çarpışma kutularının performansının belirlenmesindeki en önemli kavramlarından biridir. Özellikle son zamanlarda araçların yakıt tüketimini azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalarda çarpışma kutularının da hafifletilmesi üzerine de durulmaktadır. Bu nedenle çarpışma kutusunun enerji emilimini artırırken ayrıca çarpışma kutularının ağırlıklarının da azaltılması gerekmektedir. Özgül enerji emiliminin yüksek olması çarpışma kutularının performansının da yüksek olduğu söylenebilir (Baykasoğlu ve ark. 2014).

Deformasyon verimi:

Bir çarpışma kutusunun ne kadar deformasyona uğradığını belirlemek maçı ile kullanılan bir kavramdır. Denklem (2.5)'te belirtildiği üzere deformasyon verimi ( $\eta_s$ ), maksimum deformasyon miktarının ( $S_{maks}$ ), çarpışma kutusunun ilk boyuna ( $l$ ) bölünmesi ile elde edilir.

$$\eta_s = \frac{S_{maks}}{l} \quad (2.5)$$

Çarpışma kutularında enerji emiliminin yüksek olması için deformasyon miktarının da yüksek olması beklenir. Bu nedenle deformasyon veriminin yüksek olması çarpışma kutusunun performansını olumlu yönde etkilemektedir.

### 2.2.3. Çarpışma kutuları ile ilgili yapılan çalışmalar

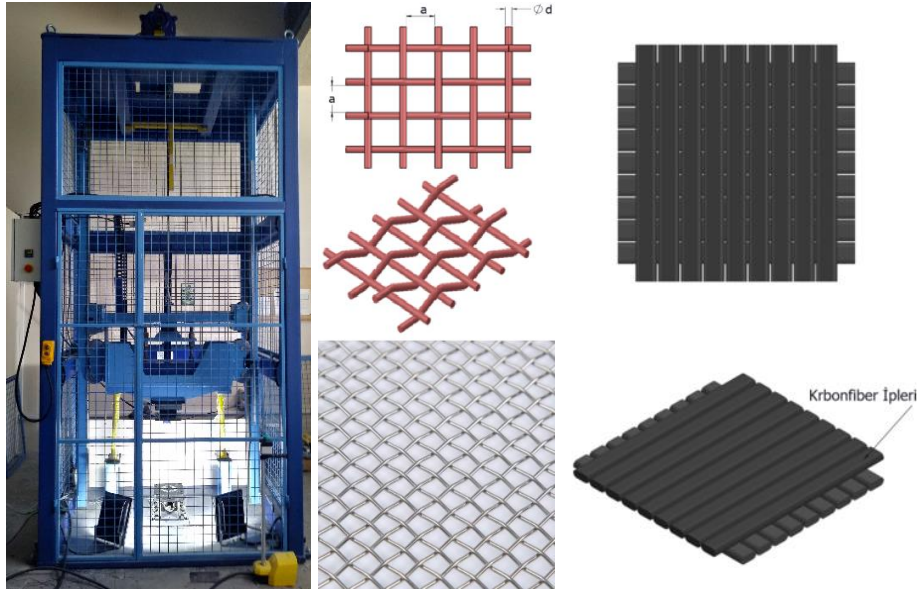
Araçlarda pasif güvenlik elemanı olarak kullanılan çarpışma kutuları üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Ağırlığı azaltmaya yönelik olan çalışmalarda özellikle kompozit malzemelerin üzerine çalışmalar artmaktadır.

Shin ve ark. (2002) alüminyum kare kutu profilinin dış yüzüne cam fiber sarıp üretilen numunelere düşme testi uygulamış ve sonucunda enerji emilimlerinin arttığını gözlemlemiştir. Babbage ve Mallick (2004) ise, alüminyum kare profil yerine bu kez silindir kutu numunelerin dış yüzeylerini cam fiber ile güçlendirmiş ve iç kısımlarını da epoksi köpük ile doldurarak numunelere düşme testi uygulamışlardır. Sonuç olarak hem içi boş, hem de içi epoksi köpük dolu olan numunelerin takviyesiz olan numunelere göre enerji emilim değerlerinin daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Güden ve ark. (2006) alüminyum silindir kutu numunelerin dış yüzeylerini cam fiber ile güçlendirmiş ve iç kısımlarını alüminyum köpük ile doldurarak numunelere düşme testi uygulamış ve sonuç olarak içi boş cam fiber takviyeli numunede daha yüksek özgül enerji emiliminin olduğu gözlemlenmiştir. Bisagni (2009), CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) malzemesi kullanarak aksenal yük altında darbe testi gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak CFRP çarpışma kutularının 75 J/g özgül enerji emilimine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında, Liu ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada CFRP çarpışma kutularının enerji emilimlerinin 60-90 J/g olarak saptamışlardır. Fauzi ve ark. (2018), 3-6 ve 9 kat karbon fiber kumaş kullanılarak yapılan numunelere düşme testi uygulamışlardır. 3 kat olan 35,8 J/g, 6 kat olan 49,1 J/g, 9 kat olan 50,7 J/g enerji emilimi yapmıştır. Altın ve Yücesu (2019), farklı geometrilerdeki alüminyum çarpışma kutuları için sonlu elemanlar analizleri yaparak enerji sönümlenme kapasitelerini incelemiştir. Sonuç olarak alüminyum kutuların özgül enerji sönümlenme kapasitelerinin 15-24 J/g aralığında değiştiği görülmüştür. Bu değerlere bakıldığında CFRP çarpışma kutularının enerji sönümlenme kapasiteleri alüminyum çarpışma kutularının enerji sönümlenme kapasitelerinin yaklaşık 3 katı olduğu anlaşılmaktadır.

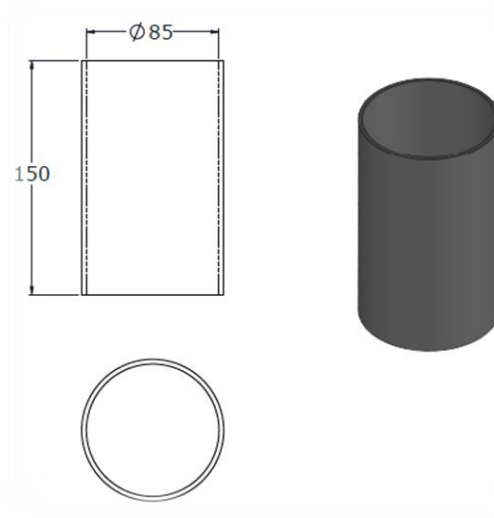
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Test edilecek numuneler elle yatırma yöntemi ile epoksi bağlayıcı malzemesi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen 6 tip numunenin 4 tanesi metal takviyeli 2 tanesi ise takviyesizdir. Her numunedan 3'er adet üretilip aynı şartlarda test edilmiştir. Numunelerde kullanılan karbon fiber kumaş türü çift eksenli (biaxial)'dır ve takviye malzemesi olarak ta AISI304 malzeme örgü tel kullanılmıştır. Tel çapı ve tel yoğunluğunun değişmesi durumunda çarpışma kutularının çarpışma performansının nasıl etkileneceğini görmek için farklı tel çapı ve tel yoğunluklarından oluşan 4 çeşit örgü tel çeşidi kullanılmıştır.

