

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MUNZUR
ÜNİVERSİTESİ
2008

**KEÇE-MANTAR-KEVLAR MALZEMELERİNDEN OLUŞAN
KOMPOZİTİN 9MM TABANCA MERMİSİNE KARŞI MUKAVEMETİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tamer KÖŞÜM

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

DANIŞMAN
Dr. Öğr.Üyesi Yahya TAŞGIN
TUNCELİ – 2018

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KEÇE-MANTAR-KEVLAR MALZEMELERİNDEN OLUŞAN
KOMPOZİTİN 9MM TABANCA MERMİSİNE KARŞI MUKAVEMETİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tamer KÖŞÜM
111107106

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

DANIŞMAN
Dr. Öğr.Üyesi Yahya TAŞGIN

TUNCELİ – 2018

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

**KEÇE-MANTAR-KEVLAR MALZEMELERİNDEN OLUŞAN
KOMPOZİTİN 9MM TABANCA MERMİSİNE KARŞI MUKAVEMETİ**

**Tamer KÖŞÜM
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez / / 2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği/oyçokluğu** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

Dr. Öğr.Üyesi Yahya TAŞGIN
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza:.....

Doç.Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ
(Fırat Üniversitesi)

ÜYE

İmza:.....

Prof. Dr.Sedat KOLUKISA
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Numan YILDIRIM
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Sivil ve askeri uygulamalarda tam balistik koruma sağlayan ve mümkün olan en düşük ağırlıktaki zırhı seçebilmek için mühendislik malzemelerinin balistik başarımlarının bilinmesi oldukça önemlidir. Son dönemlerde hızla yaygınlaşan bor teknolojisi balistik koruma alanında en üst sıradadır. Balistik malzemeler güvenlik güçlerinin yanı sıra kaza önleme alanlarında da yaygın kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, balistik koruyucu malzemelerin kullanım alanları, zırh çeşitleri, kompozit malzemeler ve çeşitleri, balistik ve çarpma konuları hakkında bilgiler verilmiş, aynı zamanda çeşitli deneyler ile Keçe-Mantar-Kevlar malzemelerinden oluşan kompozitin 9mmlik tabanca mermisine karşı mukavemeti gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Balistik, Güvenlik, Kompozit malzeme, Zırh, tabanca, keklar

ABSTRACT

Civilian and military applications, and provides full ballistic protection of engineering materials in order to choose the lowest possible weight ballistic armor is important to know the achievements. At the last years, in the ballistic protection area, rapidly spreading boron technology is at the top level. Ballistic materials are in widely used at security forces and accident protection areas.

In this work, information about the usage areas of ballistics protective materials, armor types, composite materials and types, ballistics and impact issues are given besides various experiments were carried out against the 9mm gun bullet, the composite consisting of Felt-Mushroom-Kevlar materials.

KeyWords: Ballistic, Security, Composite material, Armor, gun, kevlar

TEŞEKKÜRLER

Çalışmalarım sürecinde değerli zamanını ayırıp, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren kıymetli hocam ve danışmanım, Sayın **Dr. Yahya TAŞGIN**'a çalışmalarım sırasında desteğini benden esirgemeyen eşim **Esma KÖŞÜM**'e teşekkürü bir borç bilirim. Teşekkür ederim.



Tamer KÖŞÜM
TUNCELİ-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	III
TEŞEKKÜRLER.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLO VE GRAFİK LİSTESİ	XI
SEMBOL VE KISALTMALAR.....	XII
1.GİRİŞ	1
2. BALİSTİK KORUYUCU MALZEMELER	3
2.1. BALİSTİK NEDİR.....	3
2.1.1. İç Balistik	3
2.1.2. Dış balistik	4
2.1.3. Hedef Balistiği	5
2.2. BALİSTİK KORUYUCU MALZEMELER	7
2.2.1. Sert (Hard) koruyucular	7
2.2.1.1. Cam lifleri:	8
2.2.1.2. Metal lifleri:	8
2.2.1.3. Seramikler:	9
2.2.1.4. Yumuşak (Sofa) koruyucular:	10
2.3. BALİSTİK MALZEMELERİN KULLANIM ALANLARI:	10
2.3.1. Kompozit Yelek:	10
2.3.2. Kompozit Yelek Zırh Plakası:	11
2.3.3. Kompozit Gizli Yelek:	11
2.3.4. Mayın Elbisesi:	12
2.3.5. Açılır Kalkan Çanta:	12
2.3.6. Bomba Bidonu:	13
2.3.7. Bomba Battaniyesi:	14
2.3.8. Balistik Perde:	15
2.3.9. Helikopter Taban Zırhı:	15
2.3.10. Araç Zırhı:	16
2.3.11. Güvenlik kabinleri:	16
3. ZIRH ÇEŞİTLERİ VE MALZEMELERİ	18
3.1. BÜTÜNCÜL ZIRHLAR	18
3.2. KOMPOZİT ZIRHLAR.....	20
3.2.1. Plastik Esaslı Kompozit Zırhlar	20
3.2.1.1. Plastik Esaslı Kompozit Zırhlarda Başarımı Etkileyen Faktörler	21

3.2.1.1.1. Mermi Geometrisi ve Hızının Etkisi.....	21
3.2.1.1.2. Darbe sönümleme kabiliyeti	23
3.2.1.1.3. Kumaş Zırhlar İçin Parçacık Mukavemetlendirilmesi.....	24
3.2.1.1.4. Katmanlar Arasındaki Yapıştırma Yüzeyinin Etkisi	24
3.2.1.1.5. Eğiklik Etkisi	24
3.2.1.1.6. Çevre Şartlarının Etkisi.....	25
3.2.1.1.7. Katman Sayısının Etkisi	25
3.2.1.1.8. Dokuma Kumaşlarda Örgü Şeklinin Etkisi	26
3.2.1.1.9. Basınç Aktarımı	26
3.2.2. Seramik Esaslı Katmanlı Zırhlar.....	27
3.2.2.1. Hasar Mekanizmaları	27
3.2.2.2. Seramik Esaslı Zırh Tasarımı.....	28
3.2.2.2.1. Seramik Malzeme Seçimi	29
3.2.2.2.2. Destek Katman Seçimi	30
3.2.2.2.3. Bağ ve Empedans Etkileri	30
3.2.2.2.4. Uygun Seramik/Arka Katman Kalınlık Oranı	32
3.2.2.2.5. Eğiklik Etkisi	32
4. BALİSTİK VE ÇARPMA.....	33
4.1. TEMEL KAVRAMLAR.....	33
4.1.1. Balistik	33
4.1.2. Mermi.....	33
4.1.3. Hedef.....	34
4.1.4. Nüfuziyet (Penetrasyon)	34
4.1.5. Delinme (Perforasyon).....	34
4.2. KATILARIN ÇARPIŞMASINDA OLUŞAN FİZİKSEL OLAYLAR.....	34
4.3. HEDEFLER VE HEDEFLERDE GÖRÜLEN DEFORMASYON MEKANİZMALARI	35
4.4. BALİSTİK FAZ DİYAGRAMLARI	39
4.5. BALİSTİK İSTATİSTİKLER.....	42
4.6. BALİSTİK STANDARTLAR	45
4.7. BALİSTİK VE ÇARPMA OLAYI.....	47
4.8. MERMİ ÖZELLİKLERİ	51
5. MATERYAL VE METOT (TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR).....	54
5.1. KEVLAR	54
5.2. KEÇE.....	56
5.3. MANTAR (KAUÇUK) ŞİLTE.....	58
5.3.1. Mantarın Kullanım Alanları.....	59
5.3.2. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	60
5.4. SİLİKON VE ÖZELLİKLERİ	60
5.4.1. Isısal Özellikleri	61
5.4.2. Hava Şartlarına Dayanıklılık.....	61
5.4.3. Yapışmamazlık	61
5.4.4. Kimyasal Etkilere Dayanıklılık.....	62
5.5. ÇALIŞMA-I DENEY AŞAMASI	62

5.6. ÇALIŞMA-II DENEY AŞAMASI	67
6. BULGULAR.....	722
7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR(TABLO VE GRAFİKLER).....	79
8. ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ.....	88



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Türklerin Kullandığı Zırhı	2
Şekil 2.1 Barut	7
Şekil 2.2 Kompozit Yelek.....	11
Şekil 2.3 Kompozit Yelek Zırh Plakası	11
Şekil 2.4 Kompozit Gizli Yelek.....	12
Şekil 2.5 Mayın Elbisesi	12
Şekil 2.6 Açılır Kalkan Çanta	13
Şekil 2.7 Bomba Bidonu	14
Şekil 2.8 Bomba Battaniyesi.....	14
Şekil 2.9 Balistik Perde.....	15
Şekil 2.10 Helikopter Taban Zırh	16
Şekil 2.11 Güvenlik Kabini	16
Şekil 2.12 STF-Sıvı Jel Teknolojisi	17
Şekil 3.1 Mermi Geometrisi ve Hızının Etkisi.....	22
Şekil 3.2 Mermi Geometrisi ve Hızının Etkisi.....	22
Şekil 3.3 Yapısal Zırhın Şematik Gösterimi	23
Şekil 3.4 Çevre Şartlarının Etkisi.....	25
Şekil 3.5 Dokuma Kumaşlarda Örgü Şeklinin Etkisi	26
Şekil 3.6 Hasar Mekanizmalarının Gösterimi.....	28
Şekil.3.7 Katmanlı Kompozitin ve Yapıştırma Yüzeyinin Temsili Gösterimi.....	31
Şekil 3.8 Deney Sonrası Arka Destek Katmanının Kesiti	31
Şekil 4.1 Mermi ve Penetrator Örnekleri	34
Şekil 4.2 Hedefte Meydana Gelen Hasarlar.....	35

Şekil 4.3	Merminin Aliminyum Plakaya Nüfuziyeti	36
Şekil 4.4	Merminin Plakaya Nüfuziyet Olayının Simülasyonu	37
Şekil 4.5	Mermi Şeklindeki Farklılıklardan Dolayı Oluşan Gerilme	37
Şekil 4.6	Farklı Şekle Sahip Mermilerin Nüfuziyet Mekanizmaları	38
Şekil 4.7	Kopmpozit Tabakalarında Meydana Gelen Ayrılmalar	38
Şekil 4.8	V50 Hız Gösterimi.....	40
Şekil 4.9	Küresel Uçlu Bir Merminin Aliminyum Plakaya Çarpması.....	41
Şekil 4.10	Kurbanların Karşılaştırılması.....	45
Şekil 4.11	Kurbanların Karşılaştırılması.....	45
Şekil 4.12	Karşılaştırma İçin Kullanılacak Verilerin Şematik Gösterimi.....	45
Şekil 4.13	Balistik ve Çarpma Olayı	47
Şekil 4.14	Fiber Kompozitteki Hasarda Dikiş Etkisi.....	48
Şekil 4.15	Çeşitli Kalınlıklardaki Plakalara Nüfuziyeti Kesit Görüntüsü	49
Şekil 4.16	Seramik Zırhın Sertlik-Penetrasyon Eğrisi	49
Şekil 4.17	Kompozit İçerisindeki SİC Taneciklerinin Görüntüsü	51
Şekil 4.18	9×19mm Parabellum Kesit Görünümü ve Ölçüleri	52
Şekil 5.1.	9mm Tabanca.....	54
Şekil 5.2	Para-Aramid (Kevların) Kimyevi Yapısı.	55
Şekil 5.3	Kevlar 49 Lifi	56
Şekil 5.4	Kevlar 49 Lifi Örgü Yapısı.....	56
Şekil 5.5	Anadolu Keçesi.....	57
Şekil 5.6	Keçe	58
Şekil 5.7	Mantar Şilte	59
Şekil 5.8	Mantarın Kabuk ve İşlenmiş Hali.....	60
Şekil 5.9	Malzeme Katman Sırası ve Kesit Görünümü	62

Şekil 5.10 9mm'lik Tabanca Mermisi	63
Şekil 5.11 Mantar-Keçe-Kevlar	64
Şekil 5.12 Presli Malzeme	65
Şekil 5.13 Polietilen Malzeme	66
Şekil 5.14 M-16 Piyade Tüfeği.....	66
Şekil 5.15 7.62 mm Pkms (Bkc) Makineli Tüfek (Bixi)	67
Şekil 5.16 30 Kevlar Arasına Macun Emdirilirken	67
Şekil 5.17 Macun Yapılışı.....	68
Şekil 5.18 Macunun Fırınlama İşlemi.....	78
Şekil 5.19 Kompozit Malzemenin Atış Öncesi Son Hali	79
Şekil 5.20 HK-33 Piyade Tüfeği.....	70
Şekil 5.21 Keskin Nişancı Tüfeği BORA.....	71
Şekil 6.1 Merminin Kevlare Yaptığı Basınç Sonucu.....	72
Şekil 6.2 Mermini Keçeye Yaptığı Basınç Sonucu.	73
Şekil 6.3 Mermi Kompozit Malzemedden Geçmemiştir.	73
Şekil 6.4 Atış Sonucu Merminin Malzeme Üzerindeki Aldığı Mesafe	74
Şekil 6.5 Merminin Keçe Üzerinde Basıncın Etkisi	74
Şekil 6.6 Mermini Mantar Üzerinde Yaptığı Basıncın Etkisi.....	75
Şekil 6.7 Merminin Kompozit Malzemeye Çarpması Sonucu Hali	75
Şekil 6.8 Merminin Kompozit Malzemeye Çarpma Öncesi ve Sonrası Halleri	76
Şekil 6.9 Çalışma II'nin 25 m'de Atış Sonuçları.....	77
Şekil 7.1 Merminin Son Hali	78
Şekil 8.1 M-16 Piyade Tüfeği Atışı Sonucu	83

TABLO ve GRAFİKLİSTESİ

Tablo 4.1 Kore Savaşındaki İstatistikler	43
Tablo 4.2 Savaşlarda Vücudun İsabet Alan Bölge Verileri	43
Tablo 4.3 FBI Tarafından Yapılan Çalışma Sonucu.....	44
Tablo 4.4 NIJ Standardı	46
Tablo 5.1 Numunelerin içeriğindeğ malzemelerin miktarları	63
Grafik 7.1 Numulere ait Kevlar-Keçe-Mantar (Kauçuk) Oranları.	78
Tablo 7.1 Numunelere Ait Katmanlarda Merminin İlerleme Derinliğı.....	79
Grafik 7.2 Numulere ait Mermi ilerleme Derinliğı (10 metre mesafe için).....	79
Tablo 7.2 Numunelere Ait Katmanlarda Merminin İlerleme Derinliğı.....	80
Grafik 7.3 Numulere ait Mermi ilerleme Derinliğı (20 metre mesafe için).....	80

SEMBOL VE KISALTMALAR

SEMBOL LİSTESİ

°	: Derece
GPa	: Gigapaskal
g	: Gram
g/m ²	: Gram/metrekare
g/cm ³	: Gram/santimetreküp
kg/ms	: Kilogram/metre.saniye
mm	: Milimetre
N/mm ²	: Newton/milimetrekare
°C	: Santigrat derece

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	:American Society of Testing Materials
C1	:Cam Dokuma Kumaş ve Pres Yöntemiyle Üretim
C2	:Cam Dokuma Kumaş ve El Yatırmasıyla Üretim
CTP	:Cam Elyaf Takviyeli Plastik
EN	:European Norm (Avrupa Standartları)
GRP	:Glass Reinforced Plastic (Cam elyaf takviyeli plastik)
HV	:Yüksek Hızlı (High Velocity)
ISO	:Uluslararası Standard Ofisi (International Organisation for Standardization)
LT1	:Tek Eksenli Kumaş ve Pres Yöntemiyle Üretim
LT2	:Tek Eksenli Kumaş ve El Yatırmasıyla Üretim
Maks.	:En Yüksek (Maximum)
Q1	:Dört Eksenli Kumaş ve Pres Yöntemiyle Üretim
Q2	:Dört Eksenli Kumaş ve El Yatırmasıyla Üretim
RTM	:Reçine Transfer Yöntemi
SEM	:Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
TS	:Türk Standartları
VARİM	:Vakum Destekli Reçine Enjeksiyon Sistemi
XT1	:Üç Eksenli Kumaş ve Pres Yöntemiyle Üretim
XT2	:Üç Eksenli Kumaş ve El Yatırmasıyla Üretim

1.GİRİŞ

İnsanlık tarih boyunca kendini koruma ihtiyacı duymuştur. Bunun için taş ve sopaların kullanımı ile başlayan silahları geliştirmiştir. Silahlanmanın yayılması silah tehdidine karşı korunma ihtiyacını peşinden sürüklemiştir. Bu ihtiyaç insanı kalkan ve zırh kullanmaya itmiştir. Sert cisimlerle savaşan insanlık yine sert cisimlerle kendisini korumuştur. Savaşlar geçirmiş ve bu savaşlarda ürettiği silah ve zırh teknolojisini kullanmıştır. 13. yüzyılda kılıçla savaşan ya da kendisini koruyan insanoğlu yine bu dönemde tüm vücudunu saran çelik elbiseleri tehlikelere karşı kalkan olarak kullanmıştır. Şekil 1.1'de 13. yüzyılda Türklerin kullandığı ve Robinson'a göre döneminin en önemli zırhı görülmektedir (Robinson, 1967). Hızla gelişen silah teknolojisi barutun ve ateşli silahların icadıyla yeni bir boyut kazanmıştır. Silahların ağırlığı azalıp boyutları küçülürken etki ve menzilleri artmıştır. Buna paralel olarak gerek bina ve araç gerekse personel zırhında yüksek başarımlı ve düşük yoğunluk ihtiyacı kaçınılmaz olmuştur.

Zırh teknolojisinde metallerin çok önemli bir yeri vardır. Metaller çok uzun süre üzerlerinde çalışıldığından ve iyi bir teknolojik veri tabanına sahip olduklarından zırh malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Metallerin tokluk, mukavemet ve sertlik gibi mekanik özellikleri de zırh malzemesi olarak kullanılmalarında avantaj oluşturmaktadır (Ubeyli,2006). Ancak metallerin yoğunlukları diğer mühendislik malzemelerine kıyasla yüksektir. Bu da zırhın ağır olmasına neden olmaktadır. Personelin ağır bir zırhı taşıması ve o ağırlıkla hızlı hareket etmesi oldukça güçtür. Aynı şekilde yüksek ağırlıktaki bir aracın hareket kabiliyeti de oldukça düşecektir. Bu yüzden hafif zırh üretimine büyük ihtiyaç vardır.

Hafif zırh üretimine duyulan ihtiyaç kompozitlerin kullanılmasını gündeme getirmiştir. Metal, seramik ve polimer esaslı bir çok kompozit sistemi denenmiştir. Ancak seramikler çoklu atışlara uygun olmadığından avantajlarını nispeten yitirmiş sayılabilir. Öte taraftan, Polimerler de yüksek tahribatlı mühimmatı korumada avantaj sağlamamaktadır. Halen hem çoklu atışlarda hem de yüksek tahribatlı mühimmatlarda en önemli aday malzemeleri çelikler olarak göze çarpmaktadır.

Şekil 1.1. 13.yy Türk zırhı. Döneminin en iyi korumasını sağlamıştır. Örgü şeklinde olması toplam zırh ağırlığının düşük olmasını sağlamıştır. Hiçbir kılıç darbesi ile hasar görmemiştir (Robinson, 1967).



Şekil 1.1Türklerin Kullandığı Zırh

2. BALİSTİK KORUYUCU MALZEMELER

2.1. Balistik Nedir

"Balistique" Fransızcadan gelen bir kelimedir, Merminin namlunun içindeki ve dışındaki devinimlerini ayrıca hedefteki etkisini inceleyen bir bilim dalıdır.(Şenel,2004) Farklı bir söyleyişle de, mermilerin itme kuvveti, uçuşu ve çarpma etkisini araştıran bir bilim dalıdır. 19.yy sürecinde silah alanında ortaya çıkan teknik ilerlemelerin devamında türeyen modern balistik bilimi üç kısma ayrılır:

- Mermi yada füzenin, silah içerisinde ve tesirini hareketini araştıran iç balistik,
- Uçuş zamanında hareketini inceleyen dış balistik,
- Hedefteki deformasyonundatayını araştıran hedef balistiği olarak sınıflandırılabilir (Ersoy,2001).

2.1.1. İç Balistik

İç balistik, kimyasal enerjinin temelini, gazın genleşmesini ve ortaya çıkan enerjinin kontrolünü, yönlendirilmesini araştırır. Asker silahları, asker silahı olmayanlara göre sıcaklık ve basınç türünden daha çok zorlanmış durumlarda çalışırlar. Bir merminin silah içindeki işlevi, gazın mermiye etkisi ile alakalıdır. Mermi hareketi geçtiği sırada, içinde bulunduğu ortama basınç işlemi uygularken arada sürtünme kuvveti meydana gelir. Yüksek sıcaklık derecesindeki gaz, namluyu çok fazla ısıttığından kimyasal reaksiyona meydana gelir (Ersoy,2001).

