

T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YARI PAMUK YARI POLİ ETİLEN YENİ NESİL KOMPOZİT KUMAŞLARIN  
BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Uğur YAVUZDOĞAN  
DANIŞMAN: Doç. Dr. Suha Orçun MERT

VAN-2019



T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YARI PAMUK YARI POLİ ETİLEN YENİ NESİL KOMPOZİT KUMAŞLARIN  
BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Uğur YAVUZDOĞAN


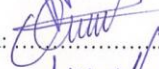

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2018-6884  
No'lu proje olarak desteklenmiştir.

VAN-2019



## KABUL VE ONAY SAYFASI

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Suha Orçun MERT danışmanlığında, Uğur YAVUZDOĞAN tarafından sunulan "*Yarı Pamuk Yarı Poli Etilen Yeni Nesil Kompozit Kumaşların Balistik Özelliklerinin İyileştirilmesi ve Geliştirilmesi*" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 05/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan	: Doç. Dr. Zehra ÖZÇELİK	İmza: 
Üye	: Doç. Dr. Suha Orçun MERT	İmza: 
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Duygu ALPASLAN	İmza: 

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01/08/2019 tarih ve 2019/41-1 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

  
Prof. Dr. Suat ŞENSOY



## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Uğur YAVUZDOĞAN







## ÖZET

### YARI-PAMUK YARI-POLİ ETİLEN YENİ NESİL KOMPOZİT KUMAŞLARIN BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

YAVUZDOĞAN, Uğur  
Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Suha Orçun MERT  
Ağustos 2019, 65 sayfa

Bu tez çalışmasında, Balistik zırh üretimi için Yüksek yoğunluklu polietilen ipliklerle hasır örgü şeklinde dokunan kumaşlar ve doğal seramiklerle oluşturulan kompozit malzemelerin balistik başarımlarına etkileri araştırılmış ve üretilen prototiplerin balistik test sonrası karakteristik incelenmesi yapılmıştır.

Bu çalışmada üretilen kompozit zırhların hali hazırda kullanılan zırh malzemelerine göre ağırlık, ergonomik tasarım ve balistik başarımları incelenmiş ve zırhlar üzerinde farklı silah ve kurşunlarla yapılan testlerde balistik başarımlar elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Balistik, Doğal seramik, Kompozit Malzeme, Yüksek yoğunluklu polietilen



## ABSTRACT

### IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT OF BALLISTIC PROPERTIES OF SEMI-COTTON SEMI-POLYETHYLENE NEW GENERATION COMPOSITE FABRICS

YAVUZDOĞAN, Uğur  
M. Sc. Thesis, Chemical Engineering  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Süha Orçun MERT  
August 2019, 65 pages

In this study, we investigated the effects of composites made of natural ceramics on the ballistic performance of fabrics woven in mesh with high density poly ethylene yarns and natural ceramics for the production of ballistic armor, and the prototypes produced were investigated after ballistic testing.

In this study, the weight, ergonomic design and ballistic performances of the composite armor produced according to the currently used armor materials were examined and the ballistic performance was obtained in the tests made with different weapons and bullets on the armor.

**Keywords:** Ballistic, Natural ceramics, Composite Material, High density polyethylene



## ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. Süha Orçun MERT'e , Makine Mühendisliği öğretim üyelerinden Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim YAVUZ'a ve ORTA ANADOLU Tekstil A.Ş. ye katkılarından ötürü teşekkürü borç bilirim. Ayrıca beni bu günlere getiren aileme ve her daim yanımda olan eşime teşekkürlerimi sunarım.

2019

Uğur YAVUZDOĞAN



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ .....	3
2.1. Balistik.....	3
2.1.1. İç balistik .....	4
2.1.2. Dış balistik.....	4
2.1.3. Terminal balistik.....	4
2.1.3.1. Yarı sonsuz kalınlıktaki zırhlar .....	4
2.1.3.2. Orta kalınlıktaki zırhlar .....	5
2.1.3.3. İnce kalınlıktaki zırhlar .....	5
2.2. Kompozit Malzemeler .....	5
2.3. Hasır Örgü .....	7
2.4. Mermi .....	8
2.4.1. Mermi çekirdeği .....	8
2.4.2. Sevk barutu .....	9
2.4.3. Kovan .....	9
2.4.4. Kalibre (Çap) .....	10
2.4.5. Mermi çıkış hızı.....	10
2.5. NIJ Standartları.....	10
2.5.1. Seviye I.....	10
2.5.2. Seviye II-A .....	10
2.5.3. Seviye II.....	11
2.5.4. Seviye III-A .....	11
2.5.5. Seviye III .....	11
2.5.6. Seviye IV .....	11

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1. Materyal.....	13
3.1.1. Doğal seramik.....	13
3.1.1.1. Bazalt.....	14
3.1.1.2. Granit.....	14
3.1.2. Poli Aramid Kevlar.....	14
3.1.3. Grafen.....	16
3.1.4. HDPE kumaş.....	16
3.1.5. Epoksi.....	17
3.1.6. Kobalt.....	18
3.2. Yöntem.....	18
3.2.1. Oluşturulan prototipler.....	19
4. BULGULAR.....	25
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	41
KAYNAKLAR.....	45
ÖZ GEÇMİŞ.....	47



## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1 Seramiksiz üretilen epoksili ve epoksisiz numuneler. ....	19
Çizelge 3.2. 0,2 gr 150 m <sup>2</sup> /gr grafen katkısıyla hazırlanmış 20 HDPE kumaş prototipler. ....	21
Çizelge 3.3. 0,3 gr 150 m <sup>2</sup> /gr grafen katkısıyla hazırlanmış 20 HDPE kumaş prototipler. ....	22
Çizelge 3.4. Grafensiz çift seramik kullanılarak yapılan prototipler. ....	22
Çizelge 4.1. Balistik testlerin yapıldığı mühimmat ve atış mesafeleri. ....	28
Çizelge 4.2. Balistik testte kullanılan 9,19 FJ1/RN/SC mermi teknik özellikleri. ....	28
Çizelge 4.3. Balistik testte kullanılan 5,56 x 45 mm mermi teknik özellikleri. ....	28
Çizelge 4.4. Balistik testte kullanılan 7,62 mm NATO normal mermi teknik özellikleri. ....	28



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1.Hasır örgü şeklinde örülen kumaşın darbe karşısındaki davranımı (Demir 2008). ....	7
Şekil 2.2. Farklı tipteki mermi çekirdekleri.....	9
Şekil 3.1. Aromatik poli amid. ....	15
Şekil 3.2. Kevlar ham kumaş.....	15
Şekil 3.3. Graphen nanoplatelet.....	16
Şekil 3.4. Hasır örgü şeklinde örülmüş HDPE kumaş.....	17
Şekil 4.1 : Balistik koruyucuya merminin çarpması. ....	25
Şekil 4.2. Çıkış sonrası darbe genişliği. ....	26
Şekil 4.3. Çıkış sonrası darbe yüksekliği.....	26
Şekil 4.4. Çıkış penetrasyon genişliği. ....	27
Şekil 4.5. Giriş penetrasyon genişliği.....	27
Şekil 4.6. Numunenin balistik test öncesi hali.....	29
Şekil 4.7. Numunenin balistik testin hemen sonraki görüntüsü. ....	30
Şekil 4.8. Balistik test sonucu prototip. ....	30
Şekil 4.9. Balistik test sonucu prototip. ....	31
Şekil 4.10. Balistik test sonucu prototipin son hali. ....	31
Şekil 4.11. (solda) 9,19 merminin atış öncesi hali (sağda) 9,19 merminin atış sonrası hali.....	32
Şekil 4.12. (solda) 9,19 merminin atış öncesi hali (sağda) 9,19 merminin atış sonrası hali.....	32
Şekil 4.13. Balistik test için hazırlanan AH ve BH prototiplerin GEN BR 2 balistik test sonuçları. ....	33
Şekil 4.14. Balistik test için hazırlanan AK prototiplerin HK 33 balistik test sonuçları. ....	34

**Şekil****Sayfa**

Şekil 4.15. Balistik test için hazırlanan AHK prototiplerin HK 33 balistik test sonuçları. ....	35
Şekil 4.16. Balistik test için hazırlanan CH prototiplerin HK 33 balistik test sonuçları.	36
Şekil 4.17. Balistik test için hazırlanan DH prototiplerin HK 33 balistik test sonuçları.	37
Şekil 4.18. Balistik test için hazırlanan EH prototiplerin HK 33 balistik test sonuçları.	38
Şekil 4.19. Balistik test için hazırlanan SHT prototiplerin G3 balistik test sonuçları. ...	39



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklama

- |           |   |
|-----------|---|
| <b>A</b>  | Granit esaslı seramik   |
| <b>B</b>  | Bazalt esaslı seramik   |
| <b>C</b>  | Granit esaslı damarlı yapıda seramik  |
| <b>D</b>  | Kauçuk esaslı lifli yapı  |
| <b>E</b>  | Bazalt esaslı seramik B çeşidi seramiğin 2 cm kalınlığında kesilmiş halidir   |
| <b>F</b>  | Granit esaslı seramik A çeşidi seramiğin 2 cm kalınlığında kesilmiş halidir   |
| <b>2B</b> | Bazalt esaslı seramik 2B olarak verilmesi prototipte 2 adet B tipi seramik kullanıldığını göstermek içindir.                |
| <b>2C</b> | Granit esaslı damarlı yapıda seramik 2C olarak verilmesi prototipte 2 adet C tipi seramik kullanıldığını göstermek içindir. |

### Kısaltmalar

### Açıklama

- |             |                               |
|-------------|-------------------------------|
| <b>HDPE</b> | Yüksek yoğunluklu poli etilen |
|-------------|-------------------------------|



## 1. GİRİŞ

Balistik tehditlere karşı üretilen zırh sistemleri, teknolojinin gelişimiyle birlikte yerini balistik başarıyı daha yüksek ve daha hafif yeni nesil ürünlere bırakmıştır. En basit yaklaşımla koruma sağlayan yüksek mukavemete sahip çelik plakalarla iyi seviyede balistik koruma elde edilebilmesine rağmen, ağırlıkları nedeniyle plakalar hareketi kısıtlamaktadırlar (Palta ve ark., 2018). Balistik koruma sistemi olarak görece yeni geliştirilen yapılar ise iki kısımdan oluşmakta olup, önceki yapılarda sıklıkla kullanılan Alümina ( $Al_2O_3$ ) ve  $Al_2O_3/ZrO_2$  yerine daha hafif ve sert oldukları bilinen Bor Karbür ( $B_4C$ ) ve Silisyum Karbür ( $SiC$ ) kullanılmaya başlamıştır. Yeni sistemlerde seramik yapıya destek vermesi, seramik yapıyı bir arada tutması ve penetrasyon olayı sonucu seramikten kopan parçalar ile çarpma esnasında kinetik enerjisini kaybedip formu bozulan mermiyi tutmak için çekme mukavemeti yüksek yeni ürünler kullanılmaya başlanmıştır.

Kompozit malzemeler, yapısal olarak tek başına yeterli olmayan maddelerin diğer maddeler ile birleştirilmesi ile üretilip istenilen özellikleri karşılaması sağlanan yeni malzemelerdir. Zırh teknolojilerinde önemli olan etkileşim, böyle malzemelerin yoğunlukları sayesinde gelen mermi basıncını sönmeleri ve kursuna karşı bir kuvvet uygulayarak merminin şeklini bozmaları ve durdurmaları şeklindedir. Bu amaçla üretilen ürünlerin yoğunluklarının yanı sıra, hareket kabiliyetini kısıtlamamak için esneklik ve hafif olmaları gerekmektedir. Kompozit malzeme üretim metotları ile hâlihazırda kullanılan ürünlere oranla daha esnek daha hafif ve daha yoğun malzeme üretmek mümkündür. Doğal seramik malzemedeki yapıları ön katmanın hemen arkasına yerleştirilen ve kendi üretimimiz olan HDPE ipliklerin hasır örgü şeklinde örülmesi ile elde edilen kumaşlarla yapılan tok ürünler, yüksek yoğunlukları ve yüksek çekme mukavemetleri ile seramikle çarpışma esnasında şekli bozulan ve ilk enerjisini kaybeden mermiyi tutmak için yeterli olmaktadır. Doğal seramik arkasına yerleştirilen bu tok malzeme epoksi reçine ile birleştirilirken, zaten yoğunluğu yüksek olan HDPE'nin yoğunluğu içerisine eklenen grafen sayesinde daha da arttırılacaktır. Literatür araştırmalarında belirtilen katman sayısı 18 - 26 katman iken, kullanılan bu katkı maddeleri ile bu katman sayısı azaltılarak hafiflik sağlamak veya eşit sayıda daha katmanla daha etkili numuneler oluşturmak mümkün hale gelmiştir. Çalışmada elde

edilen numuneler balistik testlere tabi tutulmuş ve numunelerin performansları ve test sonrası fiziksel durumları incelenmiştir.





## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

İnsanlık tarihin en eski çağlarından beri süregelen savaşlarda çeşitli halklar saldırı ve savunma için farklı yöntemler kullanmışlardır. Teknolojinin gelişimi ile bu saldırı ve savunma yöntem gereçleri de değişime uğramıştır. Günümüzde son teknoloji ile üretilen silahlar, bu silahlara karşı koruma maksadıyla kullanılan zırhların da gelişimini zorunlu hale getirmiştir. İkinci dünya savaşı sırasında askeri silah ve savunma sanayinin eksikleri ve zayıf yanları kendilerini iyice belli etmiş, bilim insanları da daha kullanışlı, ekonomik ve dayanıklı malzemeler üzerinde çalışmaya başlamıştır. Bu doğrultuda 1960 yılında kompozit malzeme üretimine başlanmıştır. Kompozit malzemeler makroskobik olarak birbirinden ayrı iki ya da daha fazla malzemenin hafiflik, esneklik ve/veya dayanıklılık vb. açıdan geliştirilmesi için bir araya getirilmesi ile imal edilen malzemelerdir. Uzun bir süre boyunca çeşitli silahlara karşı kişisel koruma sağlayan giyilebilir çelik yelekler hem ağırlıkları hem hareket kabiliyetine olan olumsuz etkilerinden dolayı kullanımdan düşmüş, yerlerini çelikten daha sert ve daha hafif olan kompozit malzemelerden üretilen savunma yeleklerine bırakmıştır (Sarıkan, 2013). Bu yeni nesil malzemelerin başında gelen polimer kompozitlere yüksek mukavemetli lifler de eklenerek kırılma matrislerinde gelişmeler kaydedilmiş ve daha üstün performans sergilemeleri sağlanmıştır. Bu fiber-destekli polimer kompozitler alüminyum ve çelik gibi klasik malzemeler ile kıyaslandığında daha kolay ve düşük maliyetlerle üretilmekte, bununla beraber daha yüksek özgül sertlik, yorulma yükü direnci ve güç performansı sergilemektedirler (Alsaadi ve ark., 2018).

