

T. C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TABAKALI KOMPOZİT MALZEMELERİN BALİSTİK ZİRH ÖZELLİKLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ

MELTEM KÖLÜK TAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2019

Tezin Başlığı: Tabakalı Kompozit Malzemelerin Balistik Zırh zelliklerinin
Geliştirilmesi

Tezi Hazırlayan: Meltem KÖLÜK TAŞ

Sınav Tarihi: 17/07/2019

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek İnaaat Mühendisliği Ana Bilim
Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri yeleri

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYZ

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN

İnönü Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi şerif TİL

Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Tabakalı Kompozit Malzemelerin Balistik Zırh Özelliklerinin Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.



Meltem KÖLÜK TAŞ

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**TABAKALI KOMPOZİT MALZEMELERİN BALİSTİK ZİRH
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Meltem KÖLÜK TAŞ

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

72 + xii sayfa

2019

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Yaşar AYZAZ

Bu çalışmada çeşitli kompozit malzemelerin balistik zırh malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla ASTM B265 özellikli titanyum levha, CT709 Aramid Fiber Kumaş 200 gr/sgm plain kullanılarak farklı katmanlarda farklı kompozit malzemeler üretilmiştir. Elde edilen balistik malzemelerin 9 mm FMJ mermi karşısında gösterdikleri balistik dayanımları NIJ-STD-0101.06 standardına göre incelenmiştir. Sonuç olarak giyilebilirlik ve taşıma açısından hafif ve balistik açısından da NIJ-STD-0101.06 standardına göre IIA seviyesinde başarılı numuneler üretilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: balistik yelek, kevlar, zırh, kompozit malzeme, aramid, titanyum levha.

ABSTRACT

Msc Thesis

IMPROVEMENT OF BALLISTIC ARMOR PROPERTIES OF LAYERED COMPOSITE MATERIALS

Meltem KÖLÜK TAŞ

Inonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

72 + xii pages

2019

Supervisor: Assit. Prof. Dr. Yaşar AYZ

In this study, the use of various composite materials as ballistic armor materials was investigated. For this purpose different layers of different composite materials were produced by using ASTM B265 titanium sheet and CT709 Aramid Fiber Fabric 200 gr/sgm plain. The ballistic strength of the obtained ballistic materials against 9 mm FMJ bullets was examined according to NIJ-STD-0101.06 standard. As a result, successful samples were produced at the level IIA according to the NIJ-STD-0101.06 standard in terms of wearability and handling and in terms of ballistics.

KEYWORDS: ballistic vest, kevlar fabric, armor, composite material, aramid, titanium plate

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında yardım, öneri ve desteğini esirgmeden beni yönlendiren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYZ' a teşekkürlerimi ve saygılarımı arz ederim.

Tez sürecinde malzeme temini ve deney esnasında desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Cenk YANEN, İnşaat Mühendisi Ömer Faruk BEHÇET ve Makine Mühendisliği öğrencisi kardeşim Tolga Fikri KÖLÜK'e; Atış poligonunu kullanmama izin veren Komiser Erdi KÜÇÜK başta olmak üzere tüm Elazığ Özel Hareket Şube Müdürlüğü personeline; Çalışma sürecinde her an yanımda olan ve her konuda desteğini, yardımlarını esirgemeyen ve çalışmamı sorunsuz bir şekilde bitirmemi sağlayan çok kıymetli eşim Alper TAŞ'a; Ayrıca eğitim hayatım boyunca fedakarlıktan kaçınmayarak bana her konuda destek veren çok kıymetli Ebeveynlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, İÜ-BAP FYL 2016/122 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	3
1.1.1. Matriks Malzemeye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	3
1.1.2. Takviye Ediciye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	4
1.2. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri	4
1.2.1. Elle Yatırma (hand lay-up)	4
1.2.2. Vakum İnfüzyon	5
1.2.3. Pultrüzyon	5
1.2.4. Püskürtme (spray-up).....	6
1.2.5. Filaman Sarma (Filament Winding).....	6
1.2.6. Reçine Transfer	7
1.2.7. Otoklav / Autoclave Bonding	7
1.3. Balistik Kavramı ve Çeşitleri	8
1.3.1. İç Balistik	8
1.3.2. Dış Balistik	8
1.3.3. Hedef Balistiği	9
1.4. Balistik Koruyucu Malzemeler.....	9
1.4.1. Sert Koruyucular.....	10
1.4.2. Yumuşak Koruyucular.....	10
1.5. Silah Terminolojisi	10
1.5.1. Tabancalar	10
1.5.2. Alt-Makineli Tüfekler.....	12
1.5.3. Yivsiz Tüfekler.....	12
1.5.4. Yivli Tüfekler.....	13
1.5.5. Makineli Tüfekler	13

1.6.	Silah - Tabanca Mühimmatı	14
1.7.	Zırh Tasarımında Kullanılan Reçine Malzemeleri	16
1.7.1.	Polyester Reçine Malzemesi	16
1.7.2.	Vinilester Reçine Malzemesi	17
1.7.3.	Epoksi	17
2.	KAYNAK ÖZETLERİ	18
3.	METARYAL ve YÖNTEM	25
3.1.	Deney Malzemeleri ve Özellikleri	25
3.1.1.	Titanyum Levha	25
3.1.2.	Kevlar	27
3.1.3.	Mermi	30
3.2.	Deney Malzemelerin Oluşturulması	31
3.3.	Test Numuneleri	36
3.3.1.	A1 Balistik Test Numunesi	36
3.3.2.	A2 Balistik Test Numunesi	36
3.3.3.	A3 Balistik Test Numunesi	37
3.3.4.	A4 Balistik Test Numunesi	38
3.3.5.	B1 Balistik Test Numunesi	38
3.3.6.	A5 Balistik Test Numunesi	39
3.3.7.	B2 Balistik Test Numunesi	40
3.3.8.	B3 Balistik Test Numunesi	40
3.4.	Poligon Özellikleri	42
3.5.	Kullanılan Standartlar	44
3.6.	Deney Aşaması	47
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI	48
4.1.	A1 Balistik Test Numunesi	48
4.2.	A2 Balistik Test Numunesi	49
4.3.	A3 Balistik Test Numunesi	51
4.4.	A4 Balistik Test Numunesi	53
4.5.	B1 Balistik Test Numunesi	54
4.6.	A5 Balistik Test Numunesi	56
4.7.	B2 Balistik Test Numunesi	58
4.8.	B3 Balistik Test Numunesi	60
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	64

6.	KAYNAKLAR	67
	ÖZGEÇMİŞ	72



SİMGELER VE KISALTMALAR

E_k	Mermi Kinetik Enerjisi
FMJ	Full Metal Jacket (Tam Metal Kaplama)
m	Mermi Kütlesi
NIJ	National Institute Of Justice (Uluslararası Şartname Enstitüsü)
Ti	Titanyum
V_{Mermi}	Merminin Çarpma Anındaki Hızı



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	19. Yüzyılda Kullanılan Miğferlerden Örnekler.....	1
Şekil 1.2.	Moğol Zırhı (13. Yüzyıl)	1
Şekil 1.3.	Titanyum Levha.....	2
Şekil 1.4.	Kevlar Kumaş	2
Şekil 1.5.	Polietilen Kumaş.....	2
Şekil 1.6.	Elle Yatırma Yöntemi.....	4
Şekil 1.7.	Vakum İnfüzyon Yöntemi	5
Şekil 1.8.	Pultrüzyon Yöntemi.....	5
Şekil 1.9.	Püskürtme (spray-up).....	6
Şekil 1.10.	Filaman Sarma Yöntemi	6
Şekil 1.11.	Reçine Transfer Yöntemi.....	7
Şekil 1.12.	Otoklav Cihazı.....	7
Şekil 1.13.	Yarı Otomatik Tabanca.....	11
Şekil 1.14.	Toplu Tabanca Şematik Gösterimi	11
Şekil 1.15.	Alt Makineli Tüfekler	12
Şekil 1.16.	Yivsiz Tüfek	13
Şekil 1.17.	Yivli Av Tüfeği.....	13
Şekil 1.18.	Makineli Tüfek	14
Şekil 1.19.	Fişegi Meydana Getiren Parçalar.....	14
Şekil 1.20.	Çekirdek.....	15
Şekil 1.21.	Mermi Çeşitleri.....	16
Şekil 3.1.	Titanyum Levha.....	25
Şekil 3.2.	Kevlar Kumaş Dokusu.....	28
Şekil 3.3.	Elektronik Makasla Kesilmiş ve Overlok Yapılmış Kevlar Kumaş	28
Şekil 3.4.	9 mm Mermi	30
Şekil 3.5.	Atış Sırasında Kullanılan 9 mm'lik Mermi	30
Şekil 3.6.	Kevlar Rulosu ve Elektronik Makas	31
Şekil 3.7.	Kevlar Overlok ve Dikim İşlemleri	31
Şekil 3.8.	Kevlar Kumaşların Birleştirilmesi ve Hazırlanması	32
Şekil 3.9.	20'lik ve 40'lık Kevlar Kumaşlar	32
Şekil 3.10.	Vakum İnfüzyon Yöntemi	33
Şekil 3.11.	Vakum İnfüzyon Yöntemi Malzemeleri	34
Şekil 3.12.	Oluşturulan Bazı Kompozitler ve Levhalar	35

Şekil 3.13.	Titanyum Levha ile Oluşturulan Kompozit Malzeme	35
Şekil 3.14.	Titanyum Levha ve Kevlar Kompozit Numunesi	36
Şekil 3.15.	A1 ve A2 Numuneleri	37
Şekil 3.16.	Atış Öncesi A3 Numunesi	37
Şekil 3.17.	A1, A2, A3, A4, B1 Numuneleri	38
Şekil 3.18.	B1 Numunesi	39
Şekil 3.19.	A5 Numunesi	39
Şekil 3.20.	B2 Numunesi	40
Şekil 3.21.	Atış Öncesi B3 Numunesi	41
Şekil 3.22.	Balistik Deneyin Şematik Olarak Görünümü	42
Şekil 3.23.	Chrony F1 Kronograf	42
Şekil 3.24.	Test Düzeneği	47
Şekil 3.25.	Yerleştirilen Macun	47
Şekil 4.1.	A1 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü	48
Şekil 4.2.	A1 Numunesinin Çöküntü Değeri- Mermi Hızı Grafik Gösterimi	49
Şekil 4.3.	A2 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü	50
Şekil 4.4.	A2 Numunesinin Çöküntü Değeri- Mermi Hızı Grafik Gösterimi	51
Şekil 4.5.	A3 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü	52
Şekil 4.6.	A3 Numunesinin Çöküntü Değeri- Mermi Hızı Grafik Gösterimi	53
Şekil 4.7.	A4 Numunesinin Atış Sonrası Ön Görünümü	53
Şekil 4.8.	A4 Numunesinin Çöküntü Değeri- Mermi Hızı Grafik Gösterimi	54
Şekil 4.9.	B1 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü	55
Şekil 4.10.	B1 Numunesinin Çöküntü Değeri- Mermi Hızı Grafik Gösterimi	56
Şekil 4.11.	A5 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü	57
Şekil 4.12.	A5 Numunesinin Çöküntü Değeri- Mermi Hızı Grafik Gösterimi	58
Şekil 4.13.	B2 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Macun Görünümü	58
Şekil 4.14.	B2 Numunesinin Çöküntü Değeri- Mermi Hızı Grafik Gösterimi	59
Şekil 4.15.	B3 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü	60
Şekil 4.16.	B3 Numunesinin Çöküntü Değeri- Mermi Hızı Grafik Gösterimi	61
Şekil 4.17.	Numunelerin Ortalama Çöküntü Değeri Grafik Gösterimi	61
Şekil 4.18.	Atış Öncesi ve Sonrası Mermi Görüntüsü	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	MKEK’de Bulunan Fişekler	15
Çizelge 1.2.	Zırh Tasarımında Kullanılan Reçinelerin Karşılaştırılması	17
Çizelge 3.1.	Titanyum Levha Mekanik Özellikleri.....	25
Çizelge 3.2.	Marmara Titanyum Metal San. Tic. Ltd. Şti. Ürün Sertifikası	26
Çizelge 3.3.	Kevlar Kumaşın Mekanik Özellikleri.....	27
Çizelge 3.4.	Dost Kimya End. Ham. San. Ve Tic. Ltd. Şti. Ürün Sertifikası	29
Çizelge 3.5.	9 mm Mermi Özellikleri	30
Çizelge 3.6.	Laminasyon Reçinesi MGS L160 Özellikleri.....	34
Çizelge 3.7.	Laminasyon Sertleştirici MGS H160 Özellikleri.....	34
Çizelge 3.8.	Sertleştirici H160- Reçine L160 Karım Oranı.....	34
Çizelge 3.9.	Balistik Test Numuneleri ve Özellikleri	41
Çizelge 3.10.	Balistik Deneylerde Kullanılan Standartlar	44
Çizelge 3.11.	NIJ-STD-0101.06 Standardı Balistik Koruma Seviyesi.....	46
Çizelge 4.1.	A1 Numunesinin Atış Sonuçları	49
Çizelge 4.2.	A2 Numunesinin Atış Sonuçları	50
Çizelge 4.3.	A3 Numunesinin Atış Sonuçları	52
Çizelge 4.4.	A4 Numunesinin Atış Sonuçları	54
Çizelge 4.5.	B1 Numunesinin Atış Sonuçları	55
Çizelge 4.6.	A5 Numunesinin Atış Sonuçları	57
Çizelge 4.7.	B2 Numunesinin Atış Sonuçları	59
Çizelge 4.8.	B3 Numunesinin Atış Sonuçları	60
Çizelge 4.9.	Numunelerin Enerji Sönümlenme Değeri.....	62

1. GİRİŞ

Koruyucu Zırh her millet tarafından kullanılmıştır. İlk zırh yapımında metalin yanı sıra hayvan derisi, ağaç, Hindistan cevizi lifi gibi birçok malzeme kullanılmıştır.

İlk yumuşak balistik koruyucu zırh Kore’de 1860 yıllarında bulunmuştur. Arizona ve Illinois’de bulunan araştırmacılar 19. yüzyıl sonlarında kara barut cinsi silahtan ateş edilen mermiyi durdurabilen ipekten üretilen kurşun geçirmeyen zırh kullanmıştır (Henderson 2008).



Şekil 1.1. 19. Yüzyılda Kullanılan Miğferlerden Örnekler (Anonymous 2011)



Şekil 1.2. Moğol Zırhı (13. Yüzyıl) (Anonymous 2011)

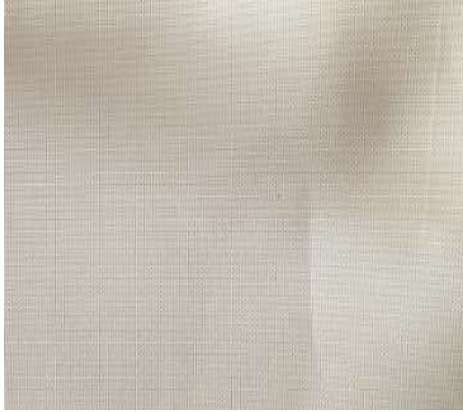
1970 yıllarında balistik zırh üretimindeki en büyük gelişme kevlerden üretilen yelekler olmuştur. Ulusal Adalet Enstitüsü (NIJ) tarafından kevlar kullanılarak üretilen zırhın belli bir hızla gelen merminin enerjisini absorbe etmesi incelenmiştir. Deney çalışmasına göre kevların merminin girişine engel olabilse de merminin

yarattığı basınçla insan vücudunun hayati organlarına zarar verebileceğine kanaat getirilmiştir (Muszynski 2014).

İlerleyen silah teknolojisiyle beraber savunma zırh sistemleri de gelişim göstermiştir. Titanyum ve alüminyum en çok kullanılan metal korunma zırh malzemeleridir. Polietilen, Aramid ve S2 Cam balistik zırh yapımında kullanılan kompozit malzemelerdir. Titanyum ve alüminyumun oldukça yüksek sertlik değerlerinden yararlanılırken polietilen, aramid, s2 cam kompozit malzemelerinin de hafif tasarım olmasından yararlanılır (Özşahin ve Tolun 2011).



Şekil 1.3. Titanyum Levha



Şekil 1.4. Kevlar Kumaş



Şekil 1.5. Polietilen Kumaş

Balistik koruyucu zırların dayanımına etki eden bir çok parametre mevcuttur. Farklı katmanlı zırh oluşu, katman sayısının fazla ya da az olması gibi özellikler dayanımın artmasına ya da azalmasına etki etmektedir. Balistik atış sırasında, merminin özelliği de önemli yere sahiptir. Bu çalışmada vakum infüzyon yönteminin kompozitteki etkisi, tabaka sayısı, hangi tür tabaka kullanıldığı gibi parametreler göz önünde tutularak çeşitli tabaka sayılı kompozit numunelerin 9 mm FMJ mermi karşısındaki balistik dayanımları incelenmiş ve en iyi dayanımı sağlayan ürün tespit edilmiştir.

1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzeme iki veya daha fazla malzemelerin en iyi performans gösterdikleri özelliklerini bir araya getirerek yeni bir ürün oluşturmak amacıyla malzemelerin makro seviyede bir araya getirilmesiyle oluşan malzemelerdir. Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün malzemeler elde etmek amaçlanır (Şahin 2000).

Kompozit malzemeler birden fazla aynı katman kullanılarak veya birbirinden farklı katmanların birleştirilmesiyle elde edilebilirler. Kompozitler yapısındaki matriks ve takviye malzemelere göre aşağıdaki gibi 2 gruba ayrılır: (Anonymous 20/06/2019)

1.1.1. Matriks Malzemeye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

- Metal matriksli kompozit malzemeler; metallerin matriks malzemesi olarak kullanılması ince elyafların üretilmesiyle gerçekleşmiştir. Kompozitin tokluğunu önemli ölçüde artırır. Üretimi zor ve maliyeti yüksektir. Metal matriks malzemesi olarak en çok kullanılan metaller bakır, alüminyum, titanyum, nikel ve gümüştür.
- Seramik matriksli kompozit malzemeler; seramik matriksli kompozitler takviye elemanına göre partiküllü, sürekli fiberli, süreksiz fiberli olmak üzere 3 gruba ayrılır. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı fazla ve Gevrektiler.
- Polimer matriksli kompozit malzemeler; Fiber takviyeli kompozit malzeme üretiminde çoğunlukla kullanılan matriks çeşididir. Termoset ve termoplastik olmak üzere iki gruba ayrılır.