Normalde bir ateşli silah bir ısı makinesinden ibarettir. Çalışması araçların motoruna benzemektedir. Genişleyen gaz bir piston yerine merminin hareket etmesine sebep olur. Ateşlemenin sonucunda yüksek miktarda basınçla yayılan gazın basıncı artarken, mermi atalet ve sürtünme sebebiyle hareket durur. Fakat basıncın daha da artması, merminin hareketine sebep olur. Merminin hareketi sonucu hacim artınca, basınç maksimuma erişinceye kadar hızla yükselir. Daha sonra basınç düşer, mermi silahı terk ederken bu miktar maksimumun % 10-30'u arasında farklılık gösterir. Silahın ağzındaki basınç, merminin burayı terk etmesinden sonra da belli bir mesafe için hızlanmasını sağlar. Farklı

bir düzen Şekli ise, genişleyen gazların bir miktarının diğerynde çıkması sağlanarak silahı etkileyen kuvvetlerin dengelenmesidir. Mermi hızlarını ve gaz basınçlarını zaman ve merminin silah içindeki hareketine bağlı olarak ifade eden formüller geliştirilmiştir. Modern top mermilerinde yerçekimi ivmesinin 20-30 bin katları kadar ivme oluşur, yüksek gerilimler meydana gelir. Bu sebeple, i  balistik namlu gerilmesinin hesabını önemli bir konu olarak telakki eder. Namluda meydana gelen i  gerilmeler, aynı zamanda dıŐardan tatbik edilecek gecikmelerle önemli ölçüde azaltılır (Ersoy,2001).

   balistiğin başka bir içeriği ise, silahın namlu içindeki spiral seklindeki yiv ve setlerdir. Bu, bir merminin dönerek hedefe ulaŐmasına neden olurken, yörüngesinin sabit olmasını amaçlar. Spiral yivler namlunun eğimine de bağlıdır. Düzgün olabileceği gibi, ağza doğru sıklaŐabilir veya bunların bir çeşit birleŐmesindenmeydana gelebilir.

2.1.2. Dış balistik

Mermi veya f zeye etki eden atalet, yerçekimi ve hava tarafından tesir eden aerodinamik kuvvetlerin bilinmesi halinde, yörüngelerin hesabı önemli bir zorluk arz etmez. Fakat aerodinamik kuvvetlerin bilinmesi oldukça zordur. Bir mermi, hava direncini yenmek ve dengeli (sabit) uçuş yapmak için uçuş süresi boyunca hedef noktasına doğru ilk çıkış pozisyonunda gitmek zorundadır. Eğer mermi pozisyonunu deđiŐtirirse veya takla atarsa, bu uçuŐun planlandığı gibi sonu lanmamasına ve menziline düŐmemesine neden olur. Uçuş düzenini sağlamak için iki metot vardır. Bunlar, kanatçık stabilizasyonu ve sin, dönme stabilizasyonudur (Ersoy,2001).

Kanatçık stabilizasyonunda, mermi üzerine monte edilmiş kanatçıklar merminin kendi çevresinde dönmeden gitmesini sağlarlar. Bu durum kanatçıklar üzerinde oluşan aerodinamik kuvvetler yardımıyla sonuçlanır. Sin stabilizasyonlu bir merminin ise sahip olduğu jiroskobik dönme hareketinin bir sonucu olarak daima ilk hedef doğrultusu boyunca sürekli devam eder. Bu dönme hareketinin ataleti, doğru eksenden doğacak değişikliklere izin vermez.

2.1.3.Hedef Balistiği

Temel verilerin oluşması için balistiğin bu kolu, diğer dallar olan iç balistik ve dış balistikler kadar içeriği önemsenmektedir. Ancak Radyografi branşındaki ve yüksek sürat fotoğraf çağındaki gelişmeler bu bölüme yardımcı olmuştur. Fakat alınan bilgilerin güvenilebilirliği konusu hala tartışılmaktadır. Bütün bilinen silahlar ve hedef şartlarında hedefin tahrip edilmesi aşağıdaki fiziki tesirlerle oluşmaktadır:

- Bomba, roket, harp başlığı, el bombası kullanıldığı durumlarda genellikle parçalanma etkisi veya küçük parçacıkların birbirlerinden farklı hareketleri sebebiyle,
- Hedefi delme/sızma sonucunda parçalama sebebiyle,
- Su/hava gibi akışkan bir ortam içerisinde büyük miktarda bir enerjinin ani olarak serbest kalmasının neden olduğu infial hadisesiyle,
- Nispeten yüksek hızlı sarsıntıların olduğu yıkma etkisiyle,
- Bir patlamanın ateşi yada radyasyonu sonucu çıkan ısı sebebiyle,
- Yangınların olma sebebiyle,
- Oluşan infilak sonucu duman yadazehirli gazların kimyasal etkisiyle,
- Bakteriyolojik/Radyasyon etkisiyle

Bu çeşit hedef etkilerin incelenmesi ve değerlendirilebilmesi sonucu bu konuyla alakalı birtakım esaslar düşünülmüştür.

Hedefe temas edenmerminin meydana getirdiği etkiler üzerine yapılan bilimsel çalışmalar yenidir. Bu kapsamda hedefte meydan gelen zararı ve silahın verimliliğini arttırmak için ilk çalışmalar kovani büyütme şeklinde düşünülmüştür. Bununla birlikte savaşlarda zırh ve uçakların kullanılması, zırh delici sistemlerin gelişimini beraberinde getirmiştir. Ayrıca, metalürji bilimindeki son yenilikler, çok yüksek basınçlar ile milisaniye aralığında gerçekleşen olayları ölçebilen cihazların bulunuşu hedef balistiğinin gelişimine imkân sağlamıştır (Şenel,2004).

Mermi, ateşli silahlardan atılan delici, patlayıcı madde, kursun anlamına gelmektedir. Küçük çaplı ateşli silahlar ile ağır ateşli silahların mermileri değişiklik gösterir. Tüfek, tabanca gibi küçük silahların mermisi çarpma sonucu hedefi deler. Büyük çaplı, ağır ateşli silahlardan topların ise mermileri hedefte patlar.

Ateşli silahların mermisi üç ana kısımdan meydana gelir. Merminin uç kısmına mermi çekirdeği denir. Silah ateşlenince mermi çekirdeği hedefe doğru gider. İkinci kısım sevk barutudur. Sevk barutu yandığı zaman meydana getirdiği basınçla mermiyi iterek namludan çıkartır. Üçüncü kısma mermi kovanı denir. Tek yanı kapalı bir metal silindir olan mermi kovanının içinde sevk barutu bulunur. Mermi kovanının arka ucunda kapsül denen bir ateşleyici bulunur ve tetik çekilince barutun ateşlenmesini sağlar. Ateşleme iğnesinin çarpmasıyla ya da elektrik akımıyla ateşlenen kapsül kovandaki barutu tutuşturur. Barutun yanmasıyla ortaya çıkan sıcak gazın basıncı mermi çekirdeğini ileriye doğru iter ve çekirdek namlu ağzından büyük bir hızla hedefe doğru fırlar. Küçük çaplı ateşli silahlarda, mermi çekirdeği, mermi kovanı ve sevk barutundan oluşan mermiye fişek denir. Bu parçalar bir birbirine sıkıca bağlı olduğu için fişek tek parça gibi görünür. Mermi çekirdekleri kursundan yapıldığı için, hafif silahların mermileri kursun olarak da adlandırılır. Fişeklerde mermi çekirdeği ile mermi kovanı bir bütündür ve sadece sevk barutu ateşlendiğinde birbirinden kopar. Aslında top mermilerinde mermi çekirdeği ile kovan birbirinden ayrılabilir ve içindeki barut miktarı hedefin uzaklığına göre ayarlanabilir (Demirkesen,1997).

Barut, hızlı alev alan bir maddedir (Şekil 2.1). Yandığında ortaya çıkan gazların basıncı, ateşli silahlarda mermi için itici gücü oluşturur. Barut düşük seviyeli patlayıcılar grubuna girer. Yandığında yavaş bir parlama oluşur. Bu sayede silahta barutun yanmasından oluşan basınç, mermiyi itecek kadar güç ortaya çıkarırken, namluya da herhangi bir olumsuzluk çıkartmaz.



Şekil 2.1 Barut

2.2. Balistik Koruyucu Malzemeler

Balistik koruyucu malzemeler kullanım alanına göre eldiven ve yelekte olduğu gibi vücuda rahatlıkla giyilebilecek kadar esnek yapıda olmalı veya araç, tank zırhlandırması, başlık şeklinde kullanılması için katı olmalıdır.

Balistik koruyucu malzemeler kullanım alanına göre eldiven ve yelekte olduğu gibi vücuda rahatlıkla giyilebilecek kadar esnek yapıda olmalı veya araç, tank zırhlandırması, başlık şeklinde kullanılması için katı olmalıdır (Demirkese,1997).

2.2.1. Sert (Hard) koruyucular

Cam, metal ve seramik yapılardan oluşan zırh şeklindeki koruyuculara sert koruyucular denir. Cam artık sert koruyucu olarak kullanımdaki önemini kaybetmiştir. Metal ve seramiklerin yanında bazı yumuşak koruyucu malzemeler de çeşitli işlemlerden geçirilerek sert koruyucu olarak kullanılmaktadırlar.

2.2.1.1. Cam lifleri:

Cam lifleri en ve boyuna göre eşit elastik modül içeren, genellikle amorf yapılardır. Lif çapı 5-20 Mµ arasındadır. Camın sıcaklığı, viskozitesi ve çekme hızı değiştirilerek farklı çaplarda filamentler elde edilebilir. Yüksek çekme ve darbe dayanımına sahiptirler. Sürtünerek birbirlerini yıpratırlar. Mekaniksel özellikleri sıcaklık artmasıyla fazla artmaz ve yanmazlar. Kimyasal dayanımları oldukça fazladır. Çok güçlü alkaliler ve hidroklorik asit dışında korozyon dayanımları olağan üstüdür (Şahin,2001).

En yaygın kullanılan cam “Soda-Kireç-Silis” camıdır. Kumdan elde edilir. Bundan dolayı silika camı da denir. Ayrıca bor oksit, kursun oksit gibi diğer oksitlerden de üretilir.

A-C-D-E-S tipi cam lifleri bulunmaktadır. Bunlardan en fazla E ve S tipi kullanılmaktadır. E camı en çok kullanılan camdır. Boyutsal kararlılığı, kimyasal maddelere ve neme karşı direnci iyidir ve ucuzdurlar.

S tipi cam çok yüksek mukavemetin gerekli olduğu yerlerde kullanılır. Yüksek termal stabilizeye sahiptirler. Alümina içeriği ve mukavemeti E camına göre fazladır. Pahalıdırlar. Cam lifleri helikopter gövde ve kanatlarının yapımında, roket yapımında, kazan ve kabloların kaplanmasıda kullanılırlar.

2.2.1.2. Metal lifleri:

Balistik korunma amaçlı kullanılan metaller; çelik, alüminyum ve titanyum alaşımlarıdır. Metaller kolay bulunabilirlik, maliyet, esneklik ve şekillendirilebilme özelliklerinden dolayı zırh yapımı için her zaman önde gelen malzemeler olmuşlardır. Zırh çeliği ısıtılma tabii tutularak sertleştirilmekte, böylece çarpan mermiye karşı delinme direnci artmakta ve çarpan merminin kinetik enerjisini daha iyi absorbe edebilmek için zırh çeliğini toklaştırmaktadır (Şahin,2001).

1950’li yıllardan itibaren çelikten daha hafif olan alüminyum alaşımlı zırhlar büyük ilgi çekmiştir. Bu tür zırhlar düşük kalibreli mermilere ve şarapnel parçalarına karşı geliştirilmiştir. Yüksek hızlı mermilere karşı balistik dirençlerinin az olması sebebiyle alüminyum alaşımlarının dış yüzeyinde yüksek sertlikli ince bir çelikle oluşturduğu kombinasyonları düşünülmüştür.

Titanyum alaşımları da çeliğe göre daha hafif olduğu için zırh alanında kullanılmaya başlanmıştır. Titanyum alaşımları çelik ve alüminyum alaşımlarından yapılan zırhlara göre daha yüksek kütle etkinliğine sahiptirler. Birden fazla yapılan atışlara karşı balistik performansı iyidir. Yüksek dayanım/ağırlık oranına ve mükemmel korozyon direncine sahiptirler. Bu sayede zırhlı araçların bakım masrafları azalmaktadır. Fakat küçük parçaların kopmasına karşı özel bir muhafaza gerektirirler ve işleme masrafları yüksektir.

2.2.1.3. Seramikler:

Balistik koruyucularda sert koruyucu olarak Al_2O_3 (Alümina), SiF (Silikon Karpit) ve B_4C (Bor karbür) hammaddeli seramik plakalar kullanılmaktadır. Kullanılan seramiğin sertliği arttıkça balistik koruma performansı da artmaktadır. Seramiğin yoğunluğu ise plakanın ağırlığını belirlemektedir. düşük yoğunluklu ve yüksek sertliğe sahip seramikler balistik koruyucu yapımında tercih edilmektedir. Fiyat ve performans yönünden en çok tercih edilen seramik Al_2O_3 'tür (Şahin,2001).

Seramiğin performansını etkileyen bir başka etkende, seramik imalatı sırasında sin terleme yapılırken içinde kalan hava boşluklarıdır. Bu hava boşluklarının fazla olması balistik performansı olumsuz etkilemektedir.

Balistik koruyucu tasarlarken ağırlık ve koruyucu performans yönünden optimum seramik çeşidi ve kalınlığını seçmek gerektir. Uygun malzeme ve malzeme kalınlığı seçilmez ise, elde edilen koruyucu yapı gereğinden ağır veya pahalı olabilir.

Balistik koruyucularda seramik yerine yüksek sertlikte (60-70 RC) çelik plakalar da kullanılabilir. Ancak daha ağır olacağı için seramik kullanılması tercih edilmektedir. Değişik mermi türlerine karşı seramik kompozit plakalar ile çelik plakaların ağırlık yönünden bir karşılaştırması yapılmıştır.

2.2.1.4. Yumuşak (Sofa) koruyucular:

Balistik koruyucu yapı tasarlarken en önemli unsur hafif olması ve merminin çarptığı andaki darbe enerjisini emerek dokuların en az düzeyde zarar görmesini

sağlamaktır. Ayrıca kullanan kişinin hareket kabiliyetini kısıtlamayacak şekilde esnek olmaları gerekmektedir.

Hızla gelişen teknolojiye paralel olarak balistik koruyucu olarak kullanılan malzemelerin çeşitlerinde de önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve polimer esaslı malzemelerden lif çekilmek suretiyle kumaş ve kumaş benzeri yapılar elde edilerek balistik koruyucu yapımında kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde poliamid, aram id, polietilen ve polip-p fenilenbenzobisoksazol liflerinden elde edilirler. Bazı alanlarda cam elyafı da yumuşak koruyucu olarak kullanılmaktadır (Demirkesen,1997).

Polimer malzemeler çeşitli tekniklerle lif haline getirildikten sonra değişik konstrüksiyonlarda kumaşların üretilmesinde veya dokusuz yüzey elde edilmesinde kullanılırlar. Elde edilen bu yapılar kullanım alanına göre çeşitli kat sayılarında üst üste koyularak, dikim tekniği ile veya reçinelerle ve ısıt işlemlerle kompozit yapı haline getirilerek balistik koruyucu yapımında kullanılırlar.

Yumuşak koruyuculardan balistik koruyucu yelek ve balistik koruyucu başlıklar üretilir. Ayrıca bomba eldivenleri ve bomba battaniyeleri de yumuşak koruyucu dediğimiz bu yapılardan yapılmaktadırlar.

2.3. Balistik Malzemelerin Kullanım Alanları:

2.3.1. Kompozit Yelek:

Askeri personel, polis, avcı, güvenlik görevlileri, çatımsa bölgesindeki gazeteciler, yakın koruma görevlileri vb. personele tehdidin nereden geleceği belli olmayan ani saldırılarda balistik koruma sağlayan yeleklerdir (Şekil 2.2.).

Balistik koruyucu yelekler vücudun ön arka, yan kısımları, kasık bölgesi, yaka ve boyun bölgesini koruyabilmektedir. Yeleğin ön ve arkasındaki plaka ceplerine plaka ilavesi ile tabanca, makineli tabanca (9 mm FMJ), G3 piyade tüfeği, kalesnikof tüfeği (7,62 mm FMJ NATO normal) mermilerine karşı maksimum koruma değeri yükseltilebilmektedir.



Şekil 2.2 Kompozit Yelek.

2.3.2. Kompozit Yelek Zırh Plakası:

Askeri personel, özel harekât timleri, polis, güvenlik görevlileri, çatışma bölgesindeki gazeteciler, yakın koruma görevlileri, avcı vb. personele tehdidin nereden geleceği belli olmayan ani saldırılarda G3 piyade tüfeği, kalesnikof tüfeği, makineli tabanca, tabanca mermilerine karşı balistik koruma sağlayan zırh plakalarıdır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Kompozit Yelek Zırh Plakası.

2.3.3. Kompozit Gizli Yelek:

Gömlek ve tişört altından belli olmayacak şekilde giyilebilen yeleklerdir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Gizli Yelek.

2.3.4. Mayın Elbisesi:

Her türlü mayın tespit edilen arama sahalarında, intikallerde, şüpheli paketlerin imha edilmesi uygulamalarında giyilebilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Mayın Elbisesi

2.3.5. Açılır Kalkan Çanta:

İç güvenlik harekâtları, operasyonlar, sivil ve resmi görevlendirmeler, özel koruma faaliyetleri, emekli personelin (asker, polis, kamu) güvenliği vb. durumlar esnasında bireysel savunma amaçlı, personeli ani saldırılardan koruyacak ve kalkan vazifesi görecektir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Açılır Kalkan Çanta.

2.3.6. Bomba Bidonu:

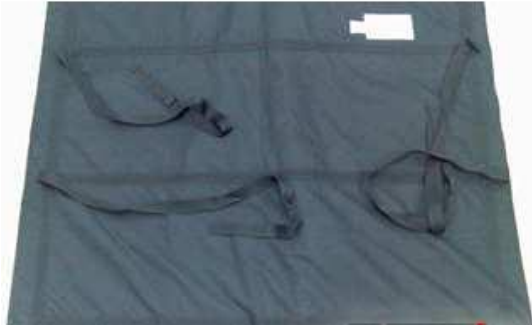
Terör örgütleri eylemlerini gerçekleştirirken hazırladıkları bombayı patlamadan fark edilmemesi ve dikkat çekmemesi amacıyla genellikle çöp tenekelerine bırakmaktadır. Bombaya dayanıklı bidon iste bu amaçla üretilmiş olup binaya ve personele gelebilecek parçacık, basınç (balast) etkisini en azaltmayı amaçlar. Bomba bidonunun normal bir çöp bidonundan ayırt edilemez özellikte olması amaçlanmıştır. Şekil 2.7 de bu uygulamalar için tasarlanan bir bomba bidonu gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Bomba Bidonu.

2.3.7.Bomba Battaniyesi:

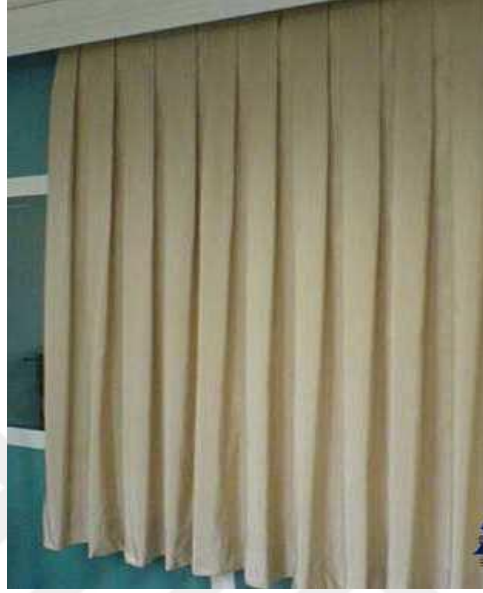
Bomba battaniyesi binaya ve insanlara gelebilecek parçacık ve balast (basınç) etkisini en düşük seviyede olmasını sağlar. Battaniyenin esnekliği sayesinde şüpheli cismin üzeri kapatılarak mümkün olan maksimum koruma hedeflenir. Bomba battaniyesi meydana gelecek patlamanın etkisini mümkün olduğunca en aza indirmeye yardımcı olmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Bomba Battaniyesi.