### 2.1. Balistik

Balistik temel olarak merminin ateşlendikten sonraki hareketini ve bu hareketi etkileyen koşulları inceleyen bilim dalıdır.

Balistik 3 ana başlık altında incelenebilir:

- 1) İç balistik
- 2) Dış balistik
- 3) Terminal balistik

### **2.1.1. İç balistik**

Mermi hareketinin fişek içerisindeki sevk barutunun ateşlenmesinden başlayıp silahtan çıkana kadar olan bölümünü inceler. İç Balistiğin inceleme konuları ateşlenme sonucu ortaya çıkan gazın basıncı, hacmi ve sıcaklığı üzerine inşa edilmiştir.

### **2.1.2. Dış balistik**

Dış balistik merminin silah içinden çıkıp hedefe ulaşana kadarki durum davranışlarını inceleyen bilim dalıdır. Dış Balistiğin araştırma konuları merminin hızı, ağırlığı, şekli, ve çapı ile, merminin maruz kaldığı hava direnci ve yer çekimini kapsamaktadır.

### **2.1.3. Terminal balistik**

Çalışmamızı asıl ilgilendiren balistik alanı olan terminal balistik ateşlenen mermi ile hedef arasında gerçekleşen etkileşimi inceleyen mühendislik dalıdır (Demir 2008). Terminal balistikte genellikle 0.5 km/s ile 2 km/s atış hızına sahip mermiler incelenirken, 2 km/s ile 8 km/s atış hızına sahip aşırı yüksek hızlı mermiler ayrı bir alt çalışma alanı olarak değerlendirilmektedir. Balistik zırhlar söz konusu olduğunda terminal balistik bilimi bu zırhları kalınlıklarına göre 3 grupta incelemektedir:

- Yarı sonsuz kalınlıktaki zırhlar
- Orta kalınlıktaki zırhlar
- İnce kalınlıktaki zırhlar

#### **2.1.3.1. Yarı sonsuz kalınlıktaki zırhlar**

Yarı sonsuz kalınlıktaki zırhlarda zırhın arka tarafı mermiden etkilenmez ve mühendisler merminin giriş deliği, oluşan delik boyutu ve hacmi ile, hedef içerisinde kalan mermi üzerinde incelemeler yürütür. Yarı sonsuz kalınlıktaki zırhlarda yapılan deneylerde genellikle gerçek bir zırh tasarımından ziyade mermi ile hedef arasındaki etkileşimler incelenir.

### **2.1.3.2. Orta kalınlıktaki zırhlar**

Orta kalınlıktaki zırh denemelerinde mermi zırhı tam olarak geçemez ancak zırhın arka tarafı yine de mermiden etkilenir (Demir, 2008). Pratikte zırh tasarımları genellikle orta kalınlıktaki zırhlar üzerinde yapılan deneylerin değerlendirilmesi ile yapılır. Bu tasarım işlemi merminin zırha nasıl girdiği, hangi tabakalardan nasıl geçtiği ve zırh içinde nasıl durduğunun incelenmesi gibi bir dizi karışık işlem sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda gerçekleşir.

### **2.1.3.3. İnce kalınlıktaki zırhlar**

İnce kalınlıktaki zırh denemelerinde mermi zırhı delip geçer. Merminin zırha nasıl girdiği, Merminin zırha girişte oluşturduğu delik çapı, Merminin zırhtan çıkışında oluşturduğu deliğin çapı zırh malzemesi üzerinde mermiye gösterilen dirençten kaynaklı çıkış deliği etrafında oluşan yükseklik gibi birçok parametreye bağlı olarak incelemeler yapılır.

## **2.2. Kompozit Malzemeler**

Günümüzde havacılık, savunma sanayi, biyomühendislik, ve taşıma endüstrisi gibi alanlarda sıkça kullanılan kompozit malzemeler geleneksel malzemelerde elde edilemeyen ayrıcalıklı özellikleri ve performansları sergileyebilmeleri nedeniyle ileri teknoloji uygulamalarında sıkça kullanılmaktadırlar. Kompozit malzemeler istenen amaç için tek başına yeterli olmayan iki veya daha fazla malzemenin belirli şartlar ve oranlarda bir araya getirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelerdir. Kompozit malzemelerin özellikleri üretim yöntemlerine, ana (birincil) ve takviye (ikincil) yapı malzemelerinin özelliklerine ve bu malzemelerinin oranlarına bağlıdır (Sarıkan, 2013). Deneysel çalışmalar veya modelleme teknikleri kullanılarak bu kompozit malzemelerin balistik darbe analizlerini gerçekleştirmek, bu malzemelerin askeri, havacılık ve otomotiv uygulamalarında kullanımları için bir ön şarttır (Sangamesh ve ark., 2018).

Zırh sistemlerinde mermi ile hedef arasındaki sürtünme süreci ve sürtünmenin gerçekleştiği yüzey, koruma başarımı önemli ölçüde etkiler. Konu ile ilgili yapılan pek çok çalışmada mermi ile hedef arasındaki sürtünmeden kaynaklanan enerji kaybının başarıma etkisi incelenmiştir. Plaka sertliği arttıkça merminin çekirdeğinin kırılma

eğilimi de artmakta ve bu durum balistik performansı olumlu yönde etkilemektedir (Ryan ve ark., 2016). Kompozit malzemelerdeki metal esaslı parçacıkların mermi çekirdeğinin kırılmasına yol açarak balistik korumada etkinliği artırabildiği gösterilmiştir (Karamis ve ark., 2003). Tan ve ark. (2005) çalışmalarında silika asıltı parçacıkları kullanarak balistik zırhlarda kullanılan kumaşın dayanımını artırmayı başarmıştır. Bu çalışmada prensipte silika parçacıkları mermi yüzeyinde sürtünmeye neden olmuş ve mermiyi aşındırmıştır. Mermi aşınması için gerekli enerji merminin kinetik enerjisinde kayba neden olmuş ve parçacıkların varlığı balistik başarıyı iyi yönde etkilemiştir.

Zırhlardaki çeşitli yüzey özelliklerinin yanı sıra, zırhta kullanılan katman sayısının artırılması da balistik başarıyı doğrudan ve olumlu şekilde etkilemektedir. Fındık ve Tarım (2003) çalışmalarında çeşitli silah ve mermiler kullanarak çok katmanlı polimer kompozit zırhlar üzerinde denemeler yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan termoset reçine numuneler elle yatırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Araştırmacılar bu çalışmalarıyla 18 ve 22 katlı kompozitlerin delindiğini, 28 ve 36 katlı kompozitlerin ise delinmediğini göstermişlerdir.

Balistik zırhlarda kullanılan kumaşların kendi başlarına balistik koruma sağlamaları mümkün değildir. Öte yandan bu kumaşları çeşitli elyaflar ile takviye edilerek balistik koruma sağlar hale getirilmeleri mümkündür. Kumaşlar bu elyafları çeşitli şekilde barındırarak, örgülü bir yapı şeklinde ya da farklı yön ve doğrultularda dizilmelerine izin verir. Örgü şekline göre elyaf malzemenin kumaş içindeki dizilimi değişmekte, iplerin birbirleri ile olan sürtünmeleri, esneklikleri ve kendi mukavemetleri çeşitli açılarla yönlendirilerek balistik koruma için kullanılmaktadır (Cheeseman ve Bogetti, 2003). Bazı örgü şekillerinde merminin çarpmasıyla ip çekilmesi denen olay oluşur. Bu olay neticesinde bazı örgü ve dizilim türlerinde ipler hemen kopabilir (Tan, ve ark., 2005).

Öte yandan dar kumaş türlerinde kare (hasır) dokumanın düz örgüden daha iyi performans sergilemediği görülmüştür (Cork ve Foster, 2007). Ayrıca aynı çalışmada iki taraflı yerleştirilen dar kumaşların, doğrudan geniş kumaş kullanımına göre daha yüksek performans sergiledikleri de gösterilmiştir. Cork ve Foster (2007) çalışmalarında elyaf takviyesinin kumaş örgü şeklinden bağımsız olarak başarıyı artırdığını göstermiştir. Araştırmacılar yine aynı çalışmada dar kumaşları kevlar ile takviye ederek

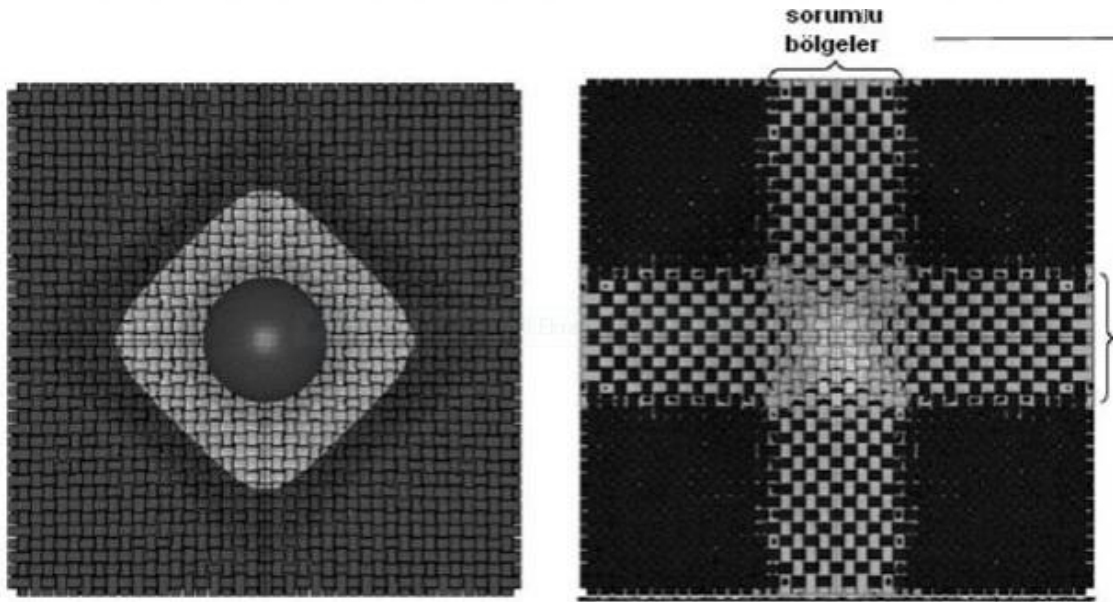
plastik katmanlı kompozit zırh elde etmiş ve yapışma yüzeyindeki iyileştirmenin ve düşük yapıştırıcı kalınlığının balistik başarımı önemli ölçüde iyi etkilediğini gözlemlemiştir.

Seramik malzemenin yüksek sertliği ve mukavemetleri bunları zırh sistemleri tasarımlarında birer aday haline getirmektedir, ancak düşük tokluktaki ve kırılma yapıları bu malzemelerin balistik performanslarını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, seramikler balistik performanslarını geliştirmek için metalik veya uzun elyaf takviyeli kompozit destek plakalarıyla birleştirilerek kullanılmaktadır (Serjouei ve ark., 2017).

Sonlu Elemanlar (FE) modellemesi ve balistik testler aracılığıyla, kumaşların bir panel içinde katmanlar halinde kullanılmasının enerji emilimi verimliliğini serbest sınır koşuluna sahip olan tek bir kumaş tabakasına kıyasla  $1/3$  ile  $2/3$  oranında azalttığı da tespit edilmiştir (Yang ve Chen, 2017).

### 2.3. Hasır Örgü

Zırh üretiminde hasır örgü yüzyıllardan beri kullanılan sistemdir. Bu sistem sayesinde diğer örgü metotlarına nazaran balistik koruma açısından birçok avantaj sağlanmaktadır.



Şekil 2.1. Hasır örgü şeklinde örülen kumaşın darbe karşısındaki davranımı (Demir 2008).

Şekil 2.1 de görüldüğü gibi hasır örgü şeklinde örme işlemi zırh üzerine gelen darbenin sadece darbe ile temas içindeki bölüm tarafından değil, buna ilaveten dört ayrı

sorumlu bölge tarafından da destek alınarak sönmelenmesine yardımcı olmaktadır. Bu sayede darbeye karşı gösterilen direnç daha da artmaktadır.

## **2.4. Mermi**

İnsanoğlu ilk olarak ağaç ve tahtadan ihtiyaçları için aletler yapmaya başladı. İnsan sayısının artmasıyla çıkan kavga ve savaşlarda bu aletleri saldırı için kullandılar. Saldırılarda kullanılan silahlardan kendilerini koruyabilmek için kalkanlar geliştirdiler. Zaman içerisinde tahta ile yapılan kalkanlar ilk başta deri ile kaplandılar daha sonra ise zırhları için bakır kullandılar. Bakırın dayanıksızlığı nedeniyle bakırı kalayla karıştırarak tunç elde edip bunları kalkan yaptılar. Kalkanlar gelişirken silahlarda onlarla birlikte gelişti. Demirin kullanılmaya başlamasının ardından kalkanlarda demir kullanıldı. Barutun icadıyla birlikte menzilli olarak kullanılabilen silahlar üretildi. Bu silahlar içerisine bırakılan demir bilye veya top mermisi gibi sert metalleri uzun menzilli fırlatarak savaşların ve dolayısıyla tarihin seyrini değiştirdi. İlk zamanlarda barutu ve demiri ayrı yerleştirilen silah sisteminden teknolojinin gelişmesiyle mermi de gelişerek barutu, kovani ve daha sert malzemedan üretilen çekirdeği ile günümüzdeki son halini aldı. Mermi üç bölümden oluşur; Mermi çekirdeği, Sevk barutu ve Kovan

### **2.4.1. Mermi çekirdeği**

Mermi çekirdeği sevk barutunun ateşlenmesi ile ivme kazanarak namludan çıkan parçadır. İlk olarak kurşundan üretilen mermi çekirdeği namluya zarar vermesi nedeniyle dışına gömlek gelecek şekilde geliştirilmiştir. Gömlek malzemesi genellikle %90 bakır %10 çinko alaşımından yapılmaktadır. Kurşun ise günümüzde antimon ve kalay eklenerek sertleştirilmektedir. Genellikle kullanılan çekirdek ve çekirdek gömlekleri bu malzemelerden üretilse de birçok çekirdek ve gömlek çeşidi vardır. Çekirdekler amaçlarına, menzillerine göre özel olarak tasarlanırlar. Örneğin çekirdek gömleği olarak kurşundan daha yumuşak malzemedan üretilen yumuşak uçlu mermiler kısa mesafede çarpma sonucu kurşunun hemen mantarlaşması ve bu sebeple kinetik enerjiyi daha iyi aktarabildikleri için etkili iken balistik uçlu mermiler çekirdeğin uç tarafına yerleştirilen polimer malzeme ile balistik performansını koruyarak uzun menzilde yüksek etkiye sahiptir.



