

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KOMBİNASYONLARDAKİ HİBRİT KOMPOZİT  
ZIRHLARIN HEDEF BALİSTİĞİ BAKIMINDAN  
DENEYSEL METOTLA İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muhammet Enes BİLDİK**

**Enstitü Anabilim Dalı**

**: MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı**

**: Dr. Öğr. Üyesi İ. Kutay YILMAZÇOBAN**

**Eylül 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

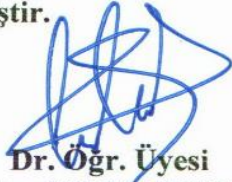
**FARKLI KOMBİNASYONLARDAKİ HİBRİT KOMPOZİT  
ZIRHLARIN HEDEF BALİSTİĞİ BAKIMINDAN  
DENEYSEL METOTLA İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muhammet Enes BİLDİK**

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 10.09.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Dr. Öğr. Üyesi  
İ. Kutay YILMAZÇOBAN  
Jüri Başkanı



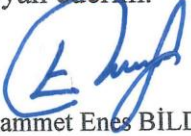
Doç. Dr.  
Ahmet Çağatay ÇİLİNGİR  
Üye



Doç. Dr.  
Nihat KABAY  
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde şahsımın da içerisinde bulunduğu araştırma ekibi tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu beyan ederim.

  
Muhammet Enes BİLDİK

09.09.2019

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana yardımcı olan ve beni bu konuda araştırmaya yönlendiren, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, araştırmaların başından sonuna kadar tüm aşamalarında yardımcı olan, Dr. İbrahim Kutay YILMAZÇOBAN Hocama teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Laboratuvar yetkililerine Deney numunelerinin hazırlanmasında ve yapılmasında emeği geçen Emre Bilgen'e, değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Deneyler için ihtiyacımız olan malzeme desteğini sağlayan, KORDSA KOMPOZİT TEKNOLOJİLERİ MÜKEMMELİYET MERKEZİ ve yetkililerine, TELATEX A.Ş. ve yetkililerine, BAUMEX KİMYA A.Ş. ve yetkililerine teşekkür ederim.

Son olarak beni yetiştiren, bugünlere gelebilmem adına hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan babam İkrım BİLDİK, annem Şirin BİLDİK ve çalışmalarım sırasında varlığıyla bana her zaman destek olan eşim Esra BİLDİK'e sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| TEŞEKKÜR.....                                             | i  |
| İÇİNDEKİLER .....                                         | ii |
| SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....                         | v  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                    | vi |
| TABLOLAR LİSTESİ.....                                     | ix |
| ÖZET.....                                                 | x  |
| SUMMARY .....                                             | xi |
| BÖLÜM 1.                                                  |    |
| GİRİŞ .....                                               | 1  |
| 1.1. Literatür Araştırması .....                          | 3  |
| BÖLÜM 2.                                                  |    |
| BALİSTİK BİLİMİ.....                                      | 8  |
| 2.1. İç Balistik .....                                    | 8  |
| 2.2. Dış Balistik.....                                    | 9  |
| 2.3. Terminal balistik .....                              | 9  |
| 2.4. Hasar Mekanizmaları .....                            | 10 |
| 2.5. Balistik Zırhlar .....                               | 11 |
| 2.5. Balistik Zırh Tasarımında Kullanılan Malzemeler..... | 12 |
| BÖLÜM 3.                                                  |    |
| KOMPOZİT MALZEMELER.....                                  | 13 |
| 3.1. Matris Malzemesi .....                               | 14 |
| 3.1.1. Polimer matrisli kompozitler .....                 | 14 |
| 3.1.1.1. Termoplastikler .....                            | 15 |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.1.2. Termosetler .....                                  | 16 |
| 3.1.1.3. Elastomerler .....                                 | 18 |
| 3.1.2. Metal Matrisli Kompozitler .....                     | 19 |
| 3.1.3. Seramik Matrisli Kompozitler .....                   | 19 |
| 3.2. Takviye Malzemesi .....                                | 20 |
| 3.2.1. Partikül takviyeli kompozitler .....                 | 20 |
| 3.2.2. Fiber (Elyaf) takviyeli kompozitler .....            | 21 |
| 3.2.3. Dolgu takviyeli kompozitler .....                    | 25 |
| 3.2.4. Tabaka yapılı kompozitler (Lamine kompozitler) ..... | 25 |
| <br>BÖLÜM 4.                                                |    |
| DENEYSEL ÇALIŞMA .....                                      | 26 |
| 4.1. Balistik Deney Standartları .....                      | 28 |
| 4.2. Balistik Deney Koşulları .....                         | 32 |
| 4.3. Kompozit Zırh Numunelerin Hazırlanması.....            | 33 |
| 4.3.1. Karbon fiber-epoksi reçine kompoziti .....           | 34 |
| 4.3.2. Aramid fiber-epoksi reçine kompoziti.....            | 35 |
| 4.3.3. Cam fiber-epoksi reçine kompoziti.....               | 36 |
| 4.3.4. Çelik elek teli-epoksi reçine kompoziti .....        | 37 |
| 4.3.5. Polipropilen peteği-epoksi reçine kompoziti .....    | 38 |
| 4.3.6. Kontrplak Plaka .....                                | 39 |
| 4.4. Deney Numune Kombinasyonları .....                     | 40 |
| 4.4.1. İki kombinasyonlu numuneler .....                    | 40 |
| 4.4.2. Üç kombinasyonlu numuneler .....                     | 40 |
| 4.4.3. Dört kombinasyonlu numuneler .....                   | 41 |
| 4.4.4. Beş kombinasyonlu numuneler.....                     | 41 |
| 4.5. Deneyin Yapılışı.....                                  | 42 |
| 4.5.1. İki kombinasyonlu numunelerin atış testleri.....     | 42 |
| 4.5.2. Üç kombinasyonlu numunelerin atış testleri .....     | 45 |
| 4.5.3. Dört kombinasyonlu numunelerin atış testleri.....    | 47 |
| 4.5.4. Beş kombinasyonlu numunelerin atış testleri .....    | 47 |

## BÖLÜM 5.

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| SONUÇLAR .....                                      | 49 |
| 5.1. İki kombinasyonlu numunelerin sonuçları .....  | 49 |
| 5.2. Üç kombinasyonlu numunelerin sonuçları.....    | 51 |
| 5.3. Dört kombinasyonlu numunelerin sonuçları ..... | 53 |
| 5.4. Beş kombinasyonlu numunelerin sonuçları .....  | 54 |

## BÖLÜM 6.

|                            |    |
|----------------------------|----|
| TARTIŞMA VE ÖNERİLER ..... | 60 |
| KAYNAKLAR .....            | 62 |
| ÖZGEÇMİŞ .....             | 67 |

## SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

|                                |                                             |
|--------------------------------|---------------------------------------------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | : Alüminyum Oksit                           |
| BFS                            | : Back Face Signature                       |
| CTP                            | : Cam Elyafı Takviyeli Polyester            |
| gr                             | : Gram                                      |
| HOSDB                          | : Home Office Scientific Development Branch |
| m                              | : Metre                                     |
| mm                             | : Milimetre                                 |
| m/s                            | : Metre Saniye                              |
| NATO                           | : North Atlantic Treaty Organization        |
| NIJ                            | : National Institute of Justice             |
| PAN                            | : Poliakrilonitril                          |
| PEEK                           | : Polieter Eter Keton                       |
| PBO                            | : Poly-p-phenylenbenzobisoxazole            |
| P-BFS                          | : Perforation and Backface Signature        |
| RTM                            | : Reçine Transfer Kalıplama                 |
| SiC                            | : Silisyum Karbür                           |
| SiO <sub>2</sub>               | : Silisyum Dioksit                          |
| TSE                            | : Türk Standartları Enstitüsü               |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1.Ortaçağ şövalyelerinin kullanmış olduğu metal zırh örnekleri.....                                                                                                                                   | 1  |
| Şekil 1.2. Kompozit Zırh/Yelek Örnekleri.....                                                                                                                                                                 | 2  |
| Şekil 2.1. Levha şeklindeki hedefler için en yaygın hasar mekanizmaları (a) gevrek kırılma, (b) sünek delinme,(c)parça kopması, (d) radyal çatlak oluşumu, (e) tıkaç oluşumu ve (f) taç yaprağı oluşumu ..... | 11 |
| Şekil 3.1. Polyester, vinil ester ve epoksi reçineler için gerilime-gerinim grafiği..                                                                                                                         | 18 |
| Şekil 3.2. Partikül Takviyeli Kompozit .....                                                                                                                                                                  | 20 |
| Şekil 3.3. İki Boyutlu Fiber (Elyaf) Dokuma Çeşitleri .....                                                                                                                                                   | 21 |
| Şekil 3.4. Üç Boyutlu Fiber (Elyaf) Dokuma Çeşitleri.....                                                                                                                                                     | 22 |
| Şekil 3.5. Dokuma Olmayan Yapılar (a) 0° konumlu, (b) . 0°/ 45°/ ±90° konumlu                                                                                                                                 | 22 |
| Şekil 3.6. Karbon elyaf örnekleri .....                                                                                                                                                                       | 23 |
| Şekil 3.7. Aramid Elyaf Örnekleri .....                                                                                                                                                                       | 24 |
| Şekil 3.8. Cam Elyaf Örnekler .....                                                                                                                                                                           | 24 |
| Şekil 3.9. Dolgu takviyeli kompozit .....                                                                                                                                                                     | 25 |
| Şekil 3.10. Tabakalı (Lamine) Kompozitler .....                                                                                                                                                               | 25 |
| Şekil 4.1. Safır T14 Classic av tüfeği.....                                                                                                                                                                   | 26 |
| Şekil 4.2.Yavaşçalar marka, YAF Slug 36 kalibre fişek.....                                                                                                                                                    | 27 |
| Şekil 4.3. Deney düzenekleri .....                                                                                                                                                                            | 27 |
| Şekil 4.4. Balistik test düzeneği (A mesafesi: I, II-A, II ve III-A seviye zırhlar için 5 m, III ve IV seviye zırhlar için 15 m, B mesafesi: Minimum 2 m, C mesafesi: 0,5 ile 1,5 m arası) .....              | 32 |
| Şekil 4.5. Epoksi reçine ve sertleştiricisi .....                                                                                                                                                             | 33 |
| Şekil 4.6. Karbon fiber üzerine epoksi uygulanması .....                                                                                                                                                      | 34 |
| Şekil 4.7. Karbon fiber-Epoksi reçine kompozitinin teste hazır son hali.....                                                                                                                                  | 34 |
| Şekil 4.8. Aramid fiber üzerine epoksi reçine uygulanması .....                                                                                                                                               | 35 |
| Şekil 4.9. Aramid fiber-Epoksi reçine kompozitin test numunesi .....                                                                                                                                          | 36 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.10. Cam fiber üzerine epoksi reçine uygulanması .....                                                | 36 |
| Şekil 4.11. Cam fiber-Epoksi reçine kompozitin test numunesi.....                                            | 37 |
| Şekil 4.12. Çelik elek teli-Epoksi reçine kompozitinin hazırlanma aşamaları .....                            | 38 |
| Şekil 4.13. Çelik elek teli-Epoksi reçine kompozitinin teste hazır son hali.....                             | 38 |
| Şekil 4.14. Polipropilen peteğinin epoksi reçineyle doldurulması.....                                        | 39 |
| Şekil 4.15. Kontrplak Plaka .....                                                                            | 39 |
| Şekil 4.16. Deney atış testi ve düzeneği.....                                                                | 42 |
| Şekil 4.17. 1.Numune Karbon fiber-Kevlar kombinasyonu .....                                                  | 43 |
| Şekil 4.18. 2.Numune Kevlar-Karbon fiber kombinasyonu .....                                                  | 43 |
| Şekil 4.19. 3.Numune Çelik elek teli-Kevlar kombinasyonu.....                                                | 44 |
| Şekil 4.20. 4.Numune Polipropilen peteği-Kevlar kombinasyonu .....                                           | 44 |
| Şekil 4.21. 5.Numune Karbon fiber-Kevlar-Çelik elek teli kombinasyonu.....                                   | 45 |
| Şekil 4.22. 6.Numune Çelik elek teli-Kevlar-Karbon fiber kombinasyonu.....                                   | 45 |
| Şekil 4.23. 7.Numune Karbon fiber-Polipropilen peteği-Çelik elek teli kombinasyonu.....                      | 46 |
| Şekil 4.24. 8.Numune Kevlar Polipropilen peteği-Çelik elek teli kombinasyonu..                               | 46 |
| Şekil 4.25. 9.Numune Karbon fiber-Polipropilen peteği-Polipropilen peteği-Çelik elek teli kombinasyonu ..... | 47 |
| Şekil 4.26. 10.Numune Kevlar-Kontrplak-Cam fiber-Kontrplak-Karbon fiber kombinasyonu.....                    | 48 |
| Şekil 4.27. 11.Numune Karbon fiber-Aramid fiber-Kontrplak- Aramid fiber-Karbon fiber kombinasyonu .....      | 48 |
| Şekil 5.1. 1.Numune Karbon fiber-Kevlar kombinasyonunun atış sonrası görünümü.....                           | 49 |
| Şekil 5.2. 2.Numune Kevlar-Karbon fiber kombinasyonunun atış sonrası görünümü.....                           | 50 |
| Şekil 5.3. 3.Numune Çelik elek teli-Kevlar kombinasyonunun atış sonrası görünümü.....                        | 50 |
| Şekil 5.4. 4.Numune Polipropilen petek-Kevlar kombinasyonunun atış sonrası görünümü.....                     | 51 |
| Şekil 5.5. 5.Numune Karbon fiber-Kevlar-Çelik elek teli kombinasyonunun atış sonrası görünümü .....          | 51 |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.6. 6.Numune Çelik elek teli-Kevlar-Karbon fiber kombinasyonunun atış sonrası görünümü .....                   | 52 |
| Şekil 5.7. 7.Numune Karbon fiber-Polipropilen peteği-Çelik elek teli kombinasyonun atış sonrası görünümü.....         | 52 |
| Şekil 5.8. 8.Numune Kevlar-Polipropilen peteği-Çelik elek teli kombinasyonunun atış sonrası görünümü.....             | 53 |
| Şekil 5.9. 9.Numune Karbon fiber-Polipropilen peteği (x2)-Çelik elek teli kombinasyonunun atış sonrası görünümü ..... | 53 |
| Şekil 5.10. 10.Numune Kevlar-Kontrplak-Cam fiber-Kontrplak-Karbon fiber kombinasyonunun atış sonrası görünümü .....   | 54 |
| Şekil 5.11. 10.Numune Kevlar-Kontrplak ara yüzey görünümü .....                                                       | 55 |
| Şekil 5.12. 10.Numune Kontrplak-Cam fiber ara yüzeyinin atış sonrası görünümü                                         | 55 |
| Şekil 5.13. 10.Numune Cam fiber-Kontrplak ara yüzeyinin atış sonrası görünümü.....                                    | 56 |
| Şekil 5.14. 10.Numune Kontrplak-Karbon fiber ara yüzeyinin atış sonrası görünümü.....                                 | 56 |
| Şekil 5.15. 11.Numune Karbon fiber-Aramid -Kontrplak-Aramid -Karbon fiber kombinasyonunun atış sonrası görünümü ..... | 57 |
| Şekil 5.16. 11.Numune Karbon fiber-Aramid fiber ara yüzeyinin atış sonrası görünümü.....                              | 57 |
| Şekil 5.17. 11.Numune Aramid fiber-Kontrplak ara yüzeyinin atış sonrası görünümü.....                                 | 58 |
| Şekil 5.18. 11.Numune Kontrplak-Aramid fiber ara yüzeyinin atış sonrası görünümü.....                                 | 58 |
| Şekil 5.19. 11.Numune Aramid fiber-Karbon fiber ara yüzeyinin atış sonrası görünümü.....                              | 59 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 4.1. Safir T14 Classic av tüfeğinin özellikleri .....                                            | 26 |
| Tablo 4.2. Bazı ulusal ve uluslararası balistik koruyucu standartlar.....                              | 28 |
| Tablo 4.3. NIJ-STD-0101.04 standardında belirtilen balistik koruyucular için koruma<br>seviyeleri..... | 30 |
| Tablo 4.4. NIJ-STD-0101.06 standardında belirtilen balistik koruyucular için koruma<br>seviyeleri..... | 31 |
| Tablo 4.5. İki kombinasyonlu numuneler .....                                                           | 40 |
| Tablo 4.6. Üç kombinasyonlu numuneler .....                                                            | 40 |
| Tablo 4.7. Dört kombinasyonlu numuneler .....                                                          | 41 |
| Tablo 4.8. Beş kombinasyonlu numuneler.....                                                            | 41 |

## ÖZET

Anahtar Kelimler: Kompozit zırh, terminal (hedef) balistik, tüfek atışları

Bu çalışmada; Hibrit kompozit zırh numunelerinin balistik açıdan davranışları incelenmiştir. Farklı kombinasyonlarda hazırlanan hibrit kompozit zırh numuneleri çeşitli deneylere tabi tutulmuştur. Bu deneyler, standartlara uygun silah atış testleri şeklinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler, çeşitli kompozit elyafların, epoksi reçine ile birleştirilip hibrit hale getirilmesiyle elde edilmiştir. Elde edilen numunelerin atış testlerinde balistik açıdan göstermiş olduğu davranışlar gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerin sonucunda elde edilen verilerden, optimum kompozit zırh kombinasyonları tespit edilmiş ve kişisel koruyucu malzemeler bakımından literatüre katkısı irdelenmiştir.

# **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE DIFFERENT COMBINATIONS OF HYBRID COMPOSITE ARMORS UNDER TERMINAL BALLISTIC CONDITIONS**

## **SUMMARY**

Keywords: Composite armor, terminal (target) ballistic, rifle shots

In this study; The ballistic behaviors of the hybrid composite armor samples were investigated. Hybrid composite armor samples prepared in different compositions were subjected to the various experiments. These tests were performed according to the standards described as gun shot tests. Samples were obtained by combining various composite fibers with epoxy resin. Ballistic behaviors of the obtained samples were observed in gun shot tests. The data obtained from the experiments, optimum composite armor combinations were determined and their contribution to the literature in terms of personal protective materials was examined.

---

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Her canlı varlık, içgüdüsel olarak dışarıdan gelebilecek saldırılara karşı korunma ihtiyacı hissetmektedir. Tarih boyunca insanoğlu bir yandan gelişmiş silah arayışı içindeyken diğer yandan da geliştirilen silahlara karşı korumak üzerine araştırmalar yapmaktadır. İlk koruyucu giysiler ve zırhlar hayvan derilerinden yapılmıştır. Uygarlıkların gelişimiyle, metal ve tahta zırhlar kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Metal zırhlar özellikle ortaçağ şövalyeleri tarafından koruyucu giysi olarak kullanılmıştır [1]. Ortaçağ şövalyeleri tarafından kullanılan metal zırh örneklerinden bazıları Şekil 1.1.'de gösterilmektedir [2].