2.3.8.Balistik Perde:

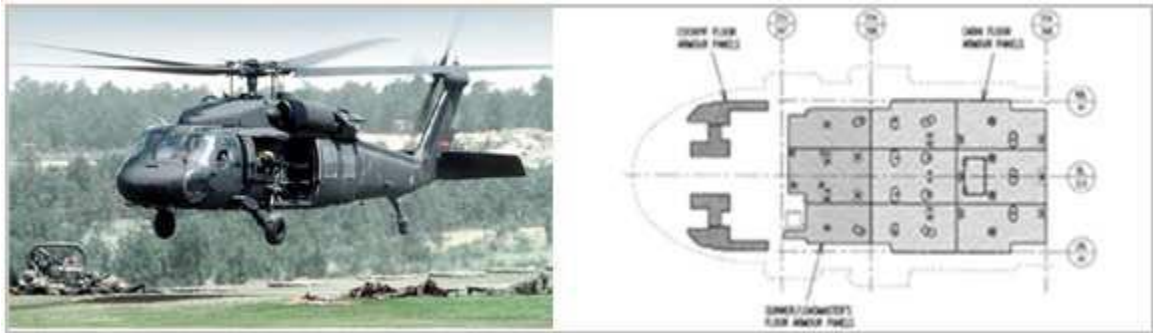
Tüm ofis, büro ve stratejik mekânlara (her türlü araç,kapalı mekanlar) uygulanabilir. Özel ray sistemi sayesinde yüksek mermi basıncını absorbe eder (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Balistik Perde.

2.3.9.Helikopter Taban Zırhı:

Helikopterler yere yakın mesafede uçtuklarında karadan silahların menziline girer ve isabet alabilirler. Bu duruma karşı, hafif ve etkili bir zırh ile alınmaktadır. Skorsky S-70A-9, Black Hawk, Cougar AS-532 vb. operasyon helikopterleri için zırh kiti geliştirilebilir (Şekil 2.10). Geliştirilecek bu zırh kitinde HB26 polietilen zırh kuması kullanılarak 7,62 mm Normal NATO mermisi ile G3 piyade tüfekleri, kalesnikof tüfekleri, 9 mm FMJ mermi ile makineli tabanca ve tabanca mühimmatına karşı koruma sağlanabilir.



Şekil 2.10. Helikopter Taban Zırhı

2.3.10. Araç Zırhı:

Zırhlandırılması istenen her türlü askeri, sivil aracın yan kapılarında, tabanında ve tavanında, kasa yan çerperlerinde, yakıt deposunda ön ve arka kaput kısmında kullanılabilir.

2.3.11. Güvenlik kabinleri:

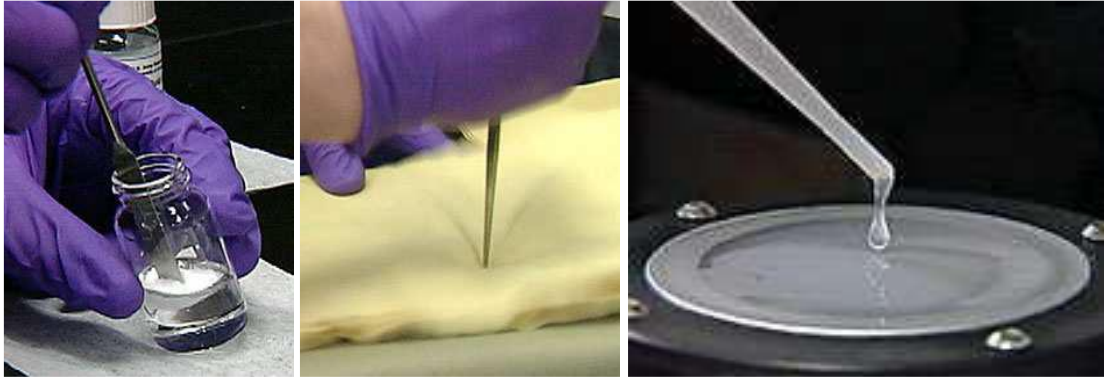
Meskûn mahallerde, sınır karakollarında, sınır bölgelerinde sıfır noktalarında, ani saldırılarda ve taciz atışlarında personele piyade tüfekleri, tabanca ve makineli tabanca mermilerine karşı kapalı alan koruması sağlayacaktır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Güvenlik Kabini

Hali hazırda günümüzde nane teknoloji ışığında devam eden kompozit malzeme tasarım çalışmalarına en güzel örneklerden biri de **nano kompozit** malzemelerdir.

Nano kompozit malzemeler tasarlanırken “sıvı zırh” teknolojisi kullanılmaktadır. Polimer kompozit malzemelerin nane seviyesinde sıvı zırh ile birleştirme çalışmaları sürdürülmektedir (Şekil 2.12). Sıvı zırh; silisyum esaslı partiküller kullanılarak “STF” adında jel kıvamında güç uyguladıkça katılaşan çözeltiler halinde hazırlanmaktadır. Jel kıvamındaki çözelti darbe alması halinde anında sertleşmekte, jel içerisindeki partiküller birbirine yaklaşarak bir çeşit bariyer oluşturmakta ve darbeyi emmektedir.



Şekil 2.12. STF-Sıvı Jel Teknolojisi

Çalışmalar sırasında silikapartikülleri ihtiva eden yoğun sıvı jel akışkan çözeltisini (STF) “aram id-kavlar” dokuma kumasına emdirerek oluşan yeni kompozit malzemenin balistik dayanım performansını değerlendirmişlerdir.(Ersoy) Kompozit materyal etkinliği göz önüne alındığında 244 m/sn. mühimmat etkisine karşı balistik dayanımda olumlu performans göstermiştir. Sonuçlar, kumaş malzemesinin esnekliğinden hiçbir şey kaybetmeksizin, STF-jel ‘in emdirilmesi ile balistik direnç etkisinde önemli bir artma olduğunu göstermektedir (Özek,2005).

Ancak bilim dünyasında devam eden çalışmalarda belli bir zaman dilimi geçtikten sonra STF-jel süspansiyon çözeltisinde çökme, ayrışma gözlemlendiği ve yapının aynı etkiyi göstermediği görülmüştür.

STF-jel ’in emdirilmesinden belli bir zaman sonra polimer kompozitlerin raf ömrü özelliklerinin nasıl değişeceği, aynı özellikleri gösterip gösteremeyeceği balistik ömür testleriyle gözlenebilecektir.

3. ZIRH ÇEŞİTLERİ VE MALZEMELERİ

Bütüncül malzemelerin tek başlarına hem hafif hem de balistik başarımı yüksek olması oldukça zordur. Bu yüzden kompozitler bütüncül zırhlara karşı en önemli alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Temel olarak iki ana başlık altında zırh malzemeleri ele alınabilir. Bunlar, bütüncül zırhlar ve kompozit zırhlardır.

3.1. Bütüncül Zırhlar

Savunma uygulamalarında uygun malzeme seçimi, güvenlikten ödün vermeden enerji tasarrufu ve yüksek hareket kabiliyeti açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle zırh tasarımında belirli bir mühimmatın tahribatını engelleyebilecek en düşük alan yoğunluğundaki malzeme seçilmelidir. Bu bakımdan birçok malzeme ve malzeme sistemi düşünülebilir. Ancak çelik halen, üstün mekanik özellikleri sayesinde en önemli aday malzemedir. Buna ek olarak çelik çok geniş bir teknolojik veri tabanına sahiptir ve göreceli olarak ucuz sayılabilir. Fakat çelik göreceli olarak yüksek yoğunluğa sahiptir. Bu durum ise ısıtılma işlemi yoluyla çeliğin sertliğinin artırılması ile büyük oranda giderilebilir. Çeliğin dışında, yüksek dayanımlı alüminyum alaşımları da özgül dayanımlarının yüksek olması nedeniyle zırh uygulamaları için iyi birer potansiyel sayılırlar. Bir diğer önemli aday malzeme de titanyum alaşımlarıdır ancak, maliyetleri göreceli olarak çok yüksektir. Bu durum sahip oldukları yüksek potansiyele rağmen kullanım olasılıklarını kısıtlamaktadır.

İlk yapılan çalışmalardan birinde, Alüminyum alaşımı (AA) 7039'un zırh delici mermiler karşısında zırh çeliğinden daha iyi başarımlar gösterdiği belirtilmektedir (Orgorkiewicz,1969). Bu malzemelerin balistik başarımı eğiklikle beraber artmıştır. Öte yandan, bu çalışmaya göre, AA 7039'un kullanımı ağırlıktan kazanç açısından çelik ile karşılaştırıldığında da daha avantajlıdır. Bir başka çalışmada ise Woodward, metal esaslı zırh malzemelerinin seçimi için bir ölçüt ortaya atmıştır (Woodward,1977). Bu ölçüte göre, SAE 1020, SAE 4130, P8 Hadfield çeliği, AA 5083, AA7039, titanyum, titanyum alaşımı 318 ve Ti-8Al-1Mo-1V çeliği için fiziksel ve mekanik özellikleri kullanılarak

karşılaştırma yapmıştır. Buna göre, balistik başarımlar açısından titanyum alaşımları ve Hadfield çeliği diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur (Orgorkiewicz,1969).

Manganello ve Abbot, çelik zırhların düşük hız darbe dayanımlarının çelik özelliklerinin etkisini incelemişlerdir (Manganello, 1972). Bu çalışma, balistik başarımları en çok etkileyen özelliğin sertlik olduğunu ortaya koymuştur. Bir başka çalışmada da Gupta ve Madhu, tek katmanlı ve çok katmanlı olarak yumuşak çeliğin, RHA (haddelenmiş homojen zırh) çeliğinin ve alüminyum'un 800-880 m.s⁻¹ hıza sahip 6,2 mm'lik mermiler karşısındaki balistik başarımlarını incelemişlerdir (Gupta, 1997). Katman kalınlığı ikiden fazla olduğunda balistik dayanımın olumsuz etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır. Dikshit ve arkadaşları, 300-800 m.s⁻¹ hıza sahip mermiler karşısında zırh levhasının sertliğinin balistik başarıma etkisini incelemişlerdir. (Dikshit, 1995).

Bir başka çalışmada ise Sorensen ve arkadaşları, 1,5-4 km.s⁻¹ hıza sahip iki kademeli gaz tabancası ile gönderilen mermiler karşısında soğuk haddelenmiş zırh çeliğinin yüksek hız balistik deneylerini yapmıştır (Sorensen 1991). Yüksek hızlarda tahribat mekanizmasını belirlemek için bütüncül ve dağılımlı mühimmat darbesini denemişlerdir. Buna ek olarak, Lach ve arkadaşları, azot içeren östenitik çeliğin ve yüksek dayanımlı zırh çeliğinin 2500 m.s⁻¹ hızla gaz tabancasından gönderilen mermiler karşısında balistik başarımlarını incelemişlerdir (Lach 1999). Yüksek dayanımlı zırh çeliği daha yüksek sertliğe sahip olmasına rağmen aynı başarımları gösterememiştir. Yine Gupta ve Madhu tarafından yapılan bir başka çalışmada yumuşak çeliğin 6,2 mm'lik mermiler karşısındaki normal ve eğik darbe testleri gerçekleştirilmiştir (Gupta, 1991). Yapılan çalışma sonucunda kritik sekme için eğiklik açısı arttıkça balistik sınırın da arttığı tespit edilmiştir.

Reddy ve arkadaşları, 7,62 mm'lik mermiler karşısında yüksek mukavemet düşük alaşım çeliklerinin birçok kaynak koşulunda balistik başarımlarını incelemişlerdir (Reddy, 1998). Kabuklu metal ark kaynağı, gaz tungsten ark kaynağından ve özlü tel kaynağından da daha yüksek balistik başarımlar sergilemiştir. Anderson ve arkadaşları, mermi çekirdeğinin sertliğinin balistik başarıma etkisini incelemişlerdir (Anderson, 1999). Mermi çekirdeğinin sertliği hedefin sertliğinden yüksek olmadıkça balistik başarımlar mermi çekirdeğinin sertliğinden bağımsız olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Edwards ve Mathewson .Oranı % 0,95 karbon katkısı olan çeliğinin, kaynaklı ve kaynaklı olmayan koşullarda 7,62 mm'lik küre ve zırh delici mermiler karşısındaki balistik başarımlarını incelemişlerdir (Edwards, 1997).

510 HV sertliğin üzerinde çok büyük çatlaklar gözlemişlerdir. Son zamanlarda yapılan bir çalışmada, yüksek mukavemet düşük alaşım çeliğinin (50CrV4) 7,62 mm'lik zırh delici mermiler karşısındaki balistik başarımı katmanlı kompozitlerle karşılaştırma amaçlı olarak araştırılmıştır. Yapılan incelemelere göre hedef malzemenin sertliği arttıkça balistik başarımı artmaktadır. Buna ek olarak, alümina/alüminyum katmanlı kompozitinin zırh çeliğine oranla ağırlıkça %26 kazanç sağladığı gösterilmiştir (Übeyli, 2007).

Dey ve arkadaşları, yapı çelikleri, Weldom 460E, Weldom 700E ve Weldom 900E çeliklerinin dayanımlarının balistik başarıma etkisini 150-350m.s⁻¹ hızda mermi gönderebilen bir gaz tabancası kullanarak incelemişlerdir (Dey,2004). Balistik sınır hızının, küt uçlu mermiler karşısında dayanım arttıkça azaldığı belirlenirken konik ve yumru mermiler karşısında dayanım arttıkça arttığını tespit etmişlerdir. Bunlara ek olarak yine Dey ve ekibi, Weldom 700E' nin ortalamanın altındaki hızlarda bütüncül ve katmanlı halde balistik başarımını gaz tabancası ile denemişlerdir (Dey,2004). Borvik ve arkadaşları, sayısal ve deneysel çalışmaları birlikte yaparak Weldom 460E'nin balistik başarımını araştırmışlardır (Borvik, 1999). Daha önce yaptıkları iki çalışma ile uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir.

Ayrıca, Maweja, hasar mekanizmalarını ve hem darbe bölgesinde hem de darbe bölgesine dik kesitte meydana gelen faz dönüşümlerini incelemek için çeşitli koşullardaki zırh çeliklerini 5,56 mm'lik zırh delici mermilerle balistik olarak incelemişlerdir (Maweja, 2006). Zırh malzemesinin içyapısının balistik başarımı doğrudan etkilediğini belirlemişlerdir.

3.2. Kompozit Zırhlar

Kompozitlerin zırh olarak kullanılması için hem yoğunluklarının düşük hem de balistik balistik başarımları yüksek olmalıdır. Buna bağlı olarak kompozit zırhlar üzerine iki sistem üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Bunlar plastik esaslı kompozit zırhlar ve seramik esaslı katmanlı kompozit zırhlardır. İki ana başlık altında plastik ve katmanlı kompozit zırhlar ele alınabilir.

3.2.1. Plastik Esaslı Kompozit Zırhlar

Plastikler düşük yoğunlukta olan malzemelerdir. İşlenebilirlikleri yüksek ve düşük maliyetli olabilir. Bununla birlikte, bulunması kolay bir malzeme türüdür. Bu

avantajlarından faydalanarak plastikler çeşitli zırh uygulamalarında kullanılmıştır. Plastikler çok katlı olarak, destek katman olarak ve kumaş şeklinde çeşitli çalışmalarda denenmiştir (Tan,2005;Findik, 2003; DeLuca, 1998; Tan, 2005; Cork, 2003). Plastik esaslı ya da plastiklerin özelliklerinden faydalanılarak üretilen zırhların başarımını etkileyen bazı etmenler vardır.

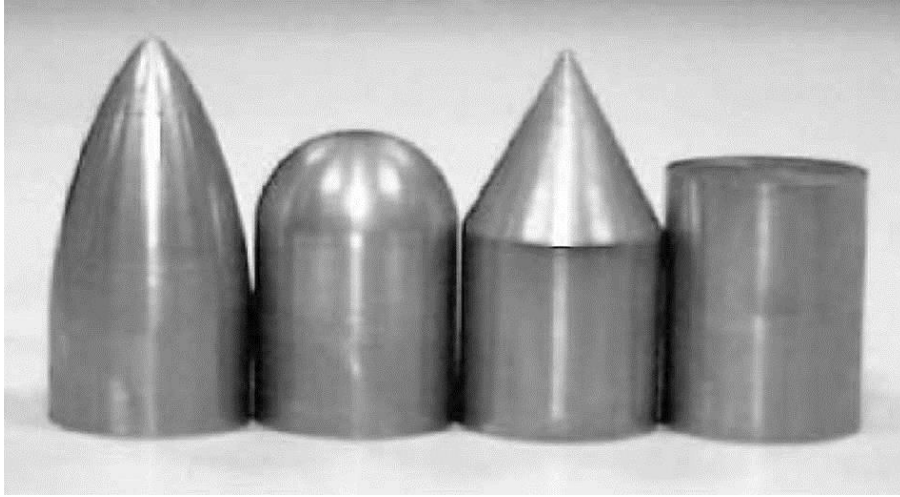
3.2.1.1. Plastik Esaslı Kompozit Zırhlarda Başarımı Etkileyen Faktörler

Başarımı etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Mermi geometrisi ve hızının etkisi
- Darbe sönümlene kabiliyeti
- Kumaş zırhlar için parçacık mukavemetlendirilmesi
- Katmanlar arasındaki yapıştırma yüzeyinin etkisi
- Eğiklik etkisi
- Çevre şartlarının etkisi
- Katman sayısının etkisi
- Dokuma kumaşlarda örgü şeklinin etkisi
- Basınç aktarımı

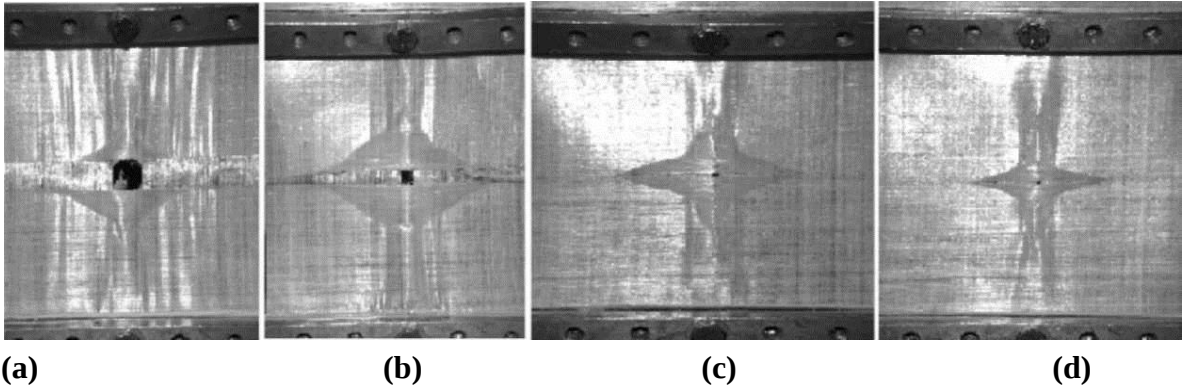
3.2.1.1.1. Mermi Geometrisi ve Hızının Etkisi

Mermi geometrisi zırhta meydana gelecek hasarı önemli ölçüde etkiler. Tan, çalışmasında dört farklı geometrideki mermilerle esnek levhaların mermideki kinetik enerjiyi sönümlene kabiliyetini ve oluşan hasar mekanizmalarını incelemiştir(Tan, 2005). Çalışmada Spectra levhaları kullanılmıştır. Levha termoplastik içine gömülmüş polietilen filamentli zincirleridir. Mermi geometrileri Şekil 3.1'de gösterildiği gibi seçilmiş ve çeşitli hızlarda balistik testler yapılmıştır.



Şekil 3.1. Kullanılan Mermi Geometrileri. Soldan Sağa Doğru Sivri Kemerli, Yarı Küresel, Konik ve Silindirik Mermi Geometrileri (Tan, 2005).

Deneyler sonucunda Şekil 3.2'de görüldüğü gibi silindirik mermiler düzgün bir daire şeklinde levhayı kesmiştir. Yarı küresel mermiler elyafları gerdirerek köşeli yırtıklara neden olmuştur. Sivri kemerli ve konik mermiler ise en küçük delik oluşturarak kumaşı yırtmıştır. Deliğin küçük olması merminin kinetik enerjisinin çok küçük bir bölümünü yırtmak için harcadığı anlamına gelir.