1.1.2. Takviye Ediciye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

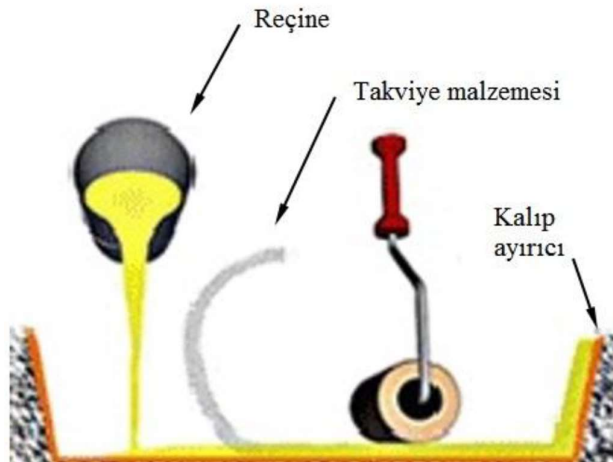
- Fiber takviyeli kompozit malzemeler; fiberler uygulanan yükün büyük bir kısmını taşırlar. Matriks malzeme ise yükün fiberlere transferisi sağlamaktadır. Fiberler araştırmalar sonucu geliştirilmiş ve üstün mekanik özelliklere sahip hale gelmiştir.
- Parçacıklı kompozit malzemeler; matriks malzeme içerisinde başka bir malzemenin parçacıklı halde bulunması ile oluşurlar. Parçacığın sertliği malzeme mukavemetini etkiler.
- Tabakalı kompozit malzemeler; iki veya daha fazla levha malzemesinin bir araya getirilmesiyle oluşurlar.
- Karma (Hibrit) kompozit malzemeler; ikiden fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan kompozit malzemelere verilen isimdir.

1.2. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

İstenilen kompozit malzemelerin üretimi için birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıdadır (Yanen ,2006).

1.2.1. Elle Yatırma (hand lay-up)

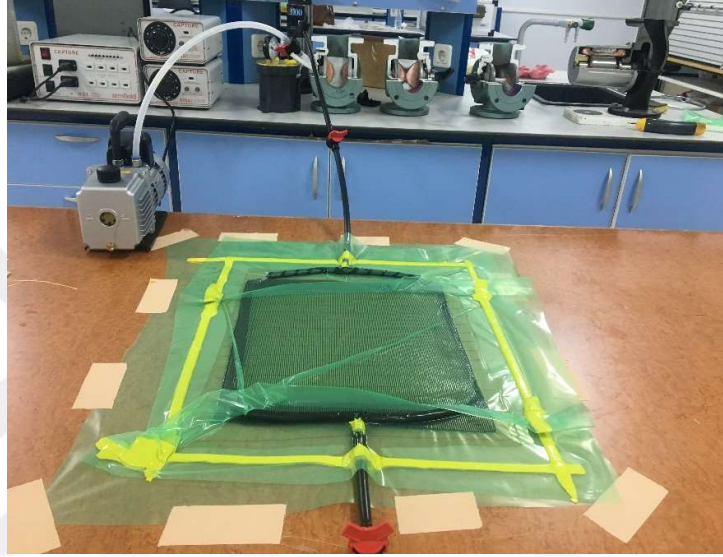
Elyafıara reçinenin emdirilmesiyle altındaki kalıbın şeklini alması olayıdır. Bu işlem sırasında kalıp ayracı kullanılır.



şekil 1.6. Elle Yatırma Yöntemi (Yanen, 2016)

1.2.2. Vakum İnfüzyon

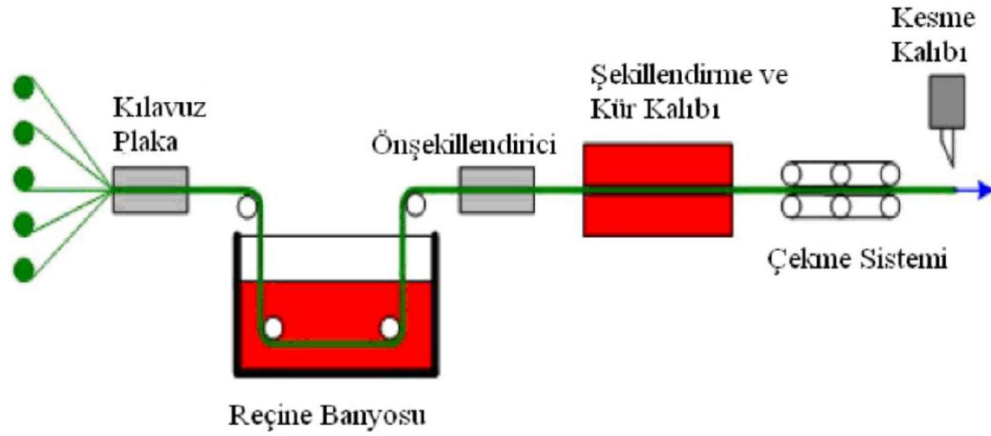
Hazırlanmış numunenin vakumlanmış ortamda reçinenin ilerlemesi, tüm yüzeye eşit miktarda yayılması prensibiyle çalışan yöntemdir.



Şekil 1.7. Vakum İnfüzyon Yöntemi

1.2.3. Pultrüzyon

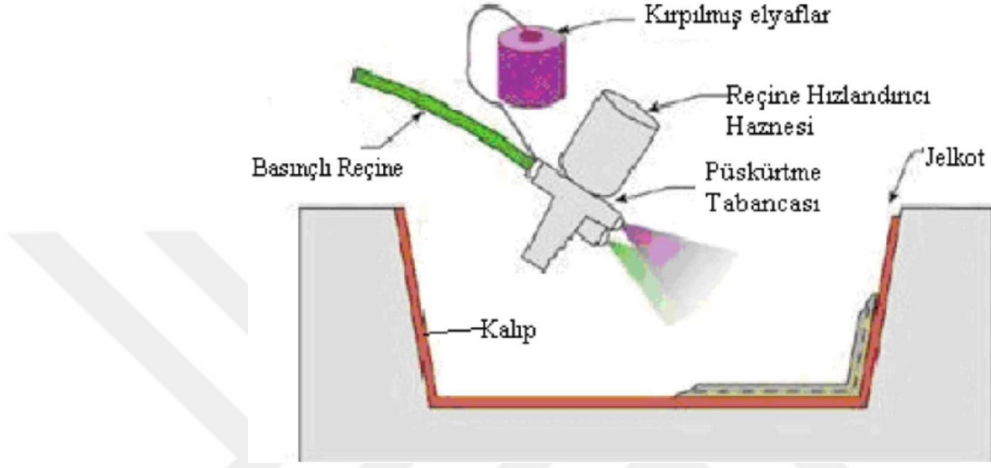
Üniform kesit alanında takviye edilmiş malzemenin sürekli olarak üretilmesi yöntemidir.



Şekil 1.8. Pultrüzyon Yöntemi (Yanen, 2016)

1.2.4. Püskürtme (spray-up)

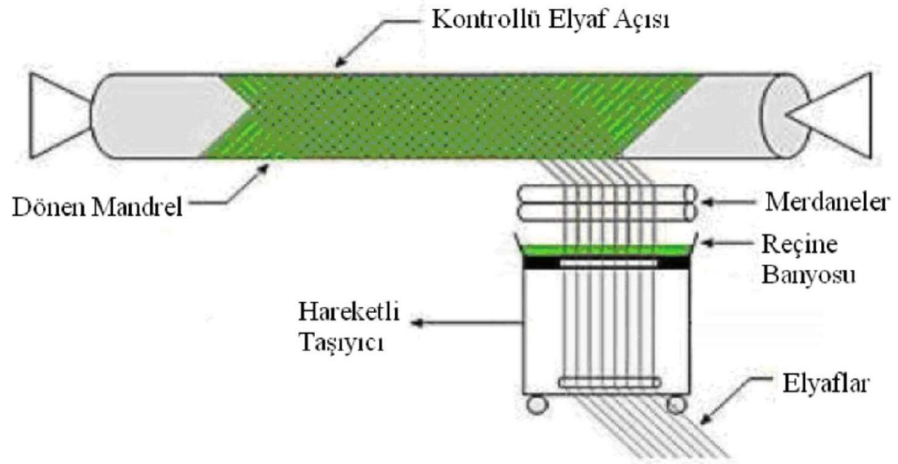
Bu yöntemde reçine ve kırılmış elyaflar kalıp içine ya da dışına düzgün bir şekilde püskürtülür. Bu işlem için özel aparat kullanılır.



Şekil 1.9. Püskürtme Yöntemi (Arıcasoy, 2006)

1.2.5. Filaman Sarma (Filament Winding)

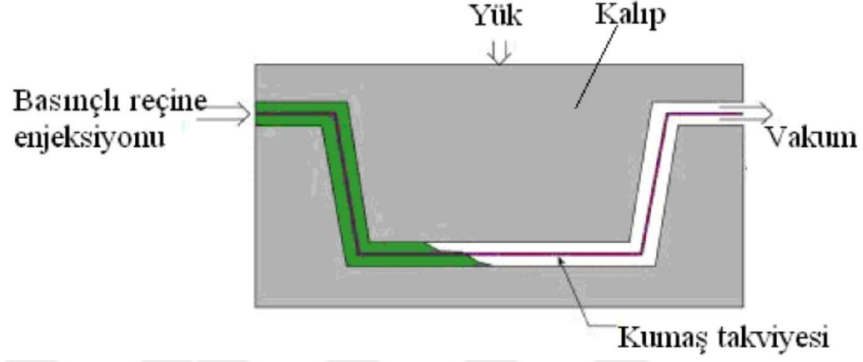
Bu yöntem özel şekle sahip ürünlerin seri olarak üretiminde kullanılmaktadır. Belirli şablonlarda dönen mil üzerine reçine emdirilmiş elyafların sarılması olayıdır.



Şekil 1.10. Filaman Sarma Yöntemi (Yanen, 2016)

1.2.6. Reçine Transfer

Sürekli elyaf takviyeli kompozitlerin üretiminde kullanılan sıvı kompozit kalıplama yöntemidir.



Şekil 1.11. Reçine Transfer Yöntemi (Yanen, 2016)

1.2.7. Otoklav / Autoclave Bonding

Vakum infüzyon yönteminin farklı bir şeklidir. Bu yöntemle yoğun ve boşluksuz kalıplama yapılmaktadır. Sebebi ise kurlenme için yüksek sıcaklık ve basınç kullanılıyor olmasıdır.



Şekil 1.12. Otoklav Cihazı (Yanen, 2016)

1.3. Balistik Kavramı ve Çeşitleri

Balistik, merminin hareketini inceleyen bilim dalıdır ve kendi içinde iç balistik, dış balistik ve hedef balistiği olarak üç çalışma alanı vardır (Alper ve Çoruhlu, 2006).

1.3.1. İç Balistik

Barutun yanmaya başlamasından merminin namludan ayrılmasına kadar geçen zaman aralığı içerisinde meydana gelen olayları inceler. Yani merminin ilk hareketini, barutun ateşlenmesini, barutun ateşlenmesinden dolayı oluşan basıncı, namlu çıkışına kadar mermi hızını, namlu içerisinde meydana gelen olayları vb. inceler. Temel amaç sevk barutu bünyesindeki kimyasal enerjinin mermide kinetik enerjiye dönüşmesi olayıdır (Carlucci ve Jacobson, 2008).

Bir silahın kusursuz çalışması mermi hızını etkilemektedir. Silahın fişek yatağında ateş etmeden dolayı aşınma ve korezyon meydana gelir. Fazla miktarda aşınma olması silahın mermiyi döndürme yeteneğini kaybetmesine sebep olur. Ayrıca aşınarak kopan parçalar pürüzlü bir yüzey oluşturur ve namlu iç basıncını ve aynı zamanda mermi hızını düşürür (Hayes,1938).

Silahta meydana gelen korezyon ise silahın nemli yerde bulundurulması, silahın bakımlarının yapılmamasından ve namlunun temizlenmemesinden meydana gelir (İrfan ve Alptekin, 2006).

1.3.2. Dış Balistik

Merminin namludan çıktıktan sonra uçuşu sırasındaki hareketi inceler (Hayes, 1938). Mermi dinamiği, mermi uçuş dengesi, mermi uçuş yörüngesi, merminin havada uçuş süresi, merminin hedefe çarpma noktası, çarpma hızı ve çarpma açısı konularını inceler.

Dış balistiğe etki eden parametreler:

- Merminin namludan çıkarkenki ilk hızı,
- Atış açısı,

- Mermi özellikleri,
- Atışın yapılacağı ortam koşullarıdır (İrfan ve Alptekin, 2006; Carlucci ve Jacobson, 2008).

1.3.3. Hedef Balistiği

Merminin atış yapılan hedef üzerindeki etkilerini ve hedefte meydana gelen bütün olayları inceler. Hedefe uygulanan etkiye mekaniği, zırh arkasında meydana gelen değişimler, saçılan parça boyutları ve şekilleri, toplu ölümcül durumlar, yüksek basınçtaki patlamalar, ölümcül olmayan etkiler ve canlı dokuları üzerindeki etkiler şeklinde bir kapsamı vardır (Carlucci ve Jacobson, 2008).

Merminin hedefe saplanma durumuna 'penetrasyon' (nüfuz etme) denir. Çarpışma esnasında mermi hedefe üç şekilde nüfuz edebilir:

- Delinme: Mermi hedefin içerisinden çıktıktan sonra eğer hızı varsa delinme gerçekleşmiştir.
- Sekme: Mermi hedefe çarptıktan sonra yön değiştirmişse sekme durumu gerçekleşmiştir.
- Saplanma: Mermi hedef ile temas halinde ve içerisinden geçememiş görünür vaziyetteyse saplanma durumu olmuştur (Borvik, 2001). Hedefte oluşan bozulmalar; malzeme özelliği, merminin çarpma hızı, mermi burun şekli, mermi yörüngesi ve hedefin göreceli boyutları gibi çeşitli parametrelere bağlıdır (Zukas, 1982).

1.4. Balistik Koruyucu Malzemeler

Balistik koruyucu malzemeler bazen koruyucu yelekte olduğu gibi hareketi kısıtlamayan yapıda olmalı bazen de zırh araçlarında bulunan koruyucu malzemeler gibi sert yapıda olmalıdır.

Balistik malzemeler sert koyucu balistik malzeme ve yumuşak koruyucu balistik malzeme olmak üzere ikiye ayrılır (Temiz,2005).

1.4.1. Sert Koruyucular

Seramik ve metalden meydana gelen balistik koruyucu malzemelerdir. Bu malzemelere ek olarak yumuşak koruyucu malzemeler çeşitli işlemlerden geçirilerek sert koruyucu hale getirilerek kullanılır (Yavaş, 2009).

1.4.2. Yumuşak Koruyucular

Gelişen teknolojiyle birlikte polimer esaslı ürünlerden lif çekilerek kumaş ve kumaş benzeri ürünler elde edilmiş ve balistik amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde poliamid, aramid, poli-p-fenilenbenzobisoksazol ve polietilen liflerinden elde edilen kumaşlar üst üste konularak, reçineyle, dikim teknikleriyle veya ısı işlemleriyle bir araya getirilerek kompozit yapı oluşturulur (Yavaş, 2009).

1.5. Silah Terminolojisi

Mekanik bir kuvvetle içerisindeki mermiyi istenilen hedefe ulaştıran malzemeye silah denir. Günümüzdeki ateşli silahlar savunma veya saldırma amacıyla kullanılır. Merminin verdiği zarar merminin şekli, çapı ve hızına göre değişiklik gösterebilir. Örnek olarak 22 kalibre bir mermi insan kafasına çarpınca sıyrıp geçerken 50 kalibre mermi insan kafasını bölebilir. Ayrıca vücuda giren mermi, çapına, hızına göre vücutta tüm organların felç olmasına sebep olan şok yaratabilir. Ateşli silahlar günümüzde genel olarak beşe ayrılıyor. Tabancalar, alt-makineli tüfekler, yivsiz tüfekler, yivli tüfekler ve makineli tüfekler (Anonymous 12/06/2019).

1.5.1. Tabancalar

Savunma amacıyla kullanılan genelde metalden yapılan küçük boyutlardaki hafif silahlara tabanca denir. Günümüzde tabancaların daha hafif olması için belli kısımlarında polimer kullanılmaktadır.

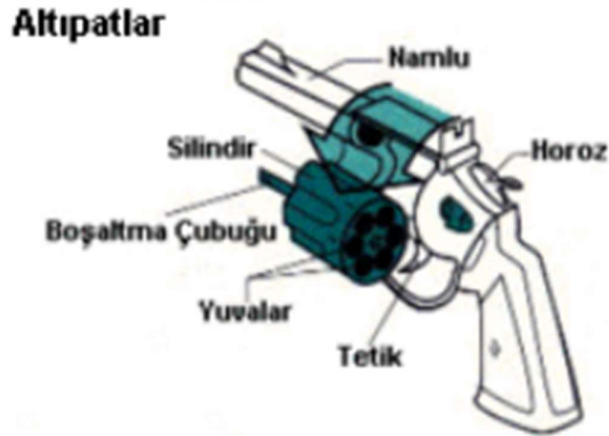
Yarı otomotik tabancalar: En büyük avantajı boş kovana atması, horozu kaldırması, yeni merminin içeri girişini sağlamak için patlayan fişegin geri tepme gücünü kullanması ve birden fazla atışın hızlı yapılmasına fayda sağlıyor olmasıdır.

Yarı otomatikler sadece bir adet yuvaya sahiptir ve mermiler kabzada bulunan şarjördedir. Şarjör 15 veya daha fazla mermiyi alabilme kapasitesine sahiptir. Ayrıca şarjör boşaldığında yeni bir tanesini yerleştirmek kısa sürer. Bu tarz tabancalarda emniyet sistemi de bulunmaktadır. (Anonymous 12/06/2019).



Şekil 1.13. Yarı Otomatik Tabanca (Anonymous 12/06/2019)

Toplu tabancalar: Yarı otomatiklerle kıyasla daha ucuz ve daha emniyetlidirler. Yeni başlayan biri için kullanımı daha kolaydır. İsbet oranları daha yüksektir. Fakat az mermi alması (5-8 arası ama genelde 6) ve mermi yerleştirmesinin uzun sürmesi dezavantajdır. Tetiği çekmek için ise daha fazla kuvvet gereklidir (Anonymous 12/06/2019).



Şekil 1.14. Toplu Tabanca Şematik Gösterimi (Anonymous 12/06/2019)

1.5.2. Alt-Makineli Tüfekler

Alt-makineli tüfek tabanca mermisi atan, isabet oranı uzun mesafede tabancalara göre çok yüksek olmayan ve şarjörle beslenen tam otomatik silahtır. Alt makineli tüfekler genelde 25-30 arası mermi alır ve menzili 50-150 metre arasındadır. Dakikada atım sayısı 600-1000 arası değişir. Bu silahlar uzun mesafede etkisiz olsa da kısa mesafede harap edici bir ateş gücüne sahipler. Günümüzde operasyonlarda kullanılmaktadır. Ayrıca tek kabzalı olan alt-makineli tüfeklere makineli tabanca denmektedir (Anonymous 12/06/2019).