Şekil 1.1.Ortaçağ şövalyelerinin kullanmış olduğu metal zırh örnekleri

Silah teknolojisinin gelişimi, barutun ve ateşli silahların icadıyla yeni bir boyut kazanmıştır. Farklı yapılarda silahlar ve mermiler tasarlanmakta ve üretilmektedir. Üretilen bu silahlar insanlarda öngörülemeyen ve ölçülemeyen bir şekilde hasarlara yol açmaktadır. Bir silahtaki mermi çekirdeği, insan vücudunda özellikle kalp, karaciğer ve böbrekler gibi hassas organ bölgelerine isabet etmesi durumunda, yaralanmalara ve de ölümle neticelenen olaylara sebebiyet vermektedir [3].

Geliştirilen silahların ağırlıkları azaltılırken boyutları küçülmekte buna karşın etki düzeyi ve menzilleri artmaktadır [4]. Bu etkilerinin ölçülebilmesi ve bu etkilerden korunmak amacıyla, koruyucu zırhlar geliştirilmiştir. Bu koruyucu zırhlar çeşitli testlere tabi tutulmakta ve gelişimleri için çalışmalar sürekli devam etmektedir.

Silahların ağırlığı azaltılıp, boyutları küçülürken, kişisel koruyucu zırhlarda da yüksek başarı ve düşük yoğunluk hedefi kaçınılmaz hale gelmiş ve balistik biliminin ortaya çıkmasını sağlamıştır [5]. İnsanları ve donanımları her türlü patlayıcı, delici ve kesici tehlikelere karşı korumak amacıyla geliştirilen bu tasarımlar, "balistik zırh" adı altında çeşitli koruyuculardır.

Zırh tasarımının temel tasarım kriterleri; düşük yoğunluk, yüksek kayma mukavemeti, yüksek akma mukavemeti ve yüksek dinamik çekme mukavemetidir. Ancak, hiçbir malzeme yukarıda bahsedilen tüm bu şartları tek başına karşılayamamaktadır [6]. Bu yüzden zırh tasarımlarında, farklı malzeme arayışları kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu malzemeler, birden fazla malzemenin bir araya gelerek oluşturduğu kompozit malzemelerdir. Bu şekilde tasarlanmış olan zırhlar ise "kompozit zırh" olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1.2.'de kompozit zırh örnekleri gösterilmektedir [7].



Şekil 1.2. Kompozit Zırh/Yelek Örnekleri

Bu çalışmada; Farklı kombinasyonlarda hazırlanmış hibrit kompozit zırh numunelerinin balistik açıdan dayanımı, deneysel metotlarla incelenmiştir. Deneyler, standartlara uygun atış testleri şeklinde gerçekleştirilmiştir. Zırh numune kombinasyonları, çeşitli kompozit elyafların, epoksi reçine ile birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Elde edilen numuneler atış testlerine tabi tutularak zırh numunelerinin balistik açıdan göstermiş olduğu davranışlar gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerin sonucunda optimum kompozit zırh kombinasyonları tespit edilmiş ve kişisel koruyucu malzemeler bakımından literatüre katkı sağlamıştır.

### 1.1. Literatür Araştırması

Balistik koruyucu malzeme olarak kullanılan kompozit zırh tasarımlarının günümüzde ne kadar önem arz ettiği bilinmekte olup çalışmalar devam etmektedir. Bu kapsamda, balistik performans, kompozit zırhlar ve kompozit malzemeler ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda belirtilmektedir;

Yanen C. ve Solmaz M.Y (2015), Tabakalı hibrit kompozitlerin bireysel zırh malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Balistik açıdan performansının incelenmesi için 0°, 45° plain ve twill fiber elyaflar kullanılmıştır. Çalışmanın kapsamında farklı fiber açılara, farklı tabaka sayılarına ve farklı kalınlıklara sahip karbon/cam/aramid fiber tabakalı kompozit plakaların balistik deneyleri yapılarak sonuçları incelenmiştir [8].

Özgültekin S.E. (2012), tarafından yapılan çalışmada, Karbon elyaf, aramid elyaf, polipropilen bal peteği, çelik elek teli yapısı epoksi reçine ile birleştirilerek kompozit zırhlar üretilmiştir. Üretilen bu kompozitlerin balistik dayanımı incelenmiştir. Testlerin sonucunda kevlar tabakasının en arkada olduğu kombinasyonlarda, esnek yapısından ötürü başarısız olduğu, sert tabakayı delen merminin, herhangi bir tabaka ile desteklenmeyen kevlar tabakasını da delerek, numunenin başarısız olmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Üç katmanlı kombinasyonların kullanılmasının daha uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Kevlar tabakası ara katmanda kullanıldığında mermiyi tutmada daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir [9].

Min S. ve arkadaşları (2016), Çok katlı düz dokuma elyaftan yapılan kompozitlerin balistik performansları üzerindeki etkisini takviye sürekliliğine göre araştırmışlardır. Sürekli ve süreksiz düz dokuma elyaflar üretilerek hasar yapıları incelenmiştir. İncelemenin sonucunda sürekli takviyeli kompozitlerin üstünlüğünü doğrulamışlardır [10].

Song H. (2015), tarafından yapılan çalışmada, Karbon/Aramid elyaf ve Karbon/Cam elyaf kullanılarak farklı dizilimlerde hibrit kompozitler üretilmiştir. Farklı dizilimlerin, çekme yükleri altında malzemelerin özelliklerine etkisini incelenmiştir. Karbon elyafın dizilimdeki yerinin, hibrit kompozit malzemelerin özelliklerinde önemli bir unsur olduğu tespit edilmiştir. Karbon/Aramid elyaf ve Karbon/Cam elyafla oluşturulan hibrit kompozitlerin; Karbon elyafların baskın özelliğinden dolayı benzer mekanik özellik gösterdikleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte, Aramid/Karbon/Aramid elyaf ve Cam/Karbon/Cam elyaf dizilimleriyle üretilen kompozitlerin, Karbon/aramid/Karbon elyaf ve Karbon/Cam/Karbon elyaf dizilimine sahip kompozitlere göre daha üstün mukavemet ve rijitlik özelliğine sahip olduklarını tespit etmişlerdir [11].

Onga C.W. ve arkadaşları (2011); Zırh sistemindeki tabakaların dizilişinin önemini araştırmışlardır. İlk tabaka olarak mermiyi kıracak ve deforme edecek sert bir tabaka, ikinci tabaka olarak şok dalgasını yavaşlatacak ortotropik tabaka, Üçüncü tabaka şok dalgasının enerjisini absorbe etmek için gözenekli tabaka ve son olarak da gözenekli tabakaya destek amaçlı bir dördüncü tabaka tasarlamışlardır. Bu tasarlanan tabakalar için sırasıyla,  $Al_2O_3$ , Dyneema HB25 ve gözenekli poliüretan köpük kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda kompozit zırh, aynı yoğunluktaki çeliğe göre daha üstün davranış göstermiştir [12].

Bergmann T. ve arkadaşları (2015), yaptıkları çalışmada; Epoksi reçine, sertleştirilmiş epoksi reçine ve polieter eter keton matris malzemesi ve karbon, cam, aramid elyaf kumaşlar kullanılarak ürettikleri kompozit malzemelerin; oda sıcaklığında, 5 mm/dakika hızdaki ve  $\pm 45^\circ$ 'lik çekme yükleri altında kompozit malzemelerde kullanılan fiber tiplerinin ve matris malzemesinin, malzemelerin mekanik davranışları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Karbon elyaf kumaş takviyeli numunelerle yapılan deneylerde; matris malzemesi olarak epoksi reçine yerine sertleştirilmiş epoksi reçine kullanılmasının malzemenin esneklik katsayısı ve çekme gerilmesinde % 4 lük artış sağladığını göstermişlerdir. Epoksi matris malzemesi ve karbon elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemedan alınan referans numunesinin sonuçları, cam elyaf kumaş takviyeli numunelerin sonuçları ile karşılaştırıldığında referans numunesine göre esneklik katsayısında %14, çekme gerilmesinde ise %22,5' lik düşüş olduğunu göstermişlerdir. Cam elyaf kumaş yerine aramid elyaf kumaş kullanıldığında çekme gerilmesinde ufak bir artış meydana gelmesine rağmen esneklik katsayısında önemli bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir [13].

Yavaş M.O. (2009), Hibrit kompozit numunelerin hafif silahlara karşı balistik performansını incelemiştir. Takviye elemanı olarak, E-cam elyaf, cam yünü, cam keçe ve aramid elyaf kullanmıştır. Çalışmaların sonucunda, polyester reçine matrisli aramid elyaf, cam elyaf ve cam yünü kullanılan hibrit kompozit numunelerin balistik testlerde başarı gösterdiği tespit edilmiştir [3].

Aktaş, L.T. (2018), ANSYS Autodyn yazılımı (Sonlu elemanlar yazılımı) kullanılarak yazılımı kullanılarak kurşun geçirmez kompozit zırh modelleri incelemiştir. Kevlar 29 ve epoksi reçineden oluşan bir plaka modelleyerek analizini yapmış ve elde ettiği sonuçları literatürdeki sonuçlarla kıyaslayarak modelin doğrulamasını gerçekleştirmiştir. Ardından ikinci malzeme olarak farklı malzemeler kullanılarak test edilmiştir. Testlerin sonuçları birim ağırlık ve mermi artık hızı cinsinden karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde son modelin, Kevlar 29 ve epoksiden oluşan plakaya göre daha hafif ve mermiyi yavaşlatmada daha etkili olduğu gözlemlenmiştir [14].

Temiz S. (2005), yaptığı çalışmada, Para-aramid ve PBO elyaf dokumaları epoksi reçine ile serleştirerek yumuşak bir kompozit yapı, para-aramid ve E-cam elyaf dokumaların epoksi reçine ile sertleştirilmesi sonucu ise sert bir kompozit yapı elde etmiştir. Bu kompozit yapılara balistik testler uygulamıştır. Testlerin sonucunda sert kompozit yapının kullanılan mermilere karşı uygun koruma sağlayamadığı gözlemlenmiştir. Yumuşak kompozit yapının ise sert kompozit yapıya göre daha yüksek balistik dayanım göstererek uygun koruma sağladığı tespit edilmiştir [15].

Gustin J. ve arkadaşları (2005), Karbon fiber ve Kevlar kombinasyonlu sandviç kompozit numunelerin çarpışma testlerini yapmışlardır. Çarpma yüzeyindeki malzemeler değiştirilerek, karbon fiber/kevlar, karbon fiber/hibrit kombinasyonları elde edilmiştir. Tüm testlerde numunelerin arka yüzeyinde karbon fiber kullanılmıştır. Çalışmadaki asıl amaç, ön yüzeyde karbon fiber yerine, kevlar yada hibrit kullanıldığında sonuçta bir iyileşme olup olmadığı gözlemlemek. Yine bu çalışmada ara katman olarak poliüretan köpük doldurulmuş olan bal peteği yapısı kullanılmıştır. Çalışmaların sonucunda, ön yüzeyde kevlar ve hibrit kullanıldığı durumlarda numunenin çarpma dayanımının, karbon fibere oranla yaklaşık %10 daha başarılı olduğu tespit edilmiştir [16].

Bilisik A.K. ve Turhan Y. (2009), tarafından yapılan çalışmada tek fazlı Kevlar 29 ile çift fazlı, Kevlar 29 ve Kevlar 129 olmak üzere toplam dört çeşide ait dikişli ve dikişsiz kompozit numune üretilmiştir. Bu numunelerin beş farklı mermi türüne karşı balistik performansları incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda dikişli ve dikişsiz numuneler arasında sönmölen enerji bakımından, gözle görülür bir farkın bulunmadığını, ancak dikişli olan yapılardaki çöküntünün dikişsiz olan yapılardaki çöküntüye oranla daha fazla olduğunun sonucuna varmışlardır [17].

Aydinel A. ve arkadaşları çalışmalarında (2005); 7.62 mm çelik çekirdekli zırh delici mermi tehdidine karşı ön tarafta mermi ucunu kırıp kütleştirmek ve ilk darbe kuvvetini daha geniş bir alana yaymak amacıyla, değişik kalınlıklarda, sert alümina seramik ön plaka malzemesi ile arka tarafta kalan mermi enerjisini sönmölemek üzere destekleyici tabaka olarak 6.5 mm sabit kalınlıkta Cam Elyafı Takviyeli Polyester (CTP) kompozit malzemeden oluşan zırh sisteminin balistik performansını incelemiştir. Seramik kompozit zırh sistemlerinde; seramik kalınlığı ile kompozit arka plaka kalınlığının balistik limite etkisi incelendiğinde her iki malzeme için de, limit durumunda yüksek kalınlıklara ihtiyaç duyulduğu görölmüştür. Çok ince arka takviye plakası için kalın seramik, çok ince seramik ön plaka için de kalın kompozit plaka seçilmesi gerektiği, balistik limit açısından, seramik plakanın daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Seramik ve kompozit malzemeden yapılacak en hafif zırh sistemi için, belli bir tehdide karşı balistik koruma sağlayacak en iyi konfigürasyonun tespitinde malzeme kalınlığıyla değişen alan yoğunluğunun optimum değerinin bulunmasının önemine vurgu yapılmıştır [18].

## BÖLÜM 2. BALİSTİK BİLİMİ

Fransızca “balistique” sözcüğünden gelen “balistik” kelimesi, bir merminin silahın namlusundan çıkarak hedefe ulaşması, atışın yapıldığı ortamdaki değişkenlere bağlı olarak değişen hareketlerini, hedefe çarptıktan sonraki enerjinin sönümlenmesi ve oluşan bozulma/deformasyon davranışlarını inceleyen bilim dalıdır [19].

Balistik biliminin temelleri 1800’lü yılların ortalarında atılmıştır. İlk zamanlarda bazı basit prensiplerle silahlara uygulanmıştır. Daha sonra geliştirilen uygulamaların ışığında balistik, başlı başına bir bilim dalı olmuştur. Bu bilimin ortaya çıkmasının nedeni; mermi, silah ve zırhların birbiriyle olan etkileşimlerini incelemektir. Balistik biliminin gelişmesiyle; mermi, silah ve zırh teknolojisi de hızla gelişmiştir [9].

Balistik bilimi, iç balistik, dış balistik ve terminal (Hedef) balistik olmak üzere üç ana gruba ayrılır. İç ve dış balistikte merminin namlu ve havadaki hareketleri incelenirken, terminal balistikte hedefe çarpan mermi ve hedefte oluşan deformasyonlar incelenmektedir [19].

### 2.1. İç Balistik

İç balistik, merminin namlu içerisinde harekete geçmesinden itibaren namlu ağzından çıktığı ana kadarki hareketlerini inceleyen balistik dalıdır. Bu süreçte; kimyasal enerji kaynağını, gazın genişlemesini ve ortaya çıkan enerjinin kontrolünü ve yönlendirilmesini incelemektedir. Sıcaklık ve basınç bakımından, askeri silahlar diğer silahlara göre daha çok zorlanmış durumlarda çalışmaktadır. Bir merminin silahın içerisindeki hareket kabiliyeti, gazın mermiye etkisi ile doğrudan ilişkilidir. Mermi hareket ettiği sırada, içerisinde bulunan namluya basınç yapmaktadır. Bu basınçtan dolayı sürtünme kuvveti açığa çıkmaktadır. Sıcaklığı yüksek olan gazın namluyu ısıtması o derece olur ki, kimyasal reaksiyon dahi gözlemlenebilmektedir [9].

## 2.2. Dış Balistik

Dış balistik, merminin namluyu terk ettiği andan hedefe çarpma kadar geçen süredeki davranışını inceleyen bilim dalıdır [20]. Mermiye uçuş esnasında çeşitli kuvvetler etki eder. Dış balistik genel olarak, uçuş esnasında mermiye etki eden kuvvetleri, uçuş hızını ve süresini, merminin kararlılığını, öngörülen uçuş güzergâhını, yer ile yaptığı açıyı ve darbenin etkiyeceği bölgeyi inceleyen balistik bilimidir. Dış balistiğin hesabının yapılabilmesi, iç balistik bilgileri ve merminin tasarım bilgileriyle mümkündür. Merminin çıkış hızı ve açısı, namlu içerisindeki yiv hızı, geometrisi ve ağırlığı bilinmeden dış balistik hesaplarının yapılması mümkün değildir [6].

## 2.3. Terminal balistik

Hedef balistiği olarak da bilinen terminal balistik, merminin hedefe çarptığı anda gerçekleşen bütün olayları inceler. Merminin hedefe nüfuzu sırasında gerçekleşen mekanik olaylar, merminin ve hedefin çarpışmadan nasıl etkilendiği, varsa sıçrayan parçacıkların davranışı ve atışın öldürücü ya da yaralayıcı etkileri terminal balistik incelemeleri ile ortaya çıkar [6].

Son zamanlarda merminin yaralayıcı etkileri konusu dünyada büyük önem kazandığından merminin dokulara etkisini inceleyen “yara balistiği” dalı türemiştir. Mermi ile hedefin çarpışması sonucu oluşabilecek durumlar merminin hedefe çarpma hızına, açısına, mermi malzeme ve geometrisine ve hedef malzemenin mekanik özelliklerine bağlıdır. Merminin hedefi delip geçmesi, hedefe saplanıp kalması ya da hedeften sekmesi gibi çarpışma mekanizmaları gerçekleşebilir [21].

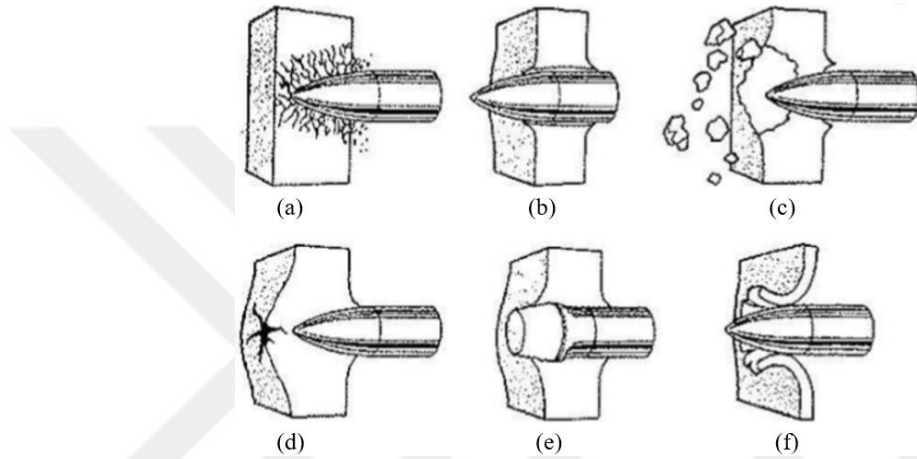
## 2.4. Hasar Mekanizmaları

Balistik çarpma genellikle, bir kaynak tarafından itilen merminin oluşturduğu düşük kütleli, yüksek hızlı çarpma olarak adlandırılmaktadır. Balistik çarpma yüksek hızlı bir olay olmasına rağmen, hedef üzerindeki etkileri çarpmanın olduğu noktaya yakın bir çevrede gerçekleşmektedir. Çarpma esnasında enerji transferi, mermiden hedefe doğru ilerlemektedir. Hedef malzemesinin özelliklerine ve mermi parametrelerine bağlı olarak;

- 1) Mermi hedefi delmekte ve arka yüzden belirli bir hızda çıkmaktadır. Bu, merminin ilk enerjisinin, hedefin absorbe edebileceği enerjiden fazla olduğunu göstermektedir.
- 2) Mermi, hedefe kısmen girmektedir. Bu, merminin ilk enerjisinin, hedefin absorbe edebileceği enerjiden daha düşük olduğunu göstermektedir. Hedef malzemenin özelliğine bağlı olarak mermi, ya hedefin içinde kalmakta ya da sekteye uğramaktadır.
- 3) Mermi, hedefi tamamen delmektedir; fakat çıkış hızı sıfırdır. Böyle bir durumda verilen kütle için, merminin ilk hızı balistik limit olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca merminin bütün enerjisi sadece hedef tarafından absorbe edilmektedir [9-22].