Düşürme test cihazı çarpma başlığı üzerindeki kuvvet ve deplasman sensörü ile çarpışma kutusu ile çarpan kütle arasında ortaya çıkan kuvveti ve kutunun ezilme miktarını (deplasman) kaydetmektedir. Eş zamanlı hızlı kamera ile süreç takip edilmektedir. Test cihazı, kullanılan takviye malzemesi ve kullanılan karbon fiber kumaş sırasıyla, Şekil 3.1 a, Şekil 3.1 b ve Şekil 3.1 c'de gösterilmektedir. Şekil 3.2'deki ölçülerde üretilen numunelerin üzerine 0,68 m yükseklikten 450 kg yük düşürülerek numunelerin 3 kJ enerjiyi sönmülmesi beklenmektedir.



(a) (b) (c)  
Şekil 3.1. a) Düşme test cihazı, b) Kullanılan takviye örgü tel, c) Kullanılan karbon fiber kumaş (biaxial)



**Şekil 3.2.** Çarpışma kutusunun boyutları

Üretilen 6 tip numunelerin üzerine, numune adı ve hassas terazide ölçülüp ağırlıkları yazılmıştır. Numune tipleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Çarpışma kutusu numune tipleri

Numune	Takviye Malzemesi	Numune Ağırlığı	Açıklama
0,47-14	Ø0,47 mm tel-14 mesh örgü tel	223,90 g	2 katman karbon fiber kumaş arasına örgü tel
0,47-12	Ø0,47 mm tel-12 mesh örgü tel	204,95 g	2 katman karbon fiber kumaş arasına örgü tel
0,37-20	Ø0,37 mm tel-20 mesh örgü tel	217,25 g	2 katman karbon fiber kumaş arasına örgü tel
0,25-20	Ø0,25 mm tel-20 mesh örgü tel	163,10 g	2 katman karbon fiber kumaş arasına örgü tel
X3	Yok	156,23 g	3 kat karbon fiber kumaş
X2	Yok	134,60 g	2 kat karbon fiber kumaş

### 3.1. Malzeme seçimi

Çarpışma kutularında özellikle alüminyum malzeme çok kullanılmaktadır. Ancak son zamanlarda hafifliği ve mukavemeti yüksek olan karbon fiber malzeme de kullanılmaya başlanmıştır. Bu tez çalışmasında da karbon fiber malzeme kullanılarak çarpışma kutuları üretilmiştir. Deneyler için üretilen numunelerde takviye malzemesi olarak karbon fiber kumaş ve matris malzemesi olarak ta epoksi reçine kullanılmıştır. Karbon fiber malzemesinin kullanılmasındaki amaç hem alüminyuma göre hafif olması ve

mukavemetinin de yüksek olmasıdır. Hafif olmasından dolayı da özgül enerji emiliminin yüksek olması ayrıca tercih nedenlerindedir.



**Şekil 3.3.** Karbonfiber takviye malzemesi  
(Çift eksenli (biaxial) karbon fiber kumaş-408 gr/m<sup>2</sup>)

Karbon fiber elyafların dokuma tipine göre birçok çeşidi bulunmaktadır. Kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak kullanılan elyafların yönlerinin değişimi mukavemet değerlerini de değiştirmektedir. Deneyler için üretilen numunelerde çift eksenli (biaxial) karbon fiber kuma kullanılmıştır. 1 m<sup>2</sup> karbon fiber kumaşın ağırlığı 408 gr gelmektedir.



**Şekil 3.4.** Matris malzemesi olarak kullanılan epoksi reçine ve sertleştirici



Matris malzemesi olarak kullanılan epoksi reçine ve kür işlemini kolaylaştırmak için kullanılan sertleştirici çekil 3.4'te görülmektedir. Matris malzemesi hazırlanırken ağırlıkça %40 sertleştirici ve %60 epoksi reçine karıştırılarak hazırlanmıştır.



**Şekil 3.5.** Takviye malzemesi olarak kullanılan paslanmaz örgü tel

Metal takviyesi olan numuneler Şekil 3.5'teki örgü tel kullanılmıştır. Örgü tel ince çaptaki teller kullanılarak kumaş gibi birbirine örülmesi ile üretilir. Malzemesine, göz aralıklarında, tel çaplarına göre farklı tipleri mevcuttur. Hatta farklı örgü tiplerine göre de sınıflandırılabilir. Deneylerde takviye olarak AISI304 kalite paslanmaz örgü tel kullanılmıştır. Deneylerde örgü tel takviyesinin çarpışma performansına etkisini incelemek için farklı tiplerde örgü teller kullanılmıştır. Örgü tel yoğunluğunun değişiminin çarpışma performansını nasıl etkilediğini incelemek için örgü telde kullanılan telin çapı aynı ve yoğunluğu farklı iki örgü tel seçilmiştir. Ayrıca tel çapının da çarpışma performansını nasıl etkilediğini gözlemlemek için de tel yoğunluğu aynı olan fakat tel çapı farklı olan iki örgü tel seçilmiştir. Hem tel çapının hem de tel yoğunluğunun çarpışma performansındaki değişimi incelemek için toplamda 4 farklı örgü tel kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak kullanılan paslanmaz örgü tel tipleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.



Örgü teller tel çapına ve yoğunluğa göre isimlendirilmektedirler. Örnek olarak Tablo 3.1’de ilk ilk satırda belirtilen 0,47-14 örgü telde, 0,47 değeri örgü telde kullanılan telin çapını, 14 değeri ise örgü telde yoğunluğu belirtir. Yani 14 değeri 1 inch’te bulunan kare sayısı olarak ifade edilebilir.

### 3.2. Üretim yöntemi seçimi

Literatür özetinde görüldüğü üzere kompozit malzemelerde birçok üretim yöntemi mevcuttur. Üretim yöntemi seçilirken üretilecek olan ürünün şekli, ihtiyaç duyulan miktar ve maliyeti göz önünde bulundurmak gerekir. Kompozit üretimi için hazırda bir üretim prosesi olmadığı ve üretilecek deney numunelerinin az sayıda üretileceği için el yatırması yöntemi kullanılmıştır. Çarpışma kutusu numunelerinin üretilmesi için 3 farklı kalıp kullanılmıştır. Kalıplardan çıkan ürünlerin kalitesine göre bir yöntem seçilmiştir.