Şekil 1.15. Alt Makineli Tüfekler (Anonymous 12/06/2019)

1.5.3. Yivsiz Tüfekler

Yivsiz tüfekler, yivli tüfeklere benzer bir görünüme sahiptir. Yivli tüfekle arasındaki fark namlusudur. Yivsiz tüfekler büyük saçmaları, ufak saçmaları ve tek bir çekirdeği atabilir. Saçma atışlarının menzili ortalama 40-100 metre arasında etkili olabilir. Yivsiz tüfekler namlu çaplarına göre sınıflandırılır. Günümüzde sık kullanılan çaplar ise 10, 12, 16, 20 ve 28'dir. Yivsiz tüfekler aksiyonlarına göre yarı-otomatik, pompalı ve kırmalı olmak üzere üçe ayrılırlar. Saçmalar atıştan sonra etrafa dağıldığı için yüksek bir isabet oranına ihtiyaç duyulmaz (Anonymous 12/06/2019).



Şekil 1.16. Yivsiz Tüfek (Anonymous 12/06/2019)

1.5.4. Yivli Tüfekler

Yivli tüfekler tabancalar gibi yivli namluludur fakat tabancaya göre daha uzun namluya sahiptir ve bu yüzden kullanışlıdır. İsabet oranı tabancaya göre iyidir ve çok daha güçlü fişekleri atabilir. Yivli av tüfekleri ortalama 2-8 arası mermi alanına sahip şarjörlerle beslenirler (Anonymous 12/06/2019).



Şekil 1.17. Yivli Av Tüfeği (Anonymous 12/06/2019)

1.5.5. Makineli Tüfekler

Makineli tüfek ABD’li Hiram Maxim tarafından 1883 yılında icat edildi. Makineli tüfekler ilk defa 1899-1902 Güney Afrika ve 1904-1905 Japon-Rus Savaşlarında kullanıldı. Geniş çapta kullanımı 1. Dünya Savaşı’nda oldu. Fakat o dönem makineli tüfekler çoğunlukla sorun çıkarıyor ve aşırı ısınma meydana geliyordu. İlerleyen zamanlarda bu sorunlar çözüldü ve bugünkü uzun süre durmadan atış yapabilen ve ısınca birkaç saniyede değıştirilebilen namluya sahip makineli tüfekler elde edildi (Anonymous 12/06/2019).

Makineli tüfek, monte yapılarak veya taşınarak kullanılan ve genellikle tüfek mermisi ya da daha güçlü mermilerle kullanılan silahtır. En fazla 30 mermi alırlar ve çok kısa süreli atışa izin verirler. Bir makineli tüfek aralıksız yüzlerce, binlerce mermi atabilir (Anonymous 12/06/2019).

Makineli tüfekler 4'e ayrılır: (Anonymous 12/06/2019)

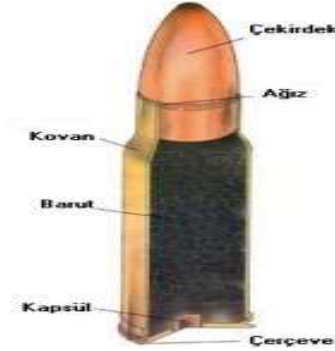
- Hafif Makineli Tüfekler
- Genel Amaçlı Makineli Tüfekler
- Orta Makineli Tüfekler
- Ağır Makineli Tüfekler



Şekil 1.18. Makineli Tüfek (Anonymous 10/06/2019)

1.6. Silah - Tabanca Mühimmatı

Fişek : Tüm maddeler üzerinde tahribat yapan, ateşli silahlarda kullanılan barut, kovan, çekirdek ve kapsülden meydana gelen bütündür (Anonymous03/06/2019).



Şekil 1.19. Fişegi Meydana Getiren Parçalar (Anonymous 12/06/2019)

Çizelge 1.1. MKEK’ da Bulunan Fişekler

FİŞEKLER İSİMLERİ	FİŞEK BOYU	FİŞEK AĞIRLIĞI	MERMİ AĞIRLIĞI	HIZ
7,62 mmx51 (M80) NORMAL FİŞEK	71,12 mm	~ 24,5 g	9,65 – 0,20 g	838 ± 9,1 m/s (23,7 m'de)
9 mmx19 PARABELLUM TABANCA FİŞEĞİ	29,69 – 0,3 mm	~12,15 g	8 ± 0,075 g	370± 10 m/s (16 m'de)
9,65 MM (.38 CAL) NORMAL TABANCA FİŞİĞİ	30,6 + 1 mm	~15,7 g	11,5 ± 0,1 g	180 ± 10 m/s (10 m'de)
12,7 mmx99 (.50 cal) (M17) FİŞEK	138,43 mm	~ 114 g	41,7 g	872 ± 12 m/s (23,7 m'de)
20 MM x 110 HEI (MKE MOD 1102) HARP BAŞLIKLİ FİŞEK	max. 178 mm	~ 220 g	....	945 ± 15,24 m/s (23,7 m'de)

Çekirdek (Mermi): Ateşlemeden sonra namluyu terk eden kısımdır.



Şekil 1.20. Çekirdek (Şen, 2013)

Barut: Ateşli silahlarda, yanma ile oluşan gazların itme gücüyle merminin veya herhangi bir aracın fırlatılmasını sağlayan yanıcı katı maddeye barut denir (Anonymous13/06/2019).

Kovan: Mermide çekirdek, barut, ve kapsülü bir arada tutan kısımdır (Anonymous13/06/2019).

Merminin atış yapılan hedef üzerindeki etkisi;

- Merminin kütesine
- Mermi enerjisine
- Merminin hedefe vuruş açısına
- Zırh malzemesinin metalurjik yapısına bağlıdır (Candan ve Akdemir, 2004).

m : Mermi kütesi

V_{mermi} : Merminin çarpma anındaki hızı

E_k : Mermi kinetik enerjisi

$E_k = \frac{1}{2}mV^2$ şeklinde bulunur.



Şekil 1.21. Mermi Çeşitleri

1.7. Zırh Tasarımında Kullanılan Reçine Malzemeleri

Zırh tasarımında kullanılan reçine malzemelerinin amacı birden fazla katmanla oluşturulacak balistik zırhlarda zırhın tam bir bütün halde çalışmasını sağlayarak kompozit ürün elde edilmesidir.

Zırh tasarımında kullanılan polyester reçine, vinil ester, epoksi olmak üzere 3 tip reçine malzemesi vardır. Bu reçinelerin özellikleri aşağıdaki gibidir: (Cavallaro, 2011)

1.7.1. Polyester Reçine Malzemesi

Polyester reçineler kompozit tabaka üretiminin lokomotifidir. Kullanılan reçinelerin yaklaşık %75'ini temsil ederler. Polyester reçine üretimi için bir glikol, bir doymamış dibazik asit, bir doymuş dibazik asit, bir reaktif manomer ve ambalajlama sırasında polyesterin jelleşmesini önlemek amacıyla inhibitör kullanılmaktadır (Anonymous 15/06/2019).

Polyester reçine malzemesinin kullanımının avantajları düşük maliyetli olması, kolay işlenebilir olması, iyi kimyasal direnci, iyi nem direnci, hızlı ve oda sıcaklığında kürlenebilmesidir. Dezavantajları ise alev alabilmesi ve yanma sırasında zehirli duman salınımı yapmasıdır (Cavallaro, 2011).

1.7.2. Vinilester Reçine Malzemesi

Vinilester reçineler, epoksi reçinelerin avantajlarına ek olarak doymamış polyester reçinelere özgü kolay işlenme ve hızlı sertleşme özelliklerini birleştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Epoksi reçineye ek olarak akrilik veya meta akrilik asidin reaksiyona sokulmasıyla oluşan reçine malzemedir (Anonymous 15/06/2019).

Vinilester reçine malzemesinin avantajları düşük maliyeti, kolay işlenebilirliği, düşük viskozite, iyi mekanik özellikler ve nem direncidir. Dezavantajları ise alev alması ve yanma sırasında duman salınımıdır (Cavallaro, 2011).

1.7.3. Epoksi

Epoksi reçineler kompozit malzeme üretiminde en çok kullanıma sahip reçinelerden biridir. Epoksiler çoğunlukla çevresel bozulmaya karşı gösterdiği direnç açısından birçok reçineye göre üstün özellik gösterdiklerinden, havacılık sanayinde genellikle tercih edilmektedir. Genellikle kahverengi veya koyu sarı rengi olan epoksi reçineler avantajlı özelliklere sahiptir. Epoksi reçineler 5° ile 150° arasındaki sıcaklıklarda kolay ve hızlı olarak kür edilebilmektedir (Yavaş, 2016).

Epoksi reçine malzemesinin avantajları diğer reçine malzemelerine göre mükemmel özellik göstermesi, iyi kimyasal direnç, iyi ısı direnci, iyi yapışma özelliği, iyi nem direnci ve iyi kırılma tokluğudur. Dezavantajları ise yüksek maliyetli olması ve iyi mekanik özellikleri sağlayabilmesi için yüksek kürlenme sıcaklıklarına ihtiyaç duymasındır (Cavallaro, 2011).

Çizelge 1.2. Zırh Tasarımında Kullanılan Reçinelerin Karşılaştırılması (Bulut 2003)

Malzeme	Yoğunluk(gr/cm ³)	Kopma Uzaması (%)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)
Epoksi	1.11-1.25	3--7	7,00	70-95
Polyester	1.04-1.46	42	3,40	41-90
Fenolik Reçine	1.24-1.32	1.5--2	4,80	34-62

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde balistik zırh yapımında kullanılan malzemeler ve sonuçları anlatılarak çalışmalar özetlenmiştir.

Yavaş (2009), çalışmasında farklı kompozit malzemeleri birleştirerek 9 mm Full Metal Jacket (FMJ) ve 7,62 mm Normal NATO mermileri karşısında uluslar arası standartlardan NIJ STD 0101-04 , STANAG 2920 ışığında atışlar yapmış ve sonuçları değerlendirmiştir. Yaptığı deney sonucuna göre yoğunluğu 1.44 g/cm^3 ve metrekare ağırlığı 210 g/m^2 40 tabaka Kevlar49 (30cmx30cm: 1970 gr) dan oluşan Kompozit malzemesinde III-A koruma seviyesinde yapılan atışlarda olumlu sonuçlar almıştır.

Özşahin ve Tolun (2011), yaptıkları çalışmalarında 250x250 mm ölçülerinde ve 8.00 mm kalınlığındaki polietilen destekli 250x250 mm ölçülerinde ve 4.00 mm kalınlığındaki AA 7075 T651 levhalarda katman sıralamasının sonuçlara yansımaları 9.00 mm çapında ve 19.00 mm uzunluğunda, FMJ cinsi mermiler kullanılarak gerçekleştirdiği deneylerle incelenmiştir. Mermi hızlarının ölçümü için Oehler Research Model 55 hız ölçer kullanılmıştır. Bu deneye göre polietilen destek katman olmaması durumunda AA 7075 T651 levhası tek başına yeterli olmamakta ve delinme gerçekleşmektedir. Üç farklı katman yaparak tekrar teste tabii tutmuştur. Birinci testte öne polietilen arkaya AA 7075 T651 levhası yerleştirildiğinde delinme gerçekleşmiştir. İkinci testte alüminyum levha ön tarafta polietilen tabaka arka tarafta olacak şekilde kompozit malzeme oluşturulunca delinme gerçekleşmemiştir. Üçüncü olarak 2 mm'lik 2 tane alüminyum levha arasına polietilen katman yerleştirilmesi durumunda gene delinme gözlenmemiştir.

Sözen ve diğerleri (2016), çalışmasında balistik panel ve zırh tasarımında kullanılan malzemeleri ve koruyucu zırhlarda darbeye karşı dayanıma etki eden faktörleri anlatmıştır. Zırh tasarımında kullanılan aramid lifler, yüksek performanslı polietilenler (HPPE), PBO (Polybenzobisoxazole) kumaşlar, yüksek performanslı cam lifler, PPID (Polypyridobisimidazole) liflerine değinmiştir. Koruyucu zırhlarda dayanıma etki eden etmenler malzeme özellikleri, kullanılan kumaş yapısı, mermi

geometrisi, mermi hızı, çoklu kompozit tabakalar, sürtünme ve sınır şartları şeklinde belirtilmiştir.

Yanen ve Solmaz (2016), yaptıkları çalışmada Elazığ Özel Harekât Şube Müdürlüğü atış poligonunda farklı sayıda katman ve farklı kalınlıklara sahip cam fiber, aramid fiber, karbon fiber tabakalı plakaların Beretta marka tabancayla 9 mm FMJ mermi kullanılarak deneylerini yapmış ve sonuçları analiz etmişlerdir.

Akman ve diğerleri (2012), çalışmalarında Kevlar 258HPP kullanılarak yapılan koruyucu zırh katmanlarının üstünden kademeli şekilde talaş kaldırmanın 9 mm çaplı tam metal kaplama (FMJ) mermi karşısında balistik performansa etkisini incelemiştir. Sonuçlara göre talaş kaldırılan miktar arttıkça macunda oluşan derinlik ve genişlik artmaktadır.

Bogdan ve arkadaşları (2012), çalışmalarında 31,1 kg , 19,9 kg ve 23,1 kg ağırlıklarındaki yelekleri üç farklı kişiye gerçek hava sıcaklığına yakın derecede giydirerek fiziksel olarak hangisinin kullanışlı olduğunu tespit etmeye çalışmışlardır.

Roberts ve arkadaşları (2007) tarafından yapılan çalışmada insan şeklindeki mankene sensör yerleştirilmiş üzerine de mermi geçirmeyen kumaş giydirilmiştir. Atış sonrası mankenin kalbi sıkışmış ve durmuştur. Bu deneyden sonuç olarak kurşun geçirmez özellikteki malzemenin insanı korumakta yetersiz kaldığı merminin gelirkenki enerjisini alabilecek bir malzeme olması gerektiği sonucu çıkarılmıştır.

Briscoe and Motamedi 1992 yılında yaptıkları çalışmada farklı miktarda yağlandırma yaptıkları üç farklı balistik kumaşın balistik dayanımını incelemiş ve yağlanma arttıkça balistik dayanımın düştüğü sonucuna varılmıştır.

Bazhenov and Goncharuk 2014 yılında yaptıkları çalışmada balistik kumaşlarda su oranının artmasının balistik performansı düşürdüğü sonucuna ulaşmıştır.

Zhou ve diğerleri (2014), çelik fiber ve elyafdan oluşturulan 5mm kalınlığındaki zırhların balistik dayanımlarını balistik deneyler ve sonlu yöntemleriyle incelemiştir. Deneysel çalışmada eklenen çelik fiber yoğunluğun balistik dayanıma etkileri

incelenmiştir. Sonuç olarak çelik fiber takviye edilmiş zırhların çelik fiber takviye edilmemiş zırhlara göre balistik dayanımının daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Arnold ve Paul (2001), yaptıkları çalışmada zırh sacını desteklemek amacıyla polietilen malzeme kullanarak hedef plakalar oluşturmuşlardır. Çalışma kapsamında hedef kalınlığının değişmesiyle zırh sacı arkasında oluşan parçalanma bulutu (BAD) üzerinde incelemeler yapılmıştır. Sonuç olarak polietilen tabakalarının parçacık sayısının ve buluttaki dağılımların önemli ölçüde değiştiği gözlemlenmiştir.

Horsfall ve diğerleri (2007), tarafından yapılan çalışmada farklı aralıklarla düz örgü E-cam elyaf üstüne tek ve çift çelik plaka yerleştirilerek balistik dayanım performansı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak en iyi balistik dayanımı çift çelik plakalı E-cam elyafın gösterdiği görülmüştür. Fakat ağırlık olarak dezavantaj olmuştur.

Yahaya ve diğerleri (2015), tarafından yapılan çalışmada askeriyede kullanılan zırhlı araçlarda örgülü, keçe ve tek yönlü olmak üzere üç farklı tip kenaf-aramid kompozit tabakalar oluşturulmuş ve deneye tabii tutulmuştur. Örgü tipi kenaf-aramid kompozit tabakasının tek yönlü kenaf-aramid kompozit tabakasına göre gerilme mukavemeti %20,78 ve keçeli kenaf-aramid kompozit tabakasına göre %43,55 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Örgü kenaf-aramid kompozitinin darbe dayanımı tek yönlü kenaf-aramid tabakasına göre %19,75 keçeli kenaf-aramid tabakasına göre %52,07 daha yüksek olduğunu analiz etmişlerdir. Sonuç olarak askeri zırh araçlarında hem mukavemet hem de darbe dayanımı açısından örgü kenaf-aramid kompozit tabakasının kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Risby ve diğerleri (2008), Twaron CT716 kumaşına ceviz kabuğu tozunu epoksi yaparak kompozit bir malzeme üretmiştir. Kompozit malzeme 9 mm ve 7.62 mm FMJ mermiler kullanılarak teste tabii tutulmuş gözlemler sonucunda oluşturulan kompozit tabakanın sönmeme özelliğine sahip olduğu ve zırhlı sistemlerde kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Braga ve diğerleri (2017), yaptıkları çalışmada doğal elyaf malzemeler arasında bulunan ananas bitkisinin yapraklarından çıkarılanların yüksek mukavemetlerine dikkat çekerek 0,10,20,30 hacim curaua elyaf takviyeli poliester kompozitlerin

7,62mm mühimmat karşısında balistik dayanımlarını değerlendirmişlerdir. 30 hacim curaua elyaj takviyeli poliester kompozitin Kevlar'a en iyi alternatif olduğu sonucuna varılmıştır.

Faur (2016), çalışmasında elle yatırma yöntemiyle karbon, E ve S tipi cam, aramid ve polietilen kumaşlar kullanarak farklı epoksi reçine ile balistik dayanımlarını incelemiştir. Sonuç olarak kompozitlerin balistik dayanımının kumaş cinsi, reçine ve ilave eklenen lifin malzeme özelliklerinden büyük ölçüde etkilendiğini ortaya koymuştur.

Özgültekin (2012), çalışmasında aramid kumaş, karbon fiber, epoksi reçineyle takviyelenmiş bal peteği yapısı, epoksiyle kompozit haline getirilmiş çelik elek teli kullanarak zırh tabakası oluşturmuştur. Yavaşçalar 36 kalibre tek kurşun fişek ve Safir T14 uzun namlulu tüfek kullanılarak balistik deney gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda aynı malzemenin farklı dizilişlerinde birbirinden çok farklı sonuçlar gösterdiği saptamıştır.