Hedef balistiğinde sıkça kullanılan nüfuz etme (penetrasyon) kavramı, merminin hedefin herhangi bir bölgesine girme durumunun gelişimi olarak tanımlanmaktadır. Çarpışma esnasında, mermi hedefe birkaç şekilde nüfuz edebilmektedir. Hedef üzerinde meydana gelen hasarlar; malzeme özelliği, çarpışma hızı, mermi burun şekli, mermi yörüngesi ve mermi ile hedefin göreceli boyutları gibi çeşitli değişkenlere bağlı olmaktadır [21].

Genellikle zayıf ve düşük yoğunluklu hedeflerde, gevrek kırılma görülmektedir. Başlangıçtaki gerilmenin, malzemenin en yüksek dayanım değerini aşması sonucu meydana gelmektedir. Düşük veya orta sertlikteki kalın levhalarda görülen tipik hasar mekanizması ise sünek delinme ile birlikte küçük parça kopmasıdır. Sünek delik gelişimi, dolgu oluşumu ve taç yaprağı oluşumu sünek malzemelerde çok görülen hasar şekilleri olmakla birlikte farklı hasar türleri bulunmaktadır [21]. Bu hasar türlerinden bazıları Şekil 2.1.'de gösterildiği gibidir [23].



Şekil 2.1. Levha şeklindeki hedefler için en yaygın hasar mekanizmaları (a) gevrek kırılma, (b) sünek delinme, (c) parça kopması, (d) radyal çatlak oluşumu, (e) tıkaç oluşumu ve (f) taç yaprağı oluşumu

## 2.5. Balistik Zırhlar

Zırhlar, kişilerin ve mühimmatların farklı büyüklük ve hızlardaki mermi ve şarapnel parçalarına karşı korunmak amacıyla geliştirilmiş donanımlardır. Zırh tasarımının, karakteristik özelliği ve deformasyon konularına ilişkin araştırmalar terminal balistiğin konusudur [19].

Kullanım alanlarına göre zırhları, kişisel, hafif ve ağır zırhlar şeklinde sınıflandırabiliriz.

Kişisel zırhlar, kask ve kurşun geçirmeyen yeleklerde kullanılırlar. Hafif zırhlar, savaş uçakları ve helikopterlerde kullanılırlar. Ağır zırhlar, ise tanklarda kullanılırlar.

## 2.5. Balistik Zırh Tasarımında Kullanılan Malzemeler

Teknolojik gelişmelerin beraberinde, yapılan bilimsel çalışmalar neticesinde, zırh yapımında kullanılacak malzeme çeşitleri, yüksek dayanım, düşük ağırlık, yüksek hareket kabiliyeti ve süreklilik gibi birçok parametrenin önemine değinilmektedir [9].

Koruyucu zırhlar ilk olarak, hayvan derileri ve ağır metallerden yapılmıştır. Fakat gelişmiş savaş ve silah teknolojileri karşısında bu zırhlar yetersiz kalmıştır. Günümüzde bu zırhların yerine dayanımı yüksek, yoğunluğu düşük olan fiberlerden üretilen kompozitler kullanılmaktadır. Bu yüzden koruyucu amaçlı kullanılan, balistik yelek, vücut zırhı ve kasklar gibi, balistik açıdan koruma sağlaması gereken, zırhlarda mukavemeti yüksek olan bu kumaşlar, kullanılmaktadır.

Balistik darbelere karşı etkin koruma sağlayan bu kumaşların, performans özelliklerinin sürekli iyileştirilmesi istenilen, uçaklar ve taşıtlarda daha yoğun kullanılabilmesi için istenilen özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bu malzemelerin üretimi, ancak özellikleri çok farklı olan materyallerle mümkündür. İstenilen özellikleri sağlayacak yeni malzemeler için araştırmalar yoğun bir şekilde etmektedir [24].

Kompozit zırh tasarımlarının kullanım alanlarını genişletmek amacıyla, mukavemetleri yüksek olan kumaşların dışında darbe dayanımlarını arttırmak amacıyla, çelik alüminyum, seramik ve titanyum gibi malzemelerde kullanılarak çeşitli katmanlarda kompozit zırhlar geliştirilmektedir [5].

### **BÖLÜM 3. KOMPOZİT MALZEMELER**

Aynı ya da farklı türdeki iki ya da daha fazla sayıdaki malzemelerin makro boyutta birleştirilmesiyle elde edilen ve bu malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzeme toplamak amacıyla oluşturulan yeni malzemeye kompozit malzeme adı verilir.

Bir malzemeye kompozit denilebilmesi için;

Mekanik özellikleri ve fiziksel özellikleri farklı olan en az iki veya daha fazla malzeme birleştirilerek elde edilmeli ve birbirinden farklı ara yüzeye sahip olmalı,

Herhangi bir malzemenin tek başına sağlayamadığı mekanik özellikleri elde edebilmeli.

Bir malzemenin diğer malzemenin içerisine kontrollü bir şekilde dağıtılmasıyla iki ayrı malzeme karıştırılarak kompozit (karma) malzeme oluşturabilmeli ve optimum özellikler elde edebilmeli.

Kompozit malzemeyi oluşturmuş olan elemanlar en iyi özellikleriyle bir arada bulunmalı ve yüksek özellikli bir malzeme elde edilmelidir.

Kompozit malzemeler, yapısını oluşturduğu malzeme ve yapı bileşenlerinin şekillerine göre; Matris malzemesi ve takviye malzemesi olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir.

Matris türüne göre kompozitler; Polimer matrisli, metalik matrisli ve seramik matrisli kompozitler olarak sınıflandırılır.

Takviye türüne göre kompozitler; Partikül (Parçacık) takviyeli, fiber (Elyaf) takviyeli, Tabaka yapılı (Lamine Kompozitler), Dolgu yapılı kompozitler olarak sınıflandırılır.

### **3.1. Matris Malzemesi**

Matris, kompozitlerde bulunan takviye malzemesini yapı içerisinde bir arada tutan maddeye denir. Matris malzemesinin görevi, kompozit malzeme içerisindeki fiberleri desteklemek ve onları bir arada tutmaktır. Kompozit üzerine gelen yükler önce matris tarafından karşılanır ve matris vasıtasıyla fiberlere aktarılır. Yapıda rijitlik sağlar ve yapının şeklini oluşturur. Fiberleri birbirinden izole eden matrisler bu özelliğinden ötürü bir bakıma birbirlerinden bağımsız davranırlar.

#### **3.1.1. Polimer matrisli kompozitler**

Polimerler birbirine bağlı olan moleküllerin tekrarlanması sonucu meydana gelen zincir yapılardır. Polimerlerin yapısı genel olarak karbondan oluştuğundan organik kimyasallar sınıfına dahil edilir. Polimer matrisli kompozitler, günümüzde yaygın olarak kullanılan kompozitlerin başında gelmektedir.

Polimerler, termoset, termoplastik ve elastomer olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Matris olarak en yaygın kullanılanları termoset ve termoplastiklerdir.

### 3.1.1.1. Termoplastikler

Termoplastikler ısı ve basınç etkisiyle yumuşayabilen, akan ve bu koşullar altında şekillendirilebilen ve soğutulduklarında sertleşebilen (katı halini alan) polimerlerdir. Moleküllerin arasında zayıf olan Van der Waals bağları bulunmaktadır. Ayrıca tekrar ısıtıldıklarında tekrar yumuşar, şekil alır ve soğuduğunda tekrar sertleşebilirler. Şekillendirme esnasında kimyasal olarak hiçbir değişikliğe uğramazlar. Bunun yanı sıra uygun çözücülerde çözünebilir ve böylece çeşitli yöntemlerle şekillendirilebilirler.

Termoplastiği oluşturan en önemli polimerler;

Poliamid (Naylon); hammaddesi petrol olan poliamid, sektörde Naylon adıyla bilinmektedir. Araştırmalarda naylonun, polyesterden daha dayanıklı olduğu görülmüş ve bu özellikleri naylonun diğer kimyasal elyaflara oranla daha fazla ön plana çıkmasını sağlamıştır.

Polipropilen; bir polimer olup monomerlerin polimer hale getirilmesiyle elde edilir. Polipropilenlerin, asit ve bazlara karşı direnci oldukça yüksektir. Otomotiv parçaları, tekstil, yiyecek paketlenmesi gibi geniş kullanım alanı vardır.

Polieter Eter Keton (PEEK); İki eter ve bir keton grubunun kimyasal olarak tekrar etmesinden meydana gelmektedir. Polieter Eter Keton (PEEK) polimeri sadece karbon, hidrojen ve oksijen atomları bulunduran yapısından dolayı, yüksek kararlılıkta ve lineer bir yapıya sahiptir. Polieter Eter Keton (PEEK), matris malzemesi olarak kompozit uygulamalarında önemli bir yere sahiptir [25].

### 3.1.1.2. Termosetler

Termosetler, reçine ve katalizör veya sertleştiricinin karıştırılmasıyla kürlenmekte ve kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra eski hallerine döndürülememektedirler. Çapraz bağ adı verilen moleküler zincirler oluştururlar. Bu çapraz bağlar sayesinde esnek bir yapı olmaktan çıkar ve ergitilerek tekrar şekillendirilemezler. Çapraz bağların sayısı arttıkça malzemenin termal kararlılığı artmakta ve daha rijit hale gelmektedir.

Termoset polimerler yüksek termal ve boyutsal kararlılığı, rijit yapıları, yüksek kimyasal çözücü direnci ve oda sıcaklığında sıvı halde bulunmaları kompozit malzemelerin üretiminde çok sık kullanılmasını sağlamaktadır [26].

Matris malzemesi olarak en sık kullanılan termosetler, polyester, epoksi ve vinil ester reçinelerdir.

Polyester reçineler; düşük maliyet ve korozyon direncinin yüksek olmasından dolayı denizcilik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Termoset veya termoplastik özellikler gösterebilen polyester reçineler doymamış halde termoset, doymuş halde ise termoplastik özellik göstermektedirler [26].

Epoksi reçineler; genel olarak birbirine bağlı bulunan iki karbon atomunun oksijen atomuyla bağlanmasından meydana gelir. Bu yapıya alfa epoksi adı verilmektedir. Epoksi reçinelerin uzama katsayısı ve yapışma özelliği yüksektir. Elyaflar için çok iyi matris malzemesi görevi görür. Mekanik özellikleri, kimyasal ve korozyon direnci yüksektir [26].

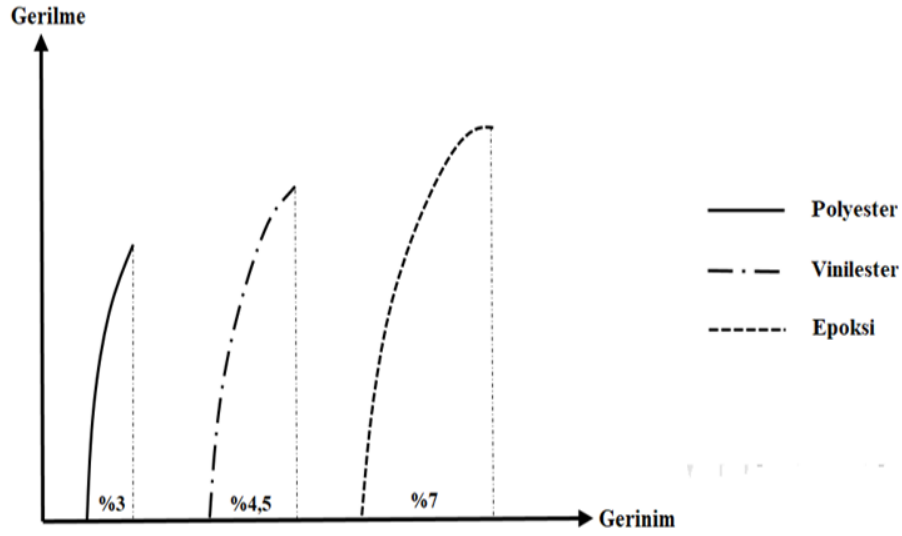
Epoksi reçineler, sıvı, katı, ve yarı katı formda bulunabilirler. Sıvı epoksiler Reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi, filaman sarım yöntemi, pultrüzyon yöntemi, elle yatırma yöntemi ve başka proseslerde, cam fiber, karbon fiber aramid fiber ve bor gibi fiberlerle kullanılabilirler. Yarı katı epoksiler prepeg halindeyken vakum torbalama ve otoklav prosesleri için uygun hale gelirler. Katı epoksiler kapsülleri bağlama amaçlı kullanılırlar [27].

Epoksi reçinelerin avantajlarına, elyaflar için bağ dayanımının çok yüksek olması, aşınmaya karşı direncinin yüksek olması, uçucu özelliğe sahip olamamaları, kimyasal dayanımlarının yüksek olması, kopma dayanımlarının yüksek olması, geniş bir sıcaklık aralığında sertleşebilme özelliklerini sayabiliriz. Epoksilerin avantajlarının çok olması ve bütün elyaf malzemelerle birlikte kullanılma serbestliği sebebiyle, yaygın olarak uçak endüstrisinde kullanılmaktadır. Özellikle karbon elyaflarla birlikte kullanıldığında çok iyi sonuçlar alındığı bilinmektedir [28].

Dezavantajları ise, polyesterlere göre maliyetlerinin yüksek olması ve polyesterlere oranla yüksek viskoziteye çok uygun olmamasını saymak mümkündür.

Vinil Ester Reçineler; Epoksi moleküllerinin doymamış olan organik asitlerle girmiş olduğu kimyasal reaksiyon sonucu elde edilir. Epoksi ve polyester reçineye göre çapraz bağ bölgeleri daha fazladır.

Şekil 3.1.'de 80°C sıcaklıkta 5 saat kürlenmiş epoksi, vinilester ve polyester reçinelerin gerilme-gerinim grafiği karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir [28].



Şekil 3.1. Polyester, vinil ester ve epoksi reçineler için gerilme-gerinim grafiği

### 3.1.1.3. Elastomerler

Zincir molekülleri uzun olan çapraz bağlardan meydana gelir. Çok düşük gerilmelerde bile yüksek elastik deformasyon özelliğine sahiptirler. Elastomerlerden bazılarının %500'ün üzerinde uzayabilmelerine rağmen eski haline dönebilme özelliğine sahiptirler.

En yaygın olanı elastomer kauçuktur. Kauçukta kendi içinde ikiye ayrılabilir.

Doğal Kauçuk; Doğal yolla çeşitli bitkilerden elde edilen kauçuklardır.

Sentetik Kauçuk; Termoplastik ve termosetlerin polimerizasyon işlemleriyle benzer şekilde üretilir. Elastik modülü lineerdir. Çapraz bağların daha fazla olması durumunda daha rijit özellikte olurlar [29].

### 3.1.2. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matris olarak kullanılan metallerin genellikle hafif ve yüksek mukavemetli olanları tercih edilir. En yaygın kullanılan metal matrisler alüminyum, magnezyum alüminyum ve titanyumdur. Çelik, molibden, berilyum tungsten ve molibden elyaflar takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Elyaflar metal matrislere mukavemet ve tokluk kazandırır. Metal matrisler ise elyafların bir arada durmasını sağlar [30].

Metal matrislerde kullanılacak olan pekiştiriciler belirli özellikleri içermelidir. Bu özelliklerden bazıları, yoğunluk, ısı direnç, kimyasal uygunluk ve ısı kararlılık olarak sıralanabilir. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımının çok iyi olmasından ötürü uçak motorlarında çok sık kullanılmaktadırlar [31].

### 3.1.3. Seramik Matrisli Kompozitler

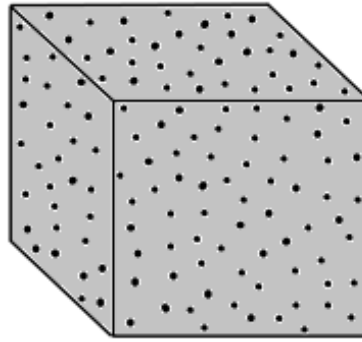
Seramikler, Güçlü kovalent bağları sayesinde mükemmel aşınma dayanım özelliği gösteren ve yüksek sıcaklıklılara dayanıklı olan malzemelerdir. Yüksek ergime sıcaklığına sahiptirler. Bundan dolayı, sıcaklığın yüksek olmasını gerektiren uygulamalarda sıkça kullanılırlar. Seramikler kimyasallara karşı çok kararlıdır. Çok yüksek basma dayanımı ve rijitliğe sahip olmalarına karşın kırılgan bir yapıya sahiptirler. Sünek özellik göstermemeleri kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Askeri alanda kullanılacak olan çeşitli parçaların imalı uzay araçları ve sandviç zırhları seramik matrislerin kullanım alanları olarak sıralayabiliriz. Metal ve seramik matrisli kompozitler ihtiyaç duyulan sektörlerde yoğun olarak kullanılsa da polimer matrisli kompozitler en yaygın kullanılan kompozitlerdir.

### 3.2. Takviye Malzemesi

Kompozit yapıda yükü taşıyan malzemelerdir. Takviye malzemesi yükü % 70-90 seviyelerinde taşıyan elemanlardır. Malzemenin dayanımını artırır. Genel olarak fiberlerden (elyaf) oluşmaktadır. Takviye malzemesinin amacı; matrisin rijitliğini ve dayanımını artırmak suretiyle mekanik özelliklerini iyileştirmektir.

#### 3.2.1. Partikül takviyeli kompozitler

Küçük boyutlarda partiküller halinde bulunan bir malzemenin matris malzemesinin içerisine nufuziyetiyle elde edilen kompozitlerdir. Bu tip kompozitler tek veya iki boyutlu mikroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemeler olup ortalama gömülen parçacık boyutu 1  $\mu\text{m}$ 'den büyük ve elyaf hacim oranı %25'den fazla kullanılmamaktadır. Partikül takviyeli kompozitlerde yük, takviye malzemesi olan partiküller ve matris malzemesi tarafından birlikte taşınır. İzotropik özellikler gösteren partikül takviyeli kompozitlerde en çok kullanılan parçacıklar ise  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiC}$ 'den oluşan seramiklerdir [32]. Şekil.3.2.'de partikül takviyeli kompozite ait bir örnek gösterilmektedir.