Şekil 2.2. Farklı tipteki mermi çekirdekleri.

#### 2.4.2. Sevk barutu

Sevk barutu olarak ilk keşfedilen kara barut kullanılmaktaydı. Kara barut potasyum nitrat odun kömürü ve sülfürden imal edilmekteydi. Kara barutun namluda kir bırakması nedeniyle namlunun sürekli temizlenmesi gerekmekteydi. Kara barut yerine alternatif olarak dumansız barut nitroselüloz ve nitrogliserinden oluşturulmaktadır. Kovan içerisinde barutun ateşlenmesi ile oluşan basınç kovan içerisinde duran çekirdeğin ivmeli bir şekilde namludan atılmasını sağlar. Nitroselüloza eklenen nitrogliserin yanmayı hızlandırarak barutun daha etkili patlamasını sağlarken merminin de yüksek hızlara ulaşmasını sağlar.

#### 2.4.3. Kovan

Mermi çekirdeğini ve sevk barutunu bir arada tutmak için tasarlanmış genellikle pirinçten yapılan yapılardır. Ön tarafında mermi çekirdeğini tutan kovanın arka tarafında ise kapsül bulunur. Silahın tetiğine basılmasıyla horozun kapsüle çarpması anında içerisindeki barutu yakarak oluşan basınçla genişerek hem yuvayı geri tepmeden korurken basıncın büyük kısmını da mermiye aktarılmasını sağlar.

#### **2.4.4. Kalibre (Çap)**

Tüm ateşli silahlarda silah çaplarına kalibre denir. Mermi isimlendirmelerinde ilk rakam merminin çapını ikinci rakam ise kovanın boyunu vermektedir.Örneğin 7x62 mermi çekirdek çapı 7 mm Kovan boyu ise 62 mm dır. Kalibre ne kadar artarsa merminin hasarı o kadar artacaktır.

#### **2.4.5. Mermi çıkış hızı**

Mermiler, silahın türüne ve atılan merminin cinsine göre hız yapar. Barutun itici gücüyle mermi namludan çıktığı andaki hızı gösterir. Mermi çıkış hızı merminin türüne, Kalibresine,Namlu Çapına ayrıca Silahın içindeki Yiv-Setlere bağlı olarak değişir.

### **2.5. NIJ Standartları**

Koruma seviyesi; balistik uygulamalarda kullanılan mermi mühimmatının kalibresi, tipi, ağırlığı, hızı dikkate alınarak belirlenen bir ölçüttür. Aşağıda dünyadaki balistik uygulamalarda değişik özelliklerdeki mermi mühimmatlarının oluşturduğu koruma seviyeleri açıklanmıştır.

#### **2.5.1. Seviye I**

Seviye I zırhlar, kütlesi 2.6 g (124 grain) olan ve asgari 320 m/s (1050 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden .22 kalibre uzun tüfek kursun burunlu mermilere (LR LRN) ve kütlesi 6.2 g (95 grain) olan ve asgari 312 m/s ( 1025 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 380 ACP tam metal kaplama burunlu mermilere ( FMJ RN) karşı korur.

#### **2.5.2. Seviye II-A**

Seviye IIA zırhlar, kütlesi 8.0 g (124 grain) olan ve asgari 322 m/s (1090 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 9 mm Tam Metal Kaplama Burunlu Mermilere (FMJRN) ve kütlesi 11.7 g (180 grain) olan ve 312 m/s (1025 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 40 S & W kalibre tam metal kaplama mermilere(FMJ) karşı korur.



### **2.5.3. Seviye II**

Seviye II zırhlar, kütlesi 8.0 g (124 grain) olan ve asgari 358 m/s (1175 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 9 mm tam metal kaplama burunlu mermilere (FMJ RN) ve kütlesi 10.2 g (158 grain) olan ve 427 m/s (1400 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 357 Magnum yumuşak nokta kaplama mermilere (JSP) karşı korur

### **2.5.4. Seviye III-A**

Seviye IIIA zırhlar, kütlesi 8.0 g (124 grain) olan ve asgari 427 m/s (1400 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 9 mm tam metal kaplama burunlu mermilere (FMJRN) ve kütlesi 15.6 g (240grain) olan ve 427 m/s (1400 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 44 Magnum kaplama çukur nokta mermilere (JHP) karşı korur.

### **2.5.5. Seviye III**

Seviye III zırhlar, kütlesi 9.6 g (148 grain) olan ve asgari 838 m/s (2750 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 7.62 mm tam metal kaplama mermilere (FMJ) (A.B.D. Askeri adı M80) karşı korur.

### **2.5.6. Seviye IV**

Seviye IV zırhlar, kütlesi 10.8 g (166 grain) olan ve asgari 869 m/s (2850 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden .30 mm zırh delici (AP) mermilere (A.B.D. Askeri adı M2 AP) karşı korur. Bahsedilen tehditlere karşı en az tek vuruş koruması sağlar.



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Balistik zırh üretimi için yapılan bu çalışmada prototip üretiminde balistik dayanımı arttırmak için özel olarak tasarlanan ve dokuması yapılan yarı pamuk yarı HDPE kumaşlar ve Merminin ilk kinetik enerjisini alabilmek için doğal seramikler kullanılmıştır.

Ayrıca prototip üretimlerinde mukavemeti yüksek kevlar kumaş, değişik oranlarda grafen nanopelet ve çeşitli doğal seramikler kullanılarak yapıya etkileri araştırılmıştır.

Bu sayede üretilen prototipler hem nij standartlarına göre seviye III A ya uygun balistik dayanımı güçlü hem de dayanıma bağlı ağırlığı düşük esnek ürünler elde edilmiştir.

#### **3.1. Materyal**

Prototip üretiminde kumaşları ve seramiği birbirlerine bağlamak için ise epoksi reçine ile bu reçineyi kuvvetlendirecek olan dayanımı yüksek grafen kullanılırken epoksi reçinenin sertleşmesini sağlamak için kobalt ve asperox sertleştiriciden faydalanılmıştır.

Projenin amacına uygun olarak yapılan araştırmalar doğrultusunda üretimlerin epoksi reçine ile yapılmasına ve reçinenin grafen nanopelet ile güçlendirilerek kumaşları destekleyecek dayanımda olması sağlanmıştır.

Ayrıca prototip üretimlerinde mukavemeti yüksek kevlar kumaş, değişik oranlarda grafen nanopelet ve çeşitli doğal seramikler kullanılarak yapıya etkileri araştırılmıştır.

##### **3.1.1. Doğal seramik**

Kompozit yapısında merminin ilk enerjisini almak için kullanılan ve yapının ön kısmını oluşturan doğal seramik olarak kristal yapılarından ileri gelen sertlikleri ile ön plana çıkan granit ve bazalt seramikleri kullanılmıştır.

### 3.1.1.1. Bazalt

Magmanın uygun bulunduğu bir yerden (volkan, yarık/fisür yada okyanus ortası sırtı) yeryüzüne çıkması ve burada hızlı bir şekilde soğumasıyla oluşur. Hızlı soğuma sebebiyle yarı kristallidir. Kristallerin arası camsı bir bağlayıcı malzeme ile (volkan hamuru) ile doludur.

### 3.1.1.2. Granit

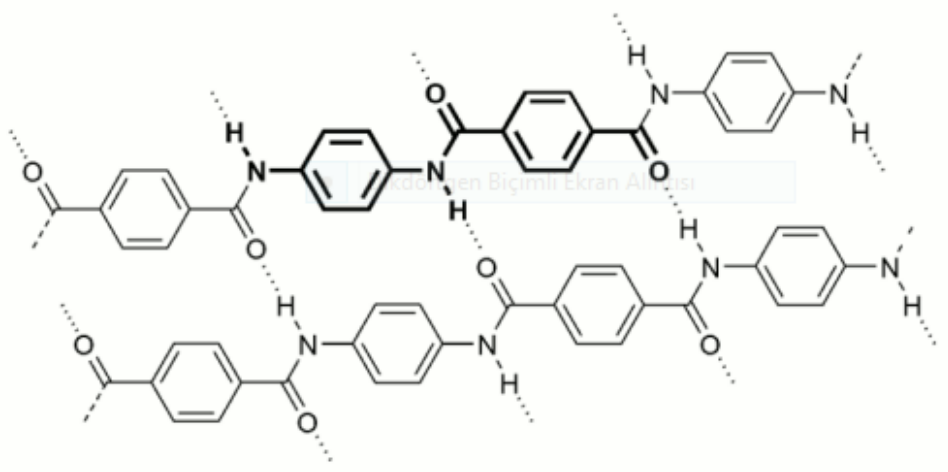
Magmanın yeraltından yavaş bir şekilde soğuması ve katılaşması oluşan magmatik kayaç türüdür. Yeraltında yavaş soğuma ile meydana geldiği için iri ve tam kristalli kayaçlardır. Kristalleşme dıştan içeriye doğru yavaş yavaş devam eder.

### 3.1.2. Poli Aramid Kevlar

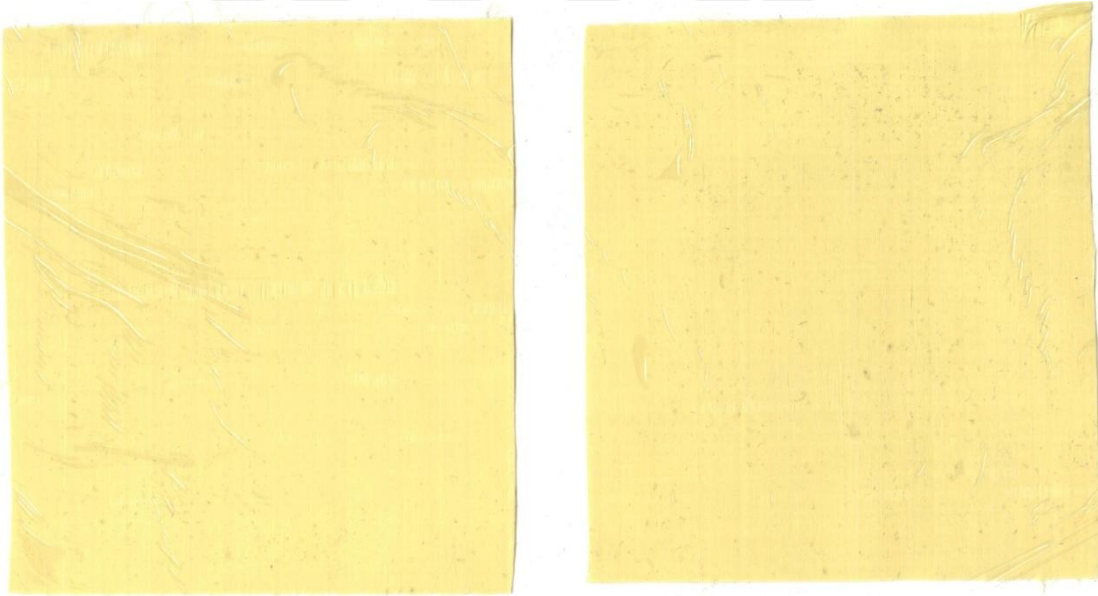
Para-aramid isimli malzeme, 1971 senesinde otomobil lastikleri içindeki çelik tellerin yerine kullanılacak yeni bir malzeme arayışı esnasında Dupont tarafından geliştirilmiştir. Aramid ismi “aromatik poliamid” isminden türetilmiştir. Aramidin kimyevi bileşimi “poli para fenilen terepitemid” olarak tanımlanmaktadır. Para-aramid sentetik elyaf bir kompozit malzeme olarak güçlendirilip ve tek yönlü dokunduğunda kevlar dokuma kumaş olarak adlandırılan malzeme elde edilmektedir (Palta, ve ark., 2018). Bu nedenle kevlar ve para-aramid tabirleri sıklıkla aynı anlamda kullanılmaktadır. Kevlar yüksek mukavemete (3600 MPa), düşük yoğunluğa (1440 kg/m<sup>3</sup>), ve yüksek kopma uzaması faktörüne (%4.0) sahip olduğundan zırh malzemelerinin ve yüksek kapasiteli halat ve kabloların yapımında kullanılır.

Kevların yoğunluğu ve kopma uzaması düşük, esneklik modülü, çekme mukavemeti, darbe mukavemeti, yorulma mukavemeti, sürtünme mukavemeti ve kimyasal dayanıklılığı yüksektir. Bunların yanı sıra ateşe dayanıklılık ve yalıtkanlık gibi birçok avantaja da sahiptir. Öte yandan basma mukavemetinin düşük olması ve lif veya kumaş halinde iken katlanamaması gibi nedenlerden ötürü ham ürün halindeyken depolama, kesme ve işleme süreçlerinde çeşitli zorluklara neden olmaktadır. Bu dezavantajlardan biri de şerit halinde üretilen malzemenin işleme sırasında birbirinden ayrılması ve ürüne gelen darbenin sadece şerit üzerinde yalnızca denk geldiği bölümlerle

etkileşime geçmesidir. Bu nedenle darbe sönümlemesi hasır örme sistemine oranla daha azdır.



Şekil 3.1. Aromatik poli amid.



Şekil 3.2. Kevlar ham kumaş.

Balistik etkilerle ilgili araştırmaların çoğunluğu düz zırhlar veya kumaşlara, yani tek veya çok katlı Kevlar kumaşların modellemesine odaklanmıştır. PASGT kaskı ile ilgili olan ve savaş kaskları üzerinde yapılan çok sayıda çalışma bunlara iyi birer örnektir (Palta, ve ark.,2018).