Karahan ve diğerleri (2008), Twaron CT710 tipi kumaşdan farklı sayıda ve farklı dikiş tipi kullanarak tabakalar oluşturmuş ve NIJ standartlarına göre testlere tabii tutmuştur. Tabaka sayısının ve dikiş tipinin balistik performansta önemli yere sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Deniz (2009), çalışmasında 737°, 754° ve 775°'deki 3 farklı ısı işlem uygulanan çelik numunelerinin tek başına ve seramik katmanlı halde 7,62 mm zırh delici mermi karşısındaki dayanımını incelemiş ve çift fazlı çelik numunelerinin balistik dayanımı ile kıyaslamıştır. Sonuç olarak balistik dayanımı en yüksek olan seramik katmanlı numuneler olmuştur. Çift fazlı çelikler içerisinde ise en iyi balistik başarımı, martenzit hacim oranı en yüksek olan numune grubu sağlamıştır.

Zaera ve diğerleri (2000), çalışmalarında zırh sistemlerinde epoksi ve poliüretan yapıştırıcılarının kalınlığının balistik zırhlardaki etkisini ele almıştır. Sonuç olarak seramik katmanlı zırhlarda yapıştırıcı kalınlığının artmasının seramik tabakanın daha çabuk parçalanmasına sebep olduğu ve zırh sistemindeki destek tabakanın tam anlamıyla işlevini yerine getirebilmesi için gelen basınç dalgasını daha hızlı

iletmesinde rol oynayan epoksi esaslı yapıştırıcının kullanılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

Madhu ve diğerleri (2005), çalışmalarında balistik zırh tabakası olarak 4 cm kalınlığındaki AI-7017 katmanına %95 ve %99,5 saflığında alümina seramik tabakalarını epoksi reçine ile birbirine yapıştırarak mermi karşısındaki dayanımlarını incelemiştir. Sonuç olarak %99,5 saflığında alümine seramik eklenen kompozit zırhın balistik dayanımının daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Übeyli ve diğerleri (2008), çalışmasında AI2024 ve %99 saflık derecesindeki alümina kompozit tabakasının balistik başarımını çeşitli şekillerde incelemiştir. 7.62 mm'lik mermilerle atış yapmışlardır. Sonuç olarak AI2024 malzemesine suni yaşlandırma yaparak ve direkt kullanımı arasındaki kıyası yapıldığında suni yaşlandırma yapılan AI2024 malzemesinin daha yüksek balistik dayanım gösterdiğini, seramik katmanı üst ve orta kısımda kullanarak oluşturdukları kompozitleri balistik olarak incelediklerinde üst tabaka olarak kullanılan seramik tabakanın daha iyi bir zırh oluşturduğunu ve seramik kalınlığı / AI2024 kalınlığı oranının 1-3 arasında olduğu kompozitlerde yeterli dayanımın sağlandığını ortaya koymuşlardır.

Bao ve diğerleri (2002), yaptıkları çalışmada ön gerilmeli seramik tabakayı alüminyum alaşım ile kaplamış ve balistik testten geçirmişlerdir. Sonuç olarak ön gerilmeli seramiğin balistik davranışının ön gerilme yapılmayan seramiğe göre yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır.

Karamis ve diğerleri (2003), çalışmalarında AA5083 VE AA6063 alüminyum alaşımlarına SiC parçacıkları ilave etmiş yüksek hızlı mermi karşısındaki aşınma davranışlarını incelemiştir. Sonuç olarak SiC parçacık oranının artmasıyla mermiyi sürtünmeye uğratarak mermi iz derinliğinin azalmasına sebep olduğunu ortaya koymuşlardır.

Dey ve arkadaşları (2004), 1,2cm'lik Weldox 460E, Weldox 700E, Weldox 900E çelik levha malzemelerine sivri kemer, kör burunlu ve konik burunlu mermilerle atışlar yaparak mermi geometrisinin balistik dayanımını ve balistik sınır hız

değerinin nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. Sonuç olarak sivri ve konik burunlu mermilerde delinme meydana gelirken kör burunlu mermide tıkaç şeklinde mermi saplanmıştır. Ayrıca sivri ve konik mermilerde balistik sınır hızı 300 m/s mertebesindeyken kör burunlu mermide 200 m/s mertebesinin altında kalmıştır. Balistik sınır hızının mermi geometrisiyle bağlantılı olduğu ortaya koyulmuştur.

Grupta ve diğerleri (2007,2008), yaptıkları çalışmalarda tek tabakalı alüminyum levha ile aynı kalınlığı sağlayacak biçimde iki ve daha çok katmanlı alüminyum levhaları balistik teste tabii tutmuş ve sonuç olarak tek tabaka alüminyum levhanın balistik dayanımın daha iyi olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca farklı geometrideki mermilerle atış yapıldığında yarı küresel burunlu merminin hedefteki en büyük şekil değiştirmeye neden olduğunu ve hedef şekil değiştirmenin mermi hızı ile ters orantılı hedef kalınlığı ile doğru orantılı olduğunu saptamışlardır.

Ramadhan ve arkadaşları (2013), kevlar 29 ve 6061-T6 alüminyum tabakalarıyla oluşturduğu kompozit tabakayı silindir şekilli 7,62 mm çaplı mermi kullanarak balistik testlere tabii tutmuşlardır. Alüminyum tabakayı ön tabaka, orta tabaka ve arka tabaka olmak üzere 3 ayrı şekilde yerleştirerek mukayese etmişlerdir. Sonuç olarak alüminyum tabakanın arkada olduğunda çarpma yüklemelerine karşı başarılı bir sonuç elde etmişlerdir.

Eniz (2009), çalışmasında 3 farklı martenzit hacim oranlı çift fazlı çelik numunelerini tek ve seramik katman ekleyerek ayrıca çelik numunelerinin tavlama ısıl işlem sonrası tek başına ve seramik katmanlı olarak elde ettiği hedeflerin 7,62 mm'lik mermi karşısındaki balistik dayanımını incelemiştir. Sonuç olarak seramik katmanlı numunelerin balistik dayanımının daha iyi olduğu ve çift fazlı çelikler arasında martenzit oranı en yüksek olan çeliğin en iyi dayanım gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Onga ve arkadaşları (2011), çalışmalarında A12O3, Dyneema HB25 ve gözenekli yapıya sahip poliüretan köpük kullanarak kompozit tabaka elde etmiş ve balistik dayanımını incelemişlerdir. Sonuç olarak kompozit hedefin aynı yoğunluktaki çeliğe göre balistik dayanım olarak daha iyi sonuç verdiğini ortaya koymuşlardır.

Khojin ve arkadaşları (2007), çalışmalarında kevlar ve karbon fiber tabakalarını birleştirerek kompozit bir tabaka elde etmişlerdir. Bu kompozit tabakayı -50° ve 120° 'de balistik testlere tabii tutmuş ve sonuç olarak farklı sıcaklıkta kompozit malzemenin farklı performans gösterdiğini belirtmişlerdir.



3. METARYAL ve YÖNTEM

3.1. DeneY Malzemeleri ve Özellikleri

3.1.1. Titanyum Levha

Titanyum 1791 yılında William Gregor tarafından İngiltere’de bulunmuştur. Atom numarası 22 simgesi Ti olan dayanımı yüksek, korozyona karşı dirençli ve grimsi renkte bir metal malzemedir. Tüm metaller arasında en yüksek dayanıklılık-ağırlık oranına sahiptir. Çoğu çelik alaşımından ağırlık olarak %45 hafif olmasına karşı dayanım olarak aynı olması ürünün avantajıdır (Anonymous 2019).

Titanyum levha standartları:

- Titanyum GR2 ASTM B265
- Titanyum GR2 ASTM F67
- Titanyum GR5
- Titanyum GR5 6Al4V
- Titanyum GR5 6Al4V ELI

Bu çalışmada Titanyum GR2 ASTM B265 titanyum levha kullanılmıştır. Titanyum GR2 ASTM B265 standardındaki ürün özellikleri:

Çizelge 3.1. Titanyum Levha Mekanik Özellikleri

ASTM B265 TİTANYUM LEVHA	
UZAMA ORANI (%)	37
AKMA DAYANIMI (Mpa)	405 Mpa
GERİLME DAYANIMI (Mpa)	485 Mpa



Şekil 3.1. Titanyum Levha

Çizelge 3.2. Marmara Titanyum Metal San. Tic. Ltd. Şti. Ürün Sertifikası

Name	Contract No	Designation No	Lot No	Heat No	Condition	Size(mm)	Quantity(PC)	(kg)	Specification				
Titanium Plate	YD180405	Ti Gr2	20180128	20180128	M	1.5x1000x2000	1	/	ASTM B265				
Tensile Test	Sample Condition	δ_b MPa	$\delta_{r0.2}$ MPa	δ_5 %	Elongation	Bent Test							
		Tensile	Yield Strength										
		485	405	37									
Others	Dimensional Inspection	Visual Inspection	Ultrasound Inspection	Macrostructure	Microstructure								
										/	Pass	Pass	/
Chemical Composition %													
Location	Ti	Fe	C	N	H	O	(others)						
Upper	Remainder	0.10	0.015	0.006	0.002	0.013	(Each) <0.1						
Middle							(Total) <0.4						
Bottom													
Note													

3.1.2. Kevlar

1965'te Dupont firmasının üretim patentini aldığı sağlam liflerden oluşan ve çok hafif olan dayanıklı bir üründür. Çekme gerilmesinin oldukça yüksek olması ve iplikli yapısı sebebiyle sağlam halat yapımında kullanılmaktadır. Halat kullanımının yanı sıra uçak kanatlarında, askeri miğferlerde ve tanklarda kullanılmaktadır. Balistik dayanımı yüksek olmasına rağmen kesici aletlere karşı kumaşta yırtılmalar hemen görülür. Güneş ışıklarına karşı hassas bir yapısı vardır. Güneşle temas halinde mukavemet kaybına uğrar ve sarı rengi değişerek kahverengiye dönüşür (Anonymous 05/05/2019).

Kevların çelik tel ile kıyas edildiğinde kevlar ipliğinin kopma mukavemeti çelik telin mukavemetinden 7 kat daha dayanıklıdır. Ayrıca çeliğin yoğunluğu kevlardan 5 kat fazladır (Hongu ve Phillips, 1997, s.6-8).

Para aramid liflerin avantajları düşük yoğunluklu olması, yüksek esneklik modülü, yüksek çekme mukavemeti, yüksek darbe mukavemeti, yüksek yorulma mukavemeti, yüksek sürtünme mukavemeti, yüksek kimyasal dayanıklılık, düşük kopma uzaması, düşük ısıl genleşme ve ateşe karşı dayanıklılıktır (erime noktası yok, 500°'de bozulmaya başlar). Dezavantajları ise morötesi ışınlarla karşı hassasiyet göstermesi, lif veya kumaş halindeyken katlama vb. gibi etkilerle zarar görebilmesi, ham ürünün depolama zorluğu, kesme ve işleme zorluğu, bünyesine nem almaya meyilli olması ve tuzlara asitlere karşı hassasiyet göstermesidir (Anonymous 05/05/2019).

Bu çalışmada kullanılan CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain cinsi kevlar kumaşın özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kevlar Kumaşın Mekanik Özellikleri

CT709- ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm PLAIN	
YOĞUNLUK (g/cm ³)	1 ,45 g/cm ³
ALAN AĞIRLIĞI (g)	200 g
GERİLME DAYANIMI (Mpa)	2400 Mpa



Şekil 3.2. Kevlar Kumaş Dokusu



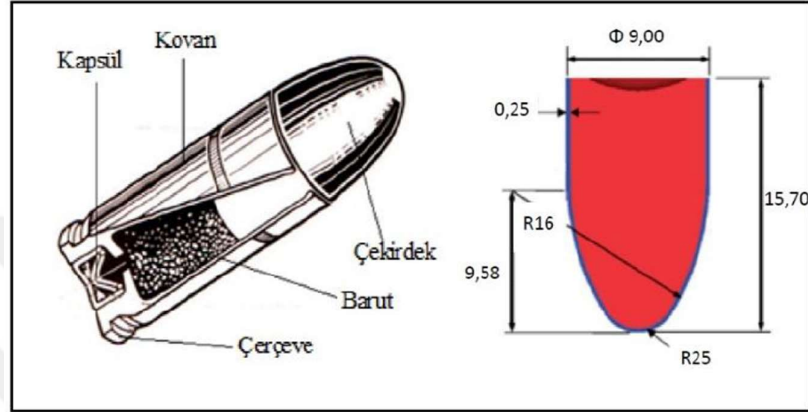
Şekil 3.3. Elektronik Makasla Kesilmiş ve Overlok Yapılmış Kevlar Kumaş

Çizelge 3.4. Dost Kimya End. Ham. San ve Tic. Ltd. Şti. Ürün Sertifikası

CT 709- ARAMID FABRIC- 200gr/sqm Plain			
DESCRIPTION:	Aramid Fabric Woven - 200gr/sqm plain WR		
PACKAGING:	Fabric tightly wound onto cardboard tubes; wrapped in clear plastic; packaged into double-walled cardboard boxes; roll is suspended in center of box by end-plates on both ends of tube; roll held tight in box by cardboard shims filling free end-play.		
SPEC TYPE	SPEC DESCRIPTIONS		DEFINITIONS
"FABRIC"	FABRIC "METRIC" SPECS:		FABRIC DEFINITIONS:
Areal Weight	gram/sq.m. =200 gr. ($\pm 5\%$)		The weight of the fabric per square meter or square yard.
Roll Length/Width	meters(+/-)= 100m.(± 0.5) centimeters(+/-)= 160 cm($\pm 2,5\%$)		Roll linear length, plus+ or minus tolerance.
"WEAVE"	WEAVE DETAIL SPECS:		WEAVE DEFINITIONS:
Style / Pattern	CT 709 WATER REPELLENT /Plain		Weave style or pattern of woven fabric or material.
"FIBER"	FIBER DESCRIPTION SPECS:		FIBER DEFINITIONS:
Type / Model	WARP = "TWARON 930DTEX" WEFT = "TWARON 930DTEX"		Fiber manufacturers product or ID number.
Tow ("k" if Carbon)	N/A		Continuous filaments per fiber bundle. (K = 1000)
Filament Count	N/A		The number of filaments per tow.
Filament Diameter(micron)	N/A		The diameter of the filament.
Density	g/cm ³ = 1.45		Mass per unit volume in ³ . Typically grams per cm cubed.
MASS (Yield)	tex (g/1000m) = 61	g/m = ND	Measurement of the amount of mass per unit length.
Tensile Strength (min) WARP/WEFT	Ksi =	Mpa =2400	The force at which fiber breaks measured by the area width.
Tensile Modulus (min) WARP/WEFT	Msi =	Gpa = 90	Measurement of the elastic stiffness.
Tensile Strain (min)	% =	3.3	Elongation of fiber at breaking point (Percentage of stretch)
Sizing Level	% =	1.20%	Percentage of chemical treatment versus total fiber weight.
Electrical Resistivity	10-3 /ohms/cm =	N/A	Electrical resistance in ohms per length specified
Carbon Assay	% =	N/A	Percentage of actual carbon content in fiber.
Specific Gravity	gm/cm ³ =	1.45	Compare Density: Water has a Specific Gravity of 1.0

3.1.3. Mermi

Çalışmada 9 mm çaplı mermi kullanılmıştır. Aşağıdaki resimlerde 9 mm çaplı merminin özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.4. 9 mm Mermi (Yılmaz 2012)

Çizelge 3.5. 9 mm Mermi Özellikleri

MERMİ ÇEKİRDEK ÇAPI (mm)	9,08
MERMİ ÇEKİRDEK AĞIRLIĞI (g)	8
MERMİ KOVAN AĞIRLIĞI (g)	3,8
MERMİ UZUNLUĞU (mm)	15,7



Şekil 3.5. Atış sırasında kullanılan 9 mm'lik mermi

3.2. Deney Malzemelerin Oluşturulması

Deney elemanlarının üretiminde öncelikli olarak kullanılacak malzemeler belirlendi. Sonra 33 cm ebadında kare şeklinde kesildi. Kesilen parçalar ile istenen sayıda tabakadan oluşan deney numuneleri elde edildi.

Kevlar kumaşı temin ettiğimiz firma aşağıdaki gibi rulo şeklinde gönderdi. Elektronik makas yardımıyla 33*33 cm olacak şekilde parçalara ayrıldı.

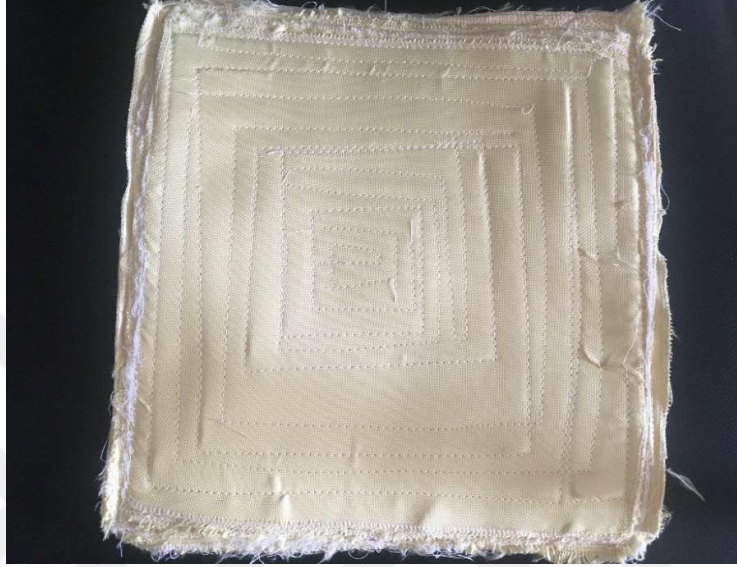


Şekil 3.6. Kevlar Rulosu ve Elektronik Makas



Şekil 3.7. Kevlar Overlok ve Dikim işlemleri

Kesim sırasında kevlar kumaş kenar kısımlarından dağılma gösterdiğinden kenar kısımlarına overlok yapıldı. Sonuç olarak kevlar tabakaların birleşimi dikiş yöntemiyle şekildeki gibi tamamlandı.