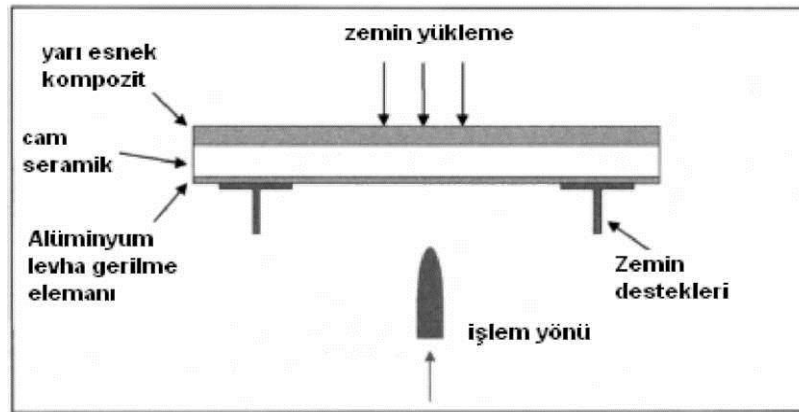
Şekil 3.2. Farklı Geometrilerdeki Mermilerin Hasır Örgü Karbon Elyaf Takviyeli Bir Kumaşı Nasıl Deldiğinin Gösterimi (Tan, 2005).

Konik ve sivri kemerli mermileri durdurmak çok daha zordur. Ayrıca bu çalışmada yüksek mermi hızlarında balistik darbenin etkilediği bölgenin daha büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuç esnek levha kullanımının balistik darbe karşısında sönümleme kabiliyetinin daha iyi olduğu anlamına gelir.

3.2.1.1.2.Darbe sönümlleme kabiliyeti

Zırhın darbe sönümlleme kabiliyeti yüksek olmalıdır. Balistik darbe sırasında çok kısa bir zaman diliminde darbe gerçekleştiğinden hem merminin çarptığı yüzey sert olmalıdır hem de çarpılan yüzey merminin kinetik enerjisini soğurmalıdır (Bourne, 2005). DeLuca, yaptığı çalışmada plastiklerin darbe sönümlleme kabiliyetinden ve seramiklerin sertliklerinden faydalanmıştır (DeLuca, 1998). Plastik takviyenin darbe sönümllemeyi önemli ölçüde artırdığını gözlemlemiştir. Horsfall, hava araçlarının balistik korumasında darbe sönümllemenin önemli olduğunu bunun için yapısal bir zırhın kullanılabileceğini göstermiştir(Horsfall, 2000). Şekil 3.3.'de yapısal bir zırhın şematik gösterimi vardır.

Plastik katman darbenin sönümlenmesinde önemli rol oynar. Wang çalışmasında katmanlı polimer kompozitlerin 7,62 mm 'lik zırh delici mermilere karşı davranışı incelemiştir. Ayrıca aynı malzemeleri çok düşük bir hızda tekrar test etmiştir. Mermi biçimindeki bir batıcı uç ile yaptığı testlerde cam elyaf takviyeli polimer levhalar farklı hasar mekanizmaları göstermelerine rağmen enerji soğurma miktarları hemen hemen aynı olmuştur.



Şekil 3.3. Yapısal Zırhın Şematik Gösterimi (Horsfall 2000).

En üstte yarı esnek kompozitten zemin yükleme katmanı, ortada cam seramik ve mermiyle ilk temasın olduğu alt katmanda alüminyum levha gösterilmiştir. Mermi ilk olarak alüminyum ile karşılaşır. Hızla alüminyumu deldikten sonra cam seramiğin sertliğinden faydalanarak merminin kinetik enerjisi soğurulur. Yarı esnek kompozit bölge de sistemin tok davranmasını sağlar.

Yapılan testler sonucunda tüm numuneler delinmiştir. Destek katman olarak yarı esnek kompozitin seramiklerin arkasında kullanılabileceği ifade etmiştir (Wang, 1997). Hetherington, 12,7 mm'lik mermilerle önde alümina seramik katman arkada polimer destekli zırhı denemiştir (Hetherington, 1991). Polimer destek katmanın balistik başarımı artırdığını gözlemlemiştir.

3.2.1.1.3. Kumaş Zırhlar İçin Parçacık Mukavemetlendirilmesi

Zırh sistemlerinde mermi ile hedef arasındaki sürtünme ve sürtünme yüzeyi başarımı önemli ölçüde etkiler. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda mermi ile hedef arasındaki sürtünmeden kaynaklanan enerji kaybının başarıma etkisi incelenmiştir. Metal esaslı kompozitler için parçacıkların mermi çekirdeğinin kırılmasına kadar etkili olduğu gözlemlenmiştir (Karamis, 2003). Tan, çalışmasında silika asıltı parçacıkları ile kumaşın dayanımını artırmayı başarmıştır (Tan, 2005). Silika parçacıkları mermi yüzeyinde sürtünmeye neden olmuş ve mermiyi aşındırmıştır. Mermi aşınması için gerekli enerji merminin kinetik enerjisinde kayba neden olmuş ve balistik başarımı iyi yönde etkilemiştir.

3.2.1.1.4. Katmanlar Arasındaki Yapıştırma Yüzeyinin Etkisi

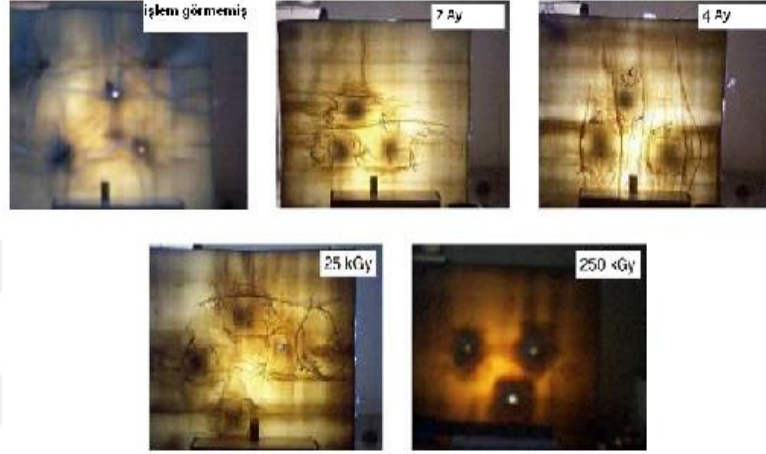
Özellikle metal/seramik sistemler için yapışma yüzeyinin etkisi çok çalışılmış bir konudur (Navarro, 1999). Bununla beraber Cork, çalışmasında dar kumaşları kevlar ile takviye ederek plastik katmanlı kompozit zırh elde etmiş ve yapışma yüzeyindeki iyileştirmenin ve yapıştırıcı kalınlığının az olmasının balistik başarımı önemli ölçüde iyi yönde etkilediğini gözlemlemiştir (Sadanandan,1997).

3.2.1.1.5. Eğiklik Etkisi

Rijit bir zırh delici mermi eğimli bir yüzeye çarptığında asimetric kuvvetlere maruz kalır. Birçok seramik/metal sistemi için bu durum çalışılmış ve yeteri kadar küçük açılarda iyi desteklenmiş kompozitlerin mermiyi sektirdiği görülmüştür (Hohle,2001; Sadanandan,1997; Rosenberg, 2005). Rosenberg, çalışmasında eğimli polimer levhaların 7,62 mm'lik zırh delici mermilere karşı sekme davranışını incelemiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre gevrek malzemelerin merminin sekmesine izin vermeden kırıldığı söylenebilir.

3.2.1.1.6. Çevre Şartlarının Etkisi

Polimer esaslı zırhlar da diğer tüm zırhlar gibi çevre şartlarında kullanılmaktadır. Bu nedenle polimer esaslı zırhların çevre şartlarından nasıl etkilendiği önemli bir konudur. Alves, çalışmasında şartlandırmanın ve gama ışınının etkisini incelemiştir. Fizikokimyasal etmenler ciddi anlamda polimerin zincir yapısında, mekanik ve balistik özelliklerde



Şekil 3.4. Çeşitli Süre ve Etkilerde Şartlandırılmış ve Gama Işınına Maruz Bırakılmış Numunelerin Test Sonrası Görüntüleri

değişikliklere neden olmaktadır (Özek,2005). Özellikle gama ışınına maruz kalan numunelerde ciddi hasarlar gözlemlenmiştir. Şekil 3.4’de çeşitli sürelerde şartlandırılmış ve gama ışınına maruz bırakılmış numunelerin test sonrası görüntüleri verilmiştir.

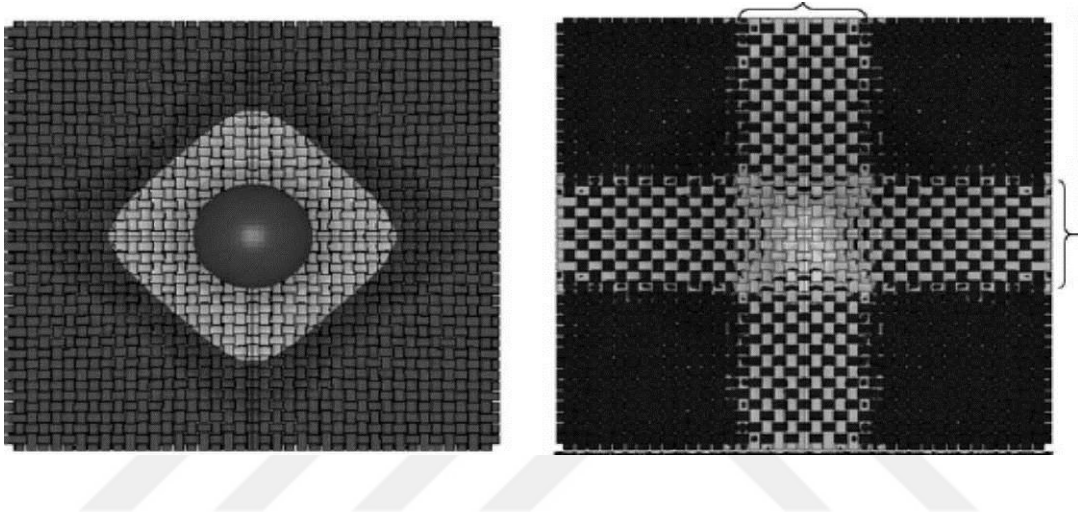
Şekil 3.4’deki ilk resim hiç bir işlem görmemiş numunenin durumudur. Takip eden iki resim ise sırasıyla 2 ay ve 4 ay şartlandırılmış numuneler ve alt sıradaki iki resimde de çeşitli yüklerdeki gama ışını altında bırakılmış numuneler gösterilmiştir. Görüldüğü gibi özellikle gama ışınları numunenin başarımını çok önemli ölçüde etkilemiştir.

3.2.1.1.7. Katman Sayısının Etkisi

Katman sayısındaki artış balistik başarımı doğrudan etkiler. Fındık, çalışmalarında çeşitli silah ve mermilerle katmanlı polimer kompozit zırhları denemiştir(Fındık, 2003). Termoset reçine numuneler elle yatırma yöntemi ile üretilmiştir. 18 ve 22 katlı kompozitler delinirken 28 ve 36 katlı kompozitlerin delinmediğini göstermiştir(Fındık, 2003).

3.2.1.1.8. Dokuma Kumaşlarda Örgü Şeklinin Etkisi

Kumaşların kendi başlarına balistik koruma sağlamaları mümkün değildir. Kumaşlar elyaflar ile takviye edilerek balistik koruma sağlanabilir. Kumaşlar, elyafların örgülü bir yapı içinde bulunmalarına ya da farklı yön ve doğrultularda dizilmelerine izin verir. Örgü şekline göre dizilim değişmesiyle, iplerin birbirleri ile olan sürtünmesi, esnekliği ve elyafların mukavemetinden faydalanılır. Şekil 3.5.'de hasır örgü kumaşların darbe sırasındaki davranışı gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Hasır Örgü Durumunda Kumaşın Nasıl Davrandığının Sayısal Modelde Gösterimi.

Bazı örgü şekillerinde ip çekilmesi oluşur, bazılarında ip hemen kopar (Tan, 2005). Dar kumaş türlerinde kare (hasır) dokumanın düz örgüden daha iyi olmadığı görülmüştür. Ayrıca iki taraflı yerleştirilen dar kumaşlar geniş kumaşlara göre daha yüksek başarımları göstermiştir. Cork, çalışmasında elyaf takviyesinin kumaş örgü şekli ne olursa olsun başarımları artırdığını göstermiştir (Cork, 2003).

3.2.1.1.9. Basınç Aktarımı

Kumaş zırh sistemlerinde önemli etmenlerden biri ise basıncın devamının iletilmesidir. Zırhın delinmemesi kadar çarpma sırasındaki darbe dalgalarının sönümlenmesi de önemlidir. Horsfall, yaptığı çalışmada bir insan gövdesi modeli üzerine duyargalar yerleştirilerek deneylerde delinmeyen ince kumaş bir zırh ile korumuştur (Horsfall, 2000). Atışlar boyunca insan gövdesi modeline aktarılan basınç değerlerini kaydetmiştir. Deneyler sonucunda zırh delinmese de zırhtan modele geçen basınç miktarı modelin kalbinin sıkışmasına, ritminin bozulmasına ve görevini yerine getiremez duruma

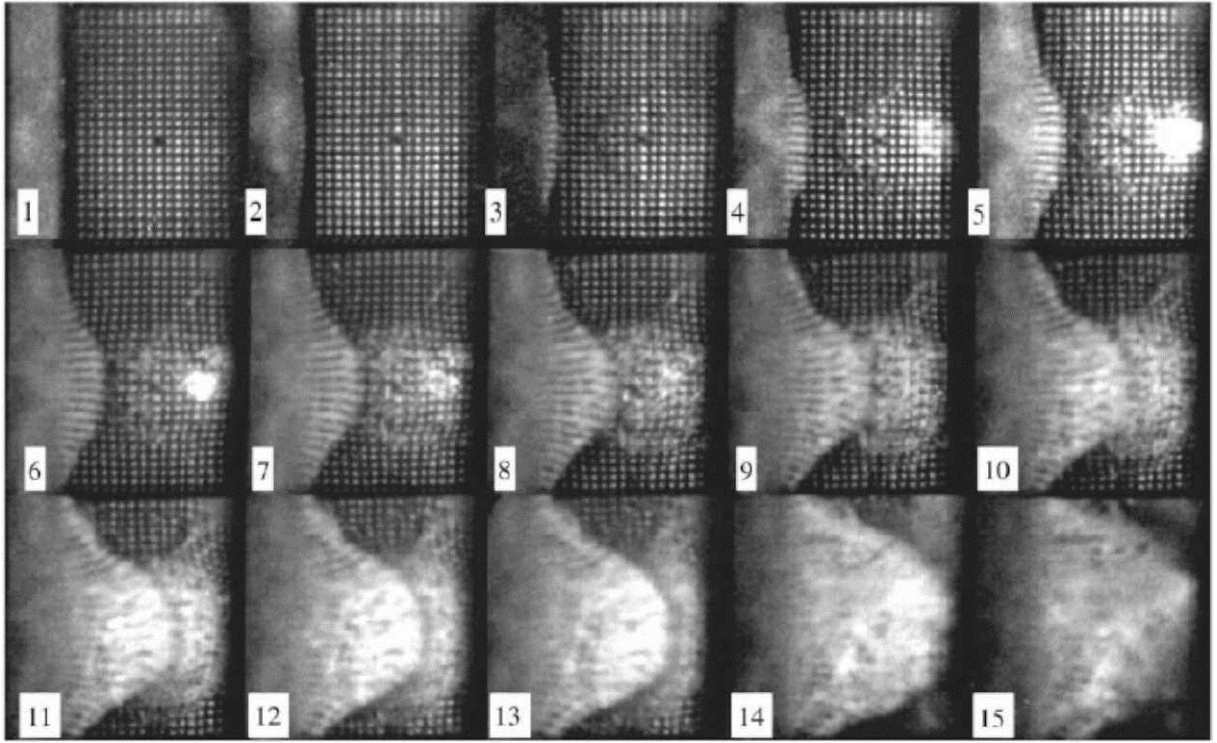
gelmesine sebep olmuştur. Bunu göz önünde bulundurarak seçilen malzemenin darbe sırasındaki basıncı sönümleyebilmesi gerekir.

3.2.2. Seramik Esaslı Katmanlı Zırhlar

Metal zırhlar zırh sistemlerinde çokça kullanılmasına rağmen yüksek yoğunlukları hafif zırh uygulamalarında kullanım olanaklarını kısıtlamaktadır. Polimer malzemeler yoğunluk yönünden çok avantajlı olsalar da akma dayanımları çok düşük olduğundan zırh delici mermiler karşısında kullanılmaları çok zordur. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda sertlikleri çok yüksek yoğunlukları göreceli olarak düşük olan seramikler önemli aday zırh malzemeleridir. Seramikler kırılğan olduklarından tok bir malzeme ile desteklenmelidir. Seramik levhalar metal esaslı ya da yüksek tokluklu polimer esaslı malzemelerle desteklenirler. Seramik metal katmanlı kompozitleri ağırlıktan çok önemli ölçüde avantaj sağlar (Sadanandan,1997).

3.2.2.1. Hasar Mekanizmaları

Woodward'e göre zırh delici 7,62 mm'lik mermiler seramik/metal kompozite çarptığında konik bir şekilde delik açarak sistemi hasara uğratar (Woodward,1977). Bu mekanizma sonraki yıllarda başka araştırmacılar tarafından da gözlemlenmiştir. Bourne, seramik ile merminin çarpışması sırasındaki mekanizmayı belirleyebilmek için soda-kireç camı ön katmanında yüksek hızda kamera ile görüntüler almıştır (Bourne, 2005). Şekil 3.6.'da soda-kireç camı için ilk birkaç mikro saniyedeki çatlak oluşum ve ilerlemesinin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.6. Soda-kireç camı ile merminin çarpıştığı andan itibaren ilk birkaç mikro saniye içindeki hasar mekanizmasının gösterimi. Malzemenin darbeye olan tepkisinin konik şekilde olduğu görülmektedir (Bourne 2005).

Sadanandan, benzer şekilde kırılma mekanizmalarını açıklamaya çalışmıştır (Sadanandan,1997).

Bu çalışmaların sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Radyal çekme ve çatlak oluşumu
- Seramik katmanda konik yapı oluşumu
- Konik yapının parçalanması ve toz haline gelmesi
- Destek katmanın delinmesi

3.2.2.2. Seramik Esaslı Zırh Tasarımı

Balistik zırh üretiminde önemli başarımların artışı için bazı önemli parametreler vardır. Bunlar; seramik malzeme seçimi, destek katman seçimi, Bağ ve empedans etkileri, uygun seramik/arka katman kalınlık oranı ve eğiklik etkisi olarak sıralanabilir. Zırh sistemlerinin modellenmesinde Wang, basit ve tek boyutlu modeli geliştirerek modelleme

yönteminin gelişmesinde kolay katman kalınlıkları belirlemede oldukça önemli bir çalışma yapmıştır (Wang, 1997).

3.2.2.2.1. Seramik Malzeme Seçimi

Önde seramik katman arkada tokluğu yüksek ve dayanımı iyi olan bir malzeme kullanılan sistemlerde seramik malzemenin özellikleri başarıımı önemli ölçüde etkiler. Seramik katmanın başarıımı etkileyen özellikleri, tane boyutu, saflık, tokluk, ısı etkileri ve kullanılan seramik türleri olarak sıralanabilir. Anderson, tane boyutunun balistik başarıma etkisini incelemiştir ve küçük taneli seramiklerin başarımlarının büyük taneli yapıya göre daha yüksek olduğunu göstermiştir (Anderson, 1999). Navarro balistik başarımda tokluğun çok önemli olduğunu deneysel ve sayısal olarak göstermiştir (Navarro, 1999). Sayısal yöntemlerde birçok etmenin ihmal edilebileceğini ispatlamıştır. Ortalama model tanımı ile modelini sayısal modellerin birleşimi olarak kullanmıştır. Petterson, kıvılcım plazma yöntemi ile pişirilmiş TiB_2 seramiklerini çelik levhalar üzerine yapıştırarak denemiştir. Ulaştığı sonuç, bu yöntem ile üretilen tam yoğunluklu parçaların balistik başarımlarının daha yüksek olduğudur. Ancak elektriksel iletkenliği olmayan tozlar için spark plazma yöntemi uygulanamaz. Raugh, beş farklı seramik malzemeyi ve pireksi ön katman olarak kalın çelik levhaların önünde balistik zırh olarak denemiştir. En küçük alan yoğunluğuna sahip arka katmanı delinmeyen zırhı bulmaya çalışmıştır. Alüminyum nitrürün hızdan en az etkilendiğini göstermiştir. Deneyler sonucunda, TiB_2 , bor karbür ve SiC eş başarımlarını göstermiştir. Son yıllarda yapılmış bir çalışmada Orgorkiewicz metal destek katmanlı %95 ve %99,5 saflıklardaki alümina seramikleri sert çekirdekli 12,7 mm'lik zırh delici mermilerle 500 ila 830 m/s hızlarında denenmiştir (Orgorkiewicz, 1969).