### 3.1.3. Grafen

Grafen, 2004 yılında Rus kökenli bilim adamları Andre Geim ve Konstantin Novoselov tarafından keşfedilmiştir. Bu araştırmacılara keşiflerinin üstün niteliklerinden dolayı 2010'da Nobel Fizik Ödülü verilmiştir. Karbon atomlarının altıgen şeklinde dizilmesiyle oluşan grafen iki boyutlu bir yapıya sahiptir. Kolay esneyebilen grafen çeliğe göre 300 kat daha sağlam bir üründür. Grafen kullanılarak zaten esnek olarak üretilen kompozitin esnekliği ve sağlamlığını daha da arttırmak teorik olarak mümkündür (Grafen 2019).



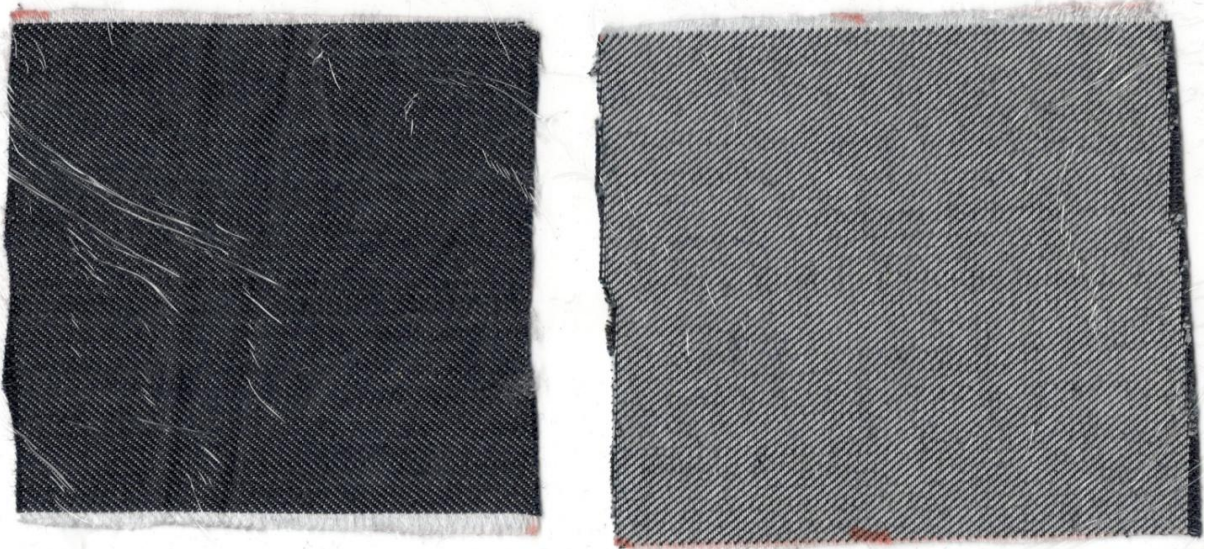
Şekil 3.3. Graphen nanoplatelet.

### 3.1.4. HDPE kumaş

Yüksek Yoğunluklu Polietilen (High Density Poly ethylene, HDPE) malzemeden üretilen ve kumaşlar özel makinelerde hasır örgü şeklinde örülmektedir. HDPE'nin yoğunluğu 0.940 ile 0.970 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmekte, bu malzemeden yapılan kumaşların ortalama çekme dayanımları 225 ila 350 kgf/cm<sup>2</sup> arasında olmaktadır. Yapının esasını teşkil eden uzun karbon zincirleri üzerinde dallanmalar yok denecek kadar azdır, dolayısıyla malzeme esasında kristalin (veya yarı-kristalin) yapıdaki polimerden oluşmaktadır. Bu yapısı nedeniyle HDPE malzemenin moleküler

arası kuvvetleri şiddetlidir ve ihtiva ettiği polimerlerin gerilme kuvvetleri görece olarak çok yüksektir.

Her yüksek performanslı balistik elyafın belirli özellikleri diğer liflerden farklı olmaktadır. Örneğin, aramid (Kevlar) fiberler, cam / karbon fiberlerden daha yüksek sürtünme direncine sahiptir. Bu direnç merminin dış ceketini soyarak için iyi bir özelliktir (Bandaru, ve ark.,2017).



Şekil 3.4. Hasır örgü şeklinde örülmüş HDPE kumaş.

### 3.1.5. Epoksi

Epoksiler iki ya da daha fazla epoksit içeren bileşenlerden oluşurlar. Polifenol'ün epikloridin ile bazik şartlarda reaksiyonu sonucu elde edilirler. Epoksilere uygulanan kür işlemleri ile yüksek sıcaklıklara dayanımı 150-200 °C 'a artırılabilir. Büzülmesi %2'den azdır.

Avantajları:

- Kopma mukavemetleri yüksektir.
- Elyaf yapılarda yüksek bağ mukavemeti sağlarlar.
- Yüksek ısınma direncine sahiptirler.
- Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir.
- Düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler.
- Dezavantajları:

- Polyesterle karşılaştırıldığında pahalıdırlar.
- Polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur.

Epoksiler avantajlarının çokluğu ve tüm elyaf malzemelerde kullanılabilme nedeniyle, uçak yapısında da yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Genellikle karbon elyaflarla birlikte kullanılırlar.(Alsaadi ve ark., 2018)

### 3.1.6. Kobalt

Kobalt 1735 yılında İsveçli kimyager George Brandt tarafından bakırdan ayrılarak elde edilmiştir. Kobalt doğal olarak içerisinde nikel bulunduran laterit topraktan ve nikel.bakır.sülfat çökeltilerinde yan ürün olarak çıkartılır. Yüksek erime sıcaklığına sahip ve yıpranmaya karşı dayanıklı olması nedeniyle kobalt elementine olan talep yüksektir.

## 3.2. Yöntem

Seramik tabaka balistik zırhın ön kısmını oluştururken, arka kısımda ise epoksi reçine destekli kumaşlar seramik malzemeler ile birlikte kullanılmaktadır.

Çalışmamızda seramik malzeme ve epoksi kumaş birleşiminden oluşan desteler testere aracılığı ile düz plakalar halinde kesilmiştir.

Geliştirilen bu plakalar aşağıdaki parametreler açısından incelenerek, elde edilen sonuçlar doğrultusunda iyileştirme ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır:

- Kalınlık
- Ağırlık
- Yoğunluk
- Dayanım
- Balistik performansı

Kumaşın mimarisinin balistik etkilere karşı korumada önemli bir rol oynadığı ve belirli yönelimdeki darbeler için yüksek balistik penetrasyon direnci sağladığı bilinmektedir (Bandaru ve ark., 2016). Çalışmamızda da tahribatlı balistik testler neticesinde elde edilen sonuçlara göre örgü tipi, katkı miktarı, katman kalınlıkları, katman sıralaması ve bağlayıcı türü gibi çeşitli özellikler performans kriterleri açısından



değerlendirilmiştir. Bu maksatla proje kapsamında yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ürünle desteklenmiş 20 kat kumaştan oluşan zırh prototipi üretilmiştir.

Üretimin ilk aşaması kumaşları ve seramiği birbirine yapıştıracak olan çözeltinin hazırlanmasıdır. Epoksi reçinenin viskoz yapısı göz önüne alınarak, çözelti içinde homojen bir karışım sağlanması için Epoksi reçine bir beher içerisinde ısıtıcı karıştırıcı üzerine yerleştirilir. Epoksi reçinenin behere alınmasından sonra esneklik sağlaması için her prototip için belirli oranlarda grafen eklenir. Ürünün tepkime başlatması için içerisine kobalt eklenmesinden sonra homojen karışım olana kadar sabit hızla karışımı sağlanmaktadır. Homojen hale gelen çözelti bir fırça yardımıyla üretimi yapılacak olan numunede kullanılacak kumaşlar atkı - çözgü durumuna göre uygulanarak hasır örgü HDPE kumaşlar üst üste yerleştirilir. Çözeltinin kumaşlara yedirilmesinin ardından püskürtme yöntemi ile Asperox sertleştirici kumaş üzerine sürülür. Fazla karışımın alınması ve hava kabarcıklarının giderilmesi için vakum torbası içerisine yerleştirilen numunenin ön katmanına seramik yerleştirilerek katmanların kendi arasındaki ve seramik ile kumaş katman arasındaki bağlantıların güçlendirilmesi için numune basınca tabi tutulur. Basınç altında vakum torbasında bekletilen numune üzerinde bulunan fazla çözeltisinin alınmasının ardından etüv e alınan prototip etüv de kurutmanın ardından balistik test e hazır durumdadır.

### 3.2.1. Oluşturulan prototipler

Çizelge 3.1 Seramiksiz üretilen epoksili ve epoksisiz numuneler.

Prototip Adı	Bağlayıcı	Çeşit	Ham Yoğunluk	Bağlayıcı Yoğunluk	Seramik	Ortalama Yoğunluk
AH 1	YOK	20 kumaş	0,6204	-	YOK	0,6204
AH 2	YOK	20 kumaş	0,6705	-	YOK	0,6705
AH 3	YOK	20 kumaş	0,676	-	YOK	0,676
BH 1	EPOKSİ	20 kumaş	0,6842	1,3268	YOK	1,3268
BH2	EPOKSİ	20 kumaş	0,6988	1,4474	YOK	1,4474
BH3	EPOKSİ	20 kumaş	0,6992	1,5662	YOK	1,5662

AH serisinde yapılan prototipler seramiksiz ve epoksi reçinesiz olarak 10 cm x 10 cm şeklinde kesilen 20 adet kumaşın atkı çözgü durumlarına göre yerleştirilerek

hazırlanmıştır. Prototiplerin yoğunlukları ortalama olarak 0,6 - 0,7 gr/cm<sup>3</sup> aralığında değişmektedir.

BH serisinde yapılan prototipler 10 cm x10 cm şeklinde 20 adet kumaşın atkı çözgü durumuna göre seramiksiz epoksi reçine uygulanarak hazırlanmıştır. Epoksi reçine muamelesinden sonra yapılan ölçümlerde kumaşın reçine emilimine göre 1,3 - 1,5 gr/cm<sup>3</sup> aralığında prototipler hazırlanmıştır.

AK prototipleri ön katmanlarında seramik olmadan epoksi reçine içerisine sırasıyla 0,1 - 0,2 - 0,3 gr eklenen 150 m<sup>2</sup>/ gr Graphen Nanopelet karışımlarıyla 20 kevlar kumaşın üst üste yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1. Farklı grafen oranlarıyla hazırlanmış 20 kevlar kumaşlı seramiksiz numuneler.

Prototip Adı	Bağlayıcı	Çeşit	Ham Yoğunluk	Bağlayıcılı Yoğunluk	Seramik	Seramik Yoğunluk	Ortalama Yoğunluk
AK 1	0.1 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kevlar	0,4738	0,935	YOK	-	0,935
AK 2	0.2 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kevlar	0,5028	0,972	YOK	-	0,972
AK 3	0.3 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kevlar	0,5161	0,9942	YOK	-	0,9942

AHK prototipleri ön katmanlarında seramik olmadan epoksi reçine içerisine sırasıyla 0,1 - 0,2 - 0,3 gr eklenen 150 m<sup>2</sup>/ gr Graphen Nanopelet karışımlarıyla 20 HDPE kumaşın arasında her 5 katmanda 1 kevlar kumaş olmak şartı ile oluşturulmuştur.

Çizelge 2.3. Farklı grafen oranları ile hazırlanmış 20 HDPE kumaş 3 kevlar kumaşlı seramiksiz prototipler.

Prototip Adı	Bağlayıcı	Çeşit	Ham Yoğunluk	Bağlayıcılı Yoğunluk	Seramik	Seramik Yoğunluk	Ortalama Yoğunluk
AHK 1	0.1 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş + 3 kevlar	0,7286	1,6306	YOK	-	1,6306
AHK 2	0.2 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş + 3 kevlar	0,7331	1,7806	YOK	-	1,7806
AHK 3	0.3 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş + 3 kevlar	0,7561	1,8133	YOK	-	1,8133

CH prototipleri epoksi reçine içerisine 0,1 gr eklenen 150 m<sup>2</sup>/ gr Graphen Nanopelet karışımlarıyla 20 HDPE kumaşın atkı çözgü durumları göz önüne alınarak yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. 0,1 gr 150 m<sup>2</sup>/gr grafen katkısıyla hazırlanmış 20 HDPE kumaş prototipler.

Prototip Adı	Bağlayıcı	Çeşit	Ham Yoğunluk	Bağlayıcılı Yoğunluk	Seramik	Seramik Yoğunluk	Ortalama Yoğunluk
CH 1	0.1 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6653	1,6298	YOK	-	1,6298
CH 2	0.1 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6705	1,6276	A	2,37	1,9988
CH 3	0.1 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6635	1,7601	B	1,81	1,78505
CH 4	0.1 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6805	1,7843	C	1,76	1,77215
CH 5	0.1 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6842	1,7993	D	0,98	1,38965

Doğal seramiklerin yapıya etkisini incelemek için yapılan 3. seri prototipler ilk olarak prototiplerin seramiksiz olarak test edilmesi için seramiksiz hazırlanmıştır. Daha sonradan yapıya farklı özelliklerde 3 adet doğal seramik yerleştirilmiştir. CH 5 prototipinde ise dayanımı ile ön plana çıkan kauçuk liften üretilmiş malzeme ile teste tabi tutulmuştur.

DH prototipleri epoksi reçine içerisine 0,2 gr eklenen 150 m<sup>2</sup>/ gr Graphen Nanopelet karışımlarıyla 20 HDPE kumaşın atkı çözgü durumları göz önüne alınarak yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.2. 0,2 gr 150 m<sup>2</sup>/gr grafen katkısıyla hazırlanmış 20 HDPE kumaş prototipler.

Prototip Adı	Bağlayıcı	Çeşit	Ham Yoğunluk	Bağlayıcılı Yoğunluk	Seramik	Seramik Yoğunluk	Ortalama Yoğunluk
DH 1	0.2 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6942	1,6291	YOK	-	1,6291
DH 2	0.2 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6732	1,6276	A	2,46	2,0438
DH 3	0.2 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6892	1,7601	B	1,85	1,80505
DH 4	0.2 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6898	1,7843	C	1,75	1,76715
DH 5	0.2 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6842	1,7993	E	2,55	2,17465

Doğal seramiklerin yapıya etkisini incelemek için yapılan 4. seri prototipler ilk olarak prototiplerin seramiksiz olarak hazırlanmıştır. Daha sonradan yapıya farklı özelliklerde 3 adet doğal seramik yerleştirilmiştir. DH 5 prototipinde ise standart 10 cm

10 cm 1 cm lik numune yerine 10 cm x 10cm x 2 cm şeklinde diğer seramiklere göre 1 cm kalın seramik kullanılarak üretilmiştir.