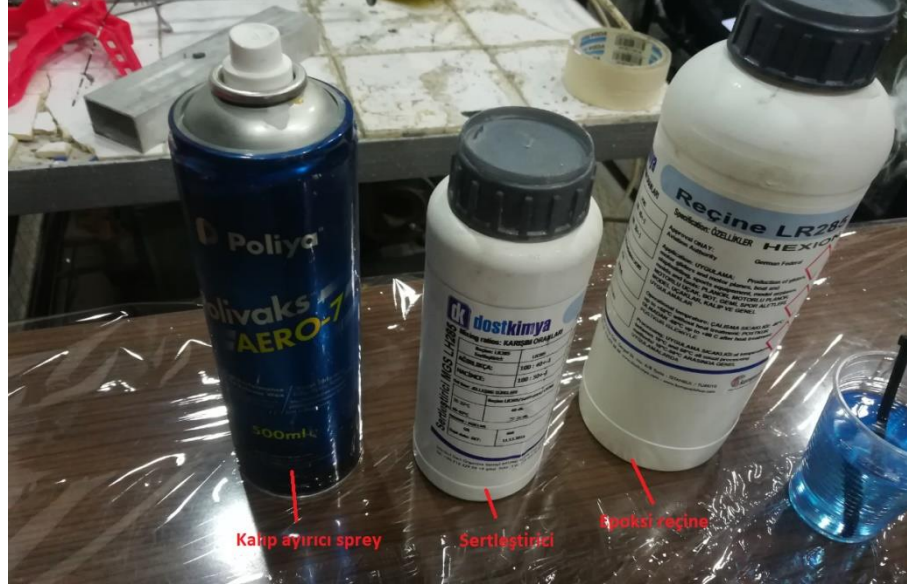
#### 3.2.1. Kare geometri sökülebilir kalıp ile numune üretimi

Bu kalıbın maliyeti düşük olması için kalıp parçalarının lazerde kesilecek şekilde tasarlanmıştır. Kalıp parçaları birbiri içine geçmeli olacak şekilde tasarlanmıştır. Kalıp parçaları (çelik malzeme) lazerde kesildikten sonra montajı yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kare geometriye sahip kalıp

Şekilde 3.6’da görüldüğü üzere lazerde kesilen parçalardan yan duvar parçaları, üzerinde bulunan çıkıntılar yardımı ile alt saca sabitlenir. Daha sonra üst sac konulduktan sonra civata somun yardımı ile sökülmecek şekilde sabitlenir



Şekil 3.7. Kalıp ayırıcı sprej, sertleştirici ve epoksi reçine malzemeleri

Şekil 3.7’de numunelerin kalıptan kolayca ayrılabilmesi için kalıp ayırıcı sprej, matris malzemesi oluşturmak için epoksi reçine ve sertleştirici malzeme görülmektedir. Kalıp hazırlandıktan sonra öncelikle üretilecek olan numunelerin kalıptan ayrılabilmesi için kalıp yüzeyine-de kalıp ayırıcı sprej ile ince bir katman oluşturulur. Bu katman kuruduktan sonra ağırlıkça %60 epoksi reçine ve %40 sertleştirici kullanılarak hazırlanan malzeme kalıp yüzeyine sürülür. Daha sonra kalıp yüzeyini tamamen saracak şekilde kesilmiş karbon fiber kumaş malzemesi kalıp yüzeyine yapıştırılır (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8.** Uygun ölçülerde kesilmiş karbon fiber ve çelik örgü tel malzemeleri

Kalıp yüzeyine bir kat karbon fiber yatırıldıktan sonra karbon malzemesinin yüzeyine bir fırça yardımı ile hazırlanan reçine sürülür. Bu işlemden sonra bir süre kürlenme işlemi için sıcak hava ile ısıtılıp beklenilir. Reçine bir miktar sertleştikten sonra hazırlanan takviye malzemesi örgü tel kalıp yüzeyine sarılır (Şekil 3.9).



**Şekil 3.9.** Kalıp yüzeyine sarılan örgü tel takviye malzemesi



Çelik örgü tel malzemesi sarıldıktan sonra örgü tel aralarında boşluk kalmaması için bir miktar reçine malzemesi örgü tel malzemesi üzerine dökülür. Son olarak bir kat daha karbon fiber kumaş yatırıldıktan sonra kuru yer kalmayacak şekilde bir fırça yardımı ile reçine sürülür.

Kare kalıptan dolayı karbon fiber kumaş ve örgü tel malzeme kalıp yüzeyine sarıldıktan sonra köşe kısımlarında boşluklar olmaktadır. Bu nedenle bu boşlukları azaltmak için L şeklinde bükülen saclar köşe kısımlara yerleştirilip işkenceler ile sıkılmıştır. Bu işlem ile köşe kısımlarında boşluklar azaltılmıştır (Şekil 3.10).

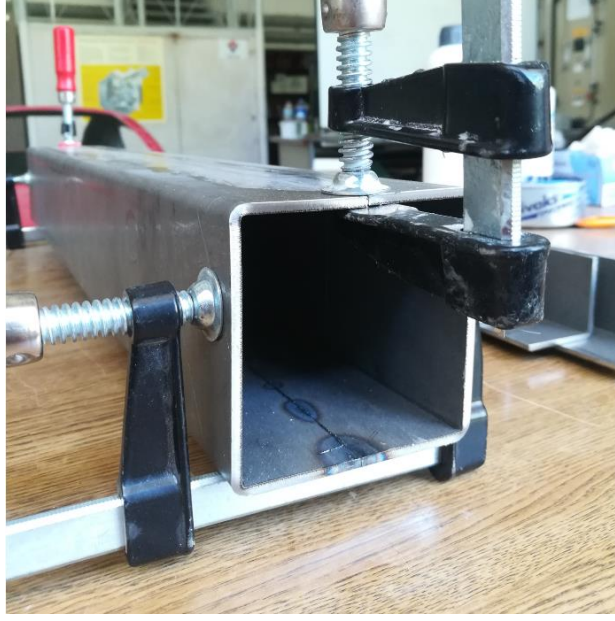
Bu yöntem ile üretilen ürünlerde boşluk miktarları fazla çıkmış ve bu nedenle numunelerin mukavemetleri de düşük çıkmıştır. Ayrıca işkenceler ile sıkılmasından dolayı iç kısımlarda bulunan reçine fazlasıyla dışarı çıkmıştı. Bunun dışında üretim hızı çok düşük olduğu için tercih edilmemiştir.



Şekil 3.10. Kürlenmeye bırakılan numune

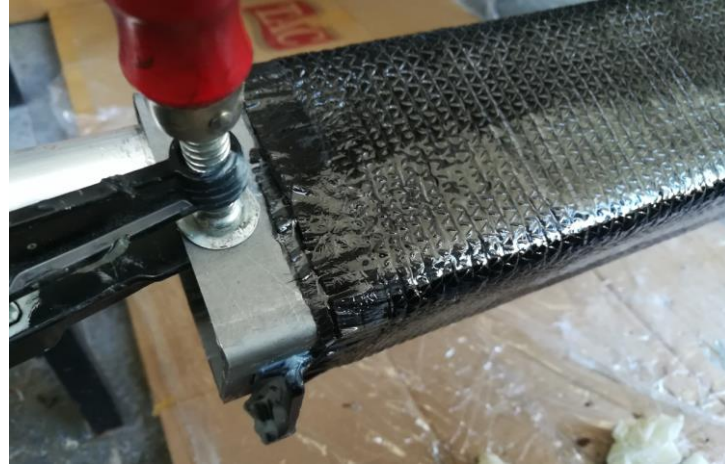
### 3.2.2. Kare geometri tek parçalı kalıp ile numune üretimi

Bu kalıp için lazerde kesilen iki çelik parça U şeklinde bükülüp bu iki parça birbirine bakacak şekilde tek taraflı olarak kaynatılıp üretilmiştir. Kaynatılmayan tarafta açılma olmaması için işkenceler kullanılmıştır (Şekil 3.11).