Şekil 3.8. Kevlar Kumaşların Birleştirilmesi ve Hazırlanması



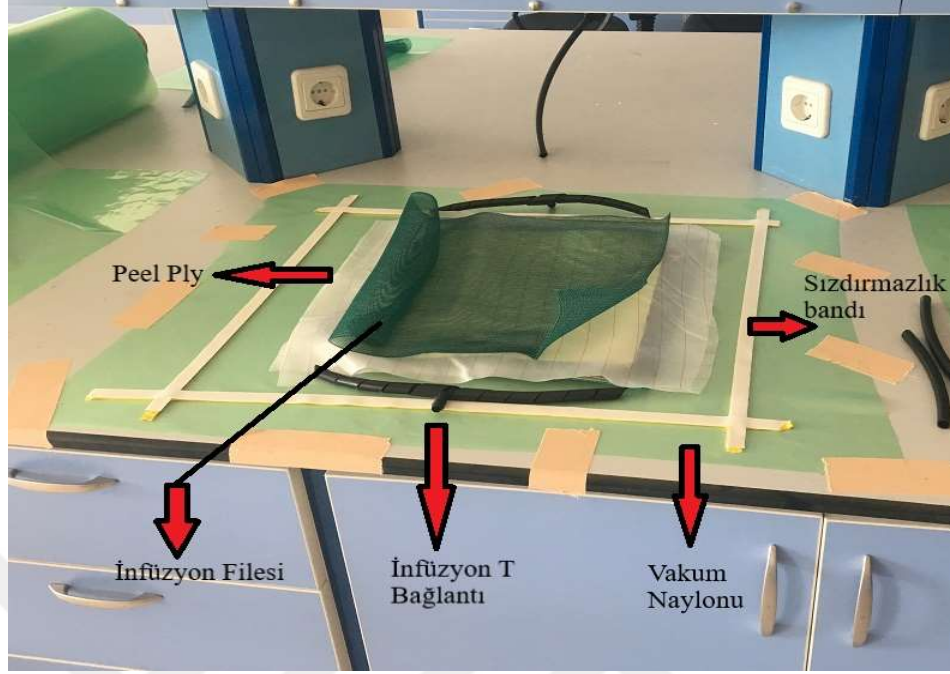
Şekil 3.9. 20'lik ve 40'lık Kevlar Kumaşlar

Kompozit malzemeler üretilirken Vakum İnfüzyon Yöntemi kullanıldı. Vakum infüzyon yönteminde hazırlanmış numune vakumlanmış ortamda reçinenin ilerleme ve tüm yüzeye eşit miktarda yayılması prensibiyle çalışır. Bu yöntemde reçine

birikintisi, kumaş katlanma sorunları olmadığından yüzey kaliteli ve homojen olmaktadır. Bu üretim yöntemiyle reçine kullanım miktarı kontrol altında tutulabilmektedir. Aynı şartlar altında elde edilen ürün için her seferinde aynı miktar reçine kullanılmaktadır. Üretim esnasında vakum naylonu altından geçerek ilerleyen reçinenin dışarıyla herhangi bir teması olmadığından dışarıya zehirli gazların yayılması engellenmiş olunur. Vakum uygulamasıyla fazla reçine dışarı çekilir. Böylece elyaf/reçine oranının daha yüksek olması sağlanmaktadır. Ayrıca vakum uygulaması sayesinde hava kabarcıklarından arınmış bir ürün elde etmek mümkündür. Bu yöntemin avantajları olarak; el yatırması yönteminden daha yüksek elyaf oranlı ve daha az boşluğa sahip ürünler elde edilir. Vakum torbası kirlenme sırasında ortaya çıkan zararlı gazları tuttuğu için sağlık ve güvenlik açısından daha kullanışlıdır. Yöntemin dezavantajı ise, maliyetli olmasıdır. Çalışan kişinin yapılan iş ile ilgili ustalığa sahip olması gerekir. (Yanen, 2016)



Şekil 3.10. Vakum İnfüzyon Yöntemi



Şekil 3.11. Vakum İnfüzyon Yöntem Malzemeleri

Çizelge 3.6. Laminasyon Reçinesi MGS L160 Özellikleri

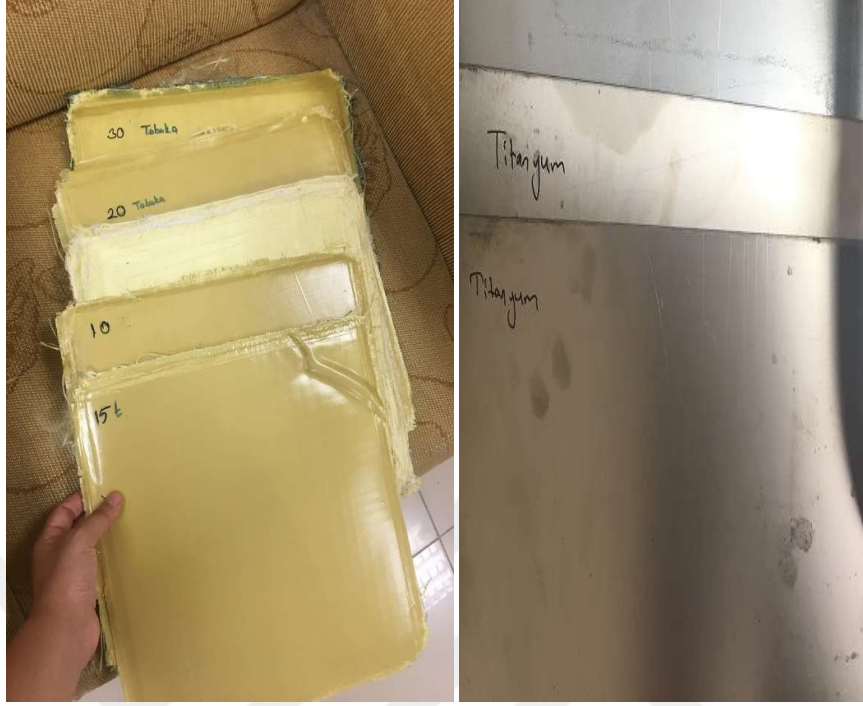
Yoğunluk (g/cm ³)	1,13 g/cm ³ - 1,17 g/cm ³
Vizkozite (mPas)	700 mPas - 900 mPas

Çizelge 3.7. Laminasyon Sertleştirici MGS H160 Özellikleri

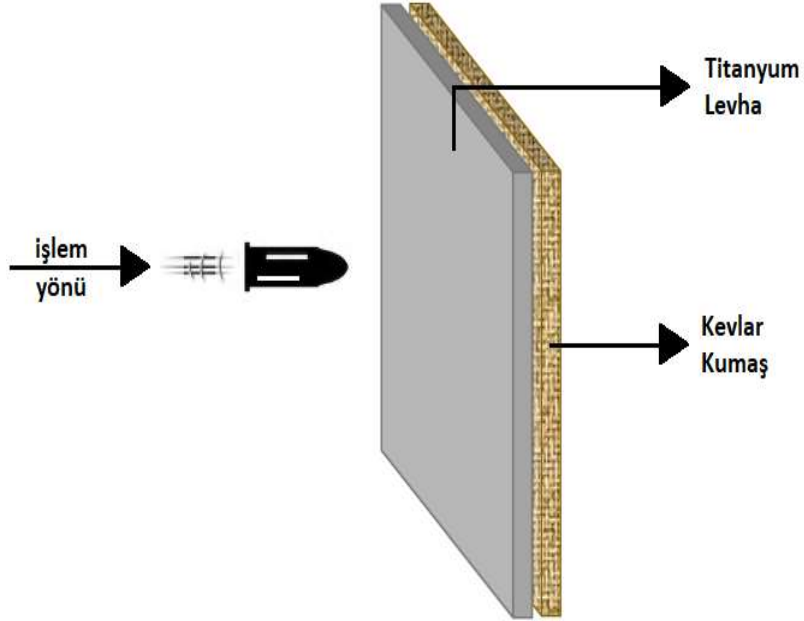
Yoğunluk (g/cm ³)	0,96 g/cm ³ - 1,00 g/cm ³
Vizkozite (mPas)	10 mPas - 50 mPas

Çizelge 3.8. Sertleştirici H160 – Reçine L160 Karışım Oranı

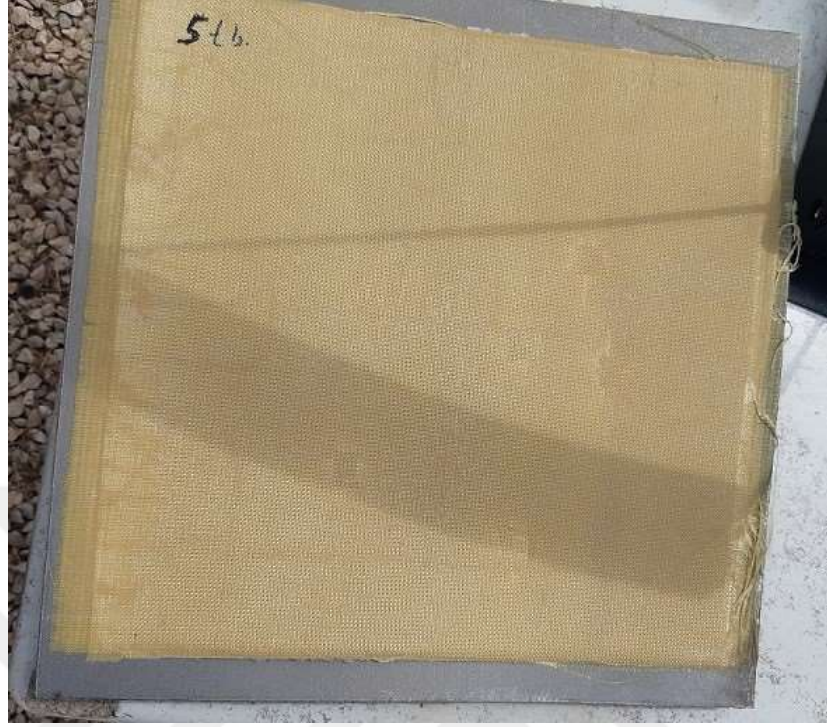
Ağırlıkça	100 :25+-2/100 :28+-2/100 :36+-2
Hacimce	100 :30+-2/100 :34+-2/100 :43+-2



Şekil 3.12. Oluşturulan Bazı Kompozitler ve Levhalar



Şekil 3.13. Titanyum Levha ile Oluşturulan Kompozit Malzeme



Şekil 3.14. Titanyum Levha ve Kevlar Kompozit Numunesi

3.3. Test Numuneleri

3.3.1 A1 Balistik Test Numunesi

10 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar kumaşın vakum infüzyon yöntemiyle bir araya getirilmesiyle oluşturulan 33cm×33cm boyutunda olan kompozit numunedir. Kompozit numunenin toplam ağırlığı 270,6 gramdır (Şekil 3.15).

3.3.2. A2 Balistik Test Numunesi

15 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar kumaşın vakum infüzyon yöntemiyle bir araya getirilmesiyle oluşturulan 33cm×33cm boyutunda olan kompozit numunedir. Kompozit numunenin toplam ağırlığı 417,4 gramdır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. A1 ve A2 Numuneleri

3.3.3. A3 Balistik Test Numunesi

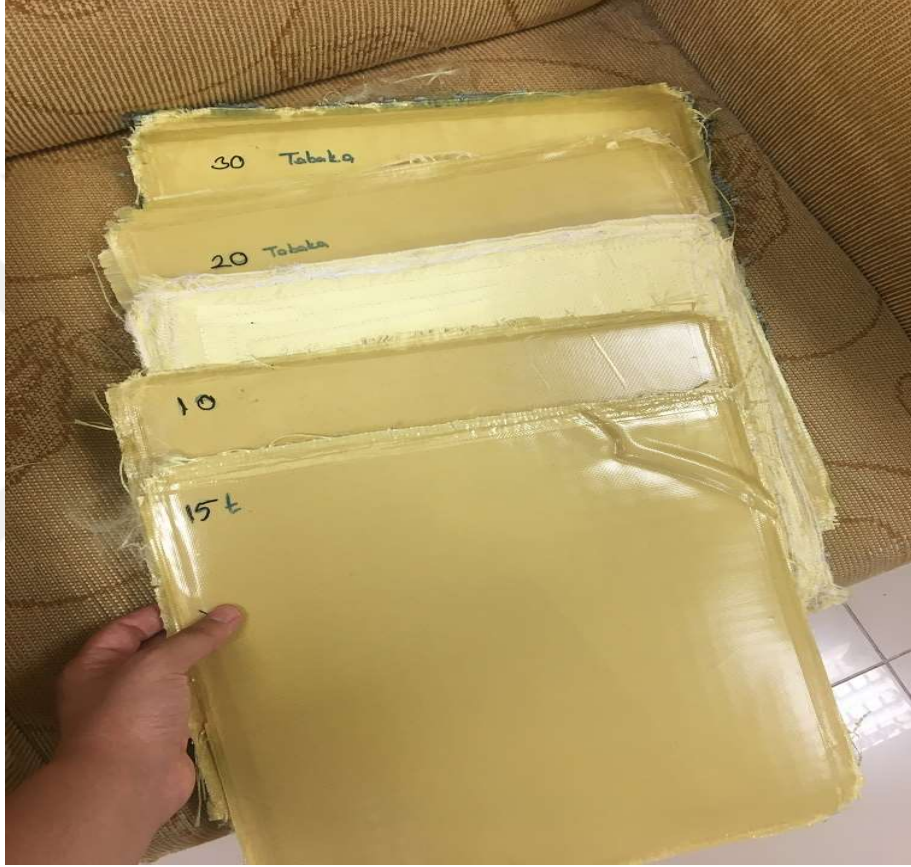
20 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar kumaşın vakum infüzyon yöntemiyle bir araya getirilmesiyle oluşturulan 33cm×33cm boyutunda olan kompozit numunedir. Kompozit numunenin toplam ağırlığı 575,8 gramdır.



Şekil 3.16. Atış Öncesi A3 Numunesi

3.3.4. A4 Balistik Test Numunesi

30 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar kumaşın vakum infüzyon yöntemiyle bir araya getirilmesiyle oluşturulan 33cm×33cm boyutunda olan kompozit numunedir. Kompozit numunenin toplam ağırlığı 908 gramdır.



Şekil 3.17. A1, A2, A3, A4, B1 Numuneleri

3.3.5. B1 Balistik Test Numunesi

30 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar kumaşın üst üste dikilmesiyle oluşturulan 33cm×33cm boyutunda olan kompozit numunedir. Kompozit numunenin toplam ağırlığı 503,4 gramdır.



Şekil 3.18. B1 Numunesi

3.3.6. A5 Balistik Test Numunesi

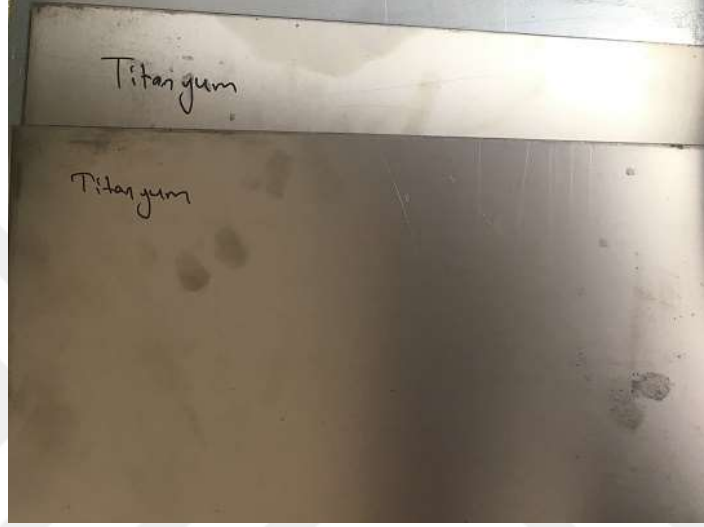
5 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar ve 1 adet GR2 ASTM B265 Titanyum levhanın vakum infüzyon yöntemiyle birleştirilmesiyle oluşturulan 33cm×33cm boyutunda olan kompozit numunedir. Kompozit numunenin toplam ağırlığı 879,4 gramdır.



Şekil 3.19. A5 Numunesi

3.3.7. B2 Balistik Test Numunesi

2 adet GR2 ASTM B265 1.5 mm kalınlığındaki titanyum levhanın üst üste getirilmesi ile oluşturulan 33cm×33cm boyutunda olan numunedir. Numunenin toplam ağırlığı 1.476,4 gramdır.



Şekil 3.20. B2 Numunesi

3.3.8. B3 Balistik Test Numunesi

10 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar ve 1 adet GR2 ASTM B265 Titanyum levhanın bir araya getirilmesiyle 33cm×33cm boyutunda olan numunedir. Kompozit numunenin toplam ağırlığı 911,2 gramdır.

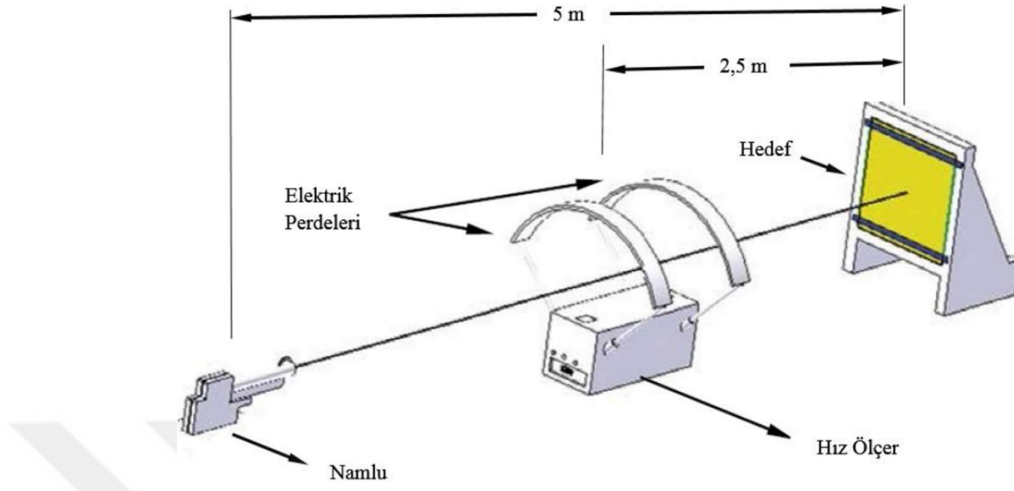


Şekil 3.21. Atış Öncesi B3 Numunesi

Çizelge 3.9. Balistik Test Numuneleri ve Özellikleri

Oluşturulan Malzeme İsmi	Oluşturulan Malzeme İçeriği	Numune Ağırlığı (g)
A1	10 tabaka kevlar (kompozit)	270,6 g
A2	15 tabaka kevlar (kompozit)	417,4 g
A3	20 tabaka kevlar (kompozit)	575,8 g
A4	30 tabaka kevlar (kompozit)	908,0 g
B1	30 tabaka kevlar (dikişli)	503,4 g
A5	5 tabaka kevlar +1 titanyum (kompozit)	879,4 g
B2	2 titanyum	1.476,4 g
B3	10 kevlar +1 titanyum	911,2 g

3.4. Poligon Özellikleri



Şekil 3.22. Balistik Deneyin Şematik Olarak Görünümü (Yanen ve Solmaz 2016)



Şekil 3.23. Chrony F1 Kronograf

NIJ 0101.06 standardında belirtildiği gibi atışlar 5 m mesafeden yapılmıştır. Hız ölçer, hedef ile tabanca arasında hedeften 2.5 m mesafede olacak şekilde konumlandırılmıştır. Her atış sonrası kronografta bulunan hız değereri not edilmiştir. Hız değerleri m/sn birimine çevirilerek yazılmıştır. Atışlar sonrası her merminin macunda oluşturduğu çöküntü ve deformasyon miktarına dikkat edilmiştir.