DH prototipleri epoksi reçine içerisine 0,3 gr eklenen 150 m<sup>2</sup>/ gr Graphen Nanopelet karışımlarıyla 20 HDPE kumaşın atkı çözgü durumları göz önüne alınarak yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.3. 0,3 gr 150 m<sup>2</sup>/gr grafen katkısıyla hazırlanmış 20 HDPE kumaş prototipler.

Prototip Adı	Bağlayıcı	Çeşit	Ham Yoğunluk	Bağlayıcı Yoğunluk	Seramik	Seramik Yoğunluk	Ortalama Yoğunluk
EH 1	0.3 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6942	1,6308	YOK	-	1,6308
EH 2	0.3 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6732	1,6276	A	2,57	2,0988
EH 3	0.3 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6892	1,7601	B	1,83	1,79505
EH 4	0.3 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6898	1,7843	C	1,77	1,77715
EH 5	0.3 gr 150m <sup>2</sup> /gr	20 kumaş	0,6888	1,7993	F	2,61	2,20465

Doğal seramiklerin yapıya etkisini incelemek için yapılan 5. seri numuneler ilk olarak prototiplerin seramiksiz olarak test edilmesi için seramiksiz hazırlanmıştır. Daha sonradan yapıya farklı özelliklerde 3 adet doğal seramik yerleştirilmiştir. EH 5 prototipinde ise standart 10 cm x 10 cm x 1 cm lik numune yerine 10 cm x 10cm x 2 cm şeklinde diğer seramiklere göre 1 cm kalın seramik kullanılarak teste tabi tutulmuştur.

Çizelge 3.4. Grafensiz çift seramik kullanılarak yapılan prototipler.

Prototip Adı	Bağlayıcı	Çeşit	Ham Yoğunluk	Bağlayıcı Yoğunluk	Seramik	Seramik Yoğunluk	Ortalama Yoğunluk
SHT 1	Grafensiz	5 e 15	0,6225	1,6523	2B	1,84	1,74615
SHT 2	Grafensiz	5 e 15	0,6589	1,7208	2C	1,76	1,7404
SHT 3	Grafensiz	10 a 10	0,6028	1,6524	2B	1,83	1,7412
SHT 4	Grafensiz	10 a 10	0,6431	1,7564	2C	1,74	1,7482
SHT 5	Grafensiz	15 e 5	0,6758	1,7645	2B	1,855	1,80975
SHT 6	Grafensiz	15 e 5	0,6692	1,7134	2C	1,72	1,7167

SHT serisi prototiplere 7,62 x 51 mermiler için 2 seramik ile yapılmış özel tasarım sistemle yapılmıştır. SHT 1 ve SHT 2 prototipinde ön tarafa yerleştirilen seramiğin ardından 5 HDPE kumaş yerleştirilmiş ardından aynı seramik çeşidinden 2. seramik yerleştirilmiş ve 15 HDPE kumaş yerleştirilerek aynı işlem gerçekleştirilmiştir.

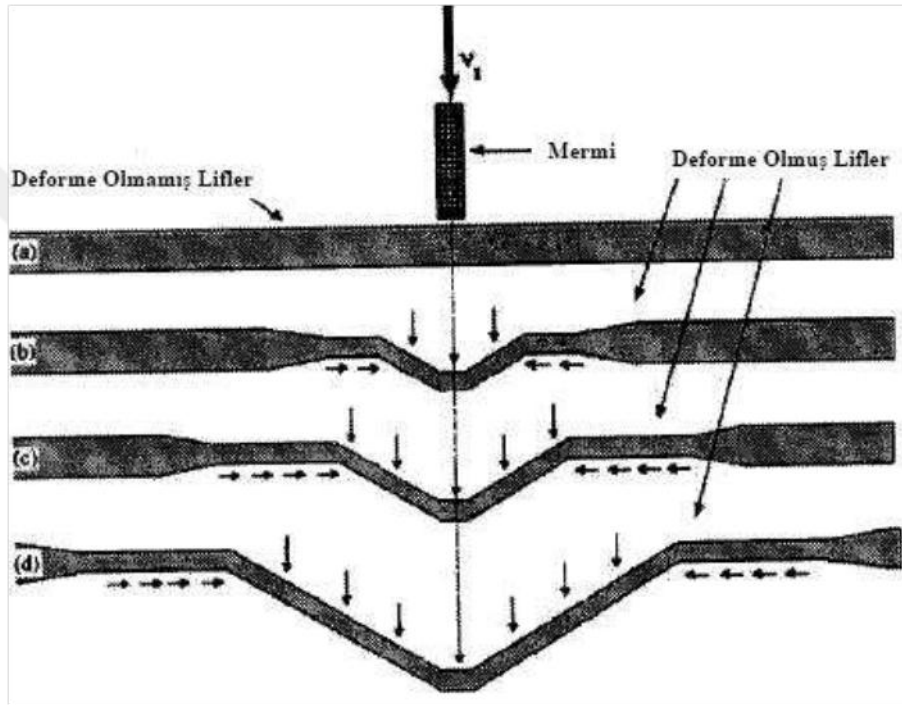
SHT 3 ve SHT 4 prototipinde ön tarafa yerleştirilen seramiğin ardından 10 HDPE kumaş yerleştirilmiş ardından aynı seramik çeşidinden 2. seramik yerleştirilmiş ve 10 HDPE kumaş yerleştirilerek aynı işlem gerçekleştirilmiştir. SHT 5 ve SHT 6 prototipinde ön tarafa yerleştirilen seramiğin ardından 15 HDPE kumaş yerleştirilmiş ardından aynı seramik çeşidinden 2. seramik yerleştirilmiş ve 5 HDPE kumaş yerleştirilerek aynı işlem gerçekleştirilmiştir.





#### 4. BULGULAR

Mermi prototip üzerinde bir direnç ile karşılaşmadığında kurşunun çapı kadar bir genişlikte penetrasyon oluşturarak prototipi delip geçmiştir. Direnç ile karşılaştığında ise kinetik enerjisi ile prototip üzerinde gerek penetrasyon çapında gerekse darbe sonrası çıkış bölümünde hasara neden olarak kinetik enerjisi kaybetmiştir.

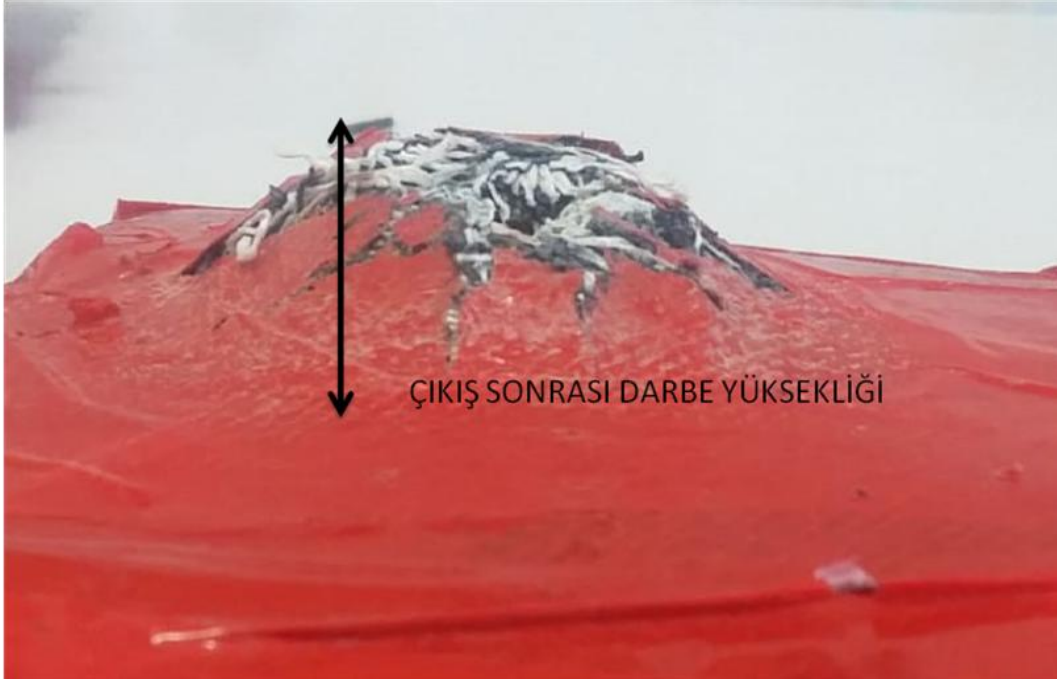


Şekil 4.1 : Balistik koruyucuya merminin çarpması.

Balistik olarak test edilen numunelerde bu verilere bakılarak değerlendirilmiştir. Bu veriler Merminin zırha ilk girişini içeride verdiği hasarı ve çıkışta zırha verdiği zararın tespiti açısından yol gösterici niteliktedir. Balistik test sonucu prototiplerin son halleri şekildeki gibidir.



Şekil 4.2. Çıkış sonrası darbe genişliği.



Şekil 4.3. Çıkış sonrası darbe yüksekliği.





Şekil 4.4. Çıkış penetrasyon genişliği.



Şekil 4.5. Giriş penetrasyon genişliği.

Her balistik test sonucunda prototiplerde oluşan hasar bu verilerin ayrıntılı incelenmesi sonucunda elde edilmiştir.

Balistik testlerde kullanılan silahlar ve bu silahlardan ateşlenen mermilerin teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1. Balistik testlerin yapıldığı mühimmat ve atış mesafeleri.

Silah	Mermi Boyutu	Cephane	Namlu Çıkış Hızı	Basınç	Atış Mesafesi
GEN BR 2	9,19	FJ1/RN/SC	400 m/sn	285 MPa	10 m
HK 33	5,56 X 45	FJ2/PB/SCP1	920 m/sn	430 MPa	20 m
G3	7,62 X 51	FJ2/PB/HC 1	820 m/sn	550 MPa	20 m

Çizelge 4.2. Balistik testte kullanılan 9,19 FJ1/RN/SC mermi teknik özellikleri.

9,19 FJ1/RN/SC Mermi Teknik Özellikleri	Değerler
Mermi çekirdek çapı (mm)	9,08
Mermi çekirdek ağırlığı (gr)	7,43
Mermi kovan ağırlığı (gr)	3,80
Mermi çekirdek uzunluğu (mm)	15
Barut miktarı (gr)	0,41

Çizelge 4.3 Balistik testte kullanılan 5,56 x 45 mm mermi teknik özellikleri.

5,56 x 45 mm mermi teknik özellikleri	Değerler
Mermi çekirdek çapı (mm)	5
Mermi çekirdek ağırlığı (gr)	5,2
Mermi kovan ağırlığı (gr)	11,84
Mermi çekirdek uzunluğu (mm)	
Barut miktarı (gr)	2,768

Çizelge 4.4. Balistik testte kullanılan 7,62 mm NATO normal mermi teknik özellikleri.

7,62 mm NATO normal mermi teknik özellikleri	Değerler
Mermi çekirdek çapı (mm)	7,82
Mermi çekirdek ağırlığı (gr)	9,50
Mermi kovan ağırlığı (gr)	11,84
Mermi çekirdek uzunluğu (mm)	28,60
Barut miktarı (gr)	2,768

Değerlendirmeler prototipe çarpan kurşunun girişte oluşturduğu penetrasyon boyutuna, eğer kurşun prototipi delip geçtiyse prototipin arkasında oluşan darbenin yüksekliğine, genişliğine ve merminin prototip çıkışında oluşturduğu penetrasyona bakılarak karar verilmiştir.

GEN BR 2 silah tipi ile 9,19 mermi ile yapılan isabetli tek atış şeklinde gerçekleştirilen balistik test sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.



Şekil 4.6. Numunenin balistik test öncesi hali.



Şekil 4.7. Numunenin balistik testin hemen sonraki görüntüsü.



Şekil 4.8. Balistik test sonucu prototip.





Şekil 4.9. Balistik test sonucu prototip.



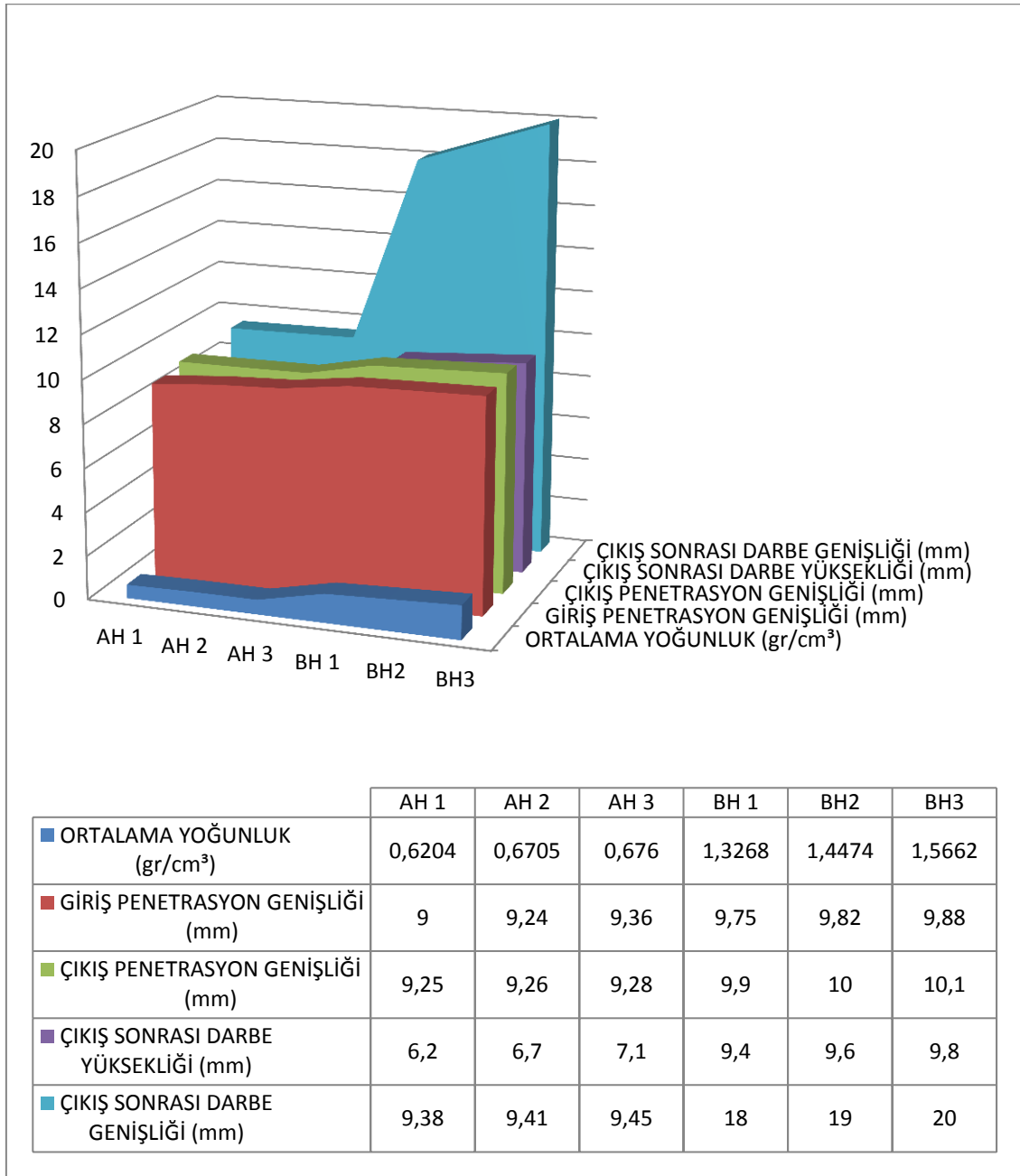
Şekil 4.10. Balistik test sonucu prototipin son hali.