**Şekil 3.11.** Kare geometriye sahip tek parça kalıp

Kalıp hazırlandıktan sonra ilk olarak kalıp yüzeyi kalıp ayırıcı sprej ile kaplanmıştır. Kalıp yüzeyi kuruduktan sonra hazırlanan reçineden bir miktar kalıp yüzeyine sürülmüştür. Daha sonra uygun ölçülerde kesilen karbon fiber kumaş malzemesi kalıp yüzeyine yatırılıp reçine ile tekrar ıslatılmıştır (Şekil 3.12).



**Şekil 3.12.** Tamamen reçine ile ıslatılmış karbon fiber kumaş

Bu kalıpta örgü öncelikle deneme yapmak için örgü tel kullanılmadan sadece iki kat karbon fiber kumaş olacak şekilde üretim yapılmıştır. Kalıp yüzeyine bir kat karbon

fiber kumaş serildikten sonra ikinci kat ta serilip reçine ile tamamen ıslatılmıştır. Kalıp köşe kısımları keskin radyus olduğu için köşe kısımlarında karbon malzemeler tam o formu alamadığı için boşluklar oluşmuştur bu nedenle Şekil 3.13’de görülen L şeklinde bükülen çelik sac parçalar dış kısmında köşe kısımlara konulmuştur.



**Şekil 3.13.** Köşe kısımlara konulan L şeklindeki çelik sac parçaları

Köşe kısımlara Şekil 3.13’de görülen sac parçaları eklendikten sonra Şekil 3.14’te görüldüğü üzere işkenceler yardımı ile sıkılmıştır. Bu şekilde karbon fiber malzemeler tamamen kalıp yüzeyine yapışmıştır.

Numune kürlendikten sonra kalıptan çıkarılmaya çalışılmış fakat çok zor bir şekilde kalıptan ayrılmıştır. Bu nedenle bu yöntem tercih edilmemiştir.



**Şekil 3.14.** Kürlenmeye bırakılan numune

### 3.2.3. Silindirik karton kutu kalıp ile numune üretimi

Bu yöntemde kullanılan kalıplarda karton boru (bir değer adıyla karton mesura veya karton postüp) kullanılmıştır. Maliyet olarak çelik kalıplara göre çok uygun ve tek seferlik kullanımı vardır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Karton boru

Karton boru istenilen uzunlukta kesilmiş ve yüzeyi reçine ile temas etmemesi için jelatin ile kaplanmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Jelatin ile kaplanan karton boru





**Şekil 3.17.** Numeneler için kesilen çelik ve karbon fiber malzemeler

Daha sonra hazırlanan kalıp yüzeyi kalıp ayırıcı sprey ile kaplanmıştır. Sonrasında bu katman kurduktan sonra hazırlanan reçineden bir miktar kalıp yüzeyine sürülmüştür. Örgü tel ve karbon fiber kumaş malzemeleri kalıbın tüm yüzeyini kaplayacak uzunlukta kesilmiştir (Şekil 3.17). Kesilen karbon fiber kumaş kalıp yüzeyine yapıştırılıp reçine ile tamamen ıslatılmıştır. bir süre beklemenin ardından tek kat karbon fiber kumaş yatırılan kalıp kısmen kurduktan sonra örgü tel ile kaplanmıştır. Örgü tel çelik malzeme olduğu için kalıp formunu kolayca alamamıştır. Bu nedenle ince bir ip yardımı ile sıkıca bağlanmıştır (Şekil 3.18).



**Şekil 3.18.** Örgü tel ile kaplanmış ve ip ile bağlanmış numune

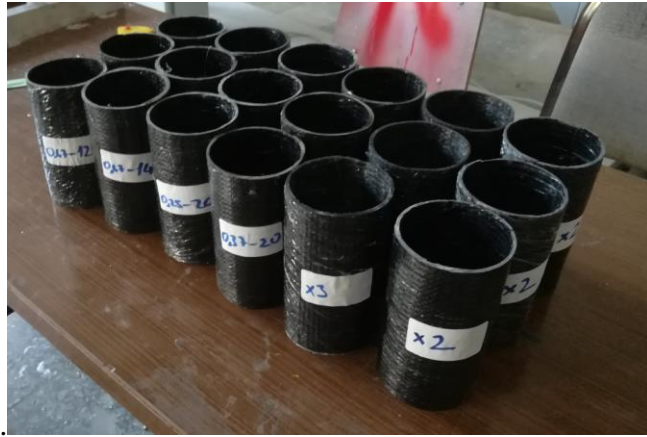


Örgü telin aralarına reçine girebilmesi için bir fırça yardımı ile reçine sürülüp bir kat karbon fiber kumaş ile kaplanmıştır. Karbon fiber kumaş kaplandıktan sonra bu katman da tamamen reçine ile ıslatıldıktan sonra beklemeye alınırken reçinenin akıp iç kısımlarda boşluklar yaratmaması için dış kısmı jelatin ile kaplanıp kuruması yani kürlenmesi için bekletilmiştir. Numuneler kuruduktan sonra istenilen ölçülerde karton kalıp ile beraber kesilmiştir (Şekil 3.19).



**Şekil 3.19.** Karton kalıp ile beraber kesilen numuneler

Kesilen numuneler su içine konularak karton kalıbın yumuşaması beklenmiş yumuşadıktan sonra da kolayca çıkarılmıştır. Bu şekilde test edilecek numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3.20).



**Şekil 3.20.** Deney için hazırlanan numuneler

Karton kalıp maliyetinin düşük olması ve üretim hızının yüksek olması nedeni ile deney numunelerinin üretimi için bu yöntem tercih edilmiştir.