Yüksek saflıktaki alümina seramiği göreceli olarak düşük saflıktakine göre daha iyi başarımlar sergilemiştir. Balistik verimin seramik kalınlığına ve mermi hızına doğrudan bağlı olduğu görülmüştür. Bourne tokluğu artırmak için mulit anayapı içine mullit elyaf takviye ederek denemiştir (Bourne, 2005). Elyaf çekmesinden kaynaklanan tokluk artışının balistik başarımlarını artırdığını gözlemlemiştir. Horsfall yumuşak çekirdekli zırh delici mermiler karşısında lityum-çinko-silikat cam seramiğinin aynı alan yoğunluğuna sahip alümina ile eş başarımlarını gösterdiğini deneysel olarak doğrulamıştır (Horsfall, 2000). Bu sonuç yumuşak çekirdekli mermiler için sertlik değerinin düşük olmasının çok önemli olmadığını gösterir.

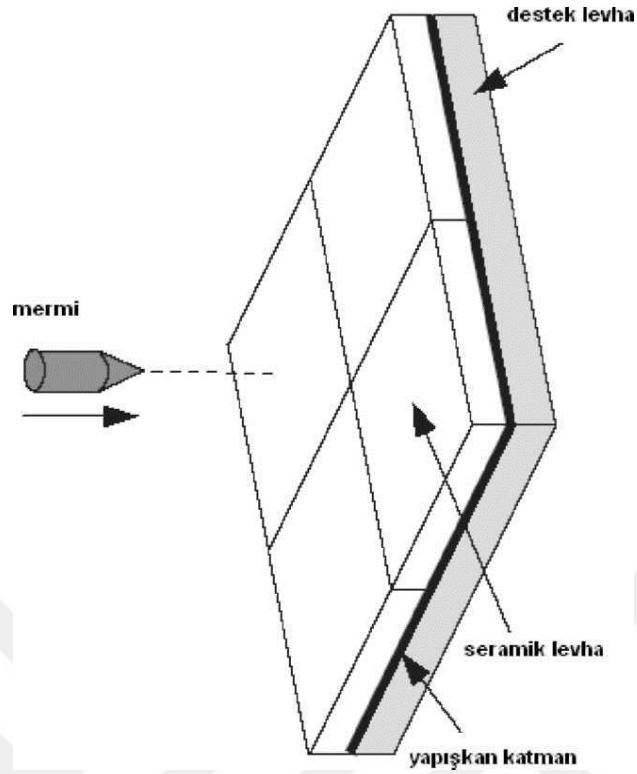
Çünkü lityum-çinko-silikat camı 600 HV sertlik değerine sahipken alümina 1300-1500 HV sertliğe sahiptir.

3.2.2.2.2. Destek Katman Seçimi

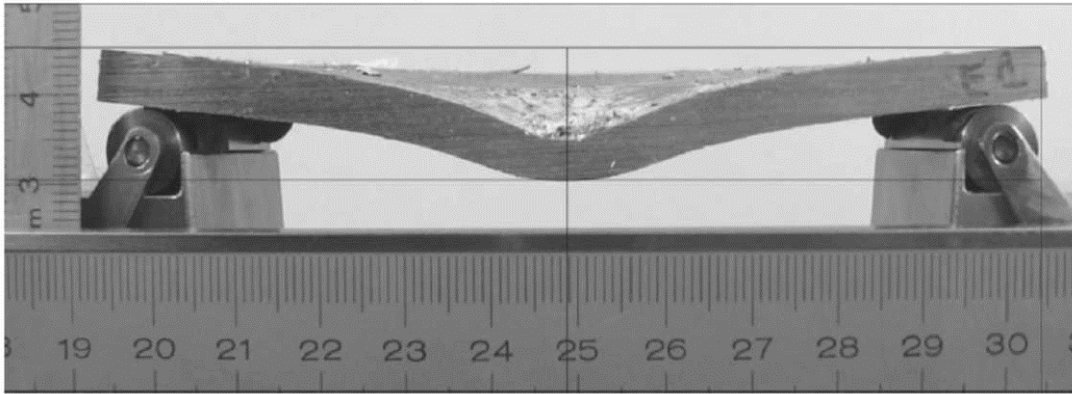
Seramikler çok düşük kırılma tokluğu değerlerine sahip olduklarından daima bir destek katmana ihtiyaç duyarlar. Destek katmanın yüksek tokluk ve akma dayanımı özelliklerine sahip olması istenir. Sadanandan, çalışmasında önde alümina arkada soğuk haddelenmiş AA5083 ve Grade 43A çeliğini 7,62 mm'lik zırh delici mermilerle denemiştir (Sadanandan,1997). Alümina/alüminyum sisteminin çelikli sistemle eş başarımlı gösterdiğini ancak alüminyum alaşımının düşük yoğunluğundan dolayı daha avantajlı olduğunu belirtmiştir. Gupta alümina parçacık takviyeli arka katman malzemesinin merminin kinetik enerjisini azalttığını ve başarımlı artırdığını göstermiştir (Gupta, 1991). Karamış, çeşitli alüminyum alaşımlarını SiC ile takviye etmiş ve balistik davranımlarını incelemiştir. Mermi yüzeyi ile matrikse gömülü SiC parçacıkları arasındaki yüzey deformasyonu ve aşınma balistik başarımlı artırmıştır. Petterson, arka katman olarak titanyumu denemiştir (Karamış, 2003). Önde yüksek sertlikte bir seramik kullanıldığında titanyumun gerekli tokluğu sağladığını gözlemlemiştir. Son yıllarda yapılan bir çalışmada, destek katman olarak alüminyum köpük kullanılmıştır (Findik, 2003). Yüksek tokluk avantajından dolayı alüminyum köpük kullanımı önemli bir gelişmedir. Alüminyum köpüğün gerilme dalgalarını azalttığı veya geciktirdiği gözlemlenmiştir. Çalışmada aynı alan yoğunluğuna sahip köpük halde olmayan alüminyum da kullanılmıştır. Köpüğün başarımlının göreceli olarak daha iyi olduğu görülmüştür.

3.2.2.2.3. Bağ ve Empedans Etkileri

Metal/seramik zırh sistemlerinde metal ile seramik arasındaki bağlama çeşitli yapıştırıcı türleri ile sağlanır. Epoksi, fenolik ve poliüretan yapıştırıcılar bu amaçla sıkça kullanılır (Übeyli,2006). Navarro, çalışmasında çeşitli kalınlıklardaki epoksi reçine yapıştırıcı ile yapıştırılmış alümina/alüminyum kompozitini denemiştir (Navarro, 1999).



Şekil 3.7. Katmanlı Kompozitin ve Yapıştırma Yüzeyinin Temsili Gösterimi (Navarro, 1999).



Şekil 3.8. Deney Sonrası Arka Destek Katmanının Kesiti (Navarro 1999)

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi mermi ile ilk karşılaşan yüzey seramik levhalardır. Seramik levhalar ile destek levha arasında yapıştırıcı katman vardır. Merminin kinetik enerjisi seramik üzerinden yapıştırıcı aracılığı ile destek katmana aktarılır.

Merminin uç kısmının çarptığı bölgede en büyük deformasyon gözlenir. Levha delinmemiş ancak çok ciddi şekilde şekil değiştirmiştir. Şok dalgaları malzemenin yaklaşık olarak 1 cm uzamasını sağlamıştır.

Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça arka destek katmandaki deformasyon miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3,8’de deney sonrası arka katmanın kesit resmi görülmektedir. Karamis, alümina/alüminyum sisteminde yapıştırıcı polimeri oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta kürlemiş ve termal etkinin balistik başarıma etkisini incelemiştir (Karamis, 2003). Isıl etkilerin balistik başarımı çok az etkilediğini gözlemlemiş ve soğurulan enerji miktarının destek katmana bağlı olduğunu göstermiştir.

3.2.2.2.4. Uygun Seramik/Arka Katman Kalınlık Oranı

Cork, tarafından seramik kalınlığı ile arka katman kalınlığı arasında bir bağıntı çıkarmıştır (Cork, 2003). Hetherington, bu bağıntıyı sadeleştirmiş ve tasarımda kolaylık sağlamıştır (Hetherington, 2005). Florence modeli üzerinde birçok araştırmacı çalışmış ve sayısal olarak da doğrulamaya çalışmıştır. Hetherington'un yaklaşımını devam ettirmiş ve kalınlıkların oranının (seramik kalınlığı/arka plaka kalınlığı) 2-2,5 olması durumunda zırhın balistik limiti artırdığı gözlemlenmiştir (Bourne, 2005; DeLuca, 1998). Lee 'ye göre de en uygun oran 1,5 ile 3 arasındadır (Lee, 2003). Elperin, Florence modelinin en uygun model olduğunu savunur (Elperin, 2005). Ayrıca Elperin'e göre başarımı en çok etkileyen faktör alan yoğunluğudur. Edwards yaptığı sayısal çalışmada yeni bir hibrid model inşa etmiştir, ayrıca kıstas olarak ister alan yoğunluğu başlangıç noktası kabul edilsin ister hız sınırı başlangıç noktası kabul edilsin toplam kalınlık değişmemektedir (Edwards, 1997).

3.2.2.2.5. Eğiklik Etkisi

Mermini hedefe belirli bir açıyla çarptığı durumlarda balistik başarıma çarpma açısından oldukça etkilenir. Hohler, AA7xxx serisi arka katmanla desteklenen SiC seramik katmanlı kompoziti olan sistemde başarımın en yüksek olduğu açının 60° olduğunu deneylerinde göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada SiC, Al₂O₃'e göre daha iyi başarıma göstermiştir. Hetherington ve Sadanandan'a göre de eğim arttıkça başarıma artmaktadır (Sadanandan, 1997). Yaptıkları deneylerde balistik sınır hızı eğimle birlikte yükselmektedir.

4. BALİSTİK VE ÇARPMA

4.1. Temel Kavramlar

Konunun daha iyi anlaşılması amacıyla, metin içerisinde tekrarlanan bazı temel kavramların açıklanmasında fayda görülmektedir. Bu nedenle bu kavramların basit ve anlaşılır tanımları aşağıda yapılmıştır.

4.1.1. Balistik

Balistik, önceden planlanan bir mekanizma(sistem) yardımıyla, ateşlenen nesnelerin atmosferik koşullarda ve yerçekiminin de katkısıyla sonuçlanan hareketi araştıran inceleyen bilim dalıdır. Balistik, dört kısımda incelenebilir; iç, dış, terminal ve adli balistik (Sorensen, 1991; Lach, 1999). İç Balistik: Ateşli silahın, ateş aldıktan sonra çekirdeğinin namlu ağzını terk edinceye kadar geçen sürede mermi kovanı ve mermi çekirdeğinin durumunu incelemesidir. Balistiğin bu bölümü, kapsül, kapsül ateşlenmesi, barutlar, yanma hızı, yivler, yivlerin sayısı, hazne, namlu boyutları ve hızla ilgilenir.

4.1.2. Mermi

Hedefteki hasar durumunu araştırmak maksadıyla kullanılan üç çarpma vasıtası vardır, Bunlardan mermi, balistik performans amacıyla dizayn edilmiş cisimdir (Şekil 4.1). Penetrator, terminal balistik fonksiyonu olan cisimdir, Striker ise çarpma görevini gören herhangi bir cisim olabilir. Mermiler minimum uçuş zamanı, minimum hasar, maksimum kinetik enerji, maksimum penetrasyon ve maksimum menzile amaçlanarak dizayn edilmişlerdir. Merminin çarpma şiddeti aşağıdaki gibi hesaplanır (Gupta, 1991; Reddy, 1998).

Burada; p ; hedef malzemenin yoğunluğu, V_0 ; çarpma hızı ve j ; hedef malzemesinin dinamik akma gerilmesidir.



Şekil 4.1. Mermi ve Penetrator Örnekleri

4.1.3. Hedef

Hedef ise performansı ve özellikleri mermi tarafından azaltılmaya çalışılan, buna karşılık merminin çarpma etkilerini azaltmaya çalışan ve delinmeye karşı koyan cisimdir,

4.1.4. Nüfuziyet (Penetrasyon)

Mermi yadapcnetratonm, hedef içerisine girme derinliği olarak tanımlanabilir, Penetrasyon işleminde, mermi hedefi tamamen delip geçmemektedir. Genellikle merminin hedef içerisinde saplanıp kalması, yüzeyden sekmesi veya çarpma dolayısıyla hedef yüzeyinde krater meydana getirmesiyle son bulur.

4.1.5. Delinme (Perforasyon)

Perforasyon kavramı ise nüfuziyetten farklıdır. Hedefin mermi yada penetrator tarafından tamamen delinmesi anlamını taşımaktadır (Gupta, 1997).

4.2. Katıların Çarpışmasında Oluşan Fiziksel Olaylar

Bu başlık altında silindirik şekilli, konik, oval-sivri, yan küresel ve düz uçlu çubuğun veya merminin hedefe çarpma durumu incelenecektir. Böyle bir mermi hedefe çarptığı zaman yüksek mertebeli basma dalgalan her iki cisim içerisinde ilerler.Şayet çarpma hızı yeterince yüksekse çubuğun yanal serbest yüzeylerinden çubuk kesit merkezine doğru rahatlatma dalgası ilerler ve yüksek çekme bölgesi etkisinde bir bölge

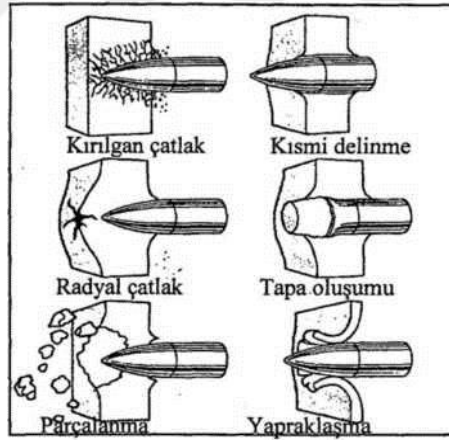
meydana gelir (Şekil 4.2.).

Bu çekme bölgesinde yüksek mukavemetli çelikler gibi gevrek malzemelerde kırılma meydana gelir. Şayet merkez hattı boyunca gözenekler ve diğer kusurlar mevcutsa bu kırılma daha da kuvvetlenir. Yüzeye normal çarpma halinde gerilme hali iki boyutludur. Eğik çarpışmalarda yüklemenin asimetrisinden dolayı ilave eğilme gerilmeleri meydana gelir. Mermi geometrisi, malzeme özellikleri, çarpma hızı gibi parametrelere bağlı olarak meydana gelen eğilme ve çekme gerilmeleri, mermi hasarına veya sekmesine neden olur

4.3. Hedefler ve Hedeflerde Görülen Deformasyon Mekanizmaları

Çok değişik özellikte hedef olabileceği dikkate alındığında gruplama aşağıdaki şekilde yapılabilir.

- Yan sonsuz hedefler: Sınırların Nüfuziyet üzerinde etkisinin olmadığı hal,
- Kalın hedefler: Sınırların, merminin hedef içerisinde önemli miktarda ilerlemesi



Şekil 4.2. Hedefte Meydana Gelen Hasarlar

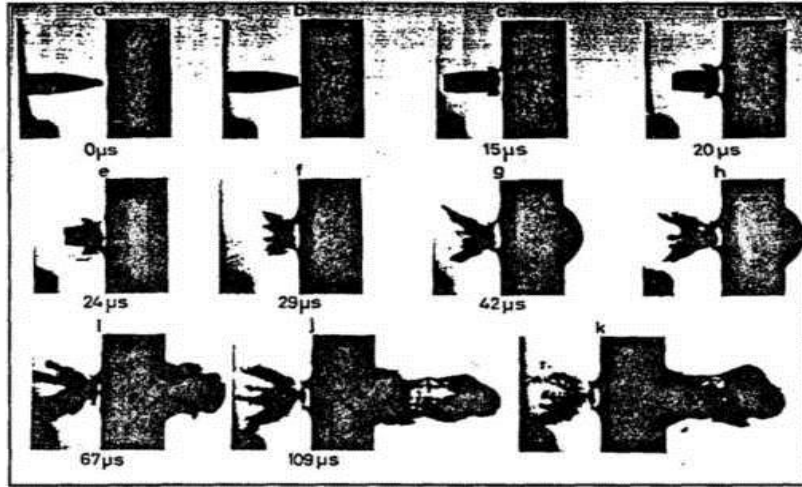
sırasında etkisinin olduğu hal,

- Orta kalınlıkta hedefler: Hedefin arka yüzeyinin mermi hareketi sırasında deformasyon üzerinde etkisi olduğu hal,
- İnce hedefler: Kalınlık boyunca gerilme ve deformasyon gradyanlarının olmadığı hal.

Hedefler çok farklı şekillerde hasara uğrayabilirler. Hasar mekanizmaları malzemenin özelliklerine, çarpma hızına, mermi şekline, hedef destekleme metoduna ve hedefin boyutuna göre değişmektedir (Gupta,1997).

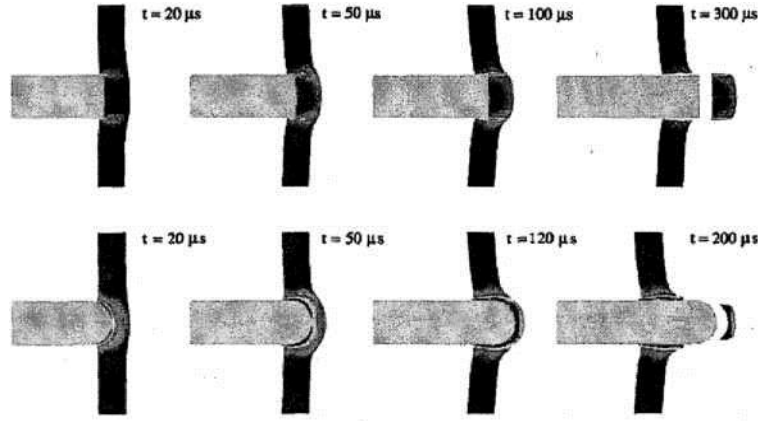
Mermi hedefe çarptığı zaman hedef içerisinde ilk olarak bir basma dalgası ve onu takip eden rahatlatma dalgası ilerler. Basma dalgası, hedefin arka yüzeyine çarpıp yansıdığı zaman ilave bir rahatlatma dalgası daha hedef içerisinde ilerlemeye başlar. Bu iki rahatlatma dalgasının etkileşimi sonucunda hedef içerisinde çok büyük çekme gerilmeleri meydana gelebilir. Başlangıçtaki basma dalgası yeterince büyükse bu iki rahatlatma dalgasının etkileşimi sonucunda spall (kavlama) adı verilen hasar meydana gelir. Bu hasar, genellikle çekme mukavemeti basma mukavemetinden oldukça düşük olan seramik gibi malzemelerde meydana gelmektedir. Scabbing de (kabuklaşma) benzer görünüme sahiptir, fakat kırılma deformasyon sonucunda oluşur ve yüzeyi bölgesel homojensizlikler ve anizotropiler ile tanımlanır.

Nüfuziyetin oluşumu deneysel çalışmalar sırasında elde edilen fotoğraflarda (Şekil 4.3.) açık olarak görölmektedir.



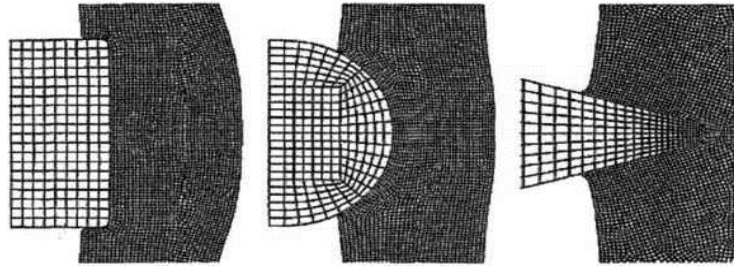
Şekil 4.3. Mermi Alüminyum Plakaya Nüfuziyeti (Gupta, 1997)

Aynı konular deneysel çalışmalarla karşılaştırılmak ve mukayese edilmek amacıyla bilgisayar yardımıyla simüle edilmektedir. Bilgisayar yardımıyla elde edilen, sabit plakada meydana gelen delinme (Şekil 4.4.)'de görölmektedir (Anderson, 1999).