3.5. Kullanılan Standartlar

Çizelge 3.10. Balistik Deneylerde Kullanılan Standartlar (Bozdoğan ve diğerleri 2015)

STANDART NO	STANDART ADI
TS 11164	Balistik koruyucu vücut zirhi
TS 13349	Askerî zirhler - V ₅₀ 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	Balistic Test For Armor
NIJ-STD-0101.04	Balistic Resistance Of Personnel Body Armor
NIJ-STD-0101.06	Balistic Resistance Of Personnel Body Armor
NIJ-STD-0108.04	Balistic Resistance Of Protective Materials
STANAG 2920	Balistic Test Method For Personnel Armor
UK/SC/4697	The Balistic Testing Of Fragment Protective Personnel Armors
PPAA STD-1989-05	Personel Protective Armor Assosiation Testing Standarts For Balistic Resistance Of Presonel Body Armors
UL 752	Balistic Resistance Equipment
MIL-B-44194 A	Body Armor Fragmentation Protective Undergarment C.V. Crevmens
MIL-P-46199	Aluminium Oxide Ceramic (For Use In Armor Composite)
Pr EN ISO 14876-2	Protective Clothing-Body Armor-Part-2: Bullet Resistance Requirements And Methods

NIJ-STD-0101.06 Standardı:

Balistik testler için kullanılan “NIJ Standart-0101,06” Temmuz 2008’de oluşturulmuştur. Bu standart, Eylül 2000 tarihli “NIJ Standard-0101.04”ün bir revizyonudur (ASHBY ve JONES 1998).

Bu standardın amacı, silah ateşlemelerinden korunmak için yapılmış olan balistik zırh malzemelerinin dayanımına yönelik minimum performans gerekliliklerini ve test yöntemlerini belirlemektir. NIJ Standardı içeriği sadece balistik dayanım ile sınırlı kalmaktadır. Bıçak gibi keskin aletlerin neden olduğu tehditleri NIJ Standardı ele almamaktadır (Özgültekin 2012).

NIJ-STD-0101.06 standardı hafif silahlara karşı oluşturulan zırhların balistik performansının ölçümünde referans alınarak yorumlanır (Candan 2007).

Çizelge 3.11’de gösterildiği gibi NIJ-STD-0101.06 standardında IIA, II, IIIA, III, IV isimli beş koruma seviyesinde kullanılan kalibre ve mermi tipi, mermi ağırlığı, mermi hızı ve oluşabilecek en yüksek travma deliği belirtilmiştir.

Çizelge 3.11. NIJ-STD-0101.06 Standardı Balistik Koruma Seviyesi (NIJ Standard-0101.06)

Koruma Seviyesi	Kalibre ve Mermi Tipi	Mermi Ağırlığı (g)	Mermi Hızı (m/s)	Travma Derinliği (max)
IIA (5 m mesafeden)	9 mm Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ RN)	8,0	373±9,1	44 mm
	40 S&W Tam metal kaplama yuvarlak uçlu mermi (FMJ)	11,7	352±9,1	
II (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	
IIIA (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 (15 m mesafeden)	7,62 mm Tam metal kaplama mermi (FMJ)	9,6	847±9,1	44 mm
IV (15 m mesafeden)	30 mm zirh delici mermi (AP)	10,8	878±9,1	44 mm

3.6. Deneý Ařaması

Hazırlanan balistik zırhlar Elazığ Özel Harekat şubesi atış poligonunda NIJ-STD-0101.06 standartlarında deneýe tabii tutulmuştur. Her zırh sabitlenerek hedefe yerleştirilmiştir (şekil 3.24). Zırh arkasına şöküntü miktarını belirlemek için 10 cm cam macun yerleştirilmiştir (şekil 3.25). Atış sırasında sarsılmaz kılınç 2000, 9*19 marka tabanca kullanılmıştır. Tabanca ile balistik zırh arasında 5 m mesafe bırakılmıştır. Hız aleti hedefle namlu ortasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Atış aynı kiři tarafından aynı şartlarda gerçekteştirilmiştir. Deneý esnasında gerçekteştirilen tüm işlemler dikkatli bir şekilde not edilmiştir.



şekil 3.24. Test Düzenegi



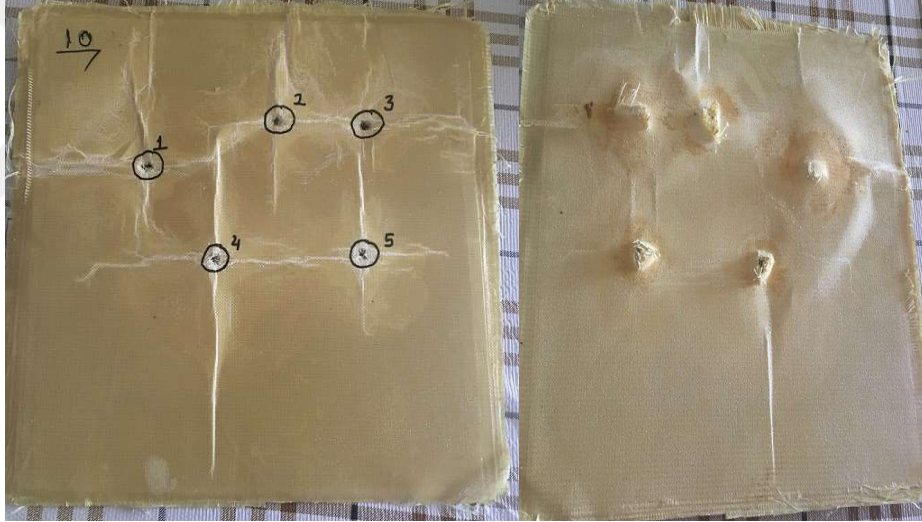
şekil 3.25. Yerleştirilen Macun

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

A1, A2, A3, A4, B1, A5, B2, B3 balistik test numunelerinin sonuçları tablo halinde ve fotoğraflanarak aşağıda belirtilmiştir.

4.1. A1 Balistik Test Numunesi

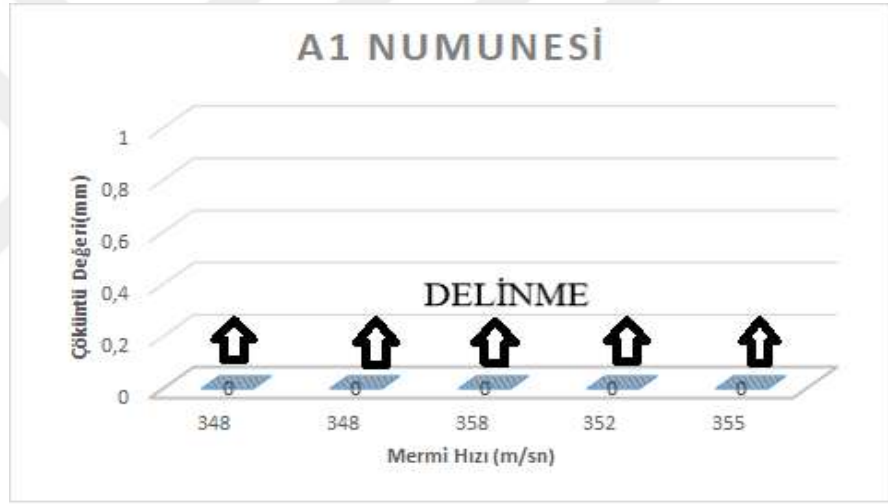
10 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar kumaştan elde edilen kompozit numune NIJ-STD-0101.06 standartlarına uygun olarak sarsılmaz 2000, 9*19 marka tabancayla numune ile silah arası mesafe 5 m olacak şekilde atış yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.1. A1 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü

Çizelge 4.1. A1 Numunesinin Atış Sonuçları

Atış No	Atış Hızı (m/s)	Kinetik Enerji (N.m)	Çöküntü Değeri(mm)	Numune arkası
1	348	484,42	.....	Delinme var
2	348	484,42	.....	Delinme var
3	358	512,66	.....	Delinme var
4	352	495,62	.....	Delinme var
5	355	504,1	.....	Delinme var
Ortalama	352,2	496,24		



Şekil 4.2. A1 Numunesinin Çöküntü Değeri – Mermi Hızı Grafik Gösterimi

A1 numunesine Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi en yüksek mermi hızı 358 m/s, en düşük mermi hızı 348 m/s olan 5 atış gerçekleştirilmiştir. Atışların hepsinde 9 mm’lik mermi numuneyi delerek 10 cm’lik macundan dışarı çıkmıştır. Başarılı sonuç elde edilene kadar kevlar kumaş kat sayısını artırıp infüzyon yöntemiyle birleştirerek denemelere devam edilmiştir.

4.2. A2 Balistik Test Numunesi

15 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar kumaştan elde edilen kompozit numune NIJ-STD-0101.06 standartlarına uygun olarak sarsılmaz

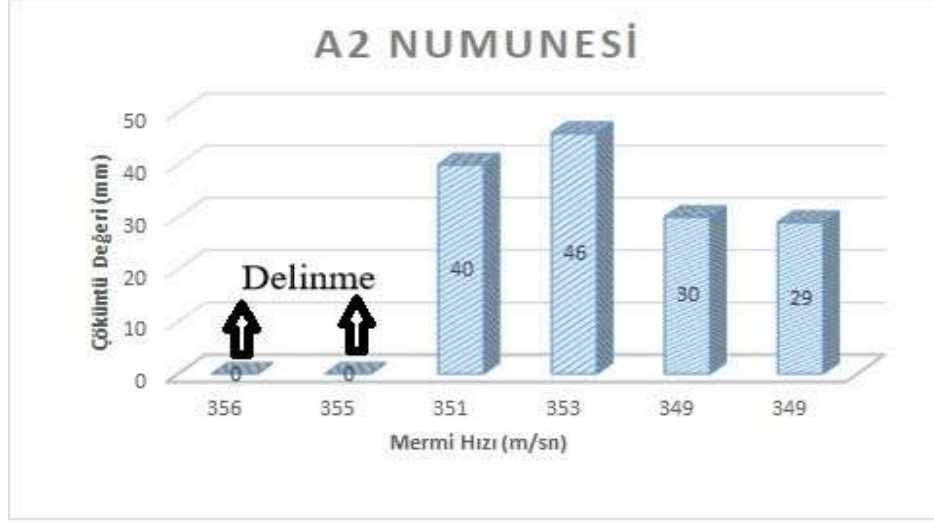
2000, 9*19 marka tabancayla numune ile silah arası mesafe 5 m olacak şekilde atış yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.3. A2 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü

Çizelge 4.2. A2 Numunesinin Atış Sonuçları

Atış No	Atış Hızı (m/s)	Kinetik Enerji (N.m)	Çöküntü Değeri(mm)	Numune arkası
1	356	506,94	.....	Delinme var
2	355	504,1	.....	Delinme var
3	351	492,8	40 mm	Delinme yok
4	353	498,44	46 mm	Delinme yok
5	349	487,2	30 mm	Delinme yok
6	349	487,2	29 mm	Delinme yok
Ortalama	352,17	496,11		

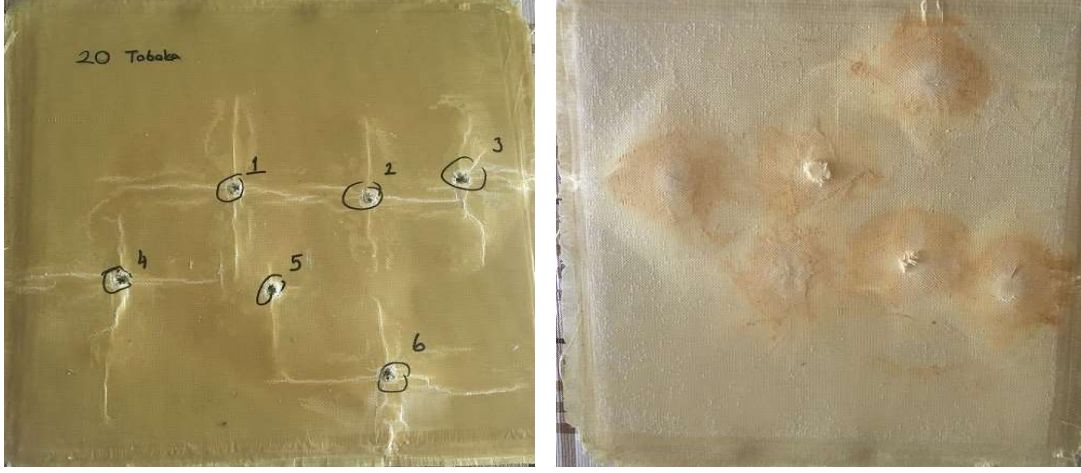


Şekil 4.4. A2 Numunesinin Çöküntü Değeri – Mermi Hızı Grafik Gösterimi

A2 numunesine Çizelge 4.2 'de görüldüğü gibi en yüksek mermi hızı 356 m/s, en düşük mermi hızı 349 m/s olan 6 atış gerçekleştirilmiştir. Atışların ikisinde delinme meydana gelmiştir. Mermi numuneyi delerek 10 cm'lik macundan dışarı çıkmıştır.

4.3. A3 Balistik Test Numunesi

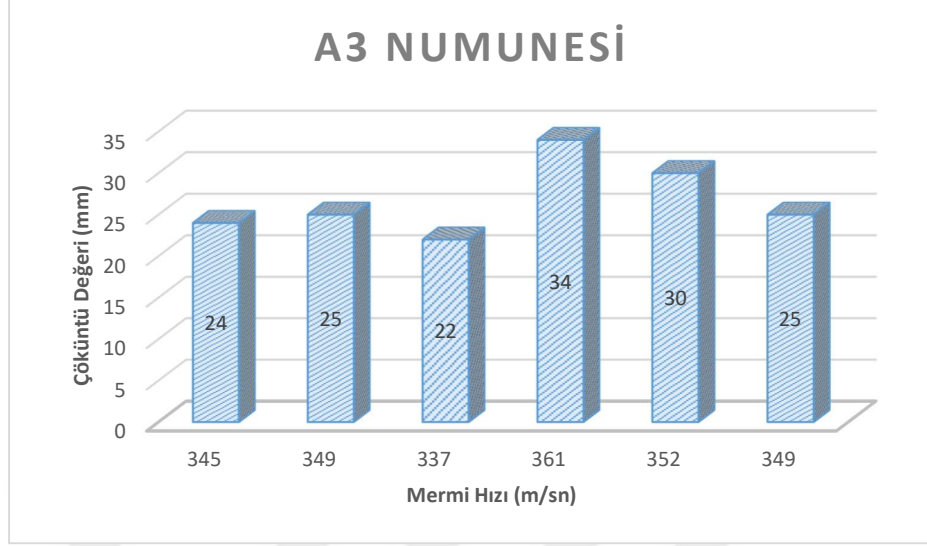
20 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar kumaştan elde edilen kompozit numune NIJ-STD-0101.06 standartlarına uygun olarak sarsılmaz 2000, 9*19 marka tabancayla numune ile silah arası mesafe 5 m olacak şekilde atış yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.5. A3 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü

Çizelge 4.3. A3 Numunesinin Atış Sonuçları

Atış No	Atış Hızı (m/s)	Kinetik Enerji (N.m)	Çöküntü Değeri(mm)	Numune arkası
1	345	476,1	24 mm	Delinme yok
2	349	487,2	25 mm	Delinme yok
3	337	454,28	22 mm	Delinme yok
4	361	521,28	34 mm	Delinme yok
5	352	495,62	30 mm	Delinme yok
6	349	487,2	25 mm	Delinme yok
Ortalama	348,83	486,95	26,67 mm	



Şekil 4.6. A3 Numunesinin Çöküntü Değeri – Mermi Hızı Grafik Gösterimi

A3 numunesine Çizelge 4.3.'de görüldüğü gibi en yüksek mermi hızı 361 m/s, en düşük mermi hızı 337 m/s olan 6 atış gerçekleştirilmiştir. Atışlarda delinme meydana gelmemiştir. Macun derinlikleri kumpas yardımıyla ölçülmüştür.