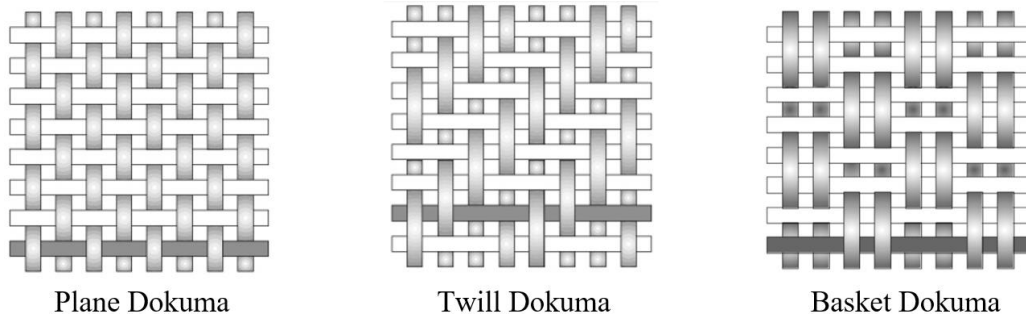
Şekil 3.2. Partikül Takviyeli Kompozit

### 3.2.2. Fiber (Elyaf) takviyeli kompozitler

Etkinliđi yüksek olan liflerin ilave edilmesiyle elde edilen, özelliklerin çoğunda artış sağlanan malzemelerdir. Fiber olarak üretildiğinden mukavemet özellikleri kütle halindeki durumundan çok daha iyi ve üst düzeydedir. Fiberler, yapıların içerisinde kesintisiz olarak uzayan sürekli fiberler veya uzun fiberlerin kesilmesiyle elde edilen süreksiz fiberler şeklinde olabilirler.

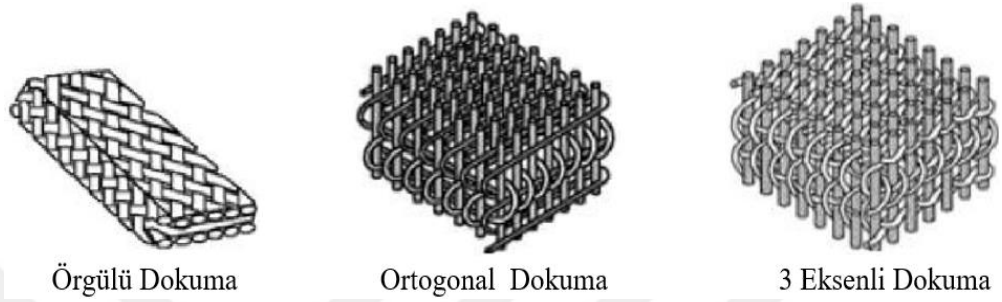
Fiberlerin performansına etkileyen parametreler; fiber veya fiberlerin şekli, uzunluğu, yönü, matrisin mekanik özellikleri, fiber-matris ara yüzeyinin özellikleridir. Matrisin içerisinde yer alan fiberler kompozit malzemenin mukavemetini sağlayan en temel malzemelerdir. Yüksek sertliğe, elastisite modülüne ve düşük yoğunluğa sahip olan fiberlerin korozyona karşı dirençleri yüksektir.

Fiber (Elyaf) dokuma yapılar iki ve üç boyutlu dokuma yapılardan oluşmaktadır. İki boyutlu fiber dokuma bir yapı, 90° olarak iç içe geçmiş olan atkılı ve çözgü liflerinden oluşmaktadır [33]. Bu dokumalar, Şekil 3.3.'te gösterildiğı gibi plane, twill ve basket olarak sınıflandırılır [28].



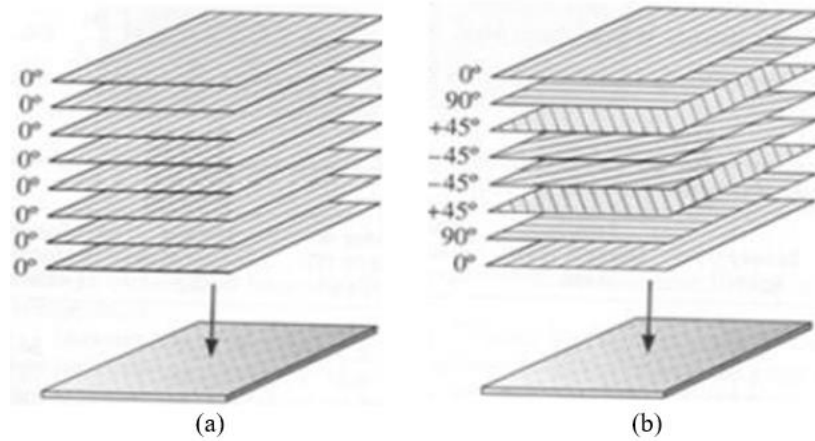
Şekil 3.3. İki Boyutlu Fiber (Elyaf) Dokuma Çeşitleri

Üç boyutlu dokumalar; Şekil 3.4.'te gösterildiği gibi, örgülü, ortogonal ve üç eksenli yapılar olarak sınıflandırılabilir [28]. Darbeye karşı dirençleri yüksek olmakla birlikte diğer kompozit zırh sistemlerine göre daha ince yapıda olan balistik koruyucu yeleklerin enerji sönmleme kabiliyetleri iki boyutlu sistemler kadar verimli değildir [34].



Şekil 3.4. Üç Boyutlu Fiber (Elyaf) Dokuma Çeşitleri

Dokuma olmayan fiber yapılar bir tabakanın aynı özellikli diğer bir tabaka ile birbirlerine  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  veya  $90^\circ$  konumda veya bunların birleşimi olacak şekilde bir reçine bağlayıcı kullanılarak birleştirilmesiyle üretilen yapılardır [35]. Şekil 3.5.'te dokuma olmayan yapıların örnekleri gösterilmiştir [28].



Şekil 3.5. Dokuma Olmayan Yapılar (a)  $0^\circ$  konumlu, (b)  $0^\circ/45^\circ/\pm 90^\circ$  konumlu

En yaygın olarak kullanılan fiberleri; Karbon fiber, Aramid fiber, Cam fiber olarak sıralayabiliriz.

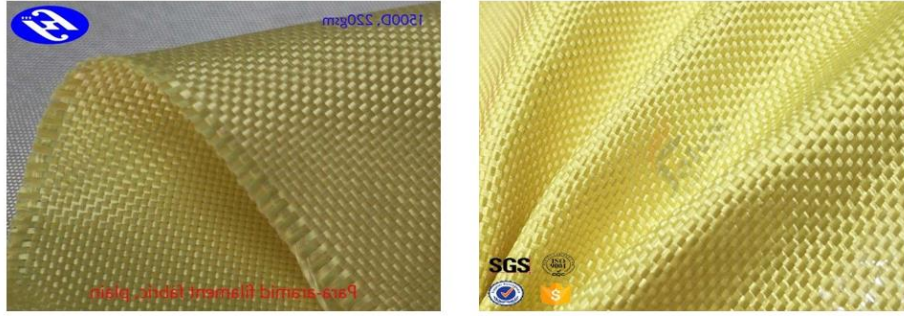
Karbon fiber; genellikle; Zift ve PAN (Poliakrilonitril) tabanlı iki malzemeden elde edilir. Daha düşük mekanik özelliklere sahip olan karbon fiberler zift tabanlıdır. Bu özelliklerinden dolayı yapısal uygulamalarda nadiren kullanılırlar. PAN tabanlı olan karbon fiberler kompozit malzemelerde zift tabanlı karbon fiberlerden daha çok kullanılırlar. Aşınma, sürünme ve yorulma dayanımlarının yüksek olduğu bilinen karbon fiberler, epoksi reçineyle birleştirildiğinde üst düzey dayanıklılık ve sertliğe sahip olurlar. Mukavemetini arttırmak ve yoğunluğunu düşürmek için gelişimine sürekli devam edilmektedir. Karbon elyaflara örnek Şekil 3.6.'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.6. Karbon elyaf örnekleri

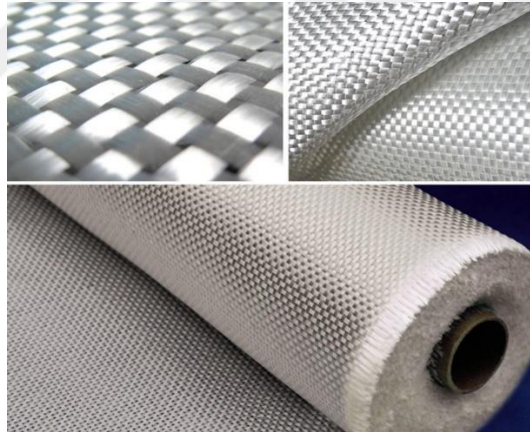
Aramid fiber; “aromatik polyamid” in kısaltılmış adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir. İlk olarak 1960’lı yılların sonlarına doğru piyasaya sürülen aramid fiberlerin en bilinenleri Kevlar (DuPont) ve Twaron (Teijin) fiberleridir [36]. Zırh kombinasyonlarının kullanımı için son zamanlarda en çok tercih edilen ürün ise UHMWPE adı ile bilinen yüksek molekül ağırlığına sahip polietilendir.

Aramid elyafların nem tutma özellikleri ve basma dayanımları düşüktür. Havacılık sanayisinde özellikle de uçak imalatında, aramid elyafların düşük basma dayanım özellikleri karbon elyaflar ile birlikte hibrit kompozit olarak kullanılarak iyileştirilmektedir [31]. Şekil 3.7.’de aramid elyaf örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Aramid Elyaf Örnekleri

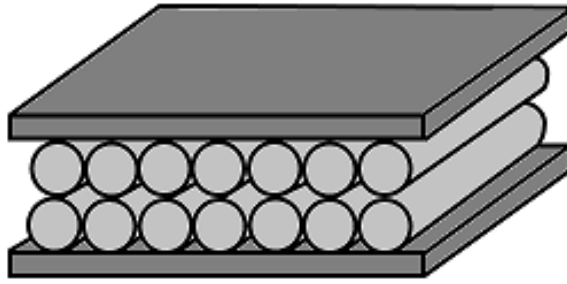
Cam fiberin esasını silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) oluşturmaktadır. Birçok cam fiber çeşidi olmasına rağmen kuvvet tabanlı bir çeşit olan S (Kuvvetli) cam fiber balistik uygulamalarında tercih edilmektedir. Bununla birlikte belirli bir oranda, kalsiyum, alüminyum, sodyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerini de içerebilmektedir. Ucuz bir takviye malzemesi olan olan cam fiberler, plastik esaslı kompozitlerde yaygın olarak kullanılır [37]. Şekil 3.8.'de cam fiber örneği gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Cam Elyaf Örnekleri

### 3.2.3. Dolgu takviyeli kompozitler

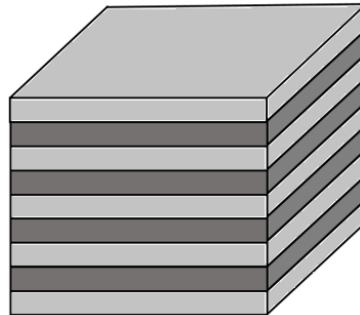
Üç boyutlu olan matrisin yine üç boyutlu olan dolgu malzemesi ile doldurulmasıyla elde edilen kompozitlerdir. Matris malzemesinin yapısı çeşitli geometrik şekillere sahip iskelet veya şebeke yapısındadır. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir [32]. Şekil 3.9.'da dolgu takviyeli kompozitlere örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Dolgu takviyeli kompozit

### 3.2.4. Tabaka yapılı kompozitler (Lamine kompozitler)

Tabakalı kompozitler yaygın olarak kullanılan en eski kompozit türüdür. Bu tip kompozitler özellikleri farklı olan tabakalardan oluşmaktadırlar. En az iki tabakadan oluşan bu kompozitlerin çeşitli kombinasyonlarda üretilmesi mümkün olabilmektedir. Farklı elyaf yönlerine sahip olan tabaka yapılarının bileşiminden çok yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir [32]. Şekil 3.10.'da tabakalı kompozitlere örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Tabakalı (Lamine) Kompozitler

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneylerin bir kısmında ÖZGÜLTEKİN S. tarafından yapılmış olan tez çalışmasındaki numunelerden faydalanılmıştır [9]. Deneyler SAU Makine Mühendisliği Laboratuvarı önünde tüm güvenlik önlemleri alındıktan sonra yapılan silah atış testleriyle gerçekleşmiştir. Üç atış 6 metreden, üç atış 10 metreden olmak üzere her numune için toplam altı atış yapılmıştır. Testlerin balistik standartlara uygun yapılması önem arz etmektedir. Bu yüzden testlerin, eldeki imkânlar dâhilinde standartlara uygun yapılmasına dikkat edilmiştir.

Deney sırasında atışlar Şekil 4.1.'de gösterilen Safir T14 Classic uzun namlulu av tüfeği ile yapılmıştır [38].



Şekil 4.1. Safir T14 Classic av tüfeği

Tüfeğin özellikleri Tablo 4.1.'de gösterilmiştir [38].

Tablo 4.1. Safir T14 Classic av tüfeğinin özellikleri

|                  |         |
|------------------|---------|
| Ağırlık          | 2850 gr |
| Namlu uzunluğu   | 51 cm   |
| Toplam uzunluk   | 96 cm   |
| Namlu çıkış hızı | 700 m/s |
| Namlu çapı       | 410 Cal |

Test esnasında Şekil 4.2.'de gösterildiği gibi Yavaşçalar markalı, YAF Slug 36 kalibre tek çekirdekli fişek kullanılmıştır. Fişek ağırlığı 13,37 gr barut ise 0,72 gr olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.2.Yavaşçalar marka, YAF Slug 36 kalibre fişek

Deney düzenekleri Şekil 4.3.'te gösterildiği gibi 200x200 mm ebatlarında (soldaki resim) arkasında destek malzemesiyle birlikte metal masaya kaynak edilerek monte edilmiş çelik kare levha ve 2000x300 mm ebatlarında (sağdaki resim) bulunan ortasında 2 adet kare profil ile desteklenen çelik kare profilden oluşmaktadır. Kompozit zırh numuneleri, deney düzeneklerine işkence mengenesiyle sabitlenerek yerleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Deney düzenekleri

#### 4.1. Balistik Deney Standartları

Balistik testler için dünyada birçok standart kullanılmaktadır. En yaygın kabul gören standartlar ise NIJ (The US National Institute Of Justice) ve HOSDB (UK Home Office Scientific Development Branch) tarafından kabul gören standartlardır [39]. Bu standartların dışında NATO ve TSE(Türk Standartları Enstitüsü) askeri alanda kullanılmak üzere çeşitli standartlar geliştirmişlerdir. Tablo 4.2.'de balistik koruyucular için kullanılan standartlar verilmektedir [24].

Tablo 4.2. Bazı ulusal ve uluslararası balistik koruyucu standartlar

| STANDART NO        | STANDART ADI                                                                                                                                                                                            |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TS 11164           | Balistik Koruyucu Yelek                                                                                                                                                                                 |
| TS 13349           | Askerî zırhlar - V50 balistik hız deneyi                                                                                                                                                                |
| MIL-A-46103 C      | Light Weight, Ceramic Faced Composite Armor Procedure Requirements                                                                                                                                      |
| MIL-B-44053 A      | Fragmentation Protective Body Armor, Vest Ground Troops                                                                                                                                                 |
| MIL-STD-662 F      | Zırhlar İçin V50 Balistik Testi (V50 Ballistic Test For Armor)                                                                                                                                          |
| NIJ-STD-0101.04    | Kişisel Vücut Zırhlarının Balistik Dayanımları (Ballistic Resistance Of Personal Body Armor)                                                                                                            |
| NIJ-STD-0101.06    | Kişisel Vücut Zırhlarının Balistik Dayanımları (Ballistic Resistance of Personal Body Armor)                                                                                                            |
| NIJ-STD-0108.04    | Koruyucu Malzemelerin Balistik Direnci (Ballistic Resistance Of Protective Materials)                                                                                                                   |
| STANAG 2920        | Ballistic Test Method For Personal Armor (Kişisel Zırhlar İçin Balistik Test Metotları)                                                                                                                 |
| UK/SC/4697         | The Ballistic Testing Of Fragment Protective Personnel Armors                                                                                                                                           |
| PPAA STD-1989-05   | Kişisel Koruyucu Zırh Birliği, Kişisel Vücut Zırhlarının Balistik Dayanım Test Standartları (Personal Protective Armor Association, Testing Standarts For Ballistic Resistance of Personal Body Armors) |
| UL 752             | Ballistic Resistance Equipment                                                                                                                                                                          |
| MIL-B-44194 A      | A Body Armor Fragmentation Protective Undergarment C.V. Crevmens                                                                                                                                        |
| MIL-P-46199        | Alüminyum Oksit Seramik Plakalarının Zırhlarda Kullanım (Plate: Aluminium Oxide Ceramic (For Use In Armor Composite))                                                                                   |
| DIN EN ISO 14876-2 | Koruyucu Giysi - Vücut Zırhı - Bölüm 2: Mermi Dayanımı Gereksinimleri ve Test Metotları (Protective Clothing - Body Armor - Part 2: Bullet Resistance; Requirements and Test Methods)                   |

Ateşli silah türlerine karşı kişisel koruyucu zırhların balistik deney yöntemlerini kapsayan standartlar, TSE’de (Türk Standartları Enstitüsü) bulunan TS 11164 numaralı ve TS 13349 numaralı standartların içerisinde yer almaktadır [40-41].

Günümüz teknolojisinde hafif silahlara karşı geliştirilen koruyucu zırh ürünlerinin balistik performansının ölçümünde referans olarak, NIJ (National Institute of Justice) standartlarında belirtilen değerler yaygın olarak kullanılmaktadır [42].

NIJ (National Institute of Justice) standartlarından NIJ-STD-0101.04 ve NIJ-0101.06 standartları günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu standartların içerisinde, koruyucu malzemelerin testlerinin koruma seviyelerinden hangisiyle yapılacağı ve koruyucu olarak kullanılan malzemenin ne kadar koruma sağlayacağı gibi detaylara yer verilmektedir [43-44-45].

NIJ-STD-0104 standardında amaç, insan vücudunu ateşli silahlara karşı asgari düzeyde korumak ve kişisel vücut zırhlarının balistik performansları için uygulanması gereken test yöntemleri belirtilmektedir [15].

NIJ-STD-0101.04 standardının içeriğinde balistik koruyucu malzemeler için çeşitli sınıflandırmalar yapılmaktadır. Farklı özellik, ağırlık ve hızlardaki mermilerin yedi ayrı koruma seviyesi içerisinde darbe etkisine dayanıklılığı ölçülmekte ve sınıflandırma yapılmaktadır [44]. Bu balistik koruyucular için koruma seviyeleri Tablo 4.3.’te gösterilmektedir [42].