Şekil 4.11. (solda) 9,19 merminin atış öncesi hali (sağda) 9,19 merminin atış sonrası hali.



Şekil 4.12. (solda) 9,19 merminin atış öncesi hali (sağda) 9,19 merminin atış sonrası hali.

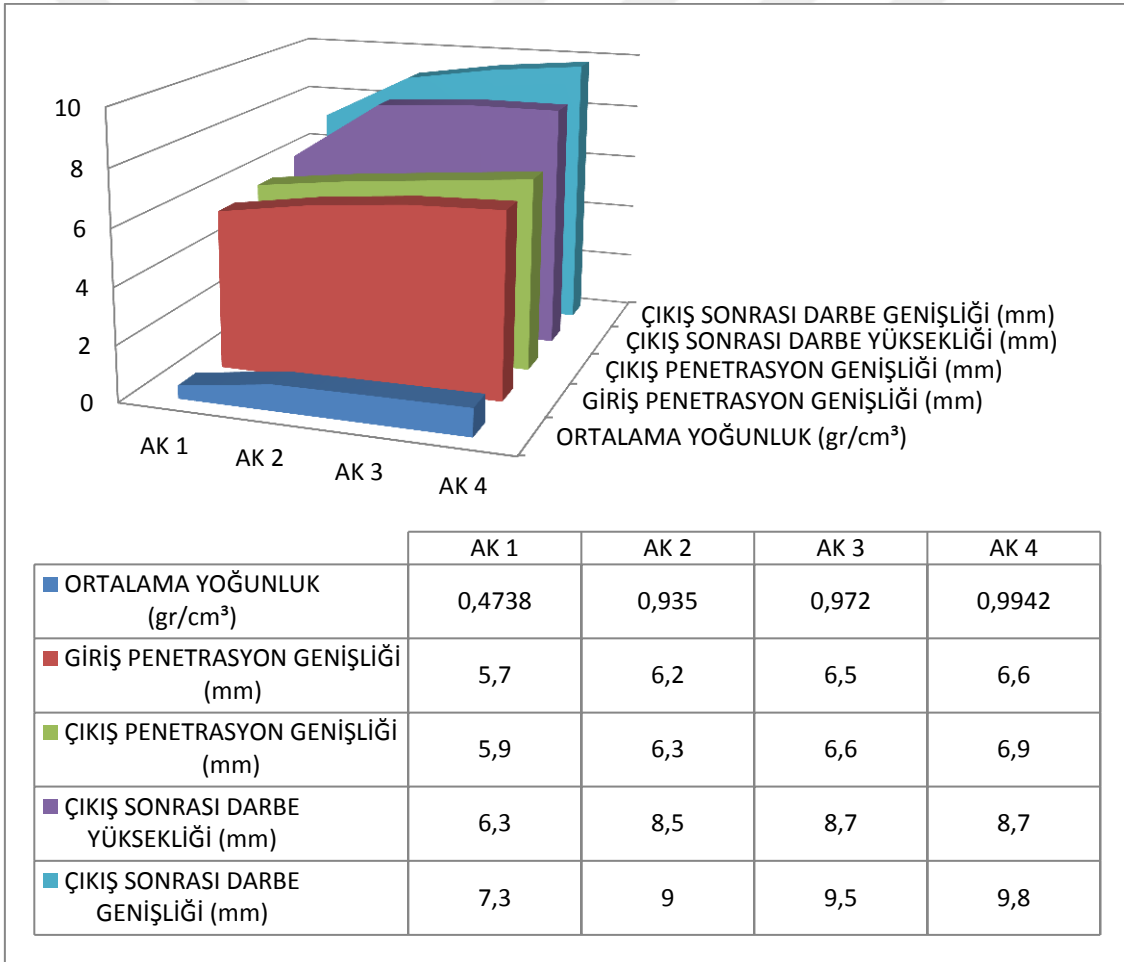


Şekil 4.13. Balistik test için hazırlanan AH ve BH prototiplerin GEN BR 2 balistik test sonuçları.

Şekil 4.13 de alınan sonuçlar baz alınarak AH serisi prototiplerinde 9,19 merminin ortalama 9 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 9,2 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 6 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 9,40 mm olarak tespit edilmiştir.

BH serisi prototiplerinin test sonucu incelemesinde 9,19 merminin 9,8 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 10 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 9,5 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 19 mm olarak tespit edilmiştir.

BH serisinin prototipleri AH serisiyle aynı marka silah ve kurşunlarla test edildiği için kendi aralarında kıyaslanmıştır. Epoksi reçine dolayısıyla sertleşen ve katmanlar arasında gerçekleşen bağların prototipe kazandırdığı direnç test sonuçlarındaki darbe yüksekliği farkı, darbe genişliği farkı ve penetrasyon boyutları arasında farktan gözlemlenmektedir.

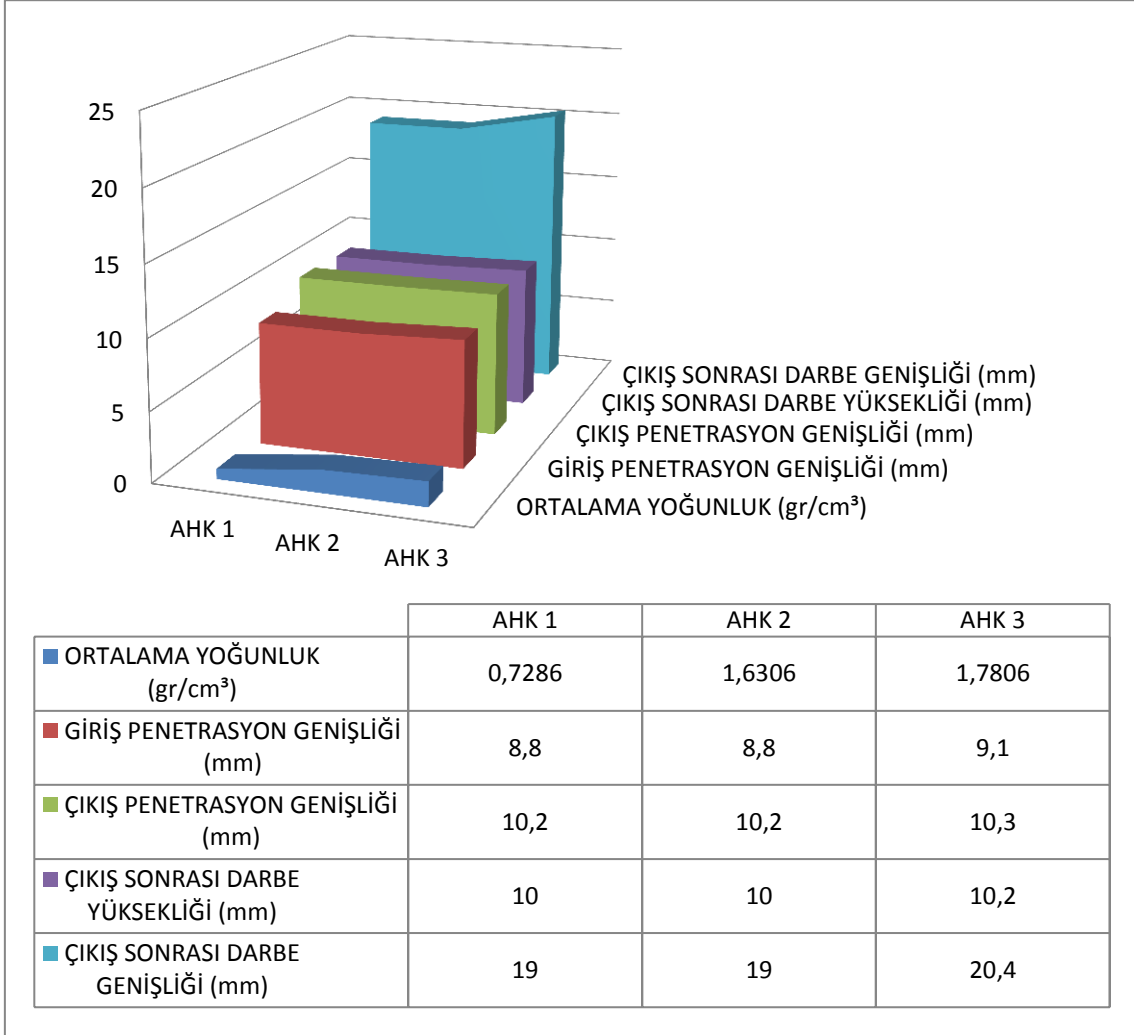


Şekil 4.14. Balistik test için hazırlanan AK prototiplerin HK 33 balistik test sonuçları.

HK 33 silah tipi ile 5,56 x 45 mermi ile yapılan isabetli tek atış şeklinde gerçekleştirilen balistik test sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.



Şekil 4.14 de alınan sonuçlar baz alınarak AK serisi prototiplerinde 5,56 x45 merminin ortalama 6,4 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 6,7 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 6 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 9,6 mm olarak tespit edilmiştir.

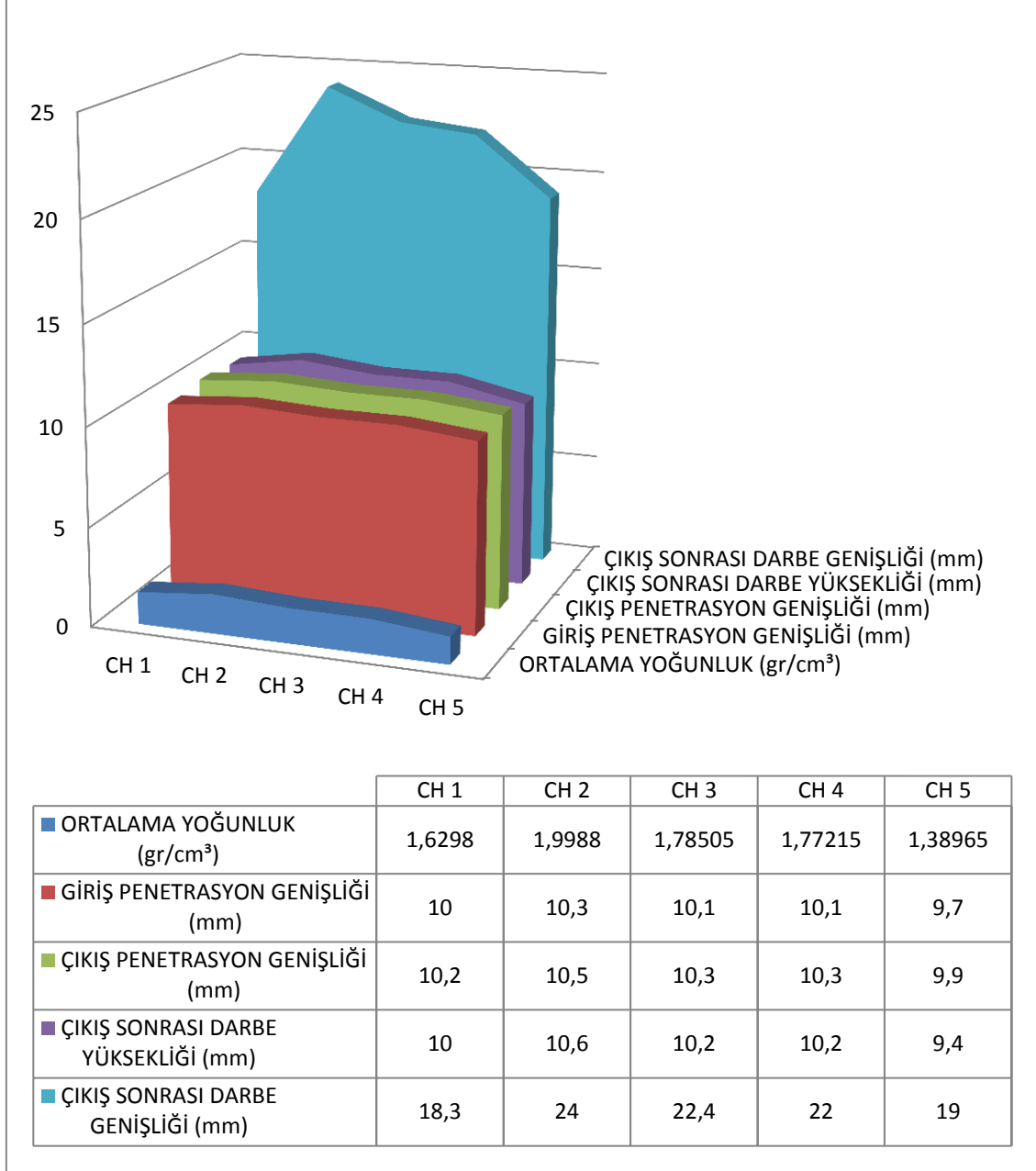


Şekil 4.15. Balistik test için hazırlanan AHK prototiplerin HK 33 balistik test sonuçları.