4.4. A4 Balistik Test Numunesi

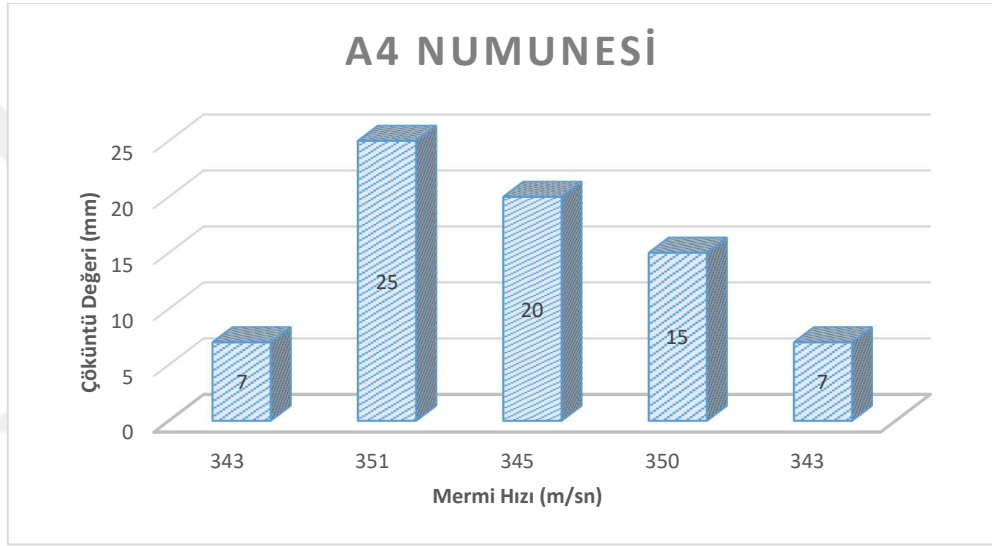
30 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar kumaştan elde edilen kompozit numune NIJ-STD-0101.06 standartlarına uygun olarak sarsılmaz 2000, 9*19 marka tabancayla numune ile silah arası mesafe 5 m olacak şekilde atış yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.7. A4 Numunesinin Atış Sonrası Ön Görünümü

Çizelge 4.4. A4 Numunesinin Atış Sonuçları

Atış No	Atış Hızı (m/s)	Kinetik Enerji (N.m)	Çöküntü Değeri(mm)	Numune arkası
1	343	470,6	7 mm	Delinme yok
2	351	492,8	25 mm	Delinme yok
3	345	476,1	20 mm	Delinme yok
4	350	490	15 mm	Delinme yok
5	343	470,6	7 mm	Delinme yok
Ortalama	346,4	480,02	14,8 mm	

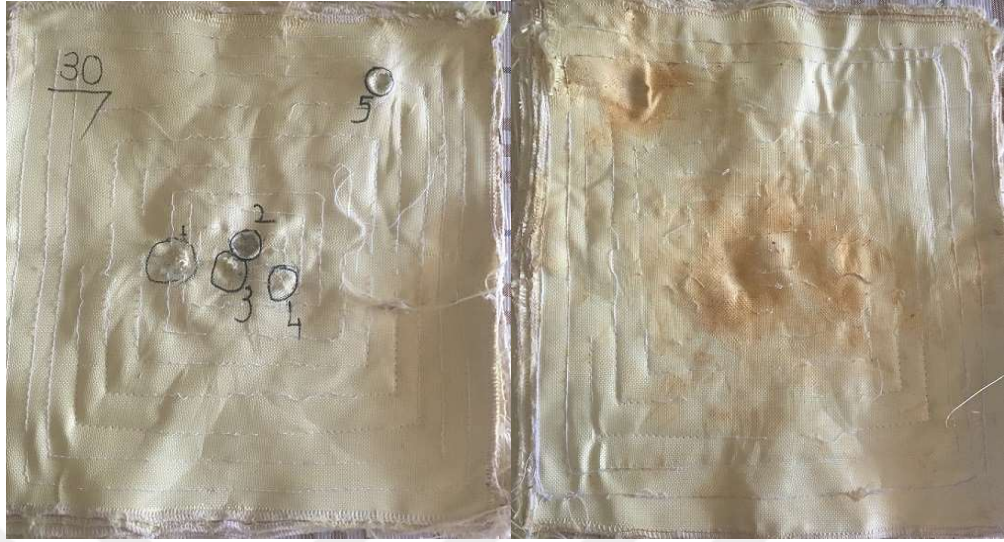


Şekil 4.8. A4 Numunesinin Çöküntü Değeri – Mermi Hızı Grafik Gösterimi

A4 numunesine Çizelge 4.4.’de görüldüğü gibi en yüksek mermi hızı 351 m/s, en düşük mermi hızı 343 m/s olan 5 atış gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.8.’de görüldüğü gibi en yüksek çöküntü değeri 351 m/s hızla gelen mermi ile gerçekleşmiştir. Atışlarda delinme meydana gelmemiştir.

4.5. B1 Balistik Test Numunesi

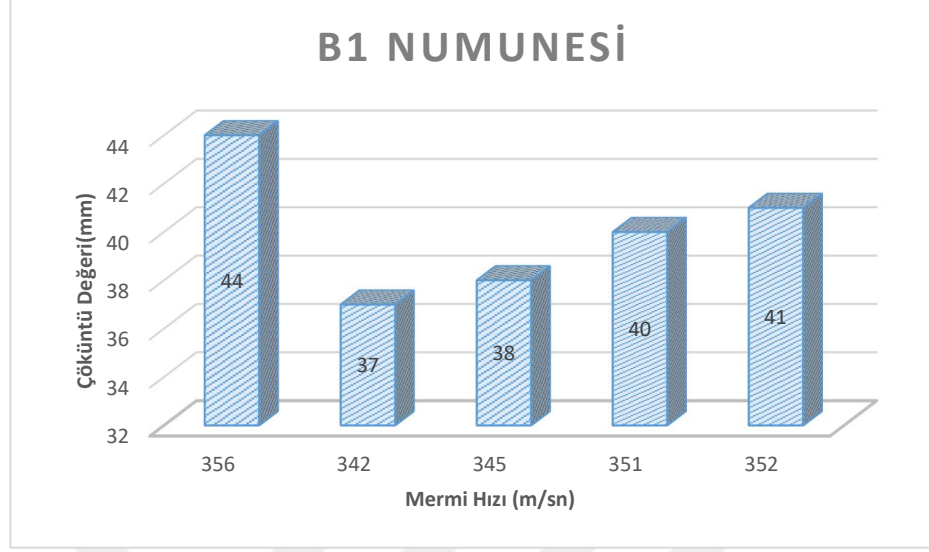
30 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar kumaşın dikilmesiyle elde edilen numune NIJ-STD-0101.06 standartlarına uygun olarak sarsılmaz 2000, 9*19 marka tabancayla numune ile silah arası mesafe 5 m olacak şekilde atış yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.9. B1 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü

Çizelge 4.5. B1 Numunesinin Atış Sonuçları

Atış No	Atış Hızı (m/s)	Kinetik Enerji (N.m)	Çöküntü Değeri(mm)	Numune arkası
1	356	506,94	44 mm	Delinme yok
2	342	467,86	37 mm	Delinme yok
3	345	476,1	38 mm	Delinme yok
4	351	492,8	40 mm	Delinme yok
5	352	495,62	41 mm	Delinme yok
Ortalama	349,2	487,86	40 mm	

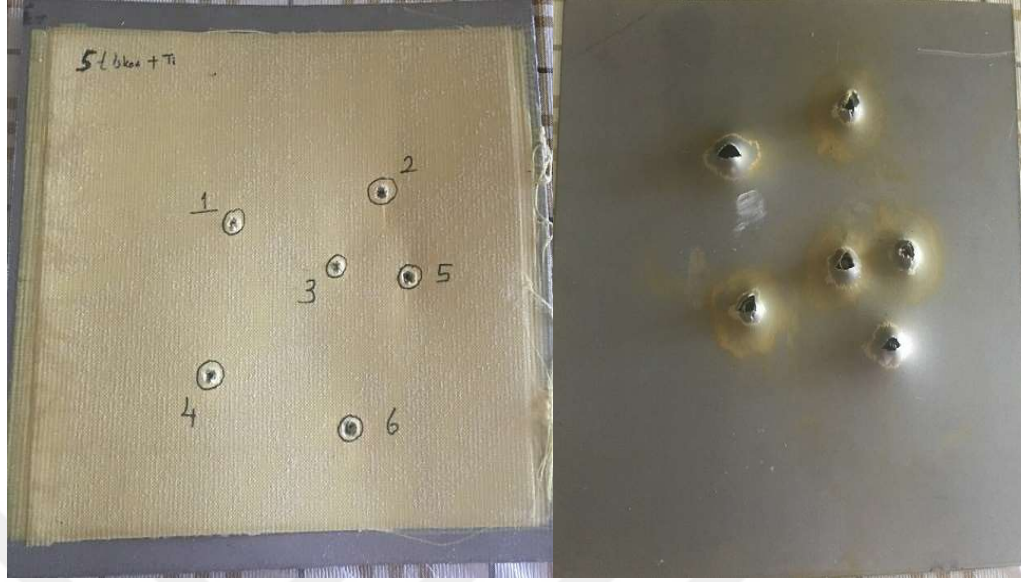


Şekil 4.10. B1 Numunesinin Çöküntü Değeri – Mermi Hızı Grafik Gösterimi

B1 numunesine Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi en yüksek mermi hızı 356 m/s, en düşük mermi hızı 342 m/s olan 5 atış gerçekleştirilmiştir. Atışlarda delinme meydana gelmemiştir.

4.6. A5 Balistik Test Numunesi

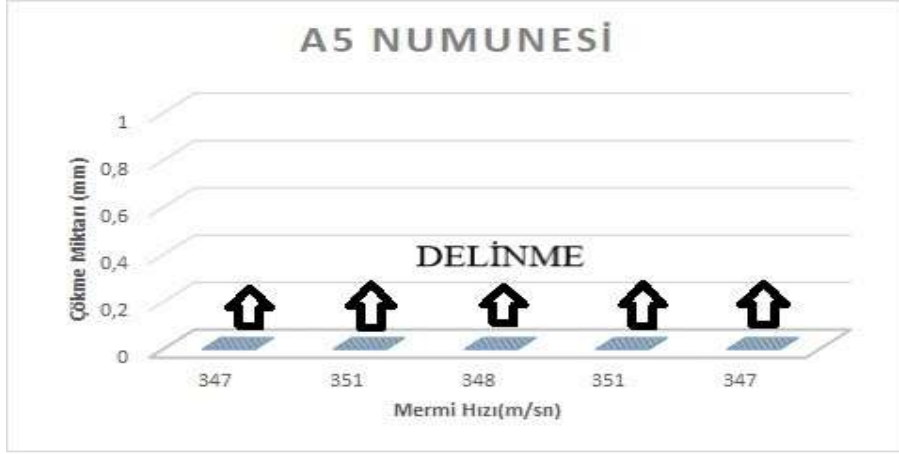
5 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar ve 1 adet GR2 ASTM B265 titanyum levha ile üretilen kompozit numune NIJ-STD-0101.06 standartlarına uygun olarak sarsılmaz 2000, 9*19 marka tabancayla numune ile silah arası mesafe 5 m olacak şekilde atış yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.11. A5 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü

Çizelge 4.6. A5 Numunesinin Atış Sonuçları

Atış No	Atış Hızı (m/s)	Kinetik Enerji (N.m)	Çöküntü Değeri(mm)	Numune arkası
1	347	481,62	.....	Delinme var
2	351	492,8	.....	Delinme var
3	348	484,42	.....	Delinme var
4	351	492,8	.....	Delinme var
5	347	481,62	.....	Delinme var
Ortalama	348,8	486,65		



Şekil 4.12. A5 Numunesinin Çöküntü Değeri – Mermi Hızı Grafik Gösterimi

A5 numunesine Çizelge 4.6’da görüldüğü gibi en yüksek mermi hızı 351 m/s, en düşük mermi hızı 347 m/s olan 5 atış gerçekleştirilmiştir. Atışlarda delinme meydana gelmemiştir.

4.7. B2 Balistik Test Numunesi

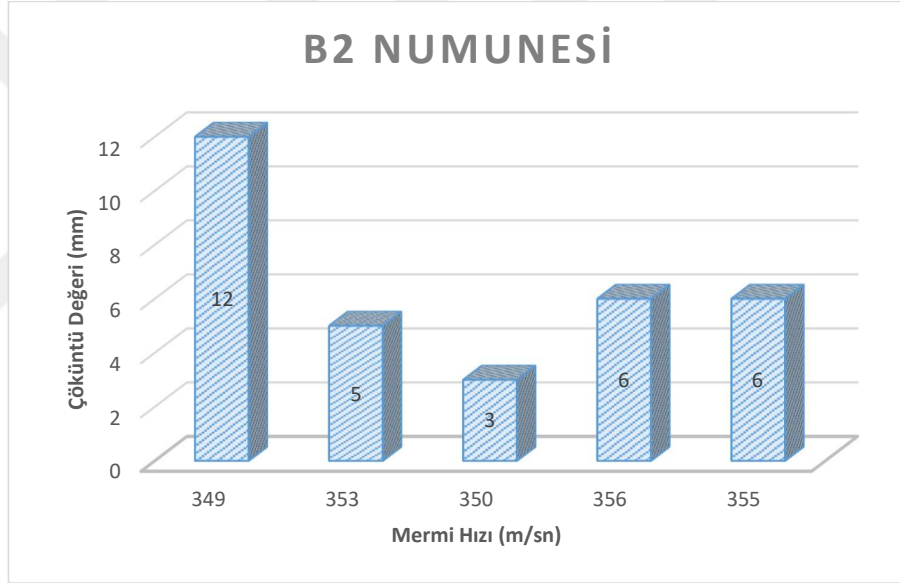
2 adet GR2 ASTM B265 1.5 mm kalınlığındaki titanyum levhadan oluşan numune NIJ-STD-0101.06 standartlarına uygun olarak sarsılmaz 2000, 9*19 marka tabancayla numune ile silah arası mesafe 5 m olacak şekilde atış yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.13. B2 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Macun Görünümü

Çizelge 4.7. B2 Numunesinin Atış Sonuçları

Atış No	Atış Hızı (m/s)	Kinetik Enerji (N.m)	Çöküntü Değeri(mm)	Numune arkası
1	349	487,2	12 mm	Delinme yok
2	353	498,43	5 mm	Delinme yok
3	350	490	3 mm	Delinme yok
4	356	506,94	6 mm	Delinme yok
5	355	504,1	6 mm	Delinme yok
Ortalama	352,6	497,33	6,4 mm	



Şekil 4.14. B2 Numunesinin Çöküntü Değeri – Mermi Hızı Grafik Gösterimi

B2 numunesine Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi en yüksek mermi hızı 356 m/s, en düşük mermi hızı 349 m/s olan 5 atış gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.14’te görüldüğü gibi 349 m/s hızla gelen mermide en yüksek çökme değerine ulaşılmıştır. Atışlarda delinme meydana gelmemiştir.

4.8. B3 Balistik Test Numunesi

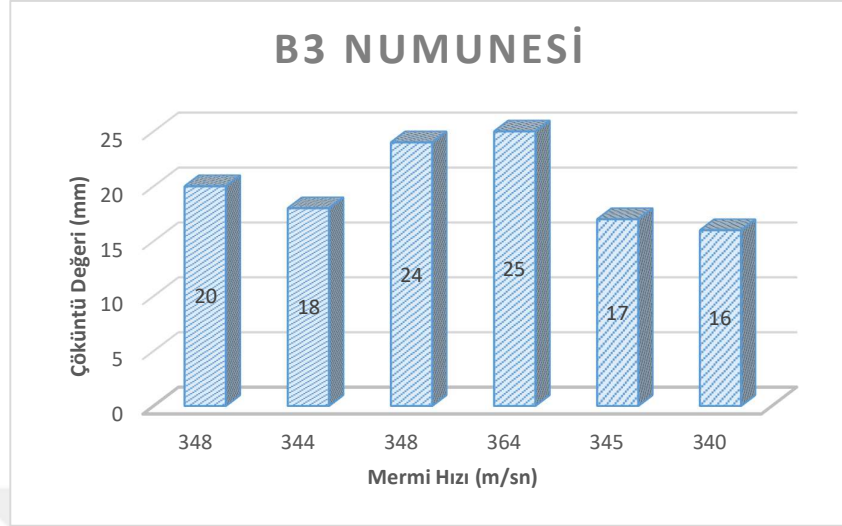
10 adet CT709-ARAMİD FABRİC-200 gr/sgm Plain kevlar ve 1 adet GR2 ASTM B265 Titanyum levhanın bir araya getirilmesiyle oluşan numune NIJ-STD-0101.06 standartlarına uygun olarak sarsılmaz 2000, 9*19 marka tabancayla numune ile silah arası mesafe 5 m olacak şekilde atış yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.15. B3 Numunesinin Atış Sonrası Ön ve Arka Görünümü

Çizelge 4.8. B3 Numunesinin Atış Sonuçları

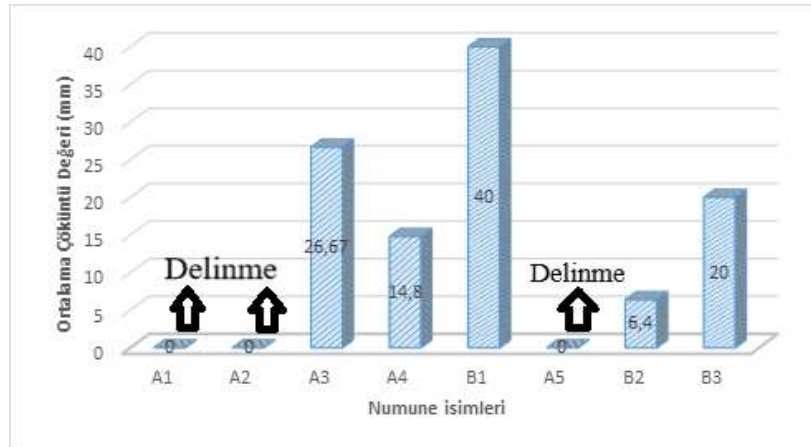
Atış No	Atış Hızı (m/s)	Kinetik Enerji (N.m)	Çöküntü Değeri(mm)	Numune arkası
1	348	484,42	20 mm	Delinme yok
2	344	473,34	18 mm	Delinme yok
3	348	484,42	24 mm	Delinme yok
4	364	529,98	25 mm	Delinme yok
5	345	476,1	17 mm	Delinme yok
6	340	462,4	16 mm	Delinme yok
Ortalama	348,17	485,11	20 mm	



Şekil 4.16. B3 Numunesinin Çöküntü Değeri – Mermi Hızı Grafik Gösterimi

B3 numunesine Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi en yüksek mermi hızı 364 m/s, en düşük mermi hızı 340 m/s olan 6 atış gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.16’da görüldüğü gibi 364 m/s hızla gelen mermide en yüksek çökme değerine ulaşılmıştır. Atışlarda delinme meydana gelmemiştir.