Tablo 4.3. NIJ-STD-0101.04 standardında belirtilen balistik koruyucular için koruma seviyeleri

| Koruma Seviyesi          | Kalibre ve Mermi Tipi                                           | Mermi Ağırlığı (g) | Mermi Hızı (m/s) | Travma Derinliği (max) |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|------------------------|
| I<br>(5 m mesafeden)     | 22 LR uzun namlu kurşun burunlu mermiler (LR, LRN)              | 2,6                | 320              | 44 mm                  |
|                          | 380 ACP Tam metal kaplama burunlu mermiler (FMJ RN)             | 6,2                | 312              |                        |
| IIA<br>(5 m mesafeden)   | 9 mm Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ RN)               | 8,0                | 332              | 44 mm                  |
|                          | 40 S&W Tam metal kaplama burunlu mermi (FMJ)                    | 11,7               | 312              |                        |
| II<br>(5 m mesafeden)    | 9 mm Tam metal kaplı yuvarlak uç mermi (FMJ RN)                 | 8,0                | 358              | 44 mm                  |
|                          | 357 Magnum, metal kaplı yumuşak uçlu mermi (JSP)                | 10,2               | 427              |                        |
| III A<br>(5 m mesafeden) | 9 mm Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ RN)               | 8,0                | 427              | 44 mm                  |
|                          | 44 Magnum Kaplama çukur (özel içine göçük uç) nokta mermi (JHP) | 15,6               | 427              |                        |
| III<br>(15 m mesafeden)  | 7,62 mm Tam metal kaplama mermiler (FMJ)                        | 9,6                | 838              | 44 mm                  |
| IV<br>(15 m mesafeden)   | 30 mm zırh delici (AP) Mermi                                    | 10,8               | 869              | 44 mm                  |

Farklı özellikteki malzemelerden, Tablo 4.3.'teki gibi farklı koruma seviyelerine sahip olmaları beklenmektedir. Örnek olarak piyade tüfeğinin mermisinden korunmak amacıyla üretilen zırhlarda, seviye III düzeyli etkinliğe sahip koruma özelliklerini karşılaması beklenmektedir [42].

Vücut Koruyucu zırhlarda, Zırh arka yüz izi (P-BFS (The Perforation and Backface Singature Test)) ve balistik limit testleri kullanılmaktadır. Bu testlerde koruma seviyesi olarak II, II A ve III A seviyeleri dikkate alınmıştır. Testler iki mermiyle gerçekleştirilmektedir. Böylece yeni ve uygun hale getirilen numunelerin testi yapılabilmektedir [46].

Balistik yeleklerin dayanımı için 2000 yılında yayımlanan NIJ-0101.04 standardının bazı kısımlarında değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler 2008 yılında vücut zırhlarında balistik dayanım NIJ-0101.06 standardı olarak güncellenmiştir [47].

NIJ-0101.04 standardının (Eski standart) kapsamı, belirli bir süre kullanıldıktan sonra kumaşlarda meydana gelen deformasyonları içermektedir. Yapılan değişiklik kapsamında numuneler, ısı, nem, yıpranma ve mekanik aşınmaya maruz kaldıktan sonra testi yapılabilmektedir [47].

NIJ-STD-0101.06 standardı kapsamında kişisel zırh malzemeleri balistik performans seviyelerine göre beş sınıfa ayrılmaktadır. Bu koruma seviyelerine ilişkin bilgiler Tablo 4.4.'te gösterilmektedir [45].

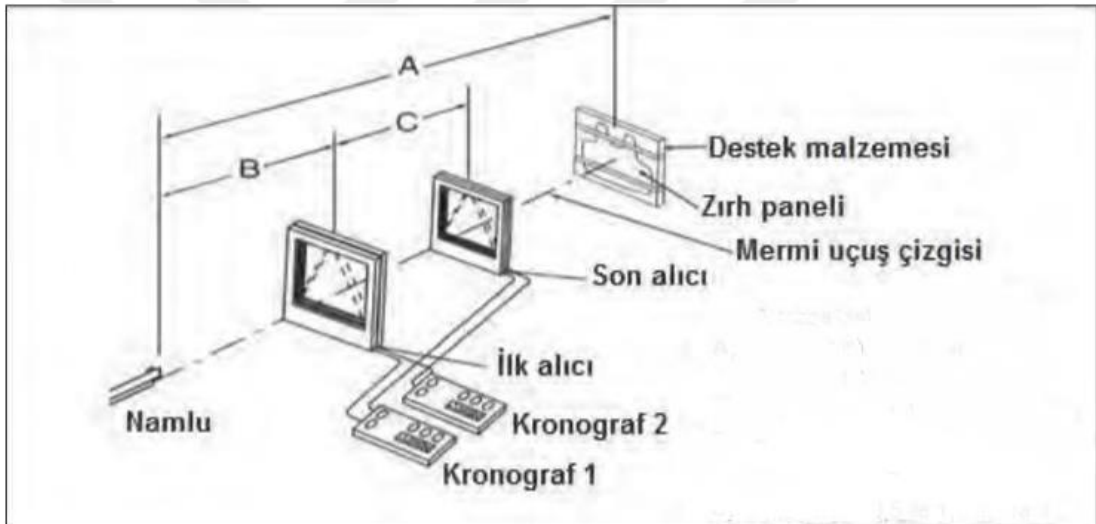
Tablo 4.4. NIJ-STD-0101.06 standardında belirtilen balistik koruyucular için koruma seviyeleri

| Koruma Seviyesi          | Kalibre ve Mermi Tipi                                | Mermi Ağırlığı (g) | Mermi Hızı (m/s) | BFS Zırh arka yüz izi (max) |
|--------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|
| IIA<br>(5 m mesafeden)   | 9 mm Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ RN) 40 | 8,0                | 373 ± 9,1        | 44 mm                       |
|                          | S&W Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ)        | 11,7               | 352 ± 9,1        |                             |
| II<br>(5 m mesafeden)    | 9 mm Tam metal kaplı yuvarlak uç mermi (FMJ RN)      | 8,0                | 398 ± 9,1        | 44 mm                       |
|                          | 357 Magnum, metal kaplı yumuşak uçlu mermi (JSP)     | 10,2               | 436 ± 9,1        |                             |
| III A<br>(5 m mesafeden) | 357 SIG Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ FN) | 8,0                | 448 ± 9,1        | 44 mm                       |
|                          | 44 Magnum (semi jacketed hollow point) (SJHP)        | 15,6               | 436 ± 9,1        |                             |
| III<br>(5 m mesafeden)   | 7,62 mm Tam metal kaplama mermi (FMJ)                | 9,6                | 847±9,1          | 44 mm                       |
| IV<br>(15 m mesafeden)   | 30 mm zırh delici mermi (AP)                         | 10,8               | 878±9,1          | 44 mm                       |

#### 4.2. Balistik Deney Koşulları

Özel durumların dışında zırh numunesi,  $21 \pm 2,9^{\circ}\text{C}$  sıcaklık,  $\%50 \pm \%20$  bağıl nem koşullarında test materyalleriyle birlikte denenmelidir. Her zırh numunesi atışların öncesinde ve sonrasında ortam koşulları kayıt altına alınmalıdır.

Deney düzeneği ve materyalleri Şekil 4.4.'teki gibi düzenlenmelidir. Özel olmayan durumların dışında atışlar test numunesine (zırh paneli), tabancalar için  $5 \pm 1$  m, tüfekler için ise  $5 \pm 1$  m'lik mesafede olmalıdır. Test numunesine çarpma esnasında oluşacak olan sapma olasılığını minimal seviyelere düşürmek için koşullara uygun mesafe ayarı yapılabilir [48].



Şekil 4.4. Balistik test düzeneği (A mesafesi: I, II-A, II ve III-A seviye zırhlar için 5 m, III ve IV seviye zırhlar için 15 m, B mesafesi: minimum 2 m, C mesafesi: 0,5 ile 1,5 m arası)

Destek malzemesi, test tezgâhına yatay ve dikey yönde değiştirilebilmesine uygun bir şekilde monte edilmelidir. Testin öncesinde elektronik cihazların tümü yeterli sürede çalıştırılarak stabilitesi sağlanmalıdır [9].

Test atış hızları en az iki ayrı şekilde yerleşim kullanılarak belirlenecektir. Doğru hız ölçümleri birbirinden bağımsız her bir ölçümün 3 m/s hız içinde yapıldığı ölçümlerdir. Hız bütün doğru hız ölçümlerinin aritmetik ortalaması alınarak kaydedilmelidir. Hız ölçümleri 1.0 m/s den daha az değişkenlikte olmalıdır. Hız, destek malzemenin ön yüzünden  $2.5 \pm 0.025$  m mesafeden ölçülmelidir. Kronograf (Hız ölçeği), tetikleme ekranlarıyla birleştirilerek kullanıldığında, ekranlar destek malzemenin ön yüzünden  $2,5 \pm 0.025$  m mesafede merkezlenmelidir [9].

#### 4.3. Kompozit Zırh Numunelerin Hazırlanması

Deneyisel çalışmada ilk olarak numuneler hazırlanmıştır. Numune malzemesi olarak, Karbon fiber, Aramid fiber (Kevlar), Cam fiber, Polipropien peteği, ve Çelik tel, epoksi reçineyle birleştirilerek zırh numunesi haline getirilmiştir. Numuneler 200x200 mm ebatlarında kesilmiştir. Kesilen numuneler elle yatırma yöntemiyle, epoksi reçineyle birleştirilerek katmanlar haline getirilmiştir. Kesilen numunelerin zemine yapışmasını engellemek amacıyla altlarına naylon serilmiştir. Katmanlar haline getirilen bu numuneler birbirleriyle çeşitli şekillerde kombine edilerek hibrit hale dönüştürülmüştür. İlk olarak Karbon fiber-Epoksi reçine kompoziti hazırlanmıştır. Karbon fiberler; Telatex A.Ş.ve Kordsa Kompozit Teknolojileri Mükemmeliyet Merkezi, epoksi reçine ise Baumex Kimya A.Ş.'nin hibesidir. Bu üç firmaya ve yetkililerine tekrardan teşekkürlerimizi sunarız. Epoksi reçine (soldaki) ve sertleştiricisi (sağdaki) Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



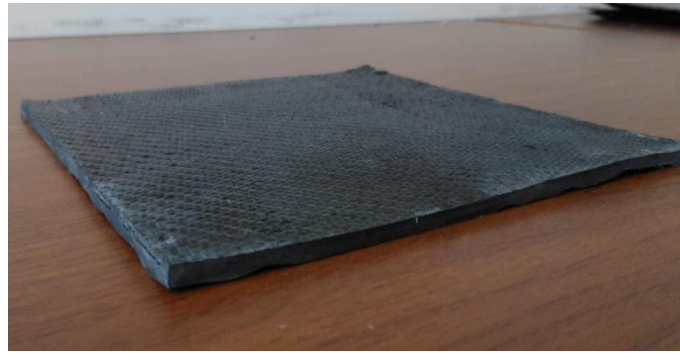
Şekil 4.5. Epoksi reçine ve sertleştiricisi

#### 4.3.1. Karbon fiber-epoksi reçine kompoziti

Karbon fiber olarak twill dokuma ve yoğunluğu  $245 \text{ gr/m}^2$  olan karbon fiber serisi kullanılmıştır. Karbon fiberler  $200 \times 200 \text{ mm}$  ebatlarında kesilmiştir. Kesilen karbon fiberin altına naylon katman serilerek zemine yapışması engellenmiştir. Epoksi reçine ağırlıkça 100/34 oranında sertleştirici ile homojen bir karışım hazırlanmıştır. Uygun ölçülerde kesilen karbon fiberler elle yatırma yöntemiyle, 10 kat ve 20 kat olmak üzere iki farklı şekilde her katmanına ayrı ayrı epoksi reçine karışım sürülerek kürlenmeye bırakılmış ve sertleşerek kompozit test numunesi haline getirilmiştir. Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.'de karbon fiber-epoksi reçine kompozitinin üretim aşamaları gösterilmiştir [9].



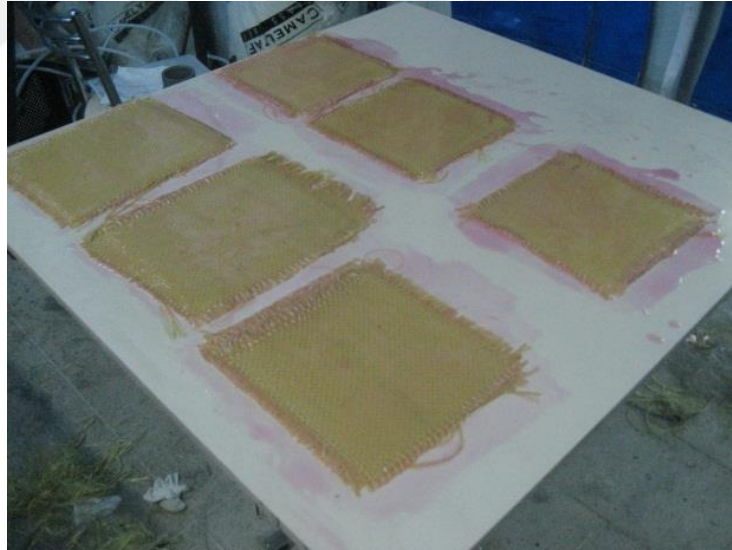
Şekil 4.6. Karbon fiber üzerine epoksi uygulanması



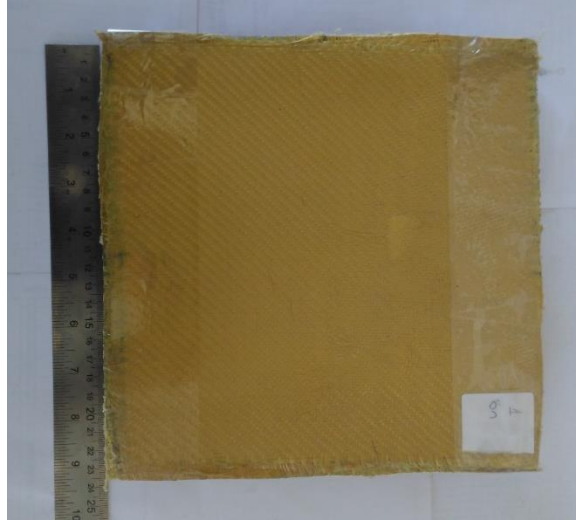
Şekil 4.7. Karbon fiber-Epoksi reçine kompozitinin teste hazır son hali

#### 4.3.2. Aramid fiber-epoksi reçine kompoziti

Aramid fiberin yoğunluğu 170 gr/m<sup>2</sup> olan Kevlar 49 ve yoğunluğu 200 gr/m<sup>2</sup> olan CT709 WR, serisi kullanılmıştır. Aramid fiberler 200x200 mm ebatlarında kesilmiştir. Aramid fiberin altına naylon katman serilerek zemine yapışması engellenmiştir. Mermiyi tutacak yüzey olarak kullanılacak olan Aramide epoksi uygulaması yapmak için pürüzsüz yüzeye sahip, yüzeyi kaplamalı bir tahta masa kullanılmıştır. Tahtanın üzerine bir sünger yardımıyla polivaks kalıp ayırıcı sürülerek 15 dakika beklenmiştir. Ardından kuru bir bezle yüzeyi iyice silinerek parlatılmıştır. Epoksi reçine ağırlıkça 100/34 oranında sertleştirici ile homojen bir karışım hazırlanmıştır. Uygun ölçülerde kesilen aramidler elle yatırma yöntemiyle, 10 kat ve 20 kat olmak üzere iki farklı şekilde her katmanına ayrı ayrı epoksi reçine karışım sürülerek kürleşmeye bırakılmış ve sertleşerek Şekil 4.8. ve 4.9.'da gösterildiği gibi kompozit test numunesi haline getirilmiştir [9].



Şekil 4.8. Aramid fiber üzerine epoksi reçine uygulanması



Şekil 4.9. Aramid fiber-Epoksi reçine kompozitin test numunesi

#### 4.3.3. Cam fiber-epoksi reçine kompoziti

Cam fiber olarak yoğunluğu  $220 \text{ gr/m}^2$  olan S-Glass cam fiber serisi kullanılmıştır. Cam fiberler  $200 \times 200 \text{ mm}$  ebatlarında kesilmiştir. Kesilen cam fiberin altına naylon katman serilerek zemine yapışması engellenmiştir. Epoksi reçine ağırlıkça 100/34 oranında sertleştirici ile homojen bir karışım hazırlanmıştır. Uygun ölçülerde kesilen cam fiberler elle yatırma yöntemiyle, 20 kat olmak üzere her katmanına ayrı ayrı epoksi reçine karışım sürülerek kurlaşmaya bırakılmış ve sertleşerek kompozit test numunesi haline getirilmiştir. Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.'de karbon fiber-epoksi reçine kompozitinin üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Cam fiber üzerine epoksi reçine uygulanması



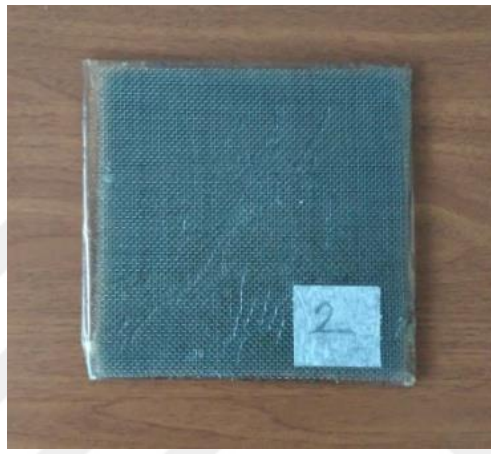
Şekil 4.11. Cam fiber-Epoksi reçine kompozitin test numunesi

#### 4.3.4. Çelik elek teli-epoksi reçine kompoziti

Çelik elek teli malzemesi mermiyi karşılayacak sert yüzey olarak düşünülmüştür. Ağ örgü aralığı 12 numara olan çelik elek teli tercih edilmiştir. Çelik elek telleri 200x200 mm ebatlarında kesilmiştir. Epoksi reçine ağırlıkça 10/4 oranında sertleştirici ile homojen bir karışım hazırlanmıştır. Hazırlanacak olan numune döküm yöntemiyle elde edileceği için 200x200 mm ölçülerinde ahşap kalıp hazırlanmıştır. Kompozitin kalıptan kolayca ayrılması, kalıba yapışmaması için kalıp yüzeyleri naylon ile kaplanmıştır. Elde edilecek kompozit malzemenin kalınlığının 10 mm olması istendiği için kalıbın 4 köşesine 10 mm kalınlığında takozlar yerleştirilmiştir Kullanılan epoksi karışımı 240 gr epoksi reçine ve 96 gr sertleştirici içermektedir. 5 katman çelik tel tabakası kullanılarak döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Döküm işleminin sonrasında kalıp düz bir ahşapla kapatılmıştır. Karışımın tel içinde homojen dağılımını sağlamak amacıyla üzerine ağırlık konulup 24 saat süre ile kurumaya bırakılmıştır. Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'te çelik elek teli-epoksi reçine kompozitinin üretim aşamaları gösterilmiştir [9].



Şekil 4.12. Çelik elek teli-Epoksi reçine kompozitinin hazırlanma aşamaları



Şekil 4.13. Çelik elek teli-Epoksi reçine kompozitinin teste hazır son hali

#### 4.3.5. Polipropilen peteği-epoksi reçine kompoziti

Polipropilen peteği malzemesinin boşluklu yapısıyla bal peteği görünümündedir. Bu malzeme de yine 200x200 mm ebatlarında kesilmiş ve yüzeyde bulunan polyester tül yapısından bir taraftaki sökölerek, Şekil 4.14.'te görüldüğü üzere boşluklu bal peteği yapısı epoksi karışım ile doldurulmuştur. Böylece yumuşak bir malzeme olan polipropilen bal peteği yapısı, daha sert bir kompozit malzemeye dönüşmüştür. İlave ara katman olarak düşünülen bu yapı, merminin hızını kesebilecek şekilde yapının sürtünme ve direncini arttırarak daha aktif bir katman haline getirilmiştir [9].