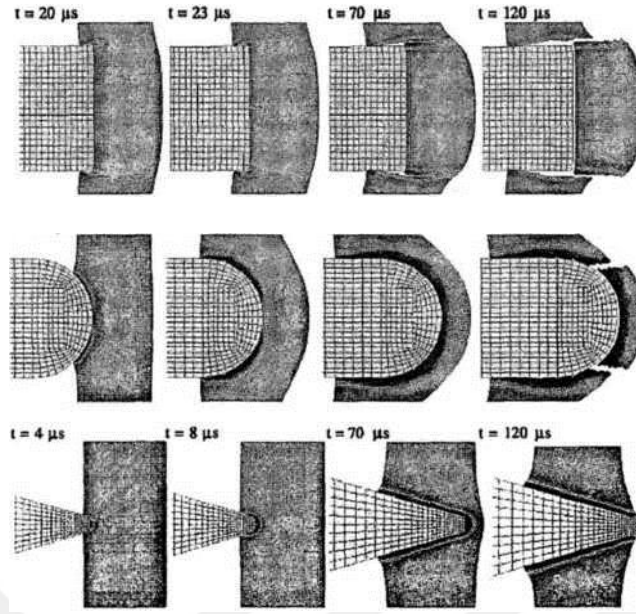


Şekil 4.4. Merminin Plakaya Nüfuziyet Olayının Bilgisayar Simülasyonu (Anderson, 1999)

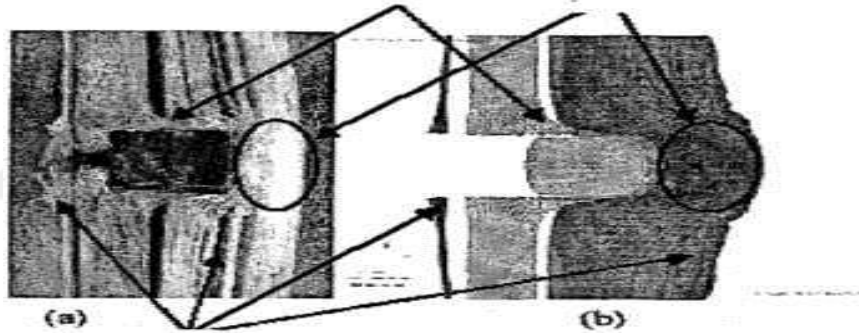
Mermi ucunun küresel, konik ve düz (deney amaçlı) olması durumunda hedefte oluşan gerilme başlangıç çizgileri Şekil 4.5.'de görülmektedir. Merminin uç kısmının sahip olduğu şekil yapısı, nüfuziyete çalıştığı hedefte değişik gerilme değerleri ve hasarlar meydana getirir (Şekil 4.6.). Şekil incelendiğinde sivri uçlu mermi plakalarda daha büyük kayma gerilmelerinin oluşmasına neden olmaktadır. Nüfuziyet hedef plaka malzemesinin mermi cidarlarından çevresel hareket etmesiyle gerçekleşmektedir. Bilgisayar ortamında yapılan simülasyon çalışmaları ile deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçlar günden güne birbirine daha yaklaşmakta, doğru sonuçlar vermektedir. Şekil 4.7de deneysel sonuç ile bilgisayar sonuçları görsel olarak karşılaştırılmıştır (Edwards, 1997; Übeyli, 2007).



Şekil 4.5. Mermi Şeklindeki Farklılıklardan Dolayı Oluşan Gerilme Farklılıklar (Anderson 1999)



Şekil 4.6. Farklı şekle sahip mermilerin nüfuziyet mekanizmaları (Anderson 1999)



Şekil 4.7. a) Çarpma sonrası Cam fiber/epoxy-Alüminyum kompozit kesiti, b) Aynı malzemenin çarpma olayının simülasyon sonucu (Übeyli, 2007)

Petalling (yapraklaşma) üç boyutlu bir hedef hasar mekanizmasıdır ve genellikle merminin çap boyutuna yakın bölgelerde meydana gelen büyük Radyal ve çevresel gerilmelerden dolayı oluşur. Merminin İleri doğru hareketinin devamı ile birlikte deformasyon tamamlanır. Bu hasar mekanizması, düşük çarpma hızlarında ince plakalara oval, sivri veya konik mermilerin çarpması veya küt uçlu mermilerin balistik limit civarında çarpması sırasında meydana gelir. Yapraklaşmaya büyük plastik akışlar ve/veya kalıcı eğilme eşlik eder. Plakanın arka yüzeyindeki kabarmış bölgedeki malzeme merminin hareketi ile birlikte daha fazla deforme olursa çekme mukavemeti aşılar ve yıldız şeklinde çatlaklar meydana gelir. Ortaya çıkan kısımlar mermi tarafından itildiğinde yapraklar oluşur. Bu geometride mermi hedef içerisine doğru hareket ederken oldukça büyük şekil değiştirme değerleri meydana gelir. Şekil değiştirme belirli bir kritik değere ulaştığında,

hedefin bu noktada hasara uğradığı kabul edilir. Nüfuziyet ilerledikçe merminin hemen önündeki hedef kesiti itilir. Hedefin arka yüzeyinde ise mermi tarafından itilen dairesel bölgenin gerilmesinden dolayı yüksek çekme gerilmeleri meydana gelir. Kırılma merminin hemen önünde hedeften tapa çıkarılana kadar devam eder. Şayet yükleme geometrisi ve malzeme özellikleri plastik deformasyon sonucu meydana gelen ısının kondisyonla (iletimle) iletilmesini engelleyecek şekilde ise bu durumda meydana gelen hasar mekanizmasına adyabatik plugging (tapa oluşumu) adı verilir. Ucu düz mermiyle delinme için asgari hızla yapılan testlerde belirli bir kalınlığa sahip olan hedefte merminin çapına yakın değerlerde çapa sahip delik açıldığı görülmüştür. Bu durumda bölgesel olarak meydana gelen sıcaklık artışı, malzemenin akma mukavemetini düşürür ve deformasyonu kolaylaştırır. Pluggingde (tapa oluşumunda) hasar, genellikle büyük kayma gerilmelerinin sonucunda meydana gelir. Tapa oluşumu, en fazla ince veya orta kalınlıktaki sert plakalara küt uçlu mermilerin çarpması sırasında meydana gelir (Gupta,1997; Dikshit, 1995; Reddy, 1998)

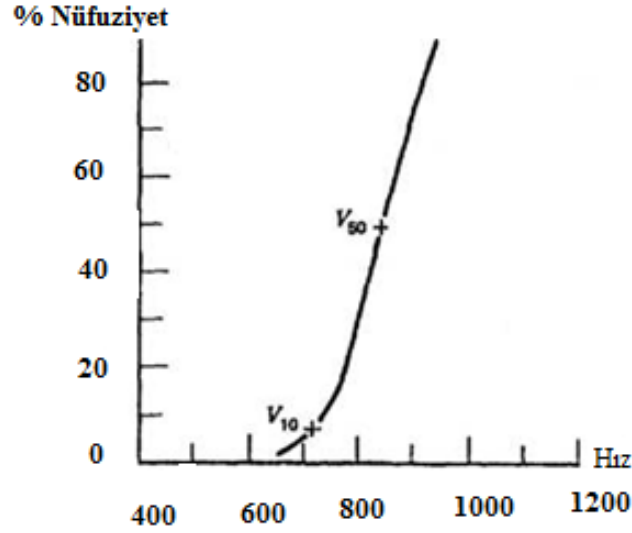
4.4. Balistik Faz Diyagramları

Yüksek hızda çarpma olayını diyagramlar yardımıyla göstermek sistemin anlaşılması bakımından daha faydalı olmaktadır. Bu diyagramlar oluşturulurken hız, hedef kalınlığı, çarpma açısı, çarpma kinetik enerjisi, itme, kuvvet ve zaman gibi etkiler dikkate alınmaktadır. Aralarında en önemli olan mermi davranışdır. Davranış sırasında sistemin son durum şekilleri, sekme ve gömülme olarak nitelendirilirken; merminin durumu ise deforme olmuş, deforme olmamış yada parçalanmış şeklinde tarif edilmektedir.

Alüminyum plakaya nüfuziyet halinde elde edilen balistik faz diyagramı görülmektedir. Burada oval-sivri bir merminin 6.35mm kalınlığındaki 2024-T3 alüminyum plakaya çarpması incelenmiştir. Bu diyagram teorik ve deneysel dataların birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Diyagramda değişkenler, çarpma hızı V_0 ve eğim θ 'dır. Diyagram, terminal balistik fazların sınırlarını gösteren bir çok eğriye sahiptir. Delinme - gömülme veya delinme - sekme sınırları üzerindeki herhangi bir nokta balistik limiti verir ve bu noktaların oluşturduğu eğriye balistik limit eğrisi adı verilir. Balistik limit, mermi ve zırh performansının tespitinde temel parametredir.

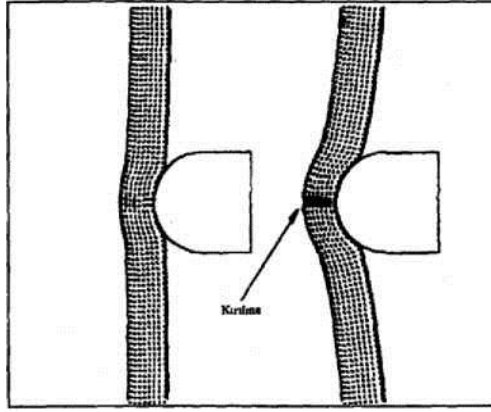
Çarpma olayının incelenmesinde karşılaşılan problemlerden birisi de bir cismin hasara uğramadan dayanabileceği hızın tespitidir. Bu hız, genellikle kritik çarpma hızı

veya balistik limit adını alır. Kritik hız değeri, V_{50} ile gösterilir. Bu hız (V_{50}) parçacığın hedefe dik konumda çarpması sonucu hedefi %50 delme kapasitesine haiz olduğu hızdır (Şekil 4.8.). V_{50} hızının tespitinde istatistiksel yaklaşımlardan faydalanılır. En basit olarak tam nüfuziyete sebep olan en düşük üç hız ile kısmi nüfuziyete sebep olan en yüksek üç hızın ortalaması alınarak balistik limit hız tespit edilir.



Şekil 4.8. V_{50} hız gösterimi (Gupta, 1997; Borvik, 1999)

Merminin hedef içerisine nüfuziyetini etkileyen faktörlerden ikisi de plaka kalınlığı ve mermi yarıçapıdır. Merminin yarıçapı yaklaşık olarak yükleme alanını temsil etmektedir. Eğer plaka kalınlığı 5 mm mermi yarıçapı r 'ye oram birden büyükse plaka kalın, birden küçükse ince olarak değerlendirilmektedir. Şekil 4,9'da gösterilen yükleme halinde merminin yarıçapı plaka kalınlığından büyüktür. Plaka, eksende büyük şekil değiştirmeler meydana getirecek şekilde deforme olmaktadır ve hasar şekli bu sebeple yapraklanmadır. Kalınlık arttığı zaman, eğilme miktarı azalır ve buna bağlı olarak plakanın yüklenme bölgesinin çevresindeki kayma gerilmeleri artar, plakada az eğilme meydana gelir ve hasar merminin çevresindeki kayma etkisinden kaynaklanır. Hedefin arka yüzeyinde oldukça büyük şekil değiştirmeler ve çekme gerilmeleri meydana gelir.



Şekil 4.9. Küresel uçlu bir merminin alüminyum plakaya çarpması (Dikshit,1995)

Şayet plaka kalınlığının mermi yarıçapına oranı birine yakınsa, hedefin delinmesi için gerekli hız minimum seviyededir. Hedefteki hasar tapa oluşumu ve yapraklanma şeklinde olabilir. Burada hangi mekanizmanın meydana geleceği aşağıdaki hususlara bağlıdır:

- Hedef malzeme özellikleri
- Hedef destek tarzı
- Mermi geometrisi.

Malzeme mukavemeti azaldıkça, eğilme miktarı artar ve hasar mekanizması yapraklanmaya dönüşür. Aynı oran için mukavemetin artırılması, yapraklaşma hasarının oluşmasını teşvik eder. Şayet plaka desteği eksene yakın tutulursa, eğilme etkisi azalacağından tapa oluşumu hasarı meydana gelir. Oran birine yakınsa mermi geometrisinin etkisi de oldukça önemlidir. Ogival (oval-sivri) şekilli mermiler yapraklaşma mekanizmasının oluşumunu teşvik ederken, düz uçlu mermiler tapa oluşumunu teşvik ederler (Dikshit,1995).

Mermi hızı ve çekirdek ağırlığı, merminin çarpma anındaki enerjisini göstermektedir. Bu da çarpmanın şiddetini belirler. Tasarımda, karşı konulacak merminin enerjisine göre, uygun miktarda koruyucu malzeme kullanmak gerekir. 300 J enerjiye sahip bir mermi için 4 kg/m^2 'lik (balistik enerji emme öz.) koruyucu kullanılıyorsa, 330 J enerjili mermi için aynı malzemeden $4,4 \text{ kg/m}^2$ 'lik bir koruma gerekir.

Mermi çekirdeğinin büyük veya küçük oluşu ve çarpma anında mermi çekirdeğinin uğradığı tahribatın çeşidi, çarpma sonrasında oluşacak çöküntüyü veya koruyucuda oluşan delinme miktarını belirler. Ucu yumuşak olan mermi çekirdekleri çarpma anında iyice

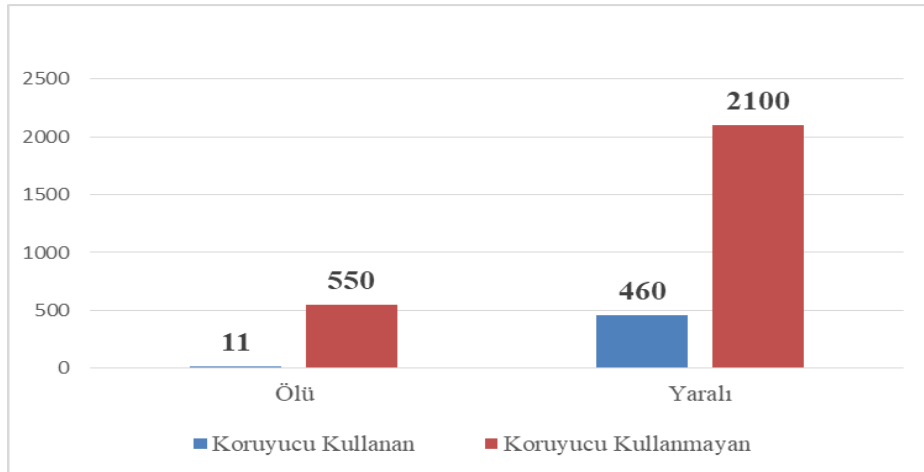
yayvanlaşacağından koruyucunun ilk katlarında kalır ancak büyük miktarda çöküntü yaratır. Aksi davranış gösteren mermiler ise daha fazla delinmeye sebep olur. Çöküntü yaratan mermilere 357 magnum, delinme yaratan mermilere ise 9 mm tombak kaplı merali Örnek verilebilir.

Merminin ateşlendiği namlunun uzunluğu da mermi hızını etkilediğinden göz önünde bulundurulması gereken bir diğer etkidir. Namlu uzunluğu arttıkça mermi hızı artar. Namlu uzunluğu arttıkça namlu içindeki yiv miktarı da artacağından merminin doğrusal hızı yanında dönümsel hızı da artar. Bunlar merminin darbe ve delme gücünü artırıcı etkenlerdir (Übeyli,2006).

Mermiyi tanımlamak için gerekli parametreler; mermi kütlesi m , boyu L_A , çapı D , burun şekli ve uzunluğu L_N , ve mermi yoğunluğu ρ 'dir (Gupta,1997; Dikshit,1995)

4.5. Balistik İstatistikler

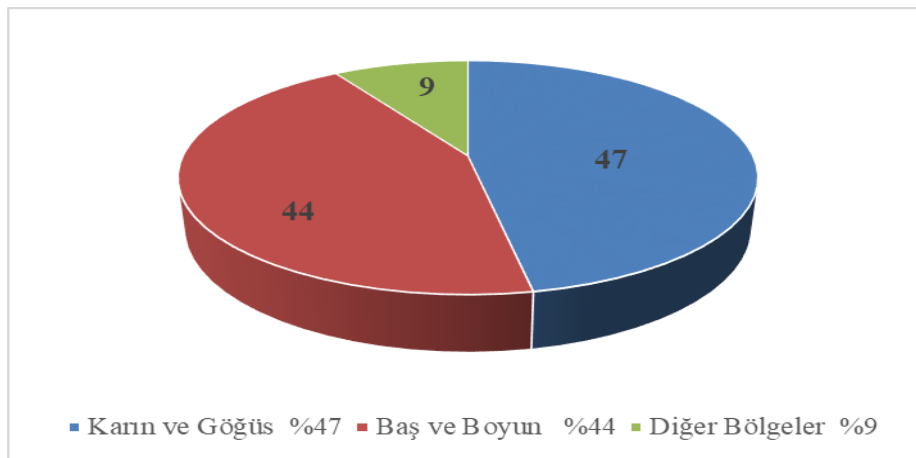
İnsanın kendini dış etkenlerden koruma ihtiyacının doğmasıyla, vücudun hangi bölgesini hangi seviyede korumak gerektiği problemi ortaya çıkmıştır. Bu sorulara cevap verirken tehlike arz eden mühimmatın cinsi ve hangi oranda etki yaptığı bilinmelidir. Savaş esnasında, konvansiyonel silahlar kullanıldığı gibi çok ileri teknolojilerin kullanıldığı ve karşı güçlerin tamamının ortadan kaldırılmasına yol açan silahlar da kullanılmaktadır. Burada anlatılan balistik koruyucu elemanlar, bu silahlardan yalnızca tabanca, tüfek, el bombası ve mayın gibilerine karşı kullanılmaktadır. En uygun koruyucu kombinasyonunu seçmek için savaşlardaki kayıp istatistiklerine bakmak gereklidir. Vietnam savaşında koruyucu teçhizat kullanan personel 9900 kayıp verirken, kullanmayanlar 35800 kişi kayıp vermiştir (Tablo 4.1.)



Tablo 4.1 Kore savaşındaki istatistikler (Übeyli,2006)

Başlangıçta karşımıza çıkan, “Vücudun hangi bölgesine koruma yapılmalı?” sorusunun cevabını yine istatistik bilgilerinde bulmak mümkündür (Tablo 4.2) Vietnam savaşı istatistiklerine göre, kayıpların en büyük nedeni vücudun karın, göğüs, baş ve boyun bölgelerine isabet eden şarapnel ve mermilerdir.

Aşağıda verilmiş olan şekillerden de görüleceği gibi, kayıpların % 47’si karın ve göğüs, % 44’ü baş ve boyun ve sadece % 9’u diğer bölgelerden isabet alma sonucu ortaya çıkmıştır. Bu durumda vücudun, karın, göğüs, baş ve boyun bölgelerine koruma yaparak % 91 oranında kayıpları önlemek mümkün olacaktır. Bu tür bir koruma yapmak için balistik koruyucu yelek giymek yeterli olacaktır. Ancak kompozit miğfer de kullanılmalıdır (Übeyli,2006).



Tablo 4.2. Savaşlarda vücudun isabet alan bölge verileri

Yukarıda verilen oranlar, İçinde bulunulan savaşın türüne göre değişebilir. Ayrıca yapılmakta olan göreve göre de koruyucuların tipi değişmektedir. Örneğin, nöbet tutmakta olan personel vücudun bütün bölgelerini kapatan bir koruyucu uygunsa, arazi taraması yapan personele, hareket etkinliğini azaltmayacak türde bir koruyucu daha uygundur.

Farklı bir araştırmada Amerikan FBI tarafından 1989-1998 yılları arasında yapılmıştır. Araştırma sonucu o yıllar içerisinde 682 güvenlik görevlisi görevine başlar başlamaz hayatını kaybetmiştir. Bunların %70'inde tabanca, %16'sında tüfek, %5'inde saçma tüfeği, %2'sinde bıçak ve %7'sinde çok farklı malzemelerin kullanıldığı, aynı olaylarda saldırgan ile saldırılanların arasındaki mesafe oranlarının tespiti şöyle olmuştur; 0.01-5 m %51, 1.6-3.0 m %21, 3.1-6.0 m %11, 6.1-15.0 m %9, 15 m üzerindeki uzaklıkların ise %8 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.3).