Üretilen A1, A2, A3, A4, B1, A5, B2, B3 kompozit numunelerin test sonuçları ve deney sonrası ortalama çöküntü değeri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.17’de verilmiştir. A1, A2 ve A5 numunelerinde tam delinme gerçekleşmiş, mermi 10 cm’lik macundan geçip gitmiştir. Bu üç numunede tam delinme gerçekleşmiştir. Bu yüzden macun derinliği hesaplanmamış, delinme olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4.17. Numunelerin Ortalama Çöküntü Değeri Grafik Gösterimi



Şekil 4.18. Atış Öncesi ve Sonrası Mermi Görüntüsü

Balistik testlerde kullanılan sekiz adet numunenin enerji sönümlenme değerleri aşağıdaki formülle tespit edilmiştir. (Yavaş,2009)

$$\text{Numune ağırlığına göre enerji sönümlenme değeri: } \frac{\text{Mermi kinetik enerjisi (Nm)}}{\text{Numune ağırlığı (gr)}}$$

Çizelge 4.9. Numunelerin Enerji Sönümlenme Değeri

Oluşturulan Malzeme İsmi	Ortalama Kinetik enerjisi (N.m)	Yapı Ağırlığı (g)	Ortalama Enerji Sönümlenme Değeri
A1	496,24	270,6 g	1,83
A2	496,11	417,4 g	1,19
A3	486,95	575,8 g	0,85
A4	480,02	908,0 g	0,53
B1	487,86	503,4 g	0,97
A5	486,65	879,4 g	0,55
B2	497,33	1.476,4 g	0,34
B3	485,11	911,2 g	0,53

Literatürdeki benzer çalışmalara bakıldığında; Yanen (2016), yaptığı çalışmada beş adet IIA seviyesinde başarılı balistik kompozit zırh üretmiştir. Elle yatırma yöntemiyle 20 cm ebatlarında kare şeklinde kesilen kumaşlar ile yapılan

kompozitlerinden 554 g olan [Karbon(45°)₁₀/Aramid(plain)₁₀/Cam (45°)₁₀] numunesi NIJ-STD-0101,06 standardına göre en hafif başarılı numunesidir. Yaptığımız çalışmada ise 30 cm ebatlarında kare şeklinde kesilen 20 tabaka kevlar kumaş ile üretilen kompozit A3 numunesi 575.8 g ağırlığında olup başarılı sonuç vermiştir. Ancak aynı ebatlar için mukayese yapılması gerekirse Yanen'in ürettiği numune 13850 g/m², çalışmamızda elde ettiğimiz A3 numunesi ise 5287 g/m² olarak hesaplanmaktadır. Dolayısı ile A3 numunesinin daha hafif olduğu görülecektir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tabakalı kompozit malzemelerin balistik zırh malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla farklı yapılarda sekiz adet numune elde edilmiştir. Elde edilen numuneler NIJ-STD-0101,06 standardı göz önünde tutularak atış poligonunda balistik testlere tabii tutulmuştur. Balistik testler sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

- A1 Balistik Test Numunesi; 270,6 g ağırlığındaki numuneye sarsılmaz kılınc 2000 marka silahla ortalama 352,2 m/s hızla gelen 9 mm FMJ mermiyle NIJ-STD-0101,06 standardı göz önünde tutularak beş adet atış yapılmış her atışta delinme gerçekleşmiş balistik dayanım sağlanamamıştır. Numune balistik koruma sağlayamamış ve başarısız olmuştur.
- A2 Balistik Test Numunesi; 417,4 g ağırlığındaki numune sarsılmaz kılınc 2000 marka silahla kullanılarak 9 mm FMJ mermiyle NIJ-STD-0101,06 standardı göz önünde tutularak yapılan atışlardan 356 m/s ve 355 m/s hızlarla yapılan atışlarda başarı sağlanmamış, diğer atışlarda başarı sağlanmıştır. İlk iki atışta delinme gözlenmesinden dolayı bu numune balistik açıdan gerekli korumayı sağlayamamış ve başarısız olmuştur.
- A3 Balistik Test Numunesi; 575,8 g ağırlığındaki numuneye sarsılmaz kılınc 2000 marka silahla ortalama 348,83 m/s hızla gelen 9 mm FMJ mermiyle NIJ-STD-0101,06 standardı göz önünde tutularak altı adet atış yapılmış hiçbir atışta delinme gerçekleşmemiştir. Tüm çöküntü miktarları 44 mm'den küçük olduğundan NIJ standardında IIA seviyesinde balistik dayanım sağlanmıştır. Ortalama değeri ise 26,67 mm olarak hesaplanmıştır. Numune balistik açıdan başarılı olmuştur.
- A4 Balistik Test Numunesi; 908,0 g ağırlığındaki numuneye sarsılmaz kılınc 2000 marka silahla ortalama 346,4 m/s hızla gelen 9 mm FMJ mermiyle NIJ-STD-0101,06 standardı göz önünde tutularak beş adet atış yapılmış hiçbir atışta delinme gerçekleşmemiş olup ortalama çöküntü değeri 14,8 mm'dir.

Tüm çöküntü değerleri 44 mm'den küçük olduğundan NIJ standardına göre IIA seviyesinde balistik dayanım sağlanmıştır. Numune başarılı olmuştur.

- B1 Balistik Test Numunesi; 503,4 g ağırlığındaki numuneye sarsılmaz kılıncı 2000 marka silahla ortalama 346,4 m/s hızla gelen 9 mm FMJ mermiyle NIJ-STD-0101,06 standardı göz önünde tutularak beş adet atış yapılmış hiçbir atışta delinme gerçekleşmemiştir. Ortalama çöküntü değeri 40 mm'dir. Tüm çöküntü değerleri 44 mm'den küçük olduğundan NIJ standardına göre IIA seviyesinde balistik dayanım sağlanmıştır. Numune başarılı olmuştur.
- A5 Balistik Test Numunesi; 879,4 g ağırlığındaki numuneye sarsılmaz kılıncı 2000 marka silahla ortalama 348,8 m/s hızla gelen 9 mm FMJ mermiyle NIJ-STD-0101,06 standardı göz önünde tutularak beş adet atış yapılmış her atışta delinme gerçekleşmiştir. Numune başarısız olmuştur.
- B2 Balistik Test Numunesi; 1.476,4 g ağırlığındaki numuneye sarsılmaz kılıncı 2000 marka silahla ortalama 352,6 m/s hızla gelen 9 mm FMJ mermiyle NIJ-STD-0101,06 standardı göz önünde tutularak beş adet atış yapılmış hiçbir atışta delinme gerçekleşmemiştir. Tüm çöküntü değerleri 44 mm'den küçük olduğu için NIJ standardına göre IIA seviyesinde balistik dayanım sağlanmıştır. Ortalama çöküntü değeri 6,4 mm olarak hesaplanmıştır. Numune balistik olarak başarılı olmuştur.
- B3 Balistik Test Numunesi; 911,2 g ağırlığındaki numuneye sarsılmaz kılıncı 2000 marka silahla ortalama 348,17 m/s hızla gelen 9 mm FMJ mermiyle NIJ-STD-0101,06 standardı göz önünde tutularak beş adet atış yapılmış hiçbir atışta delinme gerçekleşmemiştir. Tüm çöküntü değerleri 44 mm'den küçük olduğu için NIJ standardına göre IIA seviyesinde balistik dayanım sağlanmıştır. Ortalama çöküntü değeri 20 mm olarak hesaplanmıştır. Numune balistik olarak başarılı olmuştur.
- Balistik testler sonucunda çöküntü değeri bazında kıyaslama yapıldığında en düşük çöküntü değerine sahip olan B2 (1.476,4 g) numunesi en iyi başarıyı sağlamıştır.

- Balistik testler sonucunda NIJ Standardını sağlayan ve en hafif olan numune B1 (503,4 g) numunesidir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki öneri sunulmuştur.

- A4 ve B2 numunelerinin balistik dayanımı IIA koruma seviyesine göre çok iyi çıktığından II ve IIIA koruma seviyesindeki balistik dayanımı üzerinde çalışma yapılmalıdır.



6. KAYNAKLAR

- Akman, Y., Candan, C., Akdaş, D., Demircioğlu, T. K., & Pekdur, Ö. (2012). Para-aramid Malzeme Kullanılarak Üretilmiş Kompozit Zırh Tabakasının Üzerinden Kademeli Olarak Talaş Kaldırmanın Terminal Balistik Performansta Meydana Getirdiği Değişimin İncelenmesi, *14 International Materials Symposium (IMSP'2012)*, 944-952s, Pamukkale University, Denizli, 10-12 October 2012.
- Alper, İ., Çoruhlu, A. (2006). *Silah Sistemleri ve Balistik Ders Kitabı*. Kara Kuvvetleri Komutanlığı Kara Harp Okulu Komutanlığı.
- Anonymous. (2011). <http://dunyaharptarihi.blogspot.com/2011/10/savaslaridegistiren-50-silah-4-zirh.html> (on-line access on 2011)
- Anonymous. (2019). <http://www.marmaratitanyum.com/titanyum.asp> (on-line access on 2019)
- Anonymous. (2019). <https://www.paganx.org/atesli-silahlar> (on-line access on 12/06/2019)
- Anonymous. (2019). <http://www.millisavunma.com/kale-556-makinali-tufek/> (on-line access on 10/06/2019)
- Anonymous. (2019). <https://www.nedirnedemek.com/fi%C5%9Fek-ne-demek> (on-line access on 03/06/2019)
- Anonymous. (2019). <http://www.millisavunma.com/mkek-hafif-ve-agir-muhimmat-ailesi/> (on-line access on 02/04/2019)
- Anonymous. (2019). <https://www.bircokbilgi.com/barut-nedir-barut-cesitleri-ve-barutun-icadi-hakkinda-kisa-bilgi> (on-line access on 13/06/2019)
- Anonymous. (2019). <http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/03/Composites-Turkey-13.pdf> (on-line access on 15/06/2019)
- Anonymous. (2019). <http://www.asilmarine.com/tr/sss/70-para-aramid-Kevlar-nedir> (on-line access on 05/05/2019)
- Anonymous. (2019). <http://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html> (on-line access on 20/06/2019)
- Anonymous. (2019). https://www.mib.org.tr/uploads/UserFile/Pdf/bb2_j03TptWY9K0xvTmufHdojBnUCGQNHRAj.pdf (on-line access on 15/05/2019)
- Arıcasoy, O. (2006). *Kompozit sektör raporu*. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.

- Arnold W., Paul W. (2001) Behind Armour Debris Investigation and Their Application into a New Vulnerability Model, *International Journal of Impact Engineering*, **26**, 21-32.
- Ashby, M. F., Jones, D. R. H. (1998).“Engineering Materials 2 – Composites: fibrous, particulate and foamed”, *Butterworth Heinemann*, 263-276.
- Bao, Y., Su, S., Yang, J., & Fan, Q. (2002). Prestressed ceramics and improvement of impact resistance. *Materials Letters*, **57(2)**, 518-524.
- Bazhenov, S. L., & Goncharuk, G. P. (2014). The influence of water on the friction forces of fibers in aramid fabrics. *Polymer Science Series A*, **56(2)**, 184-195.
- Bogdan, A., Marszałek, A., Majchrzycka, K., Brochocka, A., & Luczak, A. (2012). Aspects of applying ergonomic tests in the evaluation of ballistic body armours using the example of ballistic vests. *J Textile Sci Eng*, **2**, 123.
- Borvik, T. (2001). “*Ballistic Penetration and Perforation of Steel Plates*”, Ph.D. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Structural Engineering, Norway, 12-16
- Bozdoğan, F., Üngün, S., Temel, E., & Mengüç, G. (2015). Textiles Used For Ballistic Protection, Their Properties And Ballistic Performance Tests. *Tekstil ve Mühendis*, **22(98)**, 84-103.
- Braga F. O., Bolzana L. T., Lima E. P., Monteiroa S. N. (2017). Performance of Natural Curaua Fiber-Reinforced Polyester Composites under 7,62 mm Bullet Impact as a Stand-Alone Ballistic Armor, *Journal of Materials Research and Technology*, **6(4)**, 323–328.
- Briscoe BJ, Motamedi F. The ballistic impact characteristics of aramid fabrics: the influence of interface friction. *Wear*1992;**158**:229–47.
- Bulut H. (2003). *Balistik Koruyucu Teçhizatın İmalatında Kompozit Malzeme Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 142994.
- Candan, C. (2007). Hafif Silahlara Karşı Preslenerek ve Preslenmeden Üretilen Yüksek Yoğunluklu Polietilen (UHMW-PE) Zırh Plakalarının Terminal Balistik Özelliklerinin İncelenmesi, 8. *Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı*, 7-9.
- Carlucci, D. E., Jacobson, S. S. (2008). “Ballistics; Theory and Design of Guns and Ammunition”, *Taylor & Francis Group*, New York, 3-429.
- Cavallaro P. V., Soft Body Armor (2011). An Overview Of Materials, Manufacturing, Testing and Ballistic Impact Dynamics, *Defence Technical Information Center*, NUWC-NPT TR 12,057, 1-22.

- Deniz H. (2009). *Çift Fazlı Bir Çeliğin 7,62mm'lik Zırh Delici Mermi Karşısında Balistik Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dey, S., Børvik, T., Hopperstad, O. S., Leinum, J. R., & Langseth, M. (2004). The effect of target strength on the perforation of steel plates using three different projectile nose shapes. *International Journal of Impact Engineering*, **30(8-9)**, 1005-1038.
- Eniz, H. (2009). *Çift Fazlı Bir Çeliğin 7,62mm'lik Zırh Delici Mermi Karşısında Balistik Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Faur G. (2016). Study on the Ballistic Performance of Composites, *Macromolecular Symposia* (pp: 217-226). 239(1), 217–226.
- Gupta, N. K., Iqbal, M. A., Sekhon, G. S. (2007). “Effect of projectile nose shape, impact velocity and target thickness on the deformation behavior of aluminum plates”, *International Journal of Solids and Structures*, **44**: 3411-3439
- Gupta, N. K., Iqbal, M. A., Sekhon, G. S. (2008). “Effect of projectile nose shape, impact velocity and target thickness on the deformation behavior of layered plates”, *International Journal of Impact Engineering*, **35**: 37-60
- Hayes, T. J. (1938). *John Wiley & Sons* (pp: 65-673). In: Fox, P.F. (Ed.) “*Elements of Ordnance; A Text Book for Use of Cadets of the United States Military Academy*”, New York.
- Henderson, J., (2008), *Ballistic Body Armor Protecting The Protectors*, Strategic Standardization, 0-18p.
- Horsfall I., Petrou E., Champion S. M., Shaped Charge Attack of Spaced and Composite Armour *23rd International Symposium on Ballistics*, Tarragona, Spain, 16-20 April 2007.
- İrfan A., Alptekin Ç. (2006). “*Silah Sistemleri ve Balistik Ders Kitabı*”, *Kara Harp Okulu Basım Evi*, Ankara, 1-87.
- Karahan, M., Kuş, A., & Eren, R. (2008). An investigation into ballistic performance and energy absorption capabilities of woven aramid fabrics. *International Journal of Impact Engineering*, **35(6)**, 499-510.
- Karamis, M. B., Tasdemirci, A., & Nair, F. (2003). Failure and tribological behaviour of the AA5083 and AA6063 composites reinforced by SiC particles under ballistic impact. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, **34(3)**, 217-226.

- Madhu, V., Ramanjaneyulu, K., Bhat, T. B., & Gupta, N. K. (2005). An experimental study of penetration resistance of ceramic armour subjected to projectile impact. *International journal of impact engineering*, **32(1-4)**, 337-350.
- NIJ Standard-01.01.06 - *Ballistic Resistance of Personal Body Armor*.
- Onga, C.W., Boey, W., Hixson, S., Sinibaldi, O., *Advanced Layered Personnel Armor*, Int. Journal of Impact Engineering, 38: 369-383, 2011.
- Özgültekin S. E. (2012). *Balistik Zirhlarda Kullanılan Kompozit Malzeme Kombinasyonlarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Özşahin, E., & Tolun, S. (2011). Polietilen destekli AA 7075 T651 levhalarda katman sıralamasının balistik dayanıma etkisi. *İTÜ Dergisi/d*, **8(2)**.
- Ramadhan, A. A., Talib, A. A., Rafie, A. M., & Zahari, R. (2013). High velocity impact response of Kevlar-29/epoxy and 6061-T6 aluminum laminated panels. *Materials & Design*, **43**, 307-321.
- Risby, M. S., Wong, S. V., Hamouda, A. M. S., Khairul, A. R. (2008). Elsadig M., Ballistic Performance of Coconut Shell Powder/TwaronFabric Against non-Armour Piercing Projectiles, *Defence Science Journal*, **58**, 248-263.
- Roberts, J. C., Ward, E. E., Merkle, A. C., & O'Connor, J. V. (2007). Assessing behind armor blunt trauma in accordance with the National Institute of Justice Standard for Personal Body Armor Protection using finite element modeling. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, **62(5)**, 1127-11
- Salehi-Khojin, A., Mahinfalah, M., Bashirzadeh, R., & Freeman, B. (2007). Temperature effects on Kevlar/hybrid and carbon fiber composite sandwiches under impact loading. *Composite Structures*, **78(2)**, 197-206.
- Sgt. Stanley Muszynski, (2004), Body Armor, Eastern Michigan University, School of Staff and Command
- Sözen, E., Gündüz, G., & Imren, E. (2016). Balistik Panel ve Koruyucu Zırh Üretiminde Kullanılan Lif ve Kompozit Malzemeler. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, **18(2)**, 194-204.
- Şahin, Y. (2000). Kompozit malzemelere giriş. *Gazi Üniversitesi, Seçkin Yayıncılık, Birinci baskı*, Ankara.
- Şen, H. (2013). *AlMg3/SiCp Kompozit malzemelerin balistik özelliklerinin incelenmesi*. Master's thesis, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tatsuya Hongu, Glyn O. Phillips. (1997). The super-fiber with new performance. (pp: 6-8). In: Fox, P.F. (Ed.), *New Fibers*.
- Temiz, S. (2005). An investigation about ballistic fabrics and test methods, 3-95.

- Übeyli, M., Yıldırım, R. O., & Ögel, B. (2008). Investigation on the ballistic behavior of Al₂O₃/Al₂O₂₄ laminated composites. *Journal of Materials Processing Technology*, **196(1-3)**, 356-364.
- Yahaya R., Sapuan S. M., Jawaid M., Leman Z., Zainudin E. S. (2016). Effect of Fibre Orientations on the Mechanical Properties of Kenaf–Aramid Hybrid Composites for Spall-Liner Application, *Defence Technology*, **12**, 52-58.
- Yanen, C., & Solmaz, M. Y. (2016). Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Üretimi ve Balistik Performanslarının İncelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, **3(2)**.
- Yanen, C.,(2016). *Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yavaş, M. O. (2009). *Hafif silahlara karşı bireysel savunma amaçlı kompozit malzeme tasarımı ve balistik dayanımı* (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yılmaz, H., 2012. *Üç Fazlı Tabakalı Karma Kompozit Yapının Balistik Özelliklerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Zaera, R., Sanchez-Saez, S., Perez-Castellanos, J. L., & Navarro, C. (2000). Modelling of the adhesive layer in mixed ceramic / metal armours subjected to impact. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **31(8)**, 823-833.
- Zhou N., Wang J., Peng C., Tong Z. (2014). Experimental and Numerical Study on the Ballistic Resistance of Steel Fibre Reinforced Two-Layer Explosively Welded Plates, *Materials and Design*, **54**, 104–11.
- Zukas, J. A., Nicholas, T., Swift, H. F., Greszczuk, L. B., & Curran, D. R. (1982). Penetration and perforation of solids. *Impact dynamics*, 155-214.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Meltem KÖLÜK TAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: MALATYA – 15.01.1994

Adres: Sahrayıcedit Mah. Şemsettin Günaltay Cad. Kadıköy / İSTANBUL

E-Posta: kolukmeltem@gmail.com

Lisans: İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Ağustos 2014 – Aralık 2017 Uluata Yapı Denetim / Kontrol Mühendisi

Aralık 2017 – Halen Yapı Denetim & Kentsel Dönüşüm Ofisi / Kontrol Mühendisi