Şekil 4.14. Polipropilen peteğinin epoksi reçineyle doldurulması

#### 4.3.6. Kontrplak Plaka

Sönümleyici yumuşak malzeme olarak tercih edilen 13 mm kalınlığındaki kontrplak 320 gr ağırlığında ve 11 katmandan oluşmaktadır. Katmanlar Şekil 4.15.'te gösterildiği gibi huş ve kayın ağacından yapılmıştır.



Şekil 4.15. Kontrplak Plaka

#### 4.4. Deney Numune Kombinasyonları

Hazırlanmış olan kompozit zırh numuneleri birbirleriyle çeşitli şekillerde kombine edilerek test düzeneğinin ortasına 2 kare profil yardımıyla işkence mengenesiyle sıkılarak rijit hale gelmesi sağlanmıştır. Deney numune kombinasyonları diziliş sırasına ve katman sayılarına göre iki farklı şekilde ele alınmıştır. ÖZGÜLTEKİN S. tarafından yapılan tez çalışmasındaki numunelerden; katman sayısı 2 olan iki kombinasyonlu numunelerden 4 farklı numune, katman sayısı 3 olan üç kombinasyonu numunelerden 4 farklı numune ve katman sayısı 4 olan dört kombinasyonlu numuneden 1 adet deney numunesi kıyaslanması açısından çalışmamızda değerlendirilmiştir [9]. Çalışmamızda yapmış olduğumuz deneylerde ise katman sayısı 5 olan beş kombinasyonlu numunelerden 2 adet numune elde edilmiştir.

##### 4.4.1. İki kombinasyonlu numuneler

Birinci kademedede hazırlanmış olan katmanlardan; Karbon fiber, kevlar, çelik elek teli, ve polipropilen peteği numunelerinden kombinasyon oluşturularak atışa hazır deney numunesi haline getirilmiştir. Diziliş sırasına göre zırh numune kombinasyonları Tablo 4.5.'te sıralanmıştır.

Tablo 4.5. İki kombinasyonlu numuneler

| Numune | Ön Katman          | Arka Katman  |
|--------|--------------------|--------------|
| 1      | Karbon fiber       | Kevlar       |
| 2      | Kevlar             | Karbon fiber |
| 3      | Çelik elek teli    | Kevlar       |
| 4      | Polipropilen petek | Kevlar       |

##### 4.4.2. Üç kombinasyonlu numuneler

İkinci kademedede hazırlanmış olan katmanlardan; Karbon fiber, kevlar, çelik elek teli, ve polipropilen peteği numunelerinden kombinasyon oluşturularak atışa hazır deney numunesi haline getirilmiştir. Diziliş sırasına göre zırh numune kombinasyonları Tablo 4.6.'da sıralanmıştır.

Tablo 4.6. Üç kombinasyonlu numuneler

| Numune | Ön Katman       | Orta Katman         | Arka Katman     |
|--------|-----------------|---------------------|-----------------|
| 5      | Karbon fiber    | Kevlar              | Çelik elek teli |
| 6      | Çelik elek teli | Kevlar              | Karbon fiber    |
| 7      | Karbon fiber    | Polipropilen peteği | Çelik elek teli |
| 8      | Kevlar          | Polipropilen peteği | Çelik elek teli |

#### 4.4.3. Dört kombinasyonlu numuneler

Üçüncü kademede hazırlanmış olan katmanlardan; Karbon fiber, Polipropilen peteği, çelik elek teli numunelerinden bir adet kombinasyon oluşturularak atışa hazır deney numunesi haline getirilmiştir. Diziliş sırasına göre oluşturulan zırh numune kombinasyonu Tablo 4.7.'de sıralanmıştır.

Tablo 4.7. Dört kombinasyonlu numuneler

| Numune | Ön Katman    | 2.Katman            | 3.Katman            | 4.Katman        |
|--------|--------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| 9      | Karbon fiber | Polipropilen peteği | Polipropilen peteği | Çelik elek teli |

#### 4.4.4. Beş kombinasyonlu numuneler

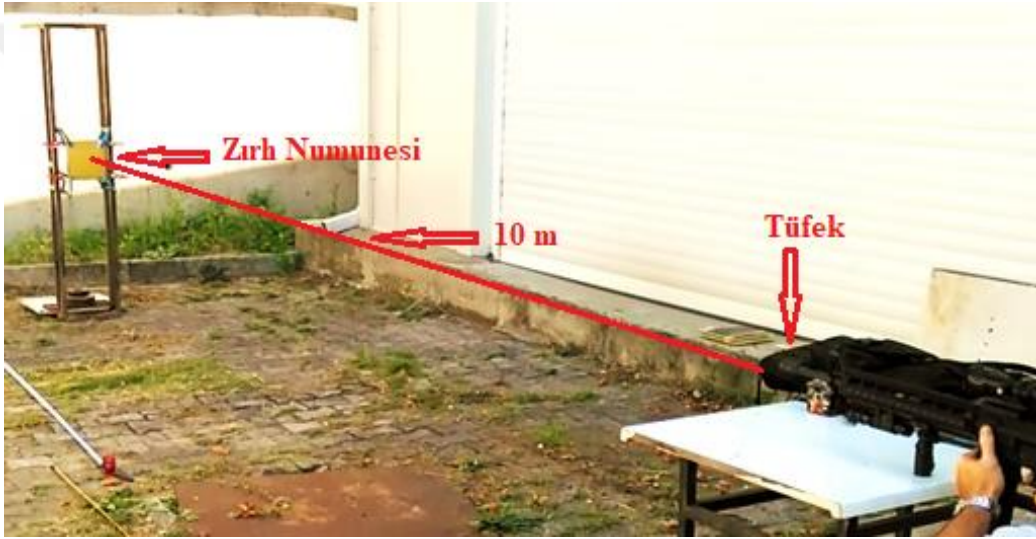
Dördüncü kademede hazırlanmış olan katmanlardan; Karbon fiber, kevlar, kontrplak numunelerinden kombinasyon oluşturularak atışa hazır deney numunesi haline getirilmiştir. Diziliş sırasına göre zırh numune kombinasyonları Tablo 4.8.'de sıralanmıştır.

Tablo 4.8. Beş kombinasyonlu numuneler

| Numune | Ön Katman    | 2.Katman     | 3.Katman  | 4.Katman     | 5.Katman     |
|--------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|
| 10     | Kevlar 49    | Kontrplak    | Cam fiber | Kontrplak    | Karbon fiber |
| 11     | Karbon fiber | Aramid fiber | Kontrplak | Aramid fiber | Karbon fiber |

#### 4.5. Deneyin Yapılışı

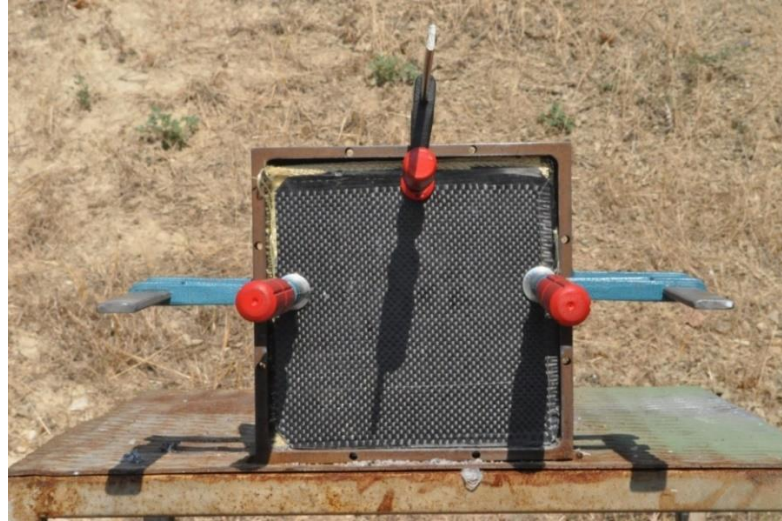
Deneyler, SAU Makine Mühendisliği Laboratuvarı önünde tüm güvenlik önlemleri alınarak Şekil 4.16.'da gösterildiği şekliyle yapılmıştır. Uzun namlulu tüfekler için balistik standartların gereği olarak atışların 15 m'den yapılması gerekmektedir. Bütün deney süresince her numune için atışlar güvenlik nedeniyle 10 metreden yapılmıştır. Çalışmamızda yapmış olduğumuz beş kombinasyonlu numunelerin atış testleri, 3 atış 6 metreden 3 atış 10 metreden olmak üzere toplam 6 atış şeklinde gerçekleşmiştir. Bu atışlar tek bir kişi tarafından gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.16. Deney atış testi ve düzeneği

##### 4.5.1. İki kombinasyonlu numunelerin atış testleri

Atış testine tabi tutulan 1. Numune Şekil 4.17.'de görüldüğü gibi önde Karbon fiber arkada Kevların bulunduğu, Karbon fiber-Kevlar kombinasyonundan oluşmaktadır.



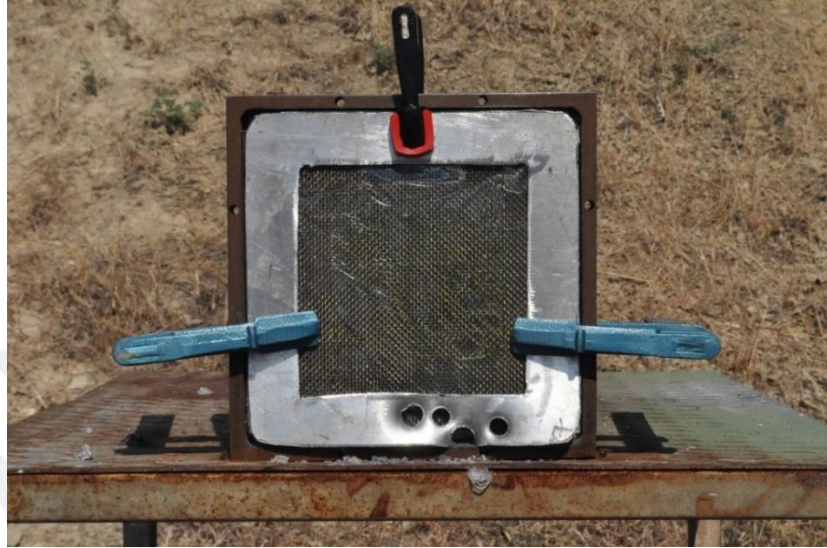
Şekil 4.17. 1.Numune Karbon fiber-Kevlar kombinasyonu

Atış testine tabi tutulan 2.Numune, Şekil 4.18.'de görüldüğü gibi 1.Numunenin tam tersi önde Kevlar arkada Karbon fiberin bulunduğu Kevlar-Karbon fiber kombinasyonundan oluşmaktadır.



Şekil 4.18. 2.Numune Kevlar-Karbon fiber kombinasyonu

Atış testine tabi tutulan 3. Numune Şekil 4.19.'da görüldüğü gibi önde Çelik elek telinin ve arkada Kevların bulunduğu, Çelik elek teli-Kevlar kombinasyonundan oluşmaktadır.



Şekil 4.19. 3. Numune Çelik elek teli-Kevlar kombinasyonu

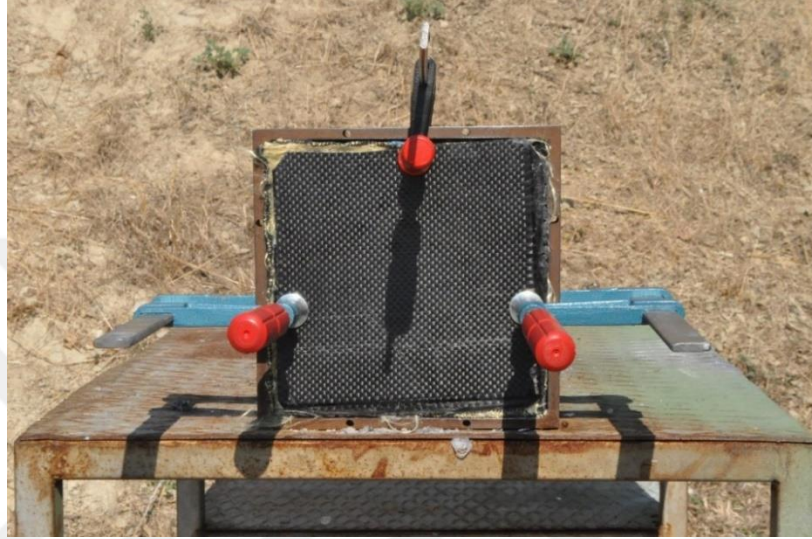
Atış testine tabi tutulan 4. Numune Şekil 4.20.'de görüldüğü gibi önde Polipropilen peteği arkada Kevların bulunduğu, Polipropilen petek-Kevlar kombinasyonundan oluşmaktadır.



Şekil 4.20. 4. Numune Polipropilen peteği-Kevlar kombinasyonu

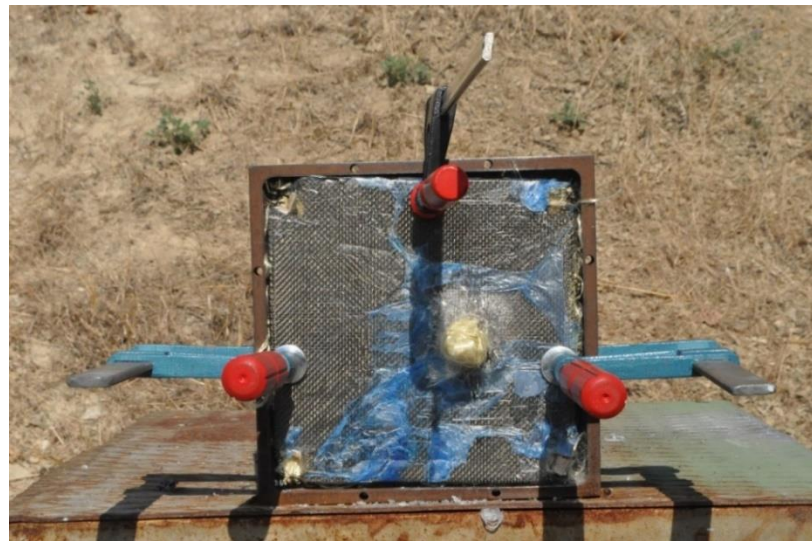
#### 4.5.2. Üç kombinasyonlu numunelerin atış testleri

Atış testine tabi tutulan 5.Numune Şekil 4.21.'de görüldüğü gibi ön kısımda Karbon fiber, ortada kevlar ve arkada Çelik elek telin bulunduğu, Karbon fiber-Kevlar-Çelik elek teli kombinasyonundan oluşmaktadır.



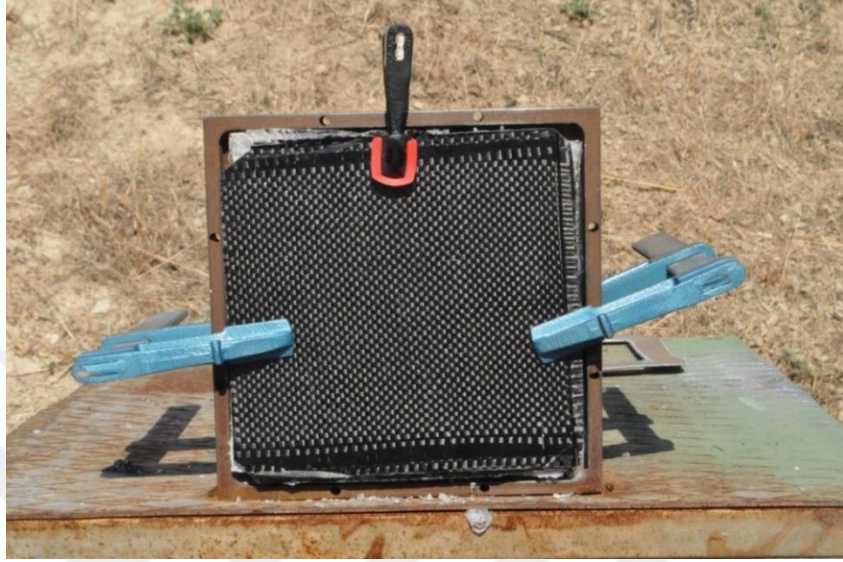
Şekil 4.21. 5.Numune Karbon fiber-Kevlar-Çelik elek teli kombinasyonu

Atış testine tabi tutulan 6.Numune Şekil 4.22'de görüldüğü gibi 1.Numunenin tam tersi şekilde önde Çelik elek teli, ortada Kevlar ve arkada Karbon fiberin bulunduğu, Çelik elek teli-Kevlar-Karbon fiber kombinasyonundan oluşmaktadır.



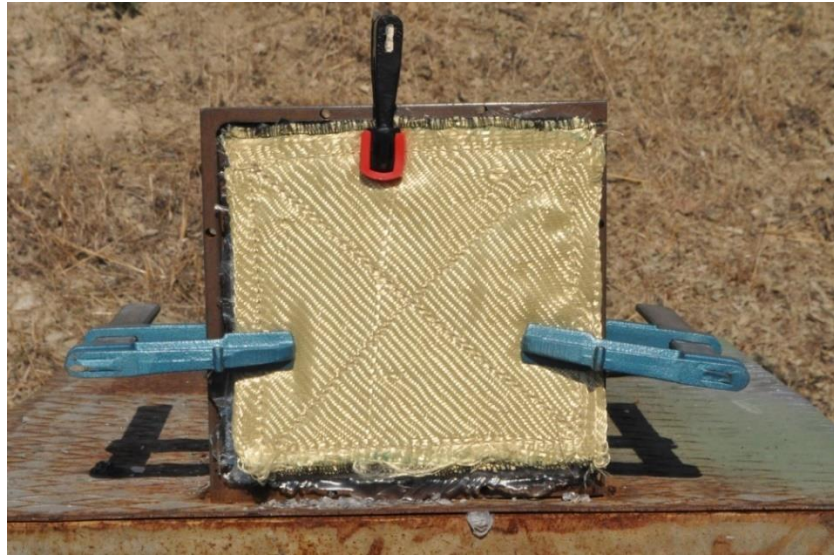
Şekil 4.22. 6.Numune Çelik elek teli-Kevlar-Karbon fiber kombinasyonu

Atış testine tabi tutulan 7.Numune Şekil 4.23.'te görüldüğü gibi önde Karbon fiber, ortada Polipropilen peteği ve arkada Çelik elek telin bulunduğu, Karbon fiber-Polipropilen petek-Çelik elek teli kombinasyonundan oluşmaktadır.



Şekil 4.23. 7.Numune Karbon fiber-Polipropilen peteği-Çelik elek teli kombinasyonu

Atış testine tabi tutulan 8.Numune Şekil 4.24.'te görüldüğü gibi önde Kevlar ortada Polipropilen peteği ve arkada Çelik örgü telin bulunduğu, Kevlar-Polipropilen peteği-Çelik örgü teli kombinasyonundan oluşmaktadır.