70 %	RH Tabanca	51 %	0.0 -1.5 m
16 %	Tüfek	21 %	1.6 - 3.0 m
5%	Pompalı	11 %	3.1-6.0 m
2%	Bıçak	9%	6.1 -15.0 m
7%	Diğer	6%	15 m üzeri
a		b	

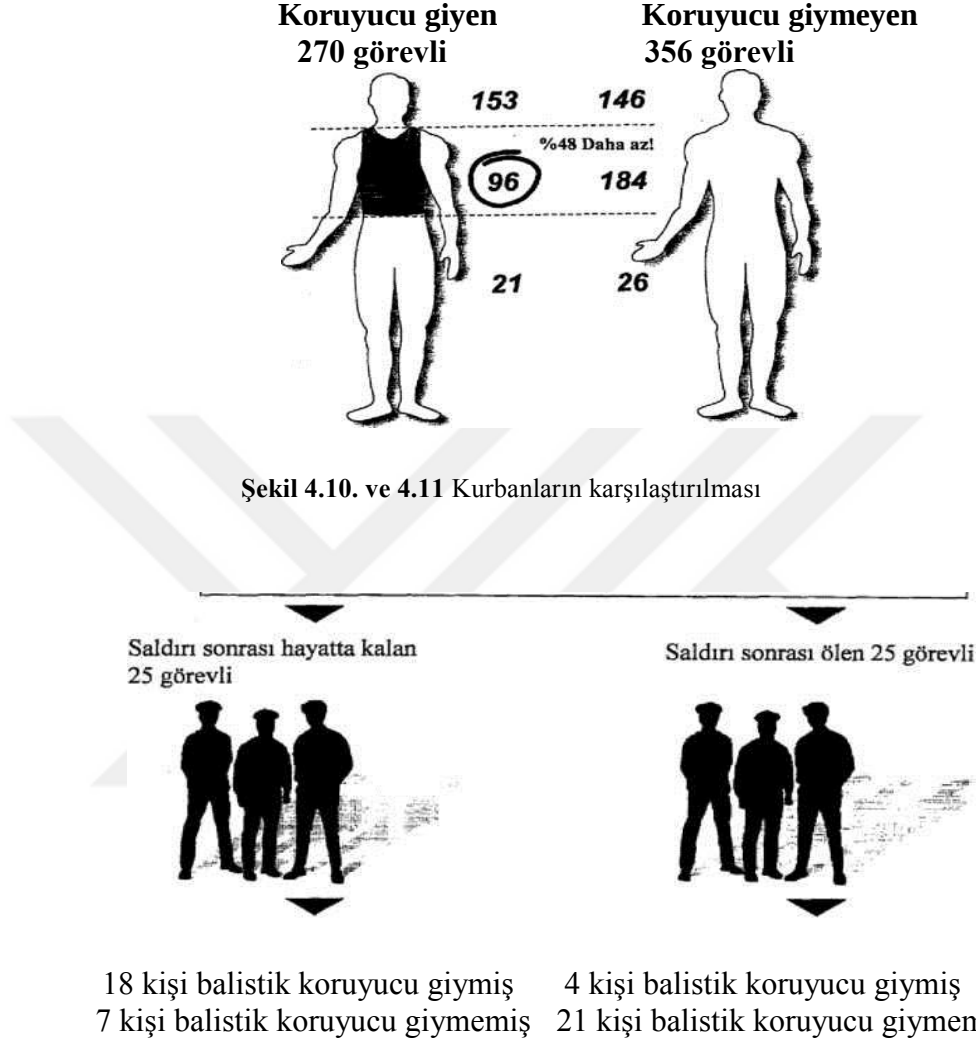
Tablo 4.3. FBI tarafından yapılan çalışma sonucu,

a) Saldırıda kullanılan silah oranları,

b) Saldırgan ile kurban arasındaki mesafe istatistikleri (Maweja, 2006).

Araştırmada mesleğini icra ederken öldürülen güvenlik görevlilerinin 270'inin balistik koruyucu kullandığı, 356'sının üzerinde balistik koruyucu katkılı malzeme olmadığı anlaşılmıştır. Balistik koruyucu olan bölgeye % 48 daha az saldırı olmuştur. Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.'de balistik koruyucu giyilmesi ve giyilmemesi durumlarındaki ölüm riski oranları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma görev sırasında yaralanmış 25 kişi ile görev sırasında yaşamını yitirmiş 25 kişi arasında yapılmaktadır. Yaralı olanlardan 18'i balistik koruyucu giymiş, 7'si giymemiştir (Şekil 4.12.) Ölenlerin 4'ü balistik koruyucu giymiş, 21'i giymemiştir. Bu iki grup için ölüm riski kendi içerisinde hesaplanır ve iki grubun birbiri arasındaki bağıl ölüm riski ayrı hesaplanır. Balistik koruyucu giyenlerin ölüm riski 0.22 bulunurken, giymeyenlerinki 3 olarak hesaplanmıştır. Bağıl ölüm riski ise

bulunan iki değerin birbirine oranıyla 13.50 ~ 14 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. Karşılaştırma için kullanılacak verilerin şematik gösterimi (Maweja, 2006)

4.6. Balistik Standartlar

Balistik koruyucu elemanların test yöntemlerinin bir standarda bağlanması için dünya çapında çalışmalar yapılmış ve her ülke kendi standardını belirlemiştir. 1993 yılı içerisinde bütün NATO ülkelerinin de görüşü alınarak ortak bir test standardı olan STANAG 2920 hazırlanmıştır. Bütün test standartları büyük oranda birbirine benzemekte, sadece küçük değişiklikler bulunmaktadır. NIJ 0101.04 ise günümüzde kullanılan en yaygın standarttır. Bu standartlar sadece test yöntemini belirlemekle kalmayıp, test numunesini, test teçhizatını ve laboratuvar şartlarını da belirlemektedir.

Bu standartlarda malzemenin hangi koruma seviyesi içerisinde test edileceği yada ne kadar koruma sağlayacağı açıklanmıştır. Bu nedenle testi yapılacak malzemenin önce hangi koruma seviyesine ait olduğu belirlenmeli, test şartları ona göre hazırlanmalıdır. Tablo 4.4’de görüldüğü gibi koruma seviyesi

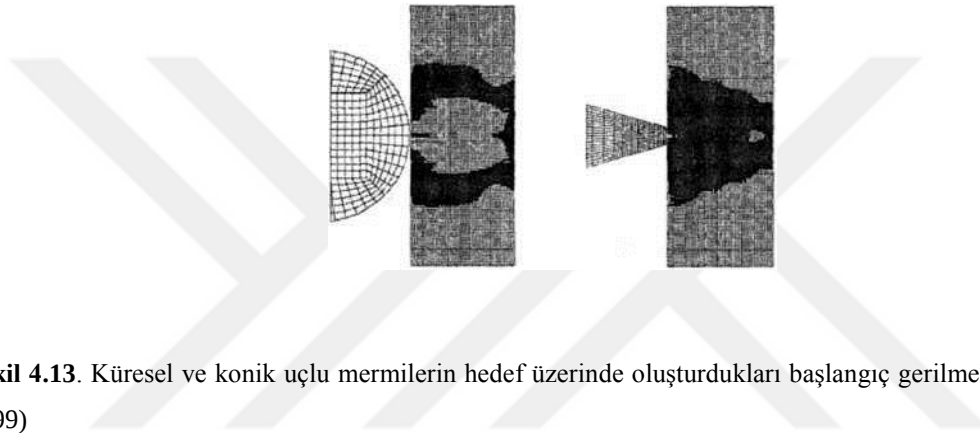
KORUMA SEVİYESİ	KALİBRE VE MERMİ TİPİ	MERMİ AĞIRLIĞI (g)	MERMİ HIZI (m/s)	TRAVMA DERİNLİĞİ (max)
I (5 m mesafeden)	22 LR uzun namlu kurşun burunlu mermiler (LR, LRN)	2,6	320	44 mm
	380 ACP Tam metal kaplama burunlu mermiler (FMJ RN)	6,2	312	
IIA (5 m mesafeden)	9 mm Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ RN)	8	332	44 mm
	40 S&W Tam metal kaplama burunlu mermi (FMJ)	11,7	312	
II (5 m mesafeden)	9 mm Tam metal kaplı yuvarlak uç mermi (FMJ RN)	8	358	44 mm
	357 Magnum, metal kaplı yumuşak uçlu mermi (JSP)	10,2	427	
IIIA (5 m mesafeden)	9 mm Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ RN)	8	427	44 mm
	44 Magnum Kaplama çukur (özel içine göçük uç) nokta mermi (JHP)	15,6	427	
III (15 m mesafeden)	7,62 mm Tam metal kaplama mermiler (FMJ)	9,6	838	44 mm
IV (15 m mesafeden)	30 mm zırh delici (AP) Mermi	10,8	869	44 mm

Tablo 4.4 NIJ Standardı 0101.06

Burada AP zırh delici, FMJ full metal kaplı (tombak kaplı), JSP metal kaplı yumuşak uçlu, LRN uzun namlu yüksek hız, RN yuvarlak uç, HP içine göçük uç özelliklerini taşıyan mermileri belirtmek için kullanılmıştır

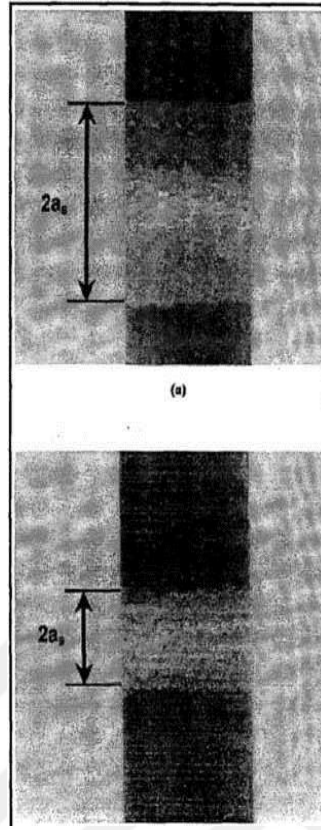
4.7.Balistik ve Çarpma Olayı

Borik ve arkadaşan, 12 mm kalınlığına sahip çelik levha üzerinde yaptıkları çalışmalarda, merminin sahip olduğu burun şeklinin (düz, konik ve küresel) penetrasyona etkisini araştırmışlardır (Anderson, 1999). Mermi şeklinin enerji absorbesi ve hedefteki hasar yapısını etkilediği sonucuna varmışlardır. Şekil 4.13.'de konik ve küresel uçlu mermilerin oluşturdukları gerilmeler görülmektedir. Gerek gerilim gerekse hasar oluşturup penetre olma özellikleri bakımından konik uçlu mermiler diğerlerinden daha etkili olmuşlardır.



Şekil 4.13. Küresel ve konik uçlu mermilerin hedef üzerinde oluşturdukları başlangıç gerilmeleri (Anderson 1999)

Mouritz daha çok askeri deniz araçları olan hücum bot, deniz altı ve zırhlı araçlarda kullanılan cam-fiber takviyeli kompozitler üzerinde çalışmıştır (Tan, 2005). Bu malzemeler mermi ve patlayıcılara karşı iyi direnç göstermektedir. Üzerine atış yapılan (tabakalı, fiber) kompozitin hasar bölgesi incelendiğinde, yüzeyden aşağı inildikçe delaminasyon (katman ayrılması) miktarının arttığını gözlemlemiştir. Bu hasarın azaltılması kompozit fiberin daha hassas dikilmesi ile elde edilir. Balistik mermi ile yapılan çalışmalarda, dikişli ile dikişsiz kompozitte meydana gelen hasarların aynı olduğu görülmüştür. Büyük patlayıcı kullanılması durumunda, dikişsiz kompozitte meydana gelen hasarlar çok daha büyük olmuştur (Şekil 4.14). Kompozit hasar toleransının, dikiş yapısının 20 dikiş/cm^2 değerinin üzerine çıkarmak suretiyle arttırılabileceği tespit edilmiştir (Findik, 2003).



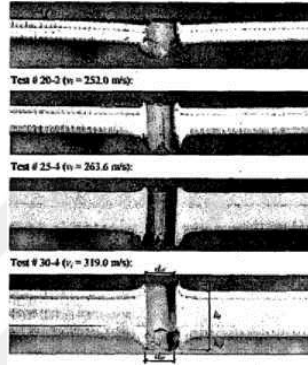
Şekil 4.14. Fiber kompozitteki hasarda dikiş etkisi, (dikişli ve dikişsiz) (Tan 2005)

Candan ve arkadaşları, hafif silahlara karşı para-aramid malzeme kullanılarak üretilen balistik özellikli kompozit, zırhın, hammadde aşamasından nihai mamul haline gelene kadar takip edilen genel üretim aşamalarını, zırhın üstünlüklerini ve dünya standartlarına uygun olarak zırha uygulanan test yöntem ve sonuçlarının değerlendirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarda elde edilen ortalama çökme değeri 22.38 mm' dir. NIJ Standartlarında seviye III-A için verilen hız değeri 400 m/s, çökme değeri ise 44 mm. Testlerde kullanılan mermi ve parçacıkların kütleleri sabit olduğundan, mermi hızlarının artışı ile doğru orantılı olarak elde edilen çöküntü değerleri de artmıştır.

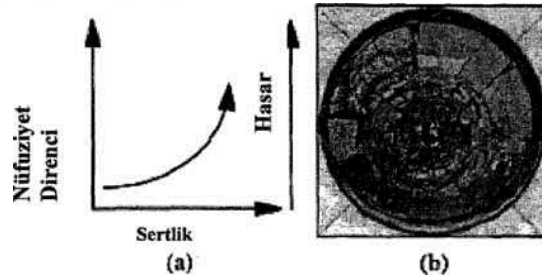
Seramik-metal zırh kullanarak merminin çarpma sonrasındaki kütle kaybını, hız kaybını ve arka malzemedeki genişlemeyi (Şekil 4.15.) ve (Şekil 4.16)'da incelemiştir (DeLuca, 1998). Ayrıca kompozit içerisindeki parçacık ölçüsünün balistik performansa etkisi incelenmiştir. Deneysel ve teorik çalışmalarda seramik tabaka kalınlığının balistik performansta önemli rol oynadığı sonucuna varmışlardır. Seramik tabaka kalınlığını arttırmak yerine, partikül ölçüsünü arttırmasında balistik performansı arttırdığını deneysel yollarla tespit etmişlerdir. Günümüzde güvenlik görevlilerinde ve riski az olan yerlerde

daha hafif olan fiber koruyucuların kullanıldığı vurgulanmıştır. Seramik plakalı koruyucuların, savaş araçlarının menzilinde bulunan, helikopter ve uçaklarda pilotları korumak amacıyla koltuklarda kullanılabileceği fikrine varılmıştır.

Borvik ve arkadaşları, AA5083-H116 alüminyum metalinin balistik özelliklerini incelemişlerdir (Tan, 2005). Numuneler 15-30 mm aralığında kalınlıklara sahiptir. 20 mm çapında, 98 mm uzunluğunda, 53 HRC sertlikte konik uçlu sertleştirilmiş merminin bu numunelere nüfuziyeti ölçülmüştür.



Şekil 4.15 Çeşitli kalınlıklardaki plakalara nüfuziyetin kesit görüntüsü (Tan 2005)



Şekil 4.16 a) Seramik zırhın sertlik-penetrasyon eğrisi,

b) Balistik çarpma sonucunda seramik zırhta meydana gelen hasar Wang ve arkadaşları,

Alüminyum çeliğe göre %25 daha hafif olmasına rağmen çalışmalarda eşit dirençler göstermektedir. Çarpma sırasında alüminyumun enerji absorbe etme özelliği çeliğe göre çok daha iyidir (Tan, 2005).

Reddy ve arkadaşları, balistik çalışmalar sırasında kullanılan ölçme sistemleri ile ilgili çalışmalar yapmışlardır (Reddy,1998). Balistik çarpma olayı sırasında merminin hareketinin sürekli olarak ölçülmesi çalışmalar açısından önemli bir olaydır. Sürekli ölçme sistemi, çarpma olayının ve hedefe çarpma sırasındaki enerji absorbe mekanizmalarının

ortaya çıkarılmasına yardımcı olur. Bazı ölçme sistemleri genellikle sadece ilk çıkış hızını ve uçuş hızındaki artışı ölçer. Sürekli ölme sistemleri pahalı olması sebebiyle nadiren çalışmalarda kullanılmaktadır. Lazerli ölçme sistemleri ise merminin çarpma sırasında ne kadar yer değiştirdiğini dahi ölçebilmektedir.

Liu ve arkadaşları, kompozit tabakaların çarpma nüfuziyet karakteristikleri üzerine çalışmışlardır (Cork, 2003).

Çarpma olayındaki önemli hasar bölgelerinde çarpma yükünün ve mekanik özelliklerin nüfuziyeti etkilediğini tespit etmişlerdir, Ayrıca balistik çarpma nüfuziyet direncine en büyük etkenin kompozit kalınlığı olduğu sonucuna varmışlardır. Burada malzemenin kalın olması gerektiği vurgulanmamıştır.

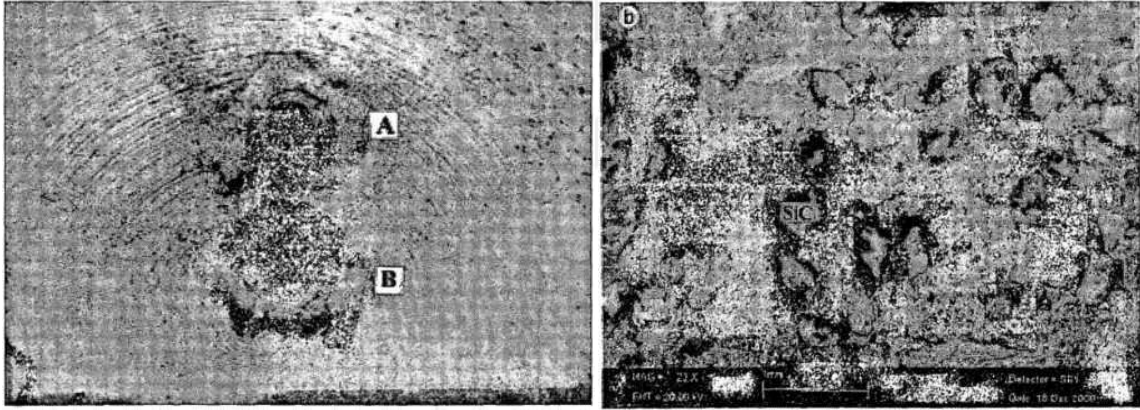
Gereğinden fazla kalın olması aşın maliyet ve ağırlık ortaya çıkarmaktadır. Önemli olan gerekli tasarımın yapılması, ağırlığın ve üretim maliyetlerinin düşürülmesidir. Kalın malzeme kullanmak yerine, kuvvetli yapıyı ince tabakaların bir araya gelmesiyle oluşan plakayla sağlanmasına çalışılmıştır. Katmanları birleştirmek için mekanik, yapıştırma ve dikiş gibi yöntemler kullanılabilir. İyi yapıştırmanın sağlanması, yüksek çarpma özelliklerinin elde edilmesine yardımcı olacaktır.

Chin daha küçük savaş araçlarının kullanım alanlarının genişlediğini vurgulamıştır. İleri silah teknolojisi kullanılarak daha iyi, daha hafif, daha fazla iş yapan, daha küçük ve daha ucuz teçhizatlar geliştirilmektedir.

Amerikan ordu laboratuvarlarında yaptıkları çalışmaları zırh olarak kullanılan seramik-metal matrisli kompozitler üzerinde yoğunlaştırmışlardır. Bu çalışmalarda amaç orta seviyedeki saldırılara karşı koyabilecek etkin balistik performansa sahip malzemeler üretmektir. Çalışmalarda nüfuziyet direncini arttırmak için yüksek mukavemetli partikül takviyesi kullanmışlardır. Malzemeyi sertleştirerek balistik performansını arttırma işleminde, mikro yapıda meydana gelen hasarlar çalışma alanını sınırlandırmıştır. Çalışmalarının genelinde, ön yüzeyde seramik yada metaller kullanılmış, arka yüzeylerinde fiber takviyeli polimer kompozitler kullanılmıştır. Tabakalı kompozitlerin zırh olarak kullanılması durumundaki davranışlarını incelemişlerdir (Bourne, 2005). Çalışmalarında, cam fiber takviyeli levhaların balistik darbe altındaki dirençleri üzerinde testler yapmışlardır (7.62 mm penetrator kullanarak). Fiber kullanılarak üretilen kompozitlerin

yüksek hızlardaki mermilere karşı tek başlarına kullanılmaması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu gibi durumlarda ilk çarpma yüzeyine seramik tabakası gibi sert koruyucu yapıların konulması gereklidir. Yüksek hızda çarpma ve yavaş hızda çarpma testleri sonucunda enerji absorbelerinin birbirine yakın değerlerde olduğu deneysel çalışmalar yardımıyla tespit edilmiştir.

Karamis ve arkadaşları, AA5083 alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozit malzemenin balistik davranışlarını incelemişlerdir (Horsfall 2000). Deneyler sırasında 7.62 ve 9 mm kalibreli mermiler kullanılmıştır. Atışlar sonrası çarpma yüzeylerinde kırılan çatlaklar gözlenmiştir. Ayrıca mermi çarpma bölgelerinde matrisin sürtünmeden dolayı eridiği tespit edilmiştir. Testlerde kompozit hedefin arkasında destek olup olmamasının, hedefin direncini etkilediği tespit edilmiştir. Şekil 4.17.'de kompozit içindeki SiC tanecikleri görülmektedir.