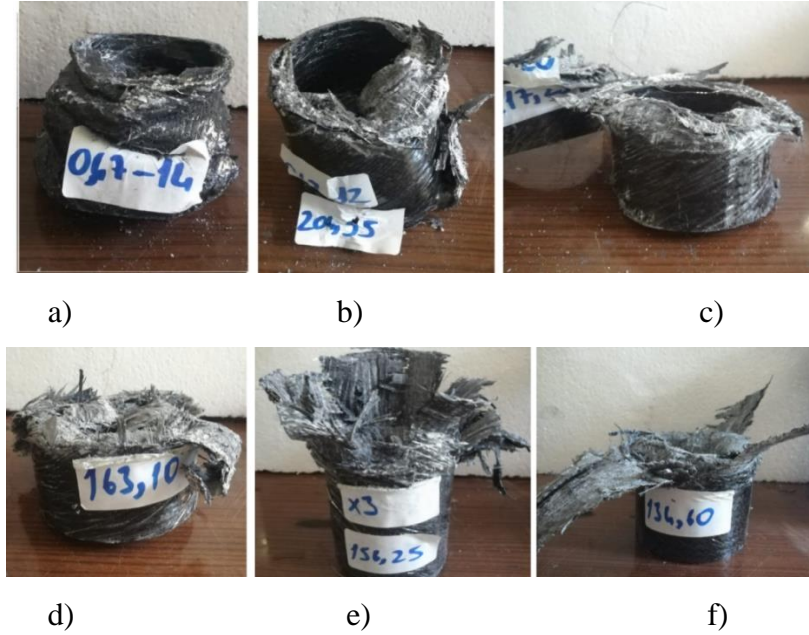
#### 4. BULGULAR

Deney numunelerin üretilmesi için karton boru kalıp olarak kullanılmıştır. Numuneler karton kalıpla beraber istenilen ölçülerde kesildikten sonra su kullanılarak numuneler kalıptan ayrılmıştır. Numuneler hazırlandıktan sonra hassas terazilerde tartılıp ağırlıklar numunelerin üzerine yazılmıştır. Ayrıca numunelerin karıştırılmaması için numune tipleri de numunelerin üzerine yazılmıştır (Şekil 4.1).



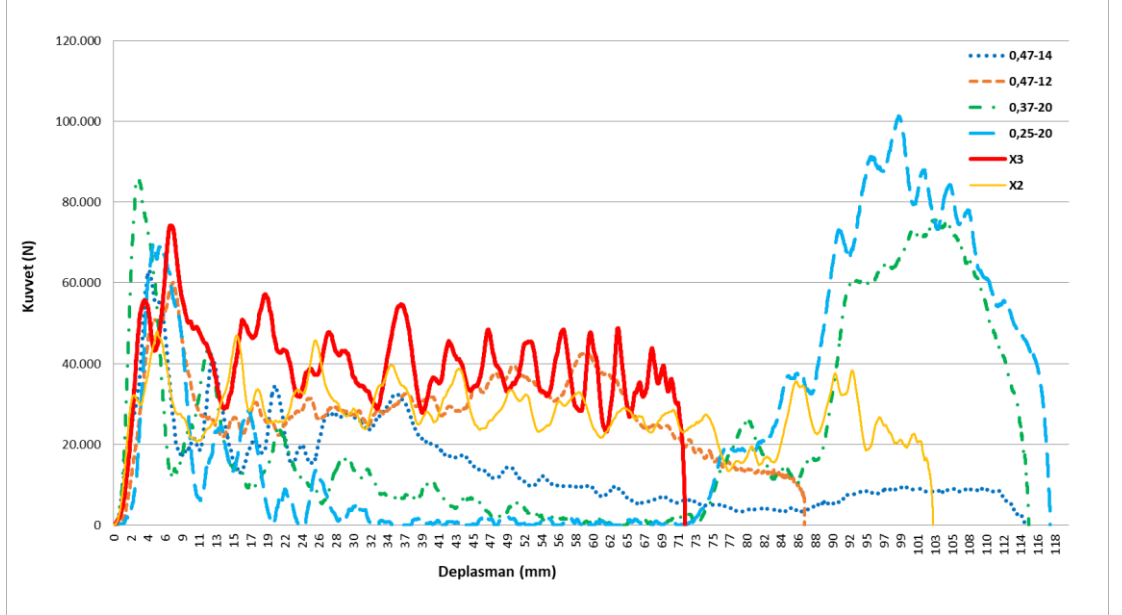
Şekil 4.1 Üretilen numune tipleri

Deneylede üretilen numunelerin üzerine 450 kg ağırlığındaki yük 0,68 m yükseklikten bırakılmıştır. Deney sonucunda numunelerin ezilmiş fotoğrafları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



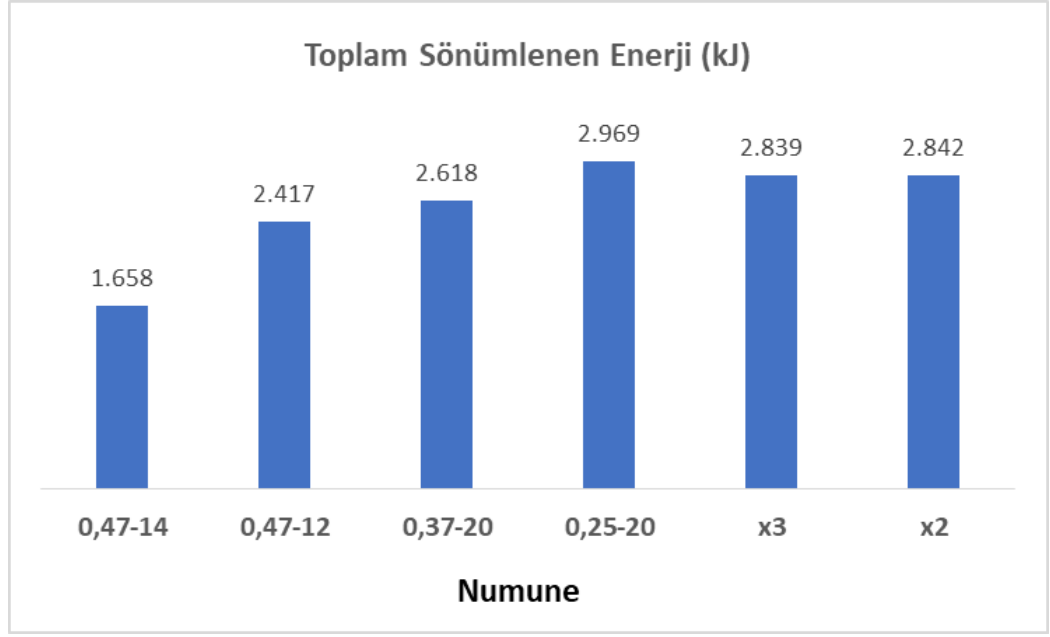
Şekil 4.2. Deney sonrası çarpışma kutularının deformasyonları  
a) 0,47-14 b) 0,47-12 c) 0,37-20 d) 0,25-20 e) X3 f) X2

Deneyleyler yapıldığında deney cihazında bulunan sensörler yardımı ile çarpışma kutusunda oluşan ezilme miktarı, çarpışma noktasında oluşan kuvvetler ve zaman verileri alınmıştır. Bu veriler ile şekil 4.3'te görülen deplasman kuvvet grafikleri elde edilmiştir.