Şekil 4.24. 8.Numune Kevlar Polipropilen peteği-Çelik elek teli kombinasyonu

#### 4.5.3. Dört kombinasyonlu numunelerin atış testleri

9.Numune 8.Numunenin ara katmanına bir polipropilen peteği daha eklenerek kombine edilmiştir. Atış testine tabi tutulan 9.numune Şekil 4.25.'te görüldüğü gibi önde Karbon fiber, ortada 2 adet Polipropilen peteği ve arkada Çelik örgü telinin bulunduğu, Karbon fiber-Polipropilen peteği-Polipropilen peteği-Çelik örgü teli kombinasyonundan oluşmaktadır.



Şekil 4.25. 9.Numune Karbon fiber-Polipropilen peteği-Polipropilen peteği-Çelik elek teli kombinasyonu

#### 4.5.4. Beş kombinasyonlu numunelerin atış testleri

Atış testine tabi tutulan 10.Numune Şekil 4.26.'da görüldüğü gibi ön katmanda Kevların 49'un bulunduğu, Kevlar-Kontrplak-Cam fiber-Kontrplak-Karbon fiber kombinasyonundan oluşmaktadır.



Şekil 4.26. 10.Numune Kevlar-Kontrplak-Cam fiber-Kontrplak-Karbon fiber kombinasyonu

Atış testine tabi tutulan 11.Numune Şekil 4.27.'de görüldüğü gibi ön katmanda Karbon fiberin bulunduğu, Karbon fiber-Aramid fiber-Kontrplak-Aramid fiber-Karbon fiber kombinasyonundan oluşmaktadır.



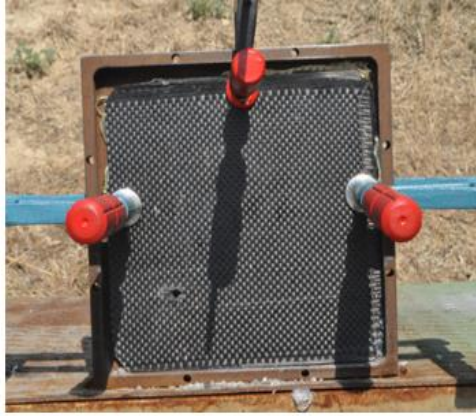
Şekil 4.27. 11.Numune Kabon fiber-Aramid fiber-Kontrplak- Aramid fiber-Kabon fiber kombinasyonu

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Deneilerin sonucunda, atış testlerinden sonra zırhlarda meydana gelen hasarlar gözlemlenmiştir. İki kombinasyonlu, üç kombinasyonlu, dört kombinasyonlu, beş kombinasyonlu numunelerde oluşan hasar mekanizmaları ayrı ayrı incelenmiştir. İncelemelerin sonucunda başarılı ve başarısız numuneler tespit edilmiştir. Başarılı numunelerden yola çıkarak optimum kompozit zırh tasarımları için ileriye dönük fikirler elde edilebileceği düşünülmüştür.

### 5.1. İki kombinasyonlu numunelerin sonuçları

1.Numunede mermi, atış sonrasında Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi her iki katmanıda geçerek zırhı delip geçmiştir. Karbon fiber delinmiştir. Arka yüzeydeki kevlar delemineşyona uğrayarak büyük hasar görmüştür. Numune başarısız olmuştur.



Ön yüzey



Arka yüzey

Şekil 5.1. 1.Numune Karbon fiber-Kevlar kombinasyonunun atış sonrası görünümü

2.Numunede atış sonrasında mermi, Şekil 5.2.'de görüldüğü gibi her iki katmanıda geçerek 1.Numunedeki gibi zırhı delip geçmiştir. Karbon fiber delinmiştir. Kevlar ise yine büyük hasara uğramıştır. Numune başarısız olmuştur.



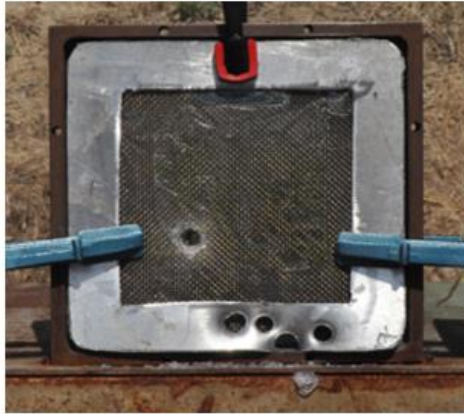
Ön yüzey



Arka yüzey

Şekil 5.2. 2.Numune Kevlar-Karbon fiber kombinasyonunun atış sonrası görünümü

3.Numunede atış sonrasında mermi Şekil 5.3.'te görüldüğü gibi her iki katmanıda geçerek zırhı delip geçmiştir. Çelik elek teli delinmiş ve taç yaprağı hasarı görülmüştür. Kevlar katmanı parçalanarak yine büyük hasara uğramıştır. Numune başarısız olmuştur.



Ön yüzey



Arka yüzey

Şekil 5.3. 3.Numune Çelik elek teli-Kevlar kombinasyonunun atış sonrası görünümü

4.Numunede atış sonrasında mermi, Şekil 5.4.'te görüldüğü gibi her iki katmanıda geçerek zırhı delip geçmiştir. Polipropilen katmanı delinerek küçük ölçekte parça kopması hasarı görülmüştür. Kevlar katmanı ise polipropilen katmanından tamamen ayrılarak büyük hasara uğramıştır. Numune başarısız olmuştur.



Ön yüzey

Arka yüzey

Şekil 5.4. 4.Numune Polipropilen petek-Kevlar kombinasyonunun atış sonrası görünümü

## 5.2. Üç kombinasyonlu numunelerin sonuçları

5.Numunede atış sonrasında mermi; Şekil 5.5.'te görüldüğü gibi üç katmanıda geçerek zırhlı delmiştir. Karbon fiberde delinme, çelik elekte ise sünek delinme ve parça kopması hasarı görülmüştür. Orta katmanda bulunan ve esneyen kevların mermiyi tuttuğu görülmüştür. Numune başarısız olmuştur.

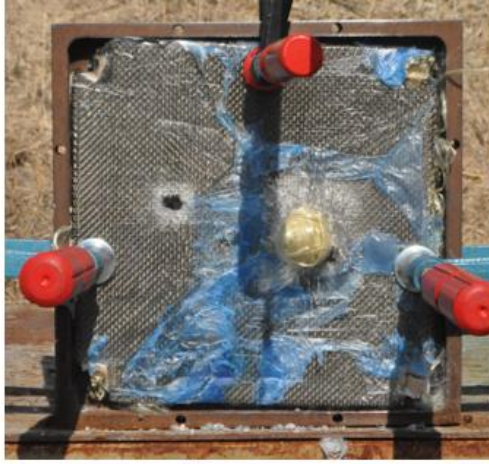


Ön yüzey

Arka yüzey

Şekil 5.5. 5.Numune Karbon fiber-Kevlar-Çelik elek teli kombinasyonunun atış sonrası görünümü

6.Numunede atış sonrasında mermi, Şekil 5.6.'da görüldüğü gibi mermi üç katmanıda geçerek zırhı delmiştir. Karbon fiberde delinme ve parça kopması, çelik elekte ise delinme hasarı görülmüştür. Orta katmanda bulunan ve esneyen kevlarında 5.Numunede olduğu gibi yine mermiyi tuttuğu görülmüştür. Numune başarısız olmuştur.



Ön yüzey



Arka yüzey

Şekil 5.6. 6.Numune Çelik elek teli-Kevlar-Karbon fiber kombinasyonunun atış sonrası görünümü

7.Numunede atış sonrasında mermi, Şekil 5.7.'de görüldüğü gibi mermi üç katmanıda geçerek zırhı delip geçmiştir. Karbon fiber ve polipropilende delinme, çelik elekte ise sünek delinme ve parça kopması hasarı görülmüştür. Numune başarısız olmuştur.



Ön yüzey



Arka yüzey

Şekil 5.7. 7.Numune Karbon fiber-Polipropilen peteği-Çelik elek teli kombinasyonunun atış sonrası görünümü

8. Numunede atış sonrasında mermi Şekil 5.8.'de görüldüğü gibi mermi üç katmanıda geçerek zırhı delip geçmiştir. Kevlar ve propilende delinme, çelik elekte ise parça kopması ve delinme hasarı görülmüştür. Numune başarısız olmuştur .



Ön yüzey



Arka yüzey

Şekil 5.8. 8.Numune Kevlar-Polipropilen peteği-Çelik elek teli kombinasyonunun atış sonrası görünümü

### 5.3. Dört kombinasyonlu numunelerin sonuçları

9. Numunede atış sonrasında mermi, Şekil 5.9.'da görüldüğü gibi en arka katman olan çelik elek telin içeresine gömülerek numuneyi geçememiştir. Karbon fiber ve polipropilenler de delinme, çelik elekte ise radyal çatlak hasarı görülmüştür. Numune başarılı olmuştur.



Ön yüzey

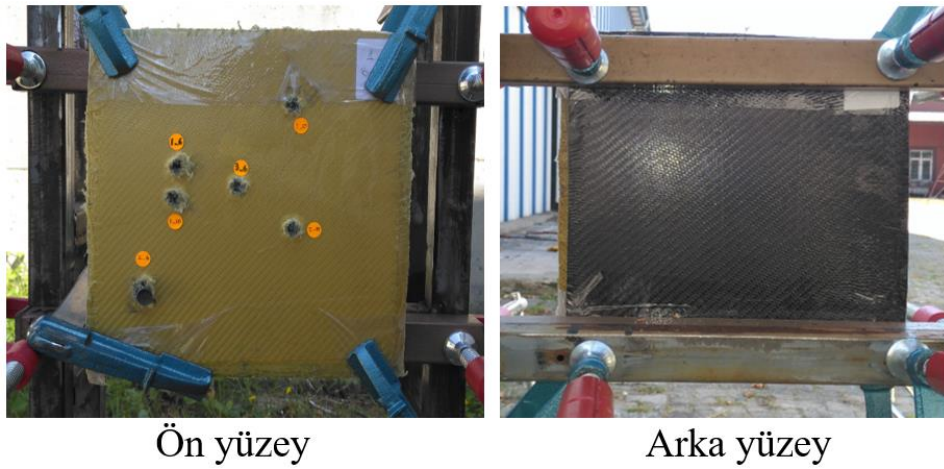


Arka yüzey

Şekil 5.9. 9.Numune Karbon fiber-Polipropilen peteği (x2)-Çelik elek teli kombinasyonunun atış sonrası görünümü

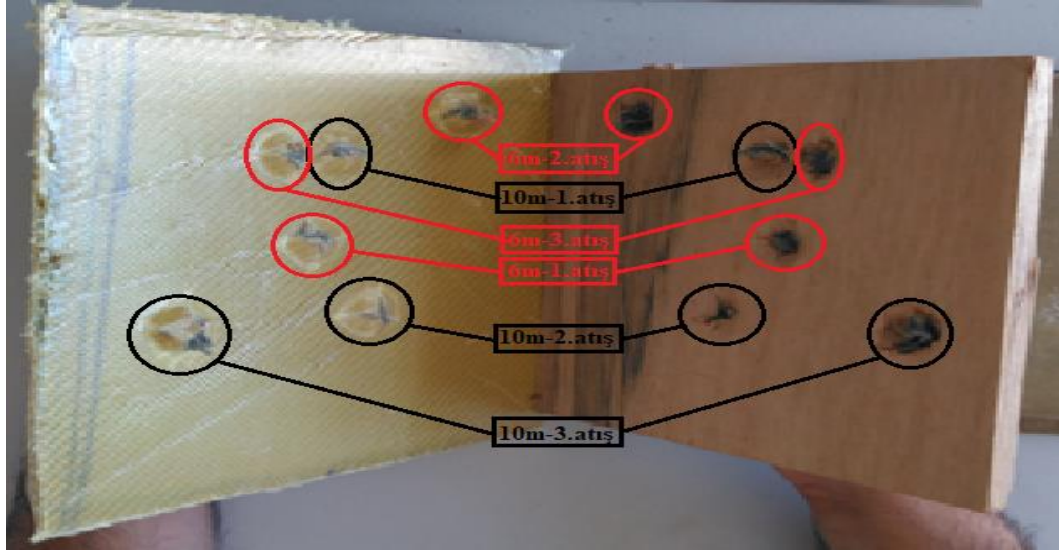
#### 5.4. Beş kombinasyonlu numunelerin sonuçları

10.Numunede atış sonrasında mermi Şekil 5.10.'da görüldüğü gibi zırhı geçememiştir. Mermi ilk katman olan kevları delip geçmiştir. İkinci katman olan kontrplak sönümleme vazifesi görerek mermiyi tutmada başarı sağlamış ve üçüncü katmana geçmesini önlemiştir. Üçüncü katman olan cam fiber, dördüncü katman olan kontrplak ve beşinci katman olan karbon fiber herhangi bir hasara uğramamıştır. Numune başarılı olmuştur.



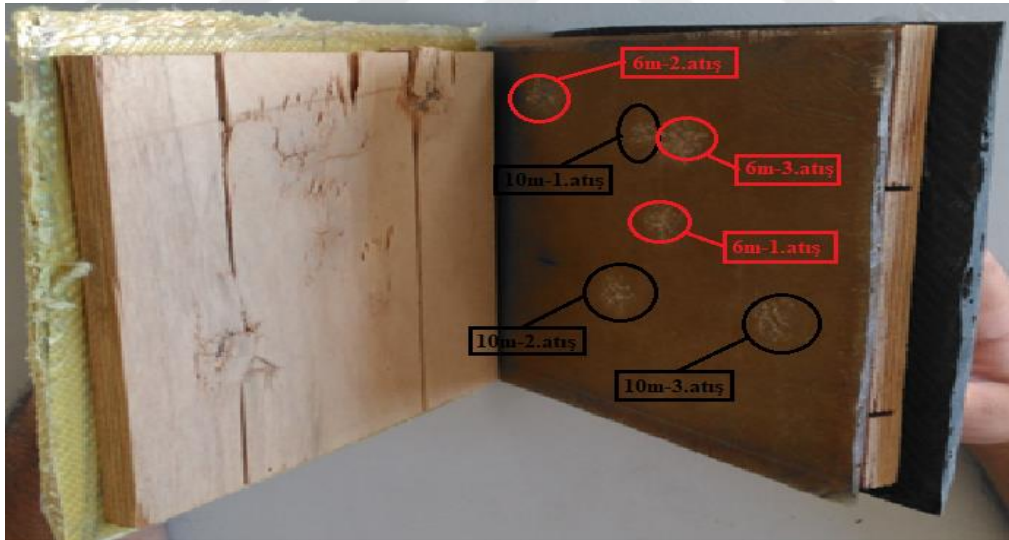
Şekil 5.10. 10.Numune Kevlar-Kontrplak-Cam fiber-Kontrplak-Karbon fiber kombinasyonunun atış sonrası görünümü

10.Numune detaylı olarak incelendiğinde Kevlar-Kontrplak ara yüzeyinde deformasyon meydana gelmiştir. Şekil 5.11.'de görüldüğü gibi mermi kevları delip geçerek kontrplak tabakasına ulaşmıştır. Kontrplak tabakası hasara görmüş olsa da mermiyi tutma başarısı göstermiştir.



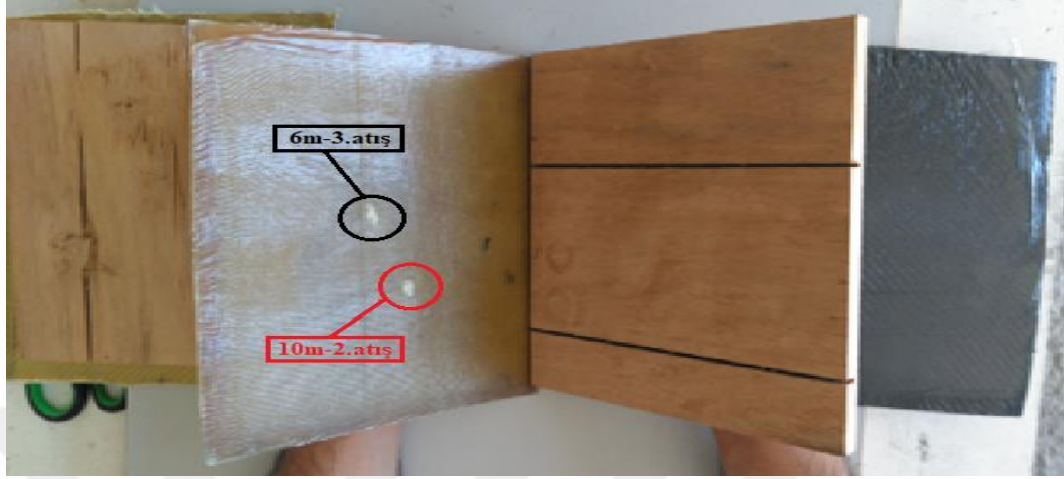
Şekil 5.11. 10.Numune Kevlar-Kontplak ara yüzey görünümü

10.Numune Kontrplak-Cam fiber ara yüzeyinde kontrplak mermiyi tutarak cam fibere geçmesini önlemiş ve Şekil 5.12.'de görüldüğü gibi cam fiberin ön yüzeyinde çarpmanın şiddetine bağlı olarak çok hafif matris ezilmesi görülmektedir.



Şekil 5.12. 10.Numune Kontplak-Cam fiber ara yüzeyinin atış sonrası görünümü

10.Numune Cam fiber-Kontrplak ara yüzeyinde Şekil 5.13.'te görüldüğü gibi cam fiberde hafif matris ezilmesi, kontrplakta ise herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.



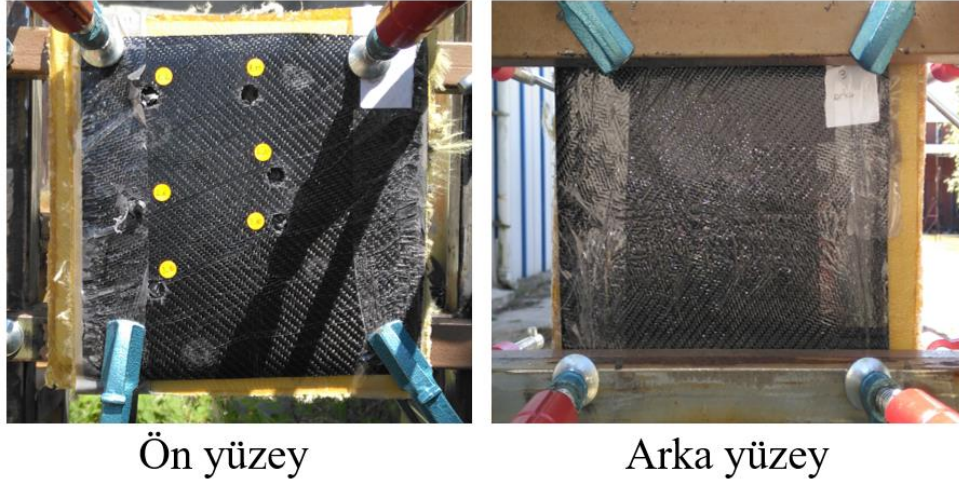
Şekil 5.13. 10.Numune Cam fiber-Kontrplak ara yüzeyinin atış sonrası görünümü

10.Numune Kontrplak-Karbon fiber ara yüzeyinde Şekil 5.14.'te görüldüğü gibi herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.