HK 33 silah tipi ile 5,56 x 45 mermi ile yapılan isabetli tek atış şeklinde gerçekleştirilen balistik test sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Şekil 4.15 de alınan sonuçlar baz alınarak AHK serisi prototiplerinde 5,56 x45 merminin ortalama 9 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 10,3 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği

değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 10,2 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 20 mm olarak tespit edilmiştir..

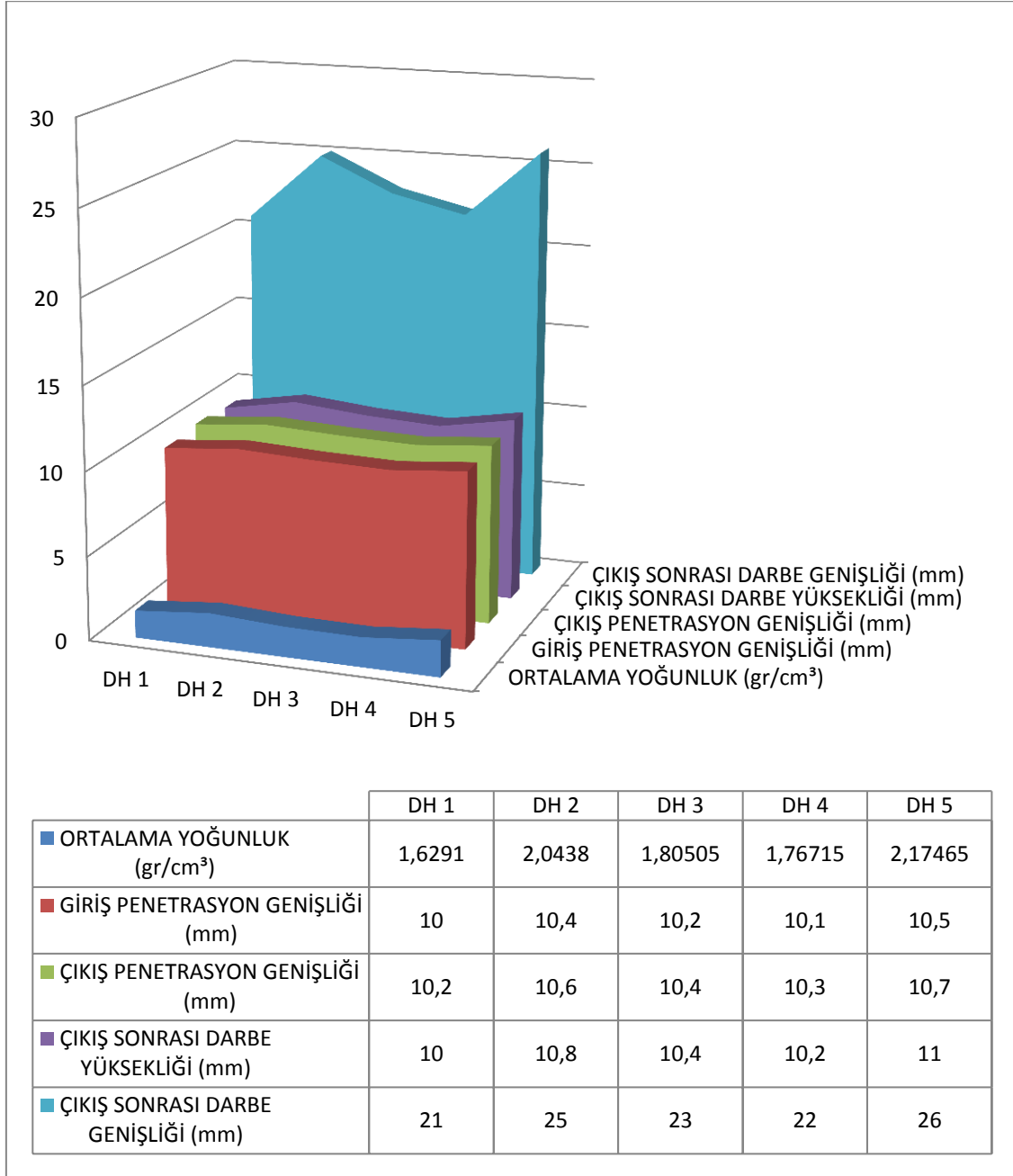


Şekil 4.16. Balistik test için hazırlanan CH prototiplerin HK 33 balistik test sonuçları.

HK 33 silah tipi ile 5,56 x 45 mermi ile yapılan isabetli tek atış şeklinde gerçekleştirilen balistik test sonuçlarına göre değerlendirilmiştir

Şekil 4.16 da alınan sonuçlar baz alınarak CH serisi prototiplerinde 5,56 x45 merminin ortalama 10,4 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 10,24 mm olan çıkış

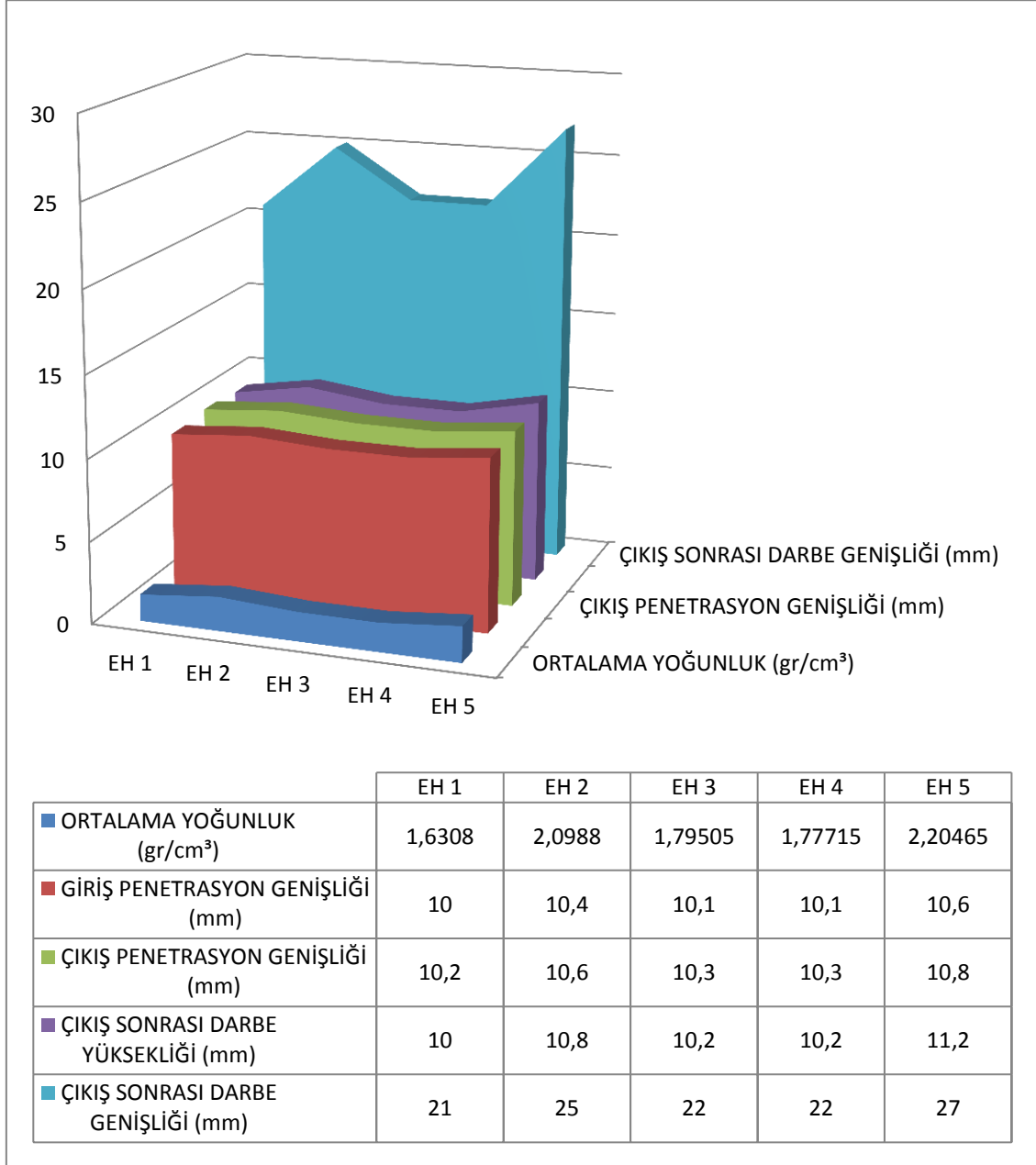
penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 10,08 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 21 mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.17. Balistik test için hazırlanan DH prototiplerin HK 33 balistik test sonuçları.

HK 33 silah tipi ile 5,56 x 45 mermi ile yapılan isabetli tek atış şeklinde gerçekleştirilen balistik test sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

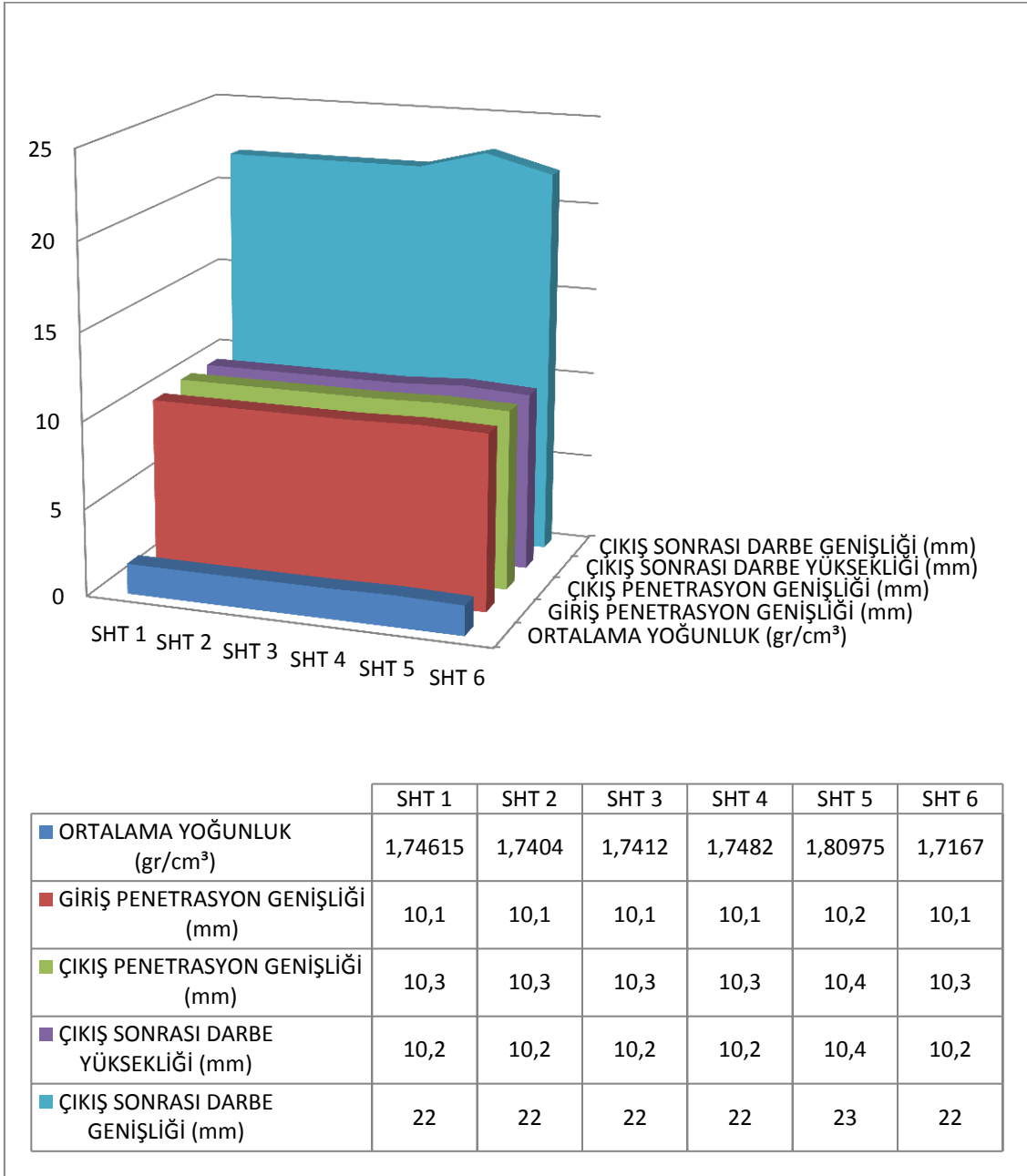
Şekil 4.17 de alınan sonuçlar baz alınarak DH serisi prototiplerinde 5,56 x45 merminin ortalama 10,24 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 10,44 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 10,48 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 23 mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.18. Balistik test için hazırlanan EH prototiplerin HK 33 balistik test sonuçları.

HK 33 silah tipi ile 5,56 x 45 mermi ile yapılan isabetli tek atış şeklinde gerçekleştirilen balistik test sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Şekil 4.18 de alınan sonuçlar baz alınarak EH serisi prototiplerinde 5,56 x45 merminin ortalama 10,24 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 10,44 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 10,48 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 23 mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.19. Balistik test için hazırlanan SHT prototiplerin G3 balistik test sonuçları.

G3 silah tipi ile 7,62 x 51 mermi ile yapılan isabetli tek atış şeklinde gerçekleştirilen balistik test sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Şekil 4.19 da alınan sonuçlar baz alınarak SHT 1 ve SHT 2 prototipinde ön tarafa yerleştirilen seramiğin ardından 5 HDPE kumaş yerleştirilmiş ardından aynı seramik çeşidinden 2. seramik yerleştirilmiş ve 15 HDPE kumaş yerleştirilerek aynı işlem gerçekleştirilmiştir.

SHT 3 ve SHT 4 prototipinde ön tarafa yerleştirilen seramiğin ardından 10 HDPE kumaş yerleştirilmiş ardından aynı seramik çeşidinden 2. seramik yerleştirilmiş ve 10 HDPE kumaş yerleştirilerek aynı işlem gerçekleştirilmiştir.