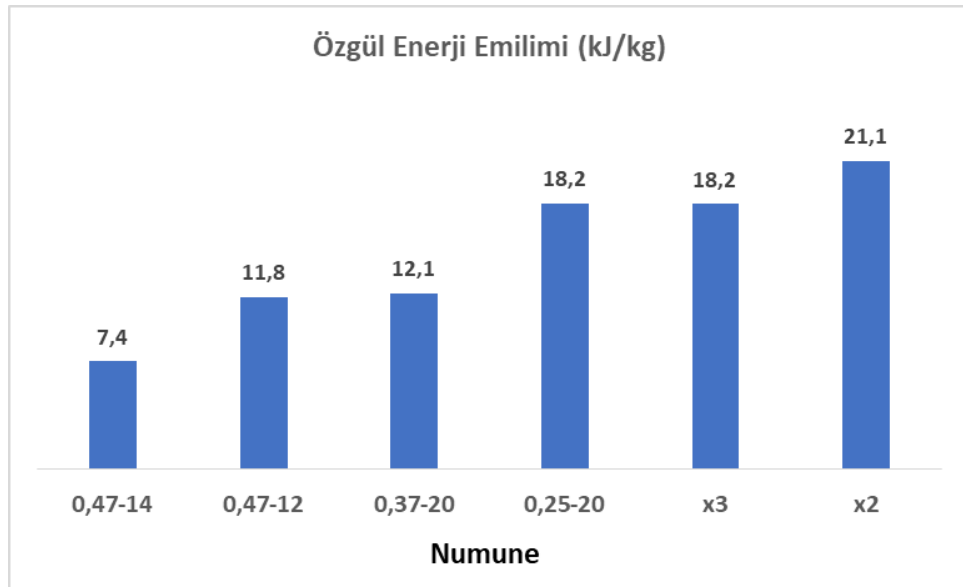
**Şekil 4.3.** Çarpışma kutularının Deplasman-Kuvvet verileri

Şekil 4.3'te görülen eğriler ışığında 0,37-20 ve 0,25-20 numunelerinde diğerlerinden daha farklı bir eğri görülmektedir. En yüksek kuvvet 0,25-20 numunesinde görülmektedir. En düşük deformasyon miktarı 3 katlı (X3) olan numunede görülürken en fazla deformasyon ise 0,25-20 olan numunede görülmüştür.



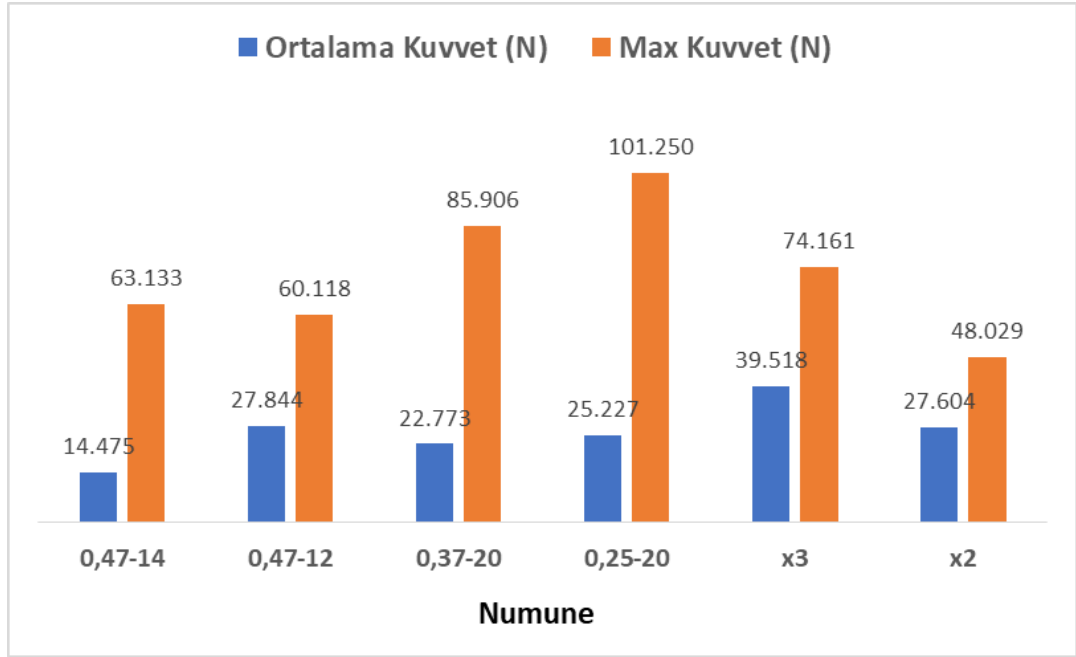
**Şekil 4.4.** Çarpışma kutularının sönümledikleri enerji miktarları

Şekil 4.4'te çarpışma kutularının sönümledikleri enerji miktarları görülmektedir. Verilere göre en yüksek enerji emilimi 0,25-20 olan numunede 2,969 kJ olarak gerçekleşirken en az enerji emilimi ise 0,47-14 olan numunede 1,658 kJ olarak gerçekleşmiştir.



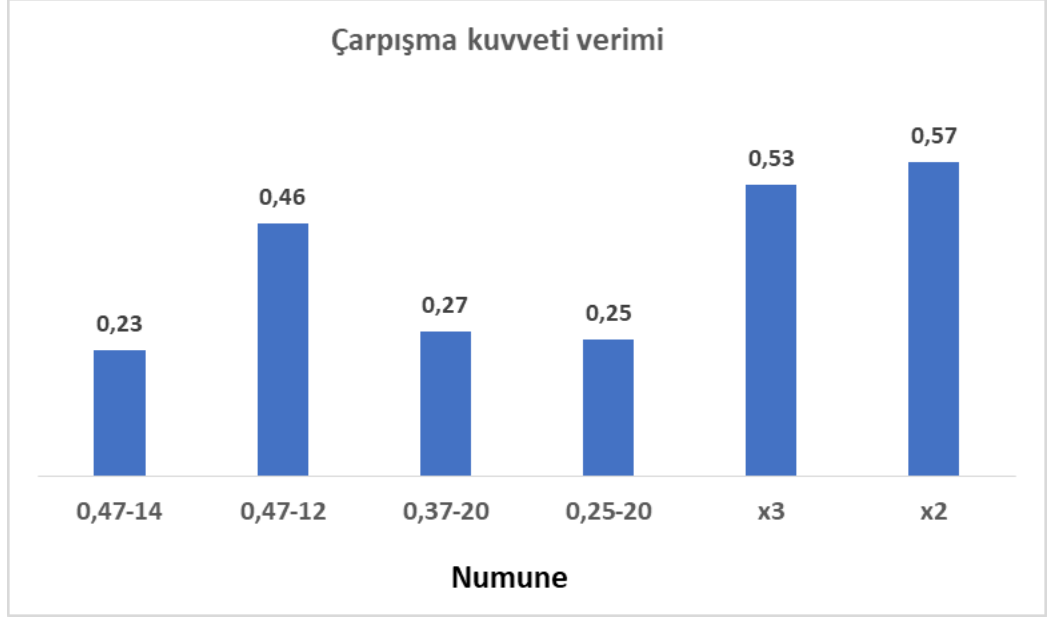
**Şekil 4.5.** Çarpışma kutularının özgül enerji miktarları

Şekil 4.5'te çarpışma kutularındaki özgür enerji emilimleri gösterilmektedir. Bu verilere göre en yüksek özgül enerji emilimine sahip olan numune 2 katlı numunede (X2) numunesinde 21,1 kJ/kg olarak, en düşük özgül enerji emilimi ise 0,47-14 olan numunede 7,4 kJ/kg olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.6.** Çarpışma kutuları numuneleri ile düşen kütle arasında oluşan maksimum ve ortalama kuvvetler

Şekil 4.6'da çarpışma kuvveti numuneleri ile düşürülen yük arasında oluşan maksimum ve ortalama kuvvetler görülmektedir. Bu verilere bakıldığında maksimum kuvvetin 0,25-20 olan numunede 101250 N olarak en yüksek olduğu, en düşük maksimum kuvvetin ise X2 numunesinde 48029 N olduğu görülmektedir. En yüksek ortalama kuvvetin X3 olan numunede 39518 N olarak, en düşük ortalama kuvvet ise 0,47-20 olan numunede 14475 N olarak gerçekleştiği görülmektedir.