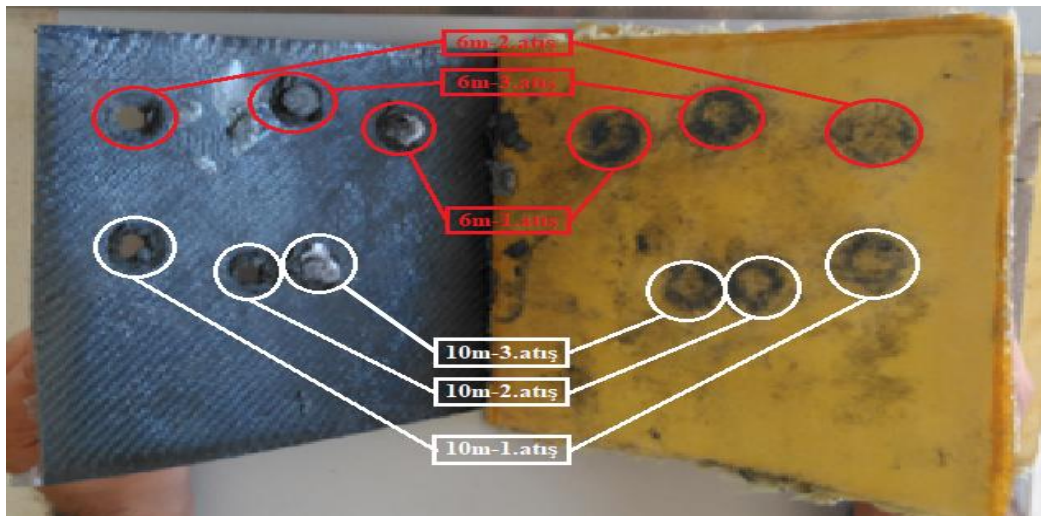
Şekil 5.14. 10.Numune Kontrplak-Karbon fiber ara yüzeyinin atış sonrası görünümü

11.Numunede atış sonrasında mermi Şekil 5.15.'te görüldüğü gibi zırhı geçememiştir. Mermi ilk katman olan karbon fiberi delmesine rağmen karbon fiber mermiyi tutmada başarı sağlamış ve ikinci katman olan aramid fibere geçmesini önlemiştir. Üçüncü katman olan kontrplak, dördüncü katman olan aramid fiber ve beşinci katman olan karbon fiber herhangi bir hasara uğramamıştır. Numune başarılı olmuştur.



Şekil 5.15. 11.Numune Karbon fiber-Aramid-Kontrplak-Aramid-Karbon fiber kombinasyonunun atış sonrası görünümü

11.Numune detaylı olarak incelendiğinde Karbon fiber-Aramid fiber ara yüzeyinde karbon fiber hasar görmesine rağmen mermiyi tutmada başarı sağlayarak aramid fibere geçmesini önlemiş ve Şekil 5.16.'da görüldüğü gibi aramid fiberin ön yüzeyinde çarpmanın şiddetine bağlı olarak hafif matris ezilmesi görülmektedir.



Şekil 5.16. 11.Numune Karbon fiber-Aramid fiber ara yüzeyinin atış sonrası görünümü

11.Numune Aramid fiber-Kontrplak ara yüzeyinde Şekil 5.17.'de görüldüğü gibi herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Aramid fiberin ön yüzeyinde bulunan hafif matris ezilmesinin de arka yüzeye geçmediği görülmüştür.



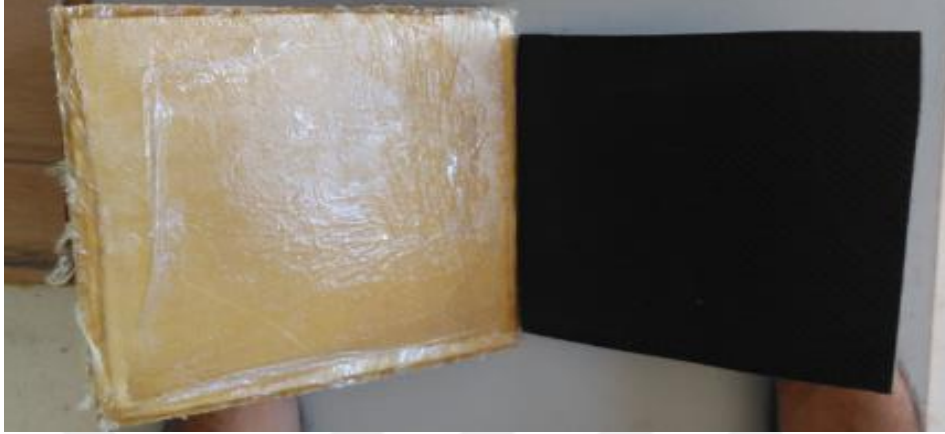
Şekil 5.17. 11.Numune Aramid fiber-Kontrplak ara yüzeyinin atış sonrası görünümü

11.Numune Kontrplak-Aramid fiber ara yüzeyinde Şekil 5.18.'de görüldüğü gibi herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.



Şekil 5.18. 11.Numune Kontrplak-Aramid fiber ara yüzeyinin atış sonrası görünümü

11.Numune Aramid fiber-Karbon fiber ara yüzeyinde Şekil 5.19.'da görüldüğü gibi herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.



Şekil 5.19. 11.Numune Aramid fiber-Karbon fiber ara yüzeyinin atış sonrası görünümü

## BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Atış testlerin sonucunda; iki kombinasyonlu numunelerden, 1, 2, 3, ve 4. Numuneler mermiyi tutmada başarısız olmuşlardır. Kevlar 4 numunede de büyük hasara uğramıştır. Bu gözlemlerin sonucunda, karbon fiber, kevlar, çelik elek teli ve polipropilen peteğinin ikili kombinasyonlarının başarısız olduğunu söyleyebiliriz. Özellikle kevların ön yüzeylerde kullanıldığında kombinasyonlarda hasarın daha büyük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi kevların yumuşak yapıda olmasındandır. Bu yüzden ön yüzeylerde, sert yapıda olan numunelerin kullanılması uygun olacaktır. İki kombinasyonlu numunelerden karbon fiber ve kevların başarısız olmasının önemli nedenlerinden biride 10 olan katman sayısının yetersiz olmasıdır.

Üç kombinasyonlu numunelerden 5, 6, 7, ve 8. Numuneler mermiyi tutmada başarı sağlayamamıştır. Fakat kevların ara katman olarak kullanıldığı kombinasyonlarda mermiyi tutmada daha başarılı olduğu görülmüştür. Çelik elek teli ve karbon fiberin sert yapıda olmalarında da etkisiyle ön katmanda olmalarının daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Üç kombinasyonlu numunelerde de karbon fiber ve kevların 10 katman olmasının başarısızlığa önemli ölçüde etkisinin olduğunu söyleyebiliriz.

Dört kombinasyonlu numune olan 9. Numune mermiyi tutmada başarılı olmuştur. 9. Numunede ara katmanda iki polipropilen peteği bulunmasından dolayı başarı sağlandığını söyleyebiliriz. Fakat arka yüzeyde bulunan, çelik elek telinde radyal çatlak meydana gelmiştir. Bu çatlaktan kaynaklı bir çökme meydana gelmiştir Bu çökme numunede, Arka Yüzey İzi (Back Face Signature) oluşmakta ve balistik zırh bakımından risk oluşturmaktadır.

Beş kombinasyonlu numunelerde kesin bir başarı sağlanmıştır. Beş kombinasyonlu numunelerden olan 10. ve 11. Numuneler mermiyi tutmada başarılı olmuştur. 10. Numunede ilk katman olan kevlar ve ikinci katman olan kontrplağın hasar gördüğü diğer katmanların hasar görmediği gözlemlenmiştir. 11. Numunede ilk katman olan karbon fiberin hasar gördüğü diğer katmanların hasar görmediği ve oldukça iyi bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu başarının sebebinin numunelerin beş kombinasyonlu olmasından ziyade elyaf katmanlarının 10'dan 20'ye çıkarılmasının etkisi oldukça fazladır. Özellikle Karbon elyaf katmanları 10'dan 20'ye çıktığında mermiyi tutmada tek başına başarı sağlamıştır. Yine aynı şekilde iki kombinasyonlu ve üç kombinasyonlu numunelerin başarısız olmasında da elyaf katmanlarının 10 kat olmasının etkin olduğunu söyleyebiliriz.

Bu çalışmadan yola çıkarak elyaf katman sayısını arttırmanın sonuca direkt etkisinin olduğu söylenebilir. Özellikle karbon elyafın 20 kat olmasının ve ilk katmanda olmasının epey iyi sonuçlar verdiğini söyleyebiliriz. Yine bu çalışmadan yola çıkarak ileriye dönük olarak 20 kat olan elyaf katmanlarından, iki kombinasyonlu veya üç kombinasyonlu çeşitli numuneler hazırlanıp atış testlerine tabi tutulabilir ve mermiyi tutmada başarı sağlayarak balistik zırh olarak kullanılabilirliği sağlanabilir.

Bu çalışma, fikir, süreç planlama ve temel tasarım mantığı bakımından danışmanım olan Dr. Öğr. Üyesi İ. Kutay YILMAZÇOBAN' a aittir ve her hakkı şahsında saklıdır. Deneye hazırlık, deney süreci ve numunelerin hazırlanmasına Saü Makine Mühendisliği mezun öğrencileri olan Emre BİLGİN katkıda bulunmuşlardır. Tezde yer alan bazı deneysel kısımlar, Makine Yüksek Mühendisi Sefa Emin ÖZGÜLTEKİN ve çalışma ile alakalı makale vb. hazırlama süreçleri ise Salih Çağatay BATMAZ ve Mustafa Çağrı UYANIK isimli SAÜ Makine Müh. Öğrencileri tarafından gerçekleştirilmiştir. Derleme süreci, organizasyonu, fikrin değerlendirilme aşamaları, sonuçlar ve diğer tüm süreçler ise şahsıma aittir.

## KAYNAKLAR

- [1] History of Body Armor, [http://www.leonuniform.com/BodyArmor\\_History.htm](http://www.leonuniform.com/BodyArmor_History.htm), Erişim Tarihi: 06.03.2014.
- [2] <https://pixers.com.tr/duvar-resimleri/zirh-60900879>, Erişim Tarihi 15.04.2019.
- [3] Yavaş, M.O., 2009. Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Balistik Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [4] Lane, R. A., (2005). High Performance Fiber for Personel and Vehicle Armor Systems, Amptiac, USA.
- [5] Demir, T., "Metal ve Katmanlı Zırh Malzemelerinin 7,62 mm lik Zırh Delici Mermiler Karşısında Balistik Başarımlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ağustos 2008. Ankara.
- [6] řen H.(2013), AlMg3/SiCp Kompozit Malzemelerin Balistik Özelliklerinin incelenmesi Trakya Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [7] <https://www.kidskunst.info/linked/hard-shell-usa-top-body-armor-manufacturerbody-armor-68617264.html>, Erişim Tarihi: 02.04.2019.
- [8] Yanen C., Solmaz M.Y. (2015),Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Üretimi Ve Balistik Performanslarının İncelenmesi, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ.
- [9] Özgültekin, S.E., 2012. Balistik Zırhlarda Kullanılan Kompozit Malzeme Kombinasyonlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [10] Min, S., Chen, X., Chai, Y., Lowe, E. (2016). Effect of reinforcement continuity on the ballistic performance of composites reinforced with multiply plain weave fabric. Composites Part B, 90, 30-36. doi:10.1016/j.compositesb.2015.12.001.
- [11] Song H (2015). Pairing Effect And Tensile Properties Of Laminated High-Performance Hybrid Composites Prepared Using Carbon/Glass And Carbon/Aramid Fibers. Composites: Part B, 79: 61-66.

- [12] Onga, C.W., Boey, W., Hixson, S., Sınıbalı, O., Advanced Layered Personnel Armor, Int. Journal of Impact Engineering, 38: 369-383, 2011.
- [13] Bergmann T, Heimbs S, Maier M (2015). Mechanical Properties And Energy Absorption Capability Of Woven Fabric Composites Under  $\pm 45^\circ$  Off-Axis Tension. Composite Structures, 125: 362-373.
- [14] Aktaş L.T. (2018), Balistik zırhlarda malzeme ve parametre etkilerinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi, Yüksek lisans Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [15] Temiz, S., (2005), Balistik Kumaş ve Test Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- [16] Gustin, J., Joneson, A., Mahinfalah, M., Stone, J., “Low velocity impact of combination Kevlar/carbon fiber sandwich composites”, Composite structures, 2005, 69: 396-406.
- [17] Bilişik, A.K., Turhan, Y., 2009. Multidirectional stitched layered aramid woven fabric structures and their experimental characterization of ballistic performance. Textile Research Journal, 79, 1331-1343.
- [18] Aydınel A., B., Ögel, O., Yıldırım, CTP Art Plakalı Zırhlarda Seramik Ön Plaka Kalınlığının Merminin Son Hızına Etkisi, Zırh Teknolojileri Semineri, MSB ARGE ve Tekno.D.Bşk.lığı, Ankara, 176-189, 2005.
- [19] Candan, C. 2005. Zırh Teknolojilerindeki Gelişmeler. Zırh Teknolojileri Semineri, Ankara, Milli Savunma Bakanlığı Arge ve Teknoloji Daire Başkanlığı.
- [20] Carlucci, D. E., Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition, Taylor & Francis Group, New York, 2008.
- [21] Deniz H., Çift Fazlı Bir Çeliğin 7,62 mm’lik Zırh Delici Mermi Karşısında Balistik Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [22] Naik, N. K., Shrirao, P., Reddy, B. C. K., “Ballistic impact behaviour of woven fabric composites: Formulation”, International Journal of Impact Engineering, 2006, 32: 1521-1552.
- [23] Zukas, J. A., “Penetration and Perforation of Solids”, Impact Dynamics, John Wiley & Sons, New York, 155-214 (1982).
- [24] Faruk Bozdoğan, Sacide Üngün, Emrah Temel, Gamze Süpüren Mengüç (2015): Balistik Koruma Amaçlı Kullanılan Tekstil Materyalleri, Özellikleri ve Balistik Performans Testleri, Tekstil ve Mühendis, 22: 98, 84-103.

- [25] Kalaycı E. ve arkadaşları Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD), Cilt 38, No. 2 (2017).
- [26] İnce E., (2014), Amfibi Zırhlı Araçlar İçin Kompozit-Alüminyum Denge Plakası Tasarımı, Sonlu Elemanlar Analizi Ve Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara.
- [27] Fundamentals of Polymer Engineering, <http://books.google.com/books?id=oquPYe4ypgC&printsec=frontcover&dq=polymer&lr=&hl=tr#PPA184,M1>, Erişim Tarihi 04.03.2019.
- [28] Yanen C., (2016), Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ.
- [29] Çalık, M. (2004). Zırh Tasarımında Kullanılan Farklı Geometriye Sahip Kompozit Kabukların Balistik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [30] Öğrenci H.D. “Mekanik Olarak Bağlanmış Kompozitlerin Dayanımı” Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2012.
- [31] Kayrak, M.A., (1999). “Havacılık Kompozitleri ve Dayanım-Maliyet Analizleri”, Havacılık Yüksek Okulu Yayınları, 9:1,12-13,69.
- [32] Onat, Doç. Dr. Adem ve Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Metalurji Programı, Sakarya 2015.
- [33] Csukat G.F., 2006. A study on the ballistic performance of composites. Wiley inter science macromol symposium, USA, 217-226.
- [34] Grogan, J., Tekalur, A.S., Shukla, A., Bogdanovich, A., Coffelt, A.R., 2007. Ballistic resistance of 2D and 3D woven sandwich composites. Journal of Sandwich Structures and Materials, 9, 283-302.
- [35] Morye, S.S., Hine, P.J., Duckett, R.A. , Carr, D.J., Ward, I.M., 2000. Modelling of the energy absorption by polymer composites upon ballistic impact. Composites Science and Technology, 60, 2631-2642.
- [36] Onuk, E., Odabaşı, Y., İnsel, M., (1993). A Report On The Evaluation Of Grp Boatbuilding Methods Employed In The Manufacture Of The Egyptian Minehunter.

- [37] Şahin, Y., (2006). Kompozit Malzemelere Giriş, 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [38] Safir T-14 Classic Teknik Bilgi, Safir Silah Sanayi Tic. Ltd. Şti.
- [39] Performance Standards for Ballistic Resistance of Body Armor, <http://www.nitracoeprotech.org/pdf/June2013BulletTesting.pdf>, Erişim tarihi: 06.04.2014.
- [40] TS 11164 - Balistik koruyucu vücut zırhı.
- [41] TS 13349 - Askerî zırhlar - V50 balistik hız.
- [42] Candan, C., 2007, Hafif Silahlara Karşı Preslenerek ve Preslenmeden Üretilen Yüksek Yoğunluklu Polietilen (UHMW-PE) Zırh Plakalar Ön Terminal Balistik Özelliklerinin incelenmesi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, 7 – 9 Kasım 2007, İst.
- [43] Cerit, A.A., (2004), Partikül ve Fiber Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitin Balistik Performans Ön incelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- [44] NIJ-STD-0101.04 - Ballistic Resistance of Personal Body Armor..
- [45] NIJ Standard-01.01.06 - Ballistic Resistance of Personal Body Armor.
- [46] Chen, X., Sun, D., Wang, Y., Zhou, Y., (2012), 2D/3D Woven Fabrics for Ballistic Protection, School of Materials, University of Manchester.
- [47] The NEW Body Armor Standard from NIJ: The FOP Perspective, <http://www.fop.net/legislative/BodyArmorStandard.pdf>, Erişim tarihi: 19.03.2014.
- [48] Ashby, M. F., Jones, D. R. H., “Engineering Materials 2 – Composites: fibrous, particulate and foamed”, Butterworth Heinemann, 1998, 263-276.
- [49] Cantwell, W.J., Morton, J., 1991, “The Impact Resistance Of Composite Materials A Review”, Composites, 22, 347–362.
- [50] Pamuk, D.Ö., “Polimerler, Takviye Malzemeleri ve Nanokompozitleri”, Fen Bilimleri Semineri, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2-17, (2007).
- [51] Arıcasoy, O. (2006). Kompozit sektör raporu. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.

- [52] Onat, Doç. Dr. Adem ve Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Metalurji Programı, Sakarya 2015.
- [53] TS 11164 - Balistik koruyucu vücut zırhı.
- [54] Yalçın E. 2012. Farklı Kumaş ve Farklı Yöntmlerle Üretilmiş Ctp Kompozitlerin Balistik Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programı, İstanbul.



## ÖZGEÇMİŞ

Muhammet Enes BİLDİK, 24.09.1989'da İstanbul'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamlayarak, Avcılar Endüstri Meslek lisesinden 2007 yılında mezun olmuştur. 2008 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi, Asım Kocabıyık MYO, Makine bölümünden 2010 yılında mezun olmuştur. 2011 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünden 2015 yılında mezun olmuştur. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. 2017 yılında başlamış olduğu Aden Ölçüm Sistemleri Muayene Kalibrasyon Ltd. Şti. firmasında Muayene Mühendisi olarak görevine devam etmektedir.