SHT 5 ve SHT 6 prototipinde ön tarafa yerleştirilen seramiğin ardından 15 HDPE kumaş yerleştirilmiş ardından aynı seramik çeşidinden 2. seramik yerleştirilmiş ve 5 HDPE kumaş yerleştirilerek aynı işlem gerçekleştirilmiştir.

SHT serisi prototiplerinde 7,62 x51 merminin ortalama 10,11 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 10,31 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 10,23 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 22 mm olarak tespit edilmiştir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

AH ve BH serisi prototipler GEN BR 2 tabanca ile 9,19 mermi ile 5 m mesafeden yapılan isabetli tek atışla gerçekleştirilmiştir.

AH serisinde test edilen arka arkaya yerleştirilmiş 20 HDPE kumaşın epoksi reçine olmadan yoğunluğunun düşük olması ve kumaşlar arasında bir bağın bulunmaması şekil 4.13 de görüldüğü gibi mermiye karşı direnç göstermediğini ortaya koymuştur. Direnç göstermemesi test sonucunda mermi çapıyla aynı olan 9 mm civarında çıkış penetrasyon genişliğinden ve 6 mm civarında olan çıkış penetrasyon yüksekliğinden anlaşılmaktadır.

AH serisi prototiplerin testleri ve sonuçları incelendiğinde HDPE kumaşın tek başına balistik koruma için yeterli olmadığı anlaşılmış ancak epoksi reçine, graphen ve doğal seramiklerle yapılan tasarımlarda başarı elde edilmiştir.

BH serisi ile yapılan 20 HDPE kumaşın basınç altında epoksi reçine uygulanarak sıkıştırılması sonucu üretilen numunelerin yoğunluğunun  $0,69 \text{ gr/cm}^3$  den ortalama  $1,4 \text{ gr/cm}^3$  e çıkması merminin daha yoğun bir ortamda hareketini göstermiştir.

BH serisindeki direncin AH serisindeki prototiplere göre yüksekliği prototiplerde merminin prototip ile karşılaşmasında oluşan giriş penetrasyonunun ortalama 9,8 mm olması eğer mermi prototipi delmişse çıkış penetrasyon genişliğinin ortalama 10 mm olması çıkış sonrası darbe yüksekliğinin 9,5 mm ve çıkış sonrası darbe genişliğinin ise 19 mm olması göstermektedir.

AH ve BH serisi numunelerde 9,19 merminin tutulması üzerine ikinci seviye merminin testlerine geçilmiştir. 5,56 mermi ile hedefe yapılan tek atışla test edilen numunelerde reçine mukavemetini arttırmak için kullanılan grafen nanopelet 3 farklı oranda kullanılarak prototiplere olan etkisi araştırılmıştır.

Fındık ve Tarım (2003) 18 - 22 ve 28 - 36 katmanlı kompozit zırhlar üzerinde çalışmalar yapmışlar fakat 18 - 22 katman kompozit zırh çalışmalarının delindiğini bildirmişlerdir. HDPE ile üretilen kompozit zırhlarda ise 20 katmanın yeterli olduğu görülmüştür.

Kevlar kumaşın halihazırda kullanılan kompozit zırhlarda kullanıldığı göz önüne alınarak 20 adet kevlar kumaşla yapılan AK serisinde graphen nanopelet kullanılmıştır. Ancak kevlar kumaşın yapısından dolayı yarı pamuk yarı poli etilen kumaşlara kıyasla

daha az epoksi reçine emmesi sebebiyle darbe anında beklenen mukavemeti gösteremediği anlaşılmıştır. Prototip üretiminde kevlar kumaşın etkilerinin araştırılması için oluşturulan AK serisine eklenen kevlar kumaşın yapının bütünlüğüne ve direncine etkileri araştırılmış ve kevlar kumaşın epoksi reçineyi tam olarak ememediği ve bu sebeple prototipte bütünlüğü bozduğu testler esnasında prototiplerin kevlar ile bağlı bölgelerden ayrılması ile anlaşılmıştır. Ayrıca Cork ve Foster (2007) çalışmalarında hasır örgünün düz örgüden daha iyi performans sağladığı görülmüş ve bu durum HEDP kumaşlarla yapılan testlerde de gözlemlenmiştir.

AK serisi prototiplerinde 5,56 x45 merminin ortalama 6,4 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 6,7 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 6 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 9,6 mm olarak tespit edilmiştir.

Grafen nanopelet in prototiplere getirdiği avantajları ise prototipe çarpma anındaki giriş penetrasyon genişliği, çıkış penetrasyon genişliği ve darbe yüksekliği ve genişliğinin grafen oranına göre yükseldiği görülmüştür.

AHK serisi prototiplerinde 5,56 x45 merminin ortalama 9 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 10,3 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 10,2 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 20 mm olarak tespit edilmiştir.

Grafen nanopeletin etkilerinin anlaşılması için CH, DH ve EH serilerinde yapılan numuneler ile test sonuçları incelenmiştir. Yukarıda verilen inceleme metodlarına bakılarak grafenin balistik başarımı olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

CH serisi prototiplerinde 5,56 x45 merminin ortalama 10,4 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 10,24 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 10,08 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 21 mm olarak tespit edilmiştir.

DH serisi prototiplerinde 5,56 x45 merminin ortalama 10,24 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 10,44 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile



alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 10,48 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 23 mm olarak tespit edilmiştir.

EH serisi prototiplerinde 5,56 x45 merminin ortalama 10,24 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 10,44 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 10,48 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 23 mm olarak tespit edilmiştir.

SHT serisi prototiplerinde 7,62 x51 merminin ortalama 10,11 mm giriş penetrasyonu ve ortalama 10,31 mm olan çıkış penetrasyonunda görülmüştür. Çıkış sonrası darbe yüksekliği ve darbe genişliği değişimlerinin de hassas ölçümler ile alınmıştır. Darbe yüksekliği ortalama olarak 10,23 mm olarak ve darbe genişliği ortalama 22 mm olarak tespit edilmiştir.

Prototiplerde ilk enerjiyi sönmek için kullanılan doğal seramiklerin yapıya etkileri incelenirken doğal seramiklerin oluşumları sırasında homojen bir dağılım göstermedikleri, oluşum esnasında kristal yapılarının farklılık gösterdikleri anlaşılmıştır. Bu durumlar da göz önüne alınarak seramiklerin etkileri ortalama olarak alınmıştır.

Ryan ve ark.(2016) tarafından kompozit zırh ürünlerinde plaka sertliğinin merminin kırılmasına etki sağladığı ve balistik başarımı olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Karamis ve ark. (2003) çalışmalarında kullanılan metal esaslı ağır plakaların dezavantajları ve doğal seramiklerin homojen dağılım sağlamamış olması sebebiyle bu plakalar yerine daha sert olduğu bilinen B<sub>4</sub>C veya SiC seramikleri ile hem hafif hem daha başarılı prototipler üretmek mümkündür.

Seramiklerin etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesi için prototip üretimlerinde ilk olarak 1 cm kalınlığında seramikler kullanılırken 2 cm kalınlığında seramikler kullanılmıştır. 2 cm kalınlığındaki seramiklerin balistik başarımı olumlu yönde etkilediği test sonuçları ile gözlemlenmiştir.

Seramik sistemi değiştirilerek yapılan SHT serisinde ise ilk olarak bırakılan 1 cm lik seramik arkasına yerleştirilen HDPE kumaş ve ardından yerleştirilen 2.seramiklerin ve ardından yerleştirilen HDPE kumaşlı prototiplerin balistik başarımlarının olumlu yönde artması seramiklerin sistem için önemini tekrar göstermiştir.

Sonuç olarak yapılan çalışmalar göz önüne alındığında performans ve kullanılabilirlik açısından 7.62 HK-33 atış çalışmalarında SHT serisi örnekler en optimum olarak gözükmekte iken 5.56 atış çalışmalarında ise EH serisi numuneler başarılı olarak değerlendirilmektedir. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda mevcut bilgi birikimine ek olarak B<sub>4</sub>C plakalar ile seramik tabanlı yapıları hem incelterek hem de zırh geçirgenliğini arttırmayı hedeflemekteyiz. Öte yandan yüksek yoğunluklu polietilen ve pamuk karışımı kumaşların balistik ve güvenlik amaçlı kullanımları da gösterilmiş olması da bu çalışmanın başlıca önemli katkısı olarak değerlendirilmektedir.



## KAYNAKLAR




- Alsaadia, M., Bulut, M., Erkliđ, A., Jabbar, A., 2018. Nano-silica inclusion effects on mechanical and dynamic behavior of fiber reinforced carbon/Kevlar with epoxy resin hybrid composites. *Composites Part B*, **152**: 169 - 179.
- Bandaru, A. K., Chavan, V. V., Ahmad S., Bhatnagar, N., 2016. Ballistic impact response of Kevlar® reinforced thermoplastic composite armors. *International Journal of Impact Engineering*, **89**; 1 - 13.
- Bandaru, A. K., Chavan V. V., Ahmad S., Bhatnagar N., 2017. Ballistic performance of hybrid thermoplastic composite armors reinforced with Kevlar and basalt fabrics. *Composites Structures*, **97**: 151–65.
- Cheeseman, B.A., Bogetti, T.A., 2003. Ballistic impact into fabric and compliant composite laminates. *Composite Part A*, **61**; 161 - 173.
- Cork, C. R., P. W. Foster. 2007. The ballistic performance of narrow fabrics. *International Journal of Impact Engineering*, **34**: 495 - 508..
- Demir, T., 2008. *Metal ve Katmanlı Zırh Malzemelerin 7,62 mm'lik Zırh Delici Mermiler Karşısında Balistik Başarımlarının İncelenmesi* (yüksek lisans tezi). TOBB ekonomi ve teknoloji üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Findik, F., Tarım, N., 2003. Balistic impact efficiency of polymer composites. *Composite Structures*, **61** : 187 - 192.
- Grafen. 2019. Bükülebilir Telefonlar ve Elektronik Kağıtlar Hayatımıza Girecek. <http://www.karamanca.net/haber/508217/bukulebilir-telefonlar-ve-elektronik-kagitlar-hayatimize-girecek.html>. Erişim tarihi: 06.03.2019.
- Karamis, M. B., Tasmirci, A., ve Nair, F., 2003. Failure and tribological behaviour of the AA5083 and AA6063 composites reinforced by SiC particles under ballistic impact. *Composites Part A*, **34**: 217 - 226.
- Palta, E., Hongbing, F., Weggel, D. C., 2018. Finite element analysis of the Advanced Combat Helmet under various ballistic impacts. *International Journal of Impact Engineering*, **112**: 125 - 143.
- Palta, E., Gutowski, M., Fang, H., 2018. A numerical study of steel and hybrid armor plates under ballistic impacts. *International Journal of Solids and Structures*, **136 - 137**: 279 - 294.
- Ryan, S., Li, H., Edgerton, M., Gallardy, D., Cimpoeu, S.J., 2016. The ballistic performance of an ultra-high hardness armour steel: An experimental investigation. *International Journal of Impact Engineering*, **94** : 60 - 73.
- Sangamesh, K., Ravishankar, S., Kulkarni S. M., 2018. Ballistic Impact Study on Jute-Epoxy and Natural Rubber Sandwich Composites. *Materials Today: Proceedings*, **5** : 6916 - 6923.
- Sarikan, B., 2013. *İşlevsel Derecelendirilmiş Bor Karbür Takviyeli Aa7075 Esaslı Kompozitlerin 7,62 Mm'lik Zırh Delici Mermiler Karşısındaki Balistik Özelliklerinin İncelenmesi*. (yüksek lisans tezi). TOBB Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Serjoui, A., Gour, G., Zhang, X., Idapalapati, S., Tan G.E.B., 2017. On improving ballistic limit of bi-layer ceramic–metal armor. *International Journal of Impact Engineering*, **105** : 64 - 67.
- Tan, V. B.C., Tay, T.E., Teo, W. K., 2005. Strengthening fabric armour with silica colloidal suspensions. *International Journal of Solids and Structures*, **42** : 1561 - 1576.

Yang, Y., Chen, X., 2017. "Investigation on energy absorption efficiency of each layer in ballistic armour panel for applications in hybrid design. *Composite Structures*, **164** : 1 - 9.



## ÖZ GEÇMİŞ

Uğur YAVUZDOĞAN 1989 yılında VAN da doğdu. İlköğretimi Zeve İlköğretim Okulunda, ortaöğretimi İki Nisan İlköğretim Okulu ve Liseyi Milli Piyango Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında girdiği Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Kimya Mühendisliği Anabilimdalı'nda Yüksek Lisans Öğrenimine başladı. 2018 yılında Van'da VISSO Petrol Ürünleri firmasında Üretim Müdürü / Kimya Mühendisi olarak işe başladı. 2019 yılında Kimya Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansını tamamladı.

T.C VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLIK RAPORU	
Tarih: 01/08/2019	
Tez Başlığı / Konusu:	
<p><b>Yarı Pamuk Yarı Poli Etilen Yeni Nesil Kompozit Kumaşların Balistik Özelliklerinin İyileştirilmesi ve Geliştirilmesi</b></p> <p>Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 46 sayfalık kısmına ilişkin, 01/08/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallık raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 4 (dört) dir.</p> <p>Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kabul ve onay sayfası hariç,</li> <li>- Teşekkür hariç,</li> <li>- İçindekiler hariç,</li> <li>- Simge ve kısaltmalar hariç,</li> <li>- Gereç ve yöntemler hariç,</li> <li>- Kaynakça hariç,</li> <li>- Alıntılar hariç,</li> <li>- Tezden çıkan yayınlar hariç,</li> <li>- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)</li> </ul> <p>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallık Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.</p> <p>Gereğini bilgilerinize arz ederim.</p>	
	<p>05/08/2019</p>  <p>Tarih ve İmza</p>
<p>Adı Soyadı: Uğur YAVUZDOĞAN</p> <p>Öğrenci No: 169101071</p> <p>Anabilim Dalı: Kimya Mühendisliği</p> <p>Programı: Tezli Yüksek Lisans</p> <p>Statüsü: Y. Lisans <input checked="" type="checkbox"/> Doktora <input type="checkbox"/></p>	
<p>DANIŞMAN ONAYI UYGUNDUR</p>  <p>Doç. Dr. Süleyman MERT</p>	 <p>ENSTİTÜ ONAYI UYGUNDUR</p>