**Şekil 4.7.** Çarpışma kutularının çarpışma kuvveti verimleri

Şekil 4.7’de ise numunelerin çarpışma kuvveti verimleri görülmektedir. Şekle göre en yüksek çarpışma kuvveti verimi X2 numunesinde 0,57 olarak, en düşük çarpışma kuvveti verimi ise 0,47-14 numunesinde 0,23 olarak görülmektedir.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Düşürme testleri esnasında deney numunelerindeki tepki kuvveti, deplasman ve zaman verileri kaydedilmiştir. Bu veriler ışığında Şekil 4.3'te deplasmana bağlı kuvvet verileri görülmektedir. En fazla deformasyon miktarı 0,25-20 numunesinde 117 mm olarak ölçülmüştür. En az deformasyon miktarı ise X3 numunesinde 72 mm olarak ölçülmüştür. Tel çapı küçük ve tel yoğunluğu büyük olan örgü tel takviyeli numunede deformasyon miktarı yüksek çıkmıştır. Tel yoğunluğunun artması deformasyon miktarını da artırmıştır. Tel yoğunluğu aynı olan örgü tellerde tel çapının artması deformasyon miktarını azaltmıştır. Örgü tel takviyesiz olan numunelere bakıldığında 3 katlı olan numune deformasyon miktarı 2 katlı olan numuneden daha az deformasyona uğramıştır.

Şekil 4.6'ya bakıldığında maksimum çarpışma kuvveti 0,25-20 numunesinde 101250 N olarak ölçülmüştür. 0,37-20 numunesinde de 85906 N kuvvet oluşmuştur. Bu iki numunede takviye malzemesi örgü tel yoğunlukları aynıdır. Örgü teldeki tel çapının azalması oluşan kuvvetleri artırmıştır. Bu iki numunede eğriler birbirine benzemektedir. İlk kuvvetler sonucunda numune deformasyona uğradığı anda kuvvetler sıfırlanıp tekrar yükselmiştir. Hızlı kamerada kaydedilen görüntülere bu iki numunenin deformasyon biçimleri aynıdır. Tel çapı 0,47 mm olan örgü tel takviyeli numunelere bakıldığında, tel yoğunluğu yüksek olan numunede daha büyük kuvvetlerin oluştuğu görülmektedir. En düzgün kuvvet-deplasman eğrileri; metal takviyesi olmayan numunelerde gerçekleşmiş olup, maksimum kuvvetler 3 katlı olan numunede oluşmuştur.

Şekil 4.4'te baktığımızda, 0,25-20 numune oluşan 3 kJ çarpışma enerjisinin %99'unu sönmlemiştir (2969 J). 0,37-20 olan numune enerjisinin %87'sini (2618 J) sönmlemiştir. Bu iki numuneye bakıldığında, örgü telin tel çapı artırılması sönmleme enerjisini azaltmıştır. Örgü teldeki tel çapı 0,47 mm olan örgü tel takviyeli numunelerde; tel yoğunluğu 14 olan numune enerjisinin %55'ini (1658 J), tel yoğunluğu 12 olan numune ise enerjisinin %80'ini (2417 J) sönmlemiştir. Burada, tel yoğunluğunun artması sönmleme enerjisini azalttığı görülmektedir. Metal takviyesi olmayan numunelerde; 3 katlı olan numune 2839 J (%94,3), 2 katlı olan numune ise 2842 J (%94,7) enerji sönmlemiştir. Sönmleme enerjilerinin birbirine çok yakın

olmasının nedeni, 2 katlı olan numunede deformasyon miktarının, 3 katlı olan numunede ise oluşan kuvvetlerin fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te çarpışma kutusu numunelerinin özgül enerji emilimleri gösterilmiştir. Bu değerlere göre en yüksek enerji emiliminin 0,25-20 numunesinde olduğu halde, özgül enerji emilimi örgü tel takviyesi olmayan numunelerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise örgü tel takviye malzemesinin kütlesini artırma oranının, enerji emilimini artırdığı orandan fazla artırmasıdır. Sönümlenme enerjisinin bu numunede yüksek çıkmasının nedeni ise, oluşan çarpışma kuvvetlerin etkisi büyüktür. En yüksek özgül enerji emilimi 2 katlı olan numunede daha fazla çıkmıştır. 2 katlı numunede özgül enerji emiliminin yüksek çıkmasında deformasyon miktarının ve ağırlığını etkisi büyüktür. En düşük sönümlenme enerjisi ve özgül enerji emilimi 0,47-14 örgü tel takviyesi olan numunede gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak tel yoğunluğunun artması; deformasyon miktarını, maksimum-ortalama kuvvetini artırmış ve sönümlenme enerjisini, ezilme kuvveti verimini, özgül enerji emilimini azaltmıştır. Tel çapının artması; deformasyon miktarını, maksimum-ortalama kuvvetini, sönümlenme enerjisini, ezilme kuvveti verimini ve özgül enerji emilimini azaltmıştır. Karbon fiber kumaşının kat sayısının artırılması; maksimum-ortalama kuvvetini artırmış ve deformasyon miktarını, ezilme kuvveti verimini, özgül enerji emilimini azaltmıştır. Deneyle sonuçunda düşük çaplardaki ince metal tel takviyesinin nispeten kalın örgülü tele kıyasla daha olumlu olduğu gözlemlenmiştir. En fazla enerji emiliminin küçük çaptaki örgü tel takviyesi olan numunede olduğu gözlemlenmiştir. Fakat, metal takviyesinin birim kütle başına özgül enerji emilim değerini azaltmıştır.



## KAYNAKLAR

- Aksoylu, B. 2007.** Kompozit Malzemelerde Elyaf Burkulmasının Sayısal Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Altın, M. 2018.** Çarpışma Kutularının Üzerine Açılan Oyukların Çarpışma Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Journal of Polytechnic*, 0900(1):, 135–139.
- Altın, M., Halis, S., Yücesu, H. S. 2017.** Investigation of the Effect of Corrugated Structure on Crashing Performance in Thin-Walled Circular Tubes. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 1(2):, 1–7.
- Altın, M., Yücesu, H. S. 2019.** Farklı Geometrik Yapılardaki Çarpışma Kutularının İçerisine Yerleştirilen Alüminyum Köpük Malzemenin Enerji Sönümleme Kapasitesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Journal of Polytechnic*, 0900(1):, 141–148.
- Babbage, J. M., Mallick, P. K. 2004.** Static Axial Crush Performance of Unfilled and Foam-Filled Aluminum – Composite Hybrid Tubes. *Composite Structures*, 70(2004):, 177–184.
- Baykasoğlu, C., Tunay Cetin, M., Yalçın, Ö. 2014.** Crashworthiness Investigation of Metallic Thin-Walled Tubes Under Axial Impact Loading. The First International Symposium on Industrial Design Engineering (ISIDE14), May 8-9, 2014, Karabuk, Turkey.
- Bisagni, C. 2009.** Experimental investigation of the collapse modes and energy absorption characteristics of composite tubes. *International Journal of Crashworthiness*, 14(4):, 365–378.
- Bodur, M. S. 2016.** Doğal lif takviyeli kompozitlerde lif/matris ara yüzey iyileştirme çalışmaları ve çevresel koşullara göre karakterizasyonu. *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Can, G. 2019.** Fonksiyonellendirilmiş Alümina ve Silika Katkılı Cam Kevlar Elyaf/Epoksi Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Chathbai, A. 2007.** Parametric Study of Energy Absorption Characteristics of a Rectangular Aluminum Tube Wrapped With E-Glass-Epoxy. *Licence Thesis*, Visvesvaraya Technological University, Bachelor of Engineering in Mechanical Engineering, India.
- Chawla, K. K. 1987.** Composite Materials, Springer, New York, 542s.
- Demir, M. E., Kılıçkap, E., Çelik, Y. H. 2018.** Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyaf Cinsinin, Yükün, Kayma Hızı ve Mesafesinin Abrasif Aşınmaya Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 0900(4):, 811–817.
- Ersoy, N. 2016.** Otomotiv Sektörü Kompozit Malzeme ile Hafifleyecek. <https://haberler.boun.edu.tr/tr/haber/otomotiv-sektoru-kompozit-malzeme-ile-hafifleyecek-> (Erişim Tarihi: 5.11.2019).
- Fauzi, F. R., Hadi, B. K., Santosa, S. P., Jusuf, A. 2018.** Composite Based Lightweight Structure Design for Crash and Safety Application. 5th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT), October 30-31, 2018, Surakarta, Indonesia.
- İnce, E. 2014.** Amfibi Zırhlı Araçlar İçin Kompozit-Alüminyum Denge Plakası Tasarımı, Sonlu Elemanlar Analizi ve Üretimi. *Yüksek Lisans Tezi*, Makine, TOBB

Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

**Işık, A. 2008.** Kompozit Malzemedен İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanının Eğilme ve Burulma Yüğü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Kalemtaş, A. 2015.** Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler.

[https://www.researchgate.net/publication/276275185\\_Seramik\\_Matrisli\\_Kompozit\\_Malzemeler](https://www.researchgate.net/publication/276275185_Seramik_Matrisli_Kompozit_Malzemeler)-(Erişim Tarihi: 18.11.2019).

**Kaya, A. İ. 2016.** Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 8(January):, 38–45.

**Kılıç, E. 2018.** Araçlardaki Aktif ve Pasif Güvenlik Sistemleri. <https://www.muhendis.tv/araclardaki-aktif-ve-pasif-guvenlik-sistemleri>-(Erişim Tarihi: 12.11.2019).

**Liu, Q., Xing, H., Ju, Y., Ou, Z., Li, Q. 2014.** Quasi-static axial crushing and transverse bending of double hat shaped CFRP tubes. *Composite Structures*, 117 (2014): 1–11.

**PerOX 2009.** Composite 3d. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Composite\\_3d.png#mediaviewer/Dosya:Composite\\_3d.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Composite_3d.png#mediaviewer/Dosya:Composite_3d.png) -(Erişim Tarihi: 2.11.2019).

**Poliya 2019.** Reçine İnfüzyon Uygulaması. <https://www.poliya.com/tr/rtm-ve-infuzyon>-(Erişim Tarihi: 18.11.2019).

**Shin, K., Lee, J. J., Hyun, K., Cheol, M., Huh, J. S. 2002.** Axial crush and bending collapse of an aluminum / GFRP hybrid square tube and its energy absorption capability. *Composite Structures*, 57 (2002): 279–287.

**Topçu, İ., Dikici, M., İpek, C. 2018.** İnşaat sektöründe kullanıma dönük cam elyaf ile takviye edilmiş plastiklerin statik yük altında sürünme davranışlarının incelenmesi. 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 09-11 November 2018, Alanya,Antalya,Türkiye.

**Tornero, R. G. 2015.** Composite materials are more present today than ever before in cars. *Reinforced Plastics*, 59(3): 131-131.

**Tugay, B. G. 2009.** Bir İnsansız Hava Aracının Kompozit İniş Takımının Tasarımı, Üretimi ve Testleri. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Tunç, S. 2012.** Meta Aramid Kumaşın Boyanması, Haslık Yönünden Elyaf Boyalı Meta Aramid Kumaşlarla Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ..

**Ulus, S. 2018.** Balistik Koruyucu Kompozit Plakalarda Bazalt Fiber Kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa.

**Uygur, İ., Saruhan, H. 2004.** Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1): 167–174.

**Yaprak, Ş., Akbulut, A. M. 2019.** Trafik kaza ve denetim istatistikleri, Ankara.

**Yıldız, A., Demirci, E. 2015.** Trafik kaza ve denetim istatistikleri. Polis Akademisi Başkanlığı, Ankara.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Emin ÇELİK  
Doğum Yeri ve Tarihi : Adıyaman - 13.09.1994  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Kahta Lisesi 2012  
Lisans : Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü, 2016

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Abn Metal San. Tic. A.Ş. / 12.2016-Devam

İletişim (e-posta) : [emincelik.1548@gmail.com](mailto:emincelik.1548@gmail.com)

### Yayınları:

**Çelik, M.E., Reis, M. 2019.** Karbon Kompozit Çarpışma Kutularında Metal Takviyesinin Çarpışma Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. I. Uluslararası Bilim ve İnovasyon Kongresi, 26-29 Ağustos, 2019, Pamukkale, Denizli, Türkiye.

**Çelik, M.E., Reis, M. 2019.** Karbon Kompozit Çarpışma Kutularında Poliüretan Köpük Takviyesinin Çarpışma Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Uluslararası Fen, Matematik ve Mühendislik Kongresi, 8-10 Kasım, 2019, İzmir, Türkiye.

**Çelik, M.E., Reis, M. 2019.** Experimental Investigation of The Effect of Carbon Fiber Reinforcement on Collision Performance in Aluminum Crash Boxes. 5th International Conference on Advances in Mechanical Engineering, 17-19 December, 2019, Istanbul, Turkey

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Mehmet Emin ÇELİK
Tez Adı	Karbon Kompozit Çarpışma Kutularında Metal Takviyesinin Çarpışma Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi
Enstitü	<b>Fen Bilimleri Enstitüsü</b>
Anabilim Dalı	Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Türü	Yüksek Lisans
Tez Danışmanı	<i>Doç. Dr. Murat REİS</i>
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input checked="" type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Bursa Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih :30/01/2020

İmza : 