Şekil 4.17.Kompozit içerisindeki SiC taneciklerinin görüntüsü (Horsfall 2000)

4.8. Mermi Özellikleri

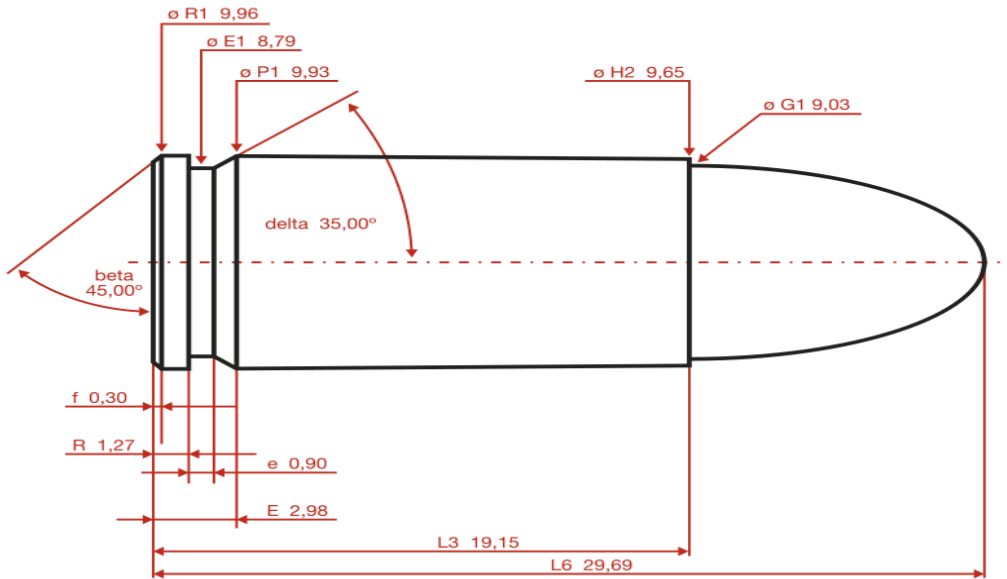
Gelişen günümüz teknolojilerinin de yardımıyla, farklı silahlar için, hız, biçim, çekirdek yapısı vb özellikleri birbirinden çok değişik amaçlara yardımcı birçok mermi türü üretilmiştir. Balistik koruyucu elemanlardan da böyle farklılık gösteren mermilere karşı koruma sağlamaları istenmektedir.. Her alanda değişme gösteren teknoloji, balistik koruyucu içeriklere sahip malzemelerde de gelişim isteyen ve tasarımcıya yüksek dayanıklılıkta malzemeler bulunmuştur. Bazıları; para-aramid, cam fiberleri, Al₂O₃, ve B₄C seramikleri, balistik amaçlı çelik ve alüminyum içerikli malzemelerdir. Malzeme çizim esnasında balistik koruyucu malzemelerin içerikleri hakkında bilgi sahibi olmak,

tehlike beklenen mühimmatın özelliklerine de hakim olmak gerekir. Her zaman ihtiyaç duyulan mermi özellikleri.

- Çekirdeğinin içeriğinin sertliği (çelik, kurşun, bakır, vb.),
- Ucunun sivri yada küt oluşu
- Çekirdeğin ağırlığı,
- Hızı,
- Çöküntü yapma durumu,
- Delme durumu,
- Merminin çıktığı namlu uzunluğu.

Mermi içindeki çekirdeğinin sertliği yüksek oldukça delme gücü de artar. Sebebi ise merminin durdurulabilmesi, mermi çekirdeğinin çarpma anında ezilmesi ve yayvanlaşması oranına göre değişmektedir. Bu sebeple sert uçlu mermilerin daha yumuşak koruyucularla durdurulması beklenmemektedir. Bu mermiler zırh delici diye tabir edilmektedir. Çekirdekleri çoğunlukla çelikten yapılır ve ancak metal gibi sert malzemelerle korunabilir (Übeyli, 2006).

Yukarıda açıklanan aynı sebepten dolayı küt uçlu mermilere göre sivri uçlu mermileri durdurmak daha zordur. Bunlar için sert koruyucu kullanmak daha uygundur.



Şekil 4.18. 9×19mm Parabellum Kesit Görünümü ve Ölçüleri

9×19mm Parabellum (9mm Parabellum, 9mm Luger, 9×19mm şeklinde kısaltılır), hafif silahlar için üretilen 9mm mermi çapı ve 19mm kovan uzunluğuna sahip fişektir. Bütün bu özellikleriyle birlikte ses hızını büyük bir farkla aşabilen bir mermidir (Şekil 4.18.)



5. MATERYAL VE METOT (TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR)

Deneysel çalışma iki kısımdan meydana gelmektedir. Çalışma-I'in ana parçaları kevlar, keçe ve kauçuk mantardan oluşmaktadır. Çalışma-II ise Silikona olarak sitrik asit ve karbon katılarak kevlar yüzeyine presleme yolu ile emzirme işlemi yapılmıştır. Amaç, bu ürünlerden oluşacak kompozit malzemenin Şekil 5.1.'deki 9mmlik tabancanın mermisine dayanımını gözlemlemektir. Bu çalışmadan önce kevlar malzemesinin önce keçe ile sonra silikon bazlı farklı bir yapı ile Türk silahlı Kuvvetlerin envanterinde kullanılan silahlar ile incelenmiştir.



Şekil 5.1. 9mm tabanca

5.1. Kevlar

Çalışma-I ve Çalışma-II'de kullanılacak materyallerden biri daha önce değişik malzemelerle beraber savunma sanayinde ve çok farklı alanlarda kullanılan Kevlardır

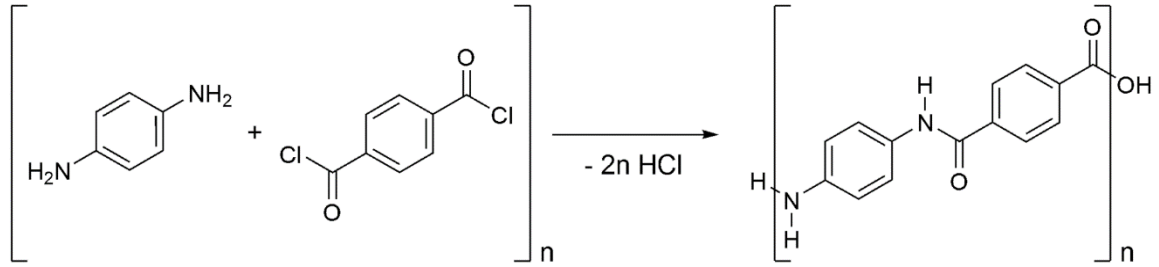
Kevlar, çok hafif olan karbon kökenli yapıya sahip sağlam liflerden oluşan bir malzemedir. Kevlar günümüzde zırh, sağlam halat yapımı, yanmayan koruyucu giysi imalatında kullanılmaktadır. Kevlar çok yüksek çekme gerilimine dayanabilen lifli ipliksi bir yapıdır. Dokunabilir, kumaş haline getirilen kevlar kesilebilir ve dikilebilir. Özellikle

çelik yelek, miğfer, paraşüt ipi, yol bisikleti lastiklerinde, fiber veya veri kabloları için ek sağlamlık sağlayan halatlarda veya gemileri bağlamak için kullanılan hafif halatlarda ve kompozit yapılar ile oluşturulan levha, boru ve özel taşıtların gövde veya kanat yapılarının imalatında kullanılmaktadır.

Kompozit Kevlar çekme numunesinin SEM analizlerinde fiber yapı ile reçineninçeşitli büyütmelelerdeki görüntüleri detaylı incelenmiş, infüzyon yöntemi ile reçinenin fiber yapıyaemdirilmesinde mikro ve makro yapıda boşlukların oluşmadığı tam nüfuziyet sağlandığı görülmekle beraber bu durumun karmaşık şekilli yapıların üretiminde de avantaj sağlayacağıfikrini oluşturmuştur (Taşgın, 2018).

Kevlar yelekler kevlar liflerinden dokunmuş kumaşlardan birçok kat üst üste dikilerek oluşturulur. Yüksek gerilime dayanıklı lifler kurşunu tutabilmektedir. Bununla birlikte lifler ezilmeye dayanıklı değildir. Bundan dolayı kevlardan yapılmış bir malzemenin kurşun geçirmeme şartı esnemesidir. İnsan vücudu üzerinde kurşunu geçirmeyen kevlar kurşunu geçirmezken, sert bir satıh (örneğin tahta) üzerine gerilen aynı kevlar kurşunu geçirir.

Sivri uçlu mermilerin durdurulabilmesi için daha sık ve sağlam bir dokumaya ihtiyaç vardır.Kevlar çok güçlü ve birim ağırlık başına Karbon Fiberden biraz daha güçlüdür.Kimyevi yapısı (Şekil 5.2)'de görülmektedir.



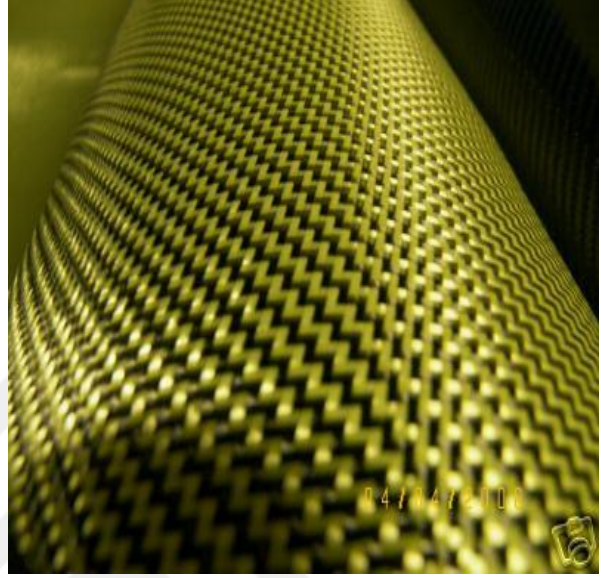
Şekil.5.2 Para-Aramid (Kevların) kimyevi yapısı.

Kurşun geçirmez yelekler durdurabildikleri kalibre ve mermi tiplerine gere seviye katsayılarına sahiptir. Zırh delici çelik uçlu mermiler kevlar yelekler tarafından durdurulamaz. Bunun için kevlar yelek içerisinde çok sert seramik levhalar kullanılmaktadır. Bu levhalar çelik merminin sivrilik miktarını ucu kırarak azaltır. Sonraki katmandaki kevlar kumaş katmanlarında mermi durdurulur. (Şekil 5.3), (Şekil5-4.) Kevlar yelekler gövdedeki hayati organları korumayı amaçlar. Yinede kullanıcı tam olarak korunmuş değildir. Bazı durumlarda kurşunun vücuda girmesinden çok kurşunun

oluşturduğu darbe ile kemiklerin kırılması veya basınç ile iç organların patlaması tehlikesi ile karşı karşıya kalınır.



Şekil 5.3 Kevlar lifi



Şekil 5.4. Kevlar lifi örgü yapısı

5.2. Keçe

Materyallerden bir diğeri ise Keçe'dir. Keçe, koyun, tavşan, deve, lama gibi memeli hayvanların yünleri ile tiftik keçisinin kıllarının su, sabun ve ısı yardımıyla belli geometride kullanılan ve alkali bir ortamda liflerinin birbiri arasına girmesi ile elde edilen katkısız-çözülgüz sıkıştırılmış tekstil örneğidir.

Antik çağın en önemli ozanlarından olan Homeros'un MÖ 9. yüzyılda yazmış olduğu ünlü İlyada destanında keçe sözcüğünün geçmesi, Anadolu'da keçenin erken dönemlerde kullanıldığını gösteriyor. Yapılan arkeolojik çalışmalara göre, MÖ 5. yüzyıla kadar koyun ve keçi yetiştirilen hemen her coğrafyada keçenin izine rastlanıyor. Özellikle

Orta Asya'da yaygın olarak görülen keçe, göçebeler tarafından ağırlıklı olarak çadırlarda, çadırların dışında, giysi, yer örtüsü, semer, kolan olarak kullanılıyordu. X. yüzyıldan sonra Orta Asya'dan Anadolu'ya ve Avrupa'ya doğru başlayan göçler, keçenin daha geniş bir coğrafyaya yayılmasına neden oluyor. Anadolu Selçukluları döneminde de keçe önemli bir yer tutuyordu. Bu dönemde kaba yünlerden üretilen kalın keçeler çadır ve

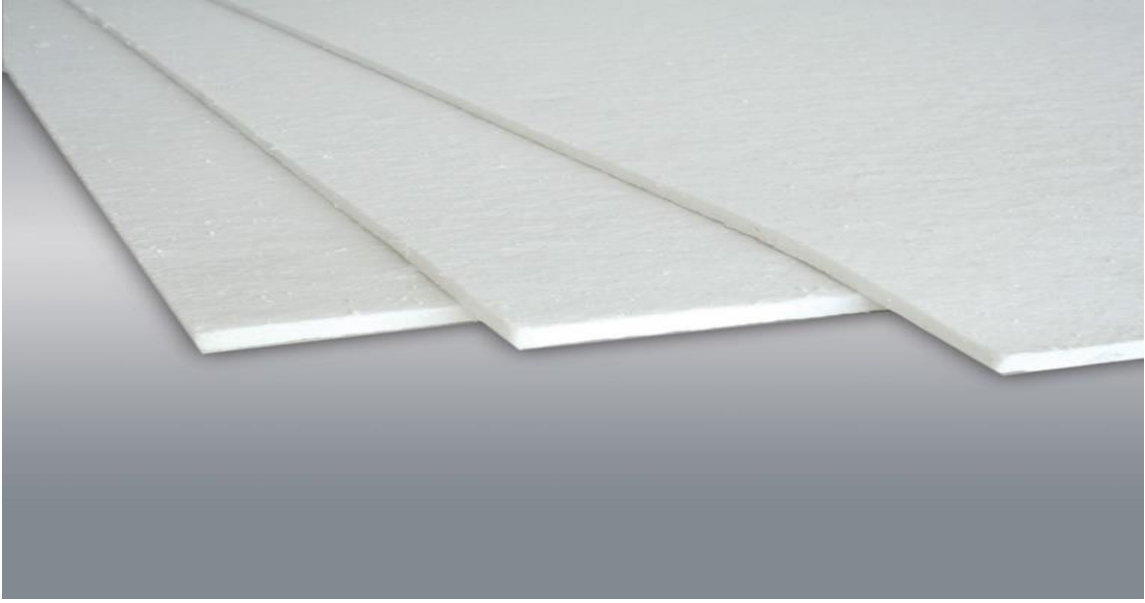
eyer örtüsü olarak kullanılırken hav yünlerinden elde edilen ince ve yumuşak keçeler, giyim ve kuşam eşyalarının üretiminde kullanılıyordu. Anadolu'da keçenin önem kazanmasının bir nedeni de Mevlana Celaleddin Rumi'nin Konya'ya gelmesiyle Mevleviliğin yayılmasıdır. Mevleviler halı yerine keçeden yapılmış (Şekil 5.5.) yaygıların üzerinde oturuyor ve başlarına keçeden yapılmış, sikke adı verilen külahları takıyorlardı. Bu doğal malzeme, çağımızda göçebeliğin kalkması ve sentetik malzemelerin artması nedeniyle hızla yok oluyor. Son yıllarda sadece Urfa, Afyon, Konya ve Tire'de çok az miktarda üretilen keçeler çoğunlukla süs eşyaları yapımında kullanılıyor. Yakın zamana kadar keçeden yapılan ve çobanların kullandığı kepenekler de artık yerlerini elyaf montlara bırakıyor. Oysa yapılan bilimsel araştırmalar keçenin sudan etkilenmeyen ve soğuğa karşı en iyi yalıtkan malzemelerden biri olduğunu, elyaf ve silikon gibi sentetik malzemelerden de daha iyi ısıttığını gösteriyor.



Şekil 5.5. Anadolu Keçesi

İlk keçeleşmenin nasıl oluştuğu konusunda çeşitli varsayımlara dayalı açıklamalar yapılmaktadır. Hyde (1988) "Fabric of History Wool" isimli makalesinde şapkacılar azizi olan St. Clement'in uzun bir yolculuk sırasında sandaletlerin içine gevşek bir yün

koyduğunu; nem, hareket ve sıcaklığın etkisi ile tesadüfen bulunduğunu belirtmektedir. Ülkemizde ise farklı kişiler keçenin mucidi olarak gösterilmektedir. Ebu Said Libabid, Abdülmüttalip, Veysel Karani, Saidi Rubbani keçeciliğin piri olarak geçen isimlerdendir. Yine yazılı kaynaklarda bu kişilerin tepme keçe için gerekli olan işlemleri yerine getirmelerine rağmen yün liflerinin birbirine kaynaşmasını (keçeleşmesini) başaramadıkları ve bundan dolayı ağladıkları, gözyaşlarının düştüğü yerlerde yün liflerinin kaynaştığını görmeleri sonucu tepme işlemi sırasında su vermeyi öğrendikleri ve böylece ilk keçeleşmeyi buldukları belirtilmektedir (Şekil 5.6.).



Şekil 5.6.Keçe

5.3. Mantar (Kauçuk) Şilte

Kauçuk katkılı mantar levhalar, granül mantarların kauçuk ile karıştırılması sonucu hazırlanan ve bloklarından dilimlenmesiyle istenilen kalınlıklarda elde edilen malzemelerdir. Kauçuk mantar levhalar darbe, ses ve ısı izolasyonunu kusursuz yaparak makine teknolojisinin temellerinde vibrasyon emici olarak da yaygın şekilde kullanılmaktadır (Şekil 5.7.).



Şekil 5.7. Mantar (Kauçuk) Şilte

Mantar Meşesi, Batı Akdeniz’de, Portekiz, Cezayir, İspanya, Fransa, İtalya ve Güney Afrika’nın bir kısmında yetişmektedir. Portekiz mantar üretiminin başında gelir. Dünyada mantar üretiminin %80’ini Portekiz karşılamaktadır (Alma, 2001)

Mantar Meşesi ağaçları 30-35m’ye kadar büyüyebilirler. 1000m rakımdan aşağıda 8 yaşından itibaren daha yükseklerde ise 11 yaşından itibaren mantar tabakası oluşmaya başlar. Yaşlandıkça mantar tabakasının kalınlığı azalır. 150-200 yaşına kadar yaşayabilen mantar meşeleri 100 yaşına kadar kabuk üretir.

Ağaçtan soyulan mantar tabakaları temiz ve pürüzsüz olması için suda kaynatılır ve birkaç gün süreyle stabilize edildikten sonra kalite seçimi yapılır. Sonra mantar tapa elde etmek üzere enine kesilir. İsteğe bağlı olarak delinir. Üretimden arta kalan mantar parçaları öğütülerek tanecikler haline getirilir ve bazı inşaat ve endüstri alanlarında ham madde olarak kullanılır. Örneğin, kauçuk yapımında, duvar ve yer kaplamalarında, contalarda, hediyelik eşyalarda, mühürlerde, ve çeşitli birleşim yerlerinde kullanılmaktadır (Alma, 2001).

Mantar meşesinin budanmış dallarından çıkarılan düşük kaliteli kabuklar öğütülüp yalıtkan levhaları haline getirilir. Bu parçacıkların birbirine kaynaşması (Agilemerasyon) mantar reçinelerin sızması ve granüllerin genişleyip birbiri içinde bağ oluşturmasını kolaylaştıran buhar ile ısıtma işlemi sonucunda sağlanmaktadır (Alma, 2001)

5.3.1. Mantarın Kullanım Alanları

Mantar kümeleri levhalar halinde kesilerek ısı izolasyonunda, akustik düzenlemelerde, titreşim yalıtımında, gıdasal, kimyasal ve tıbbi madde depolanması esnasında, soğuk hava depolarında, klima cihazlarında, rutubet yoğunlaşmasının

önlenmesinde, istenilen sıcaklıkların korunmasında, ayakkabı sektöründe, promosyon amaçlı malzeme imalatında (Şekil 5.8.) ve daha birçok sektörde kullanılmaktadır.



Şekil 5.8. Mantarın Kabuk ve İşlenmiş Hali

5.3.2. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Görünüm: Mantarlı - Siyah levha (Şekil 6.12)
Sertlik : 75 Shore A
Ebatlar : 540 x 540 mm veya 1000 x 1000 mm + rulo
Kalınlık : 3 mm - 100 mm
Yoğunluk : 700 - 800 gr / cm³
Çekme Mukav. : 5,2 kg / cm²
Isı iletkenlik : 0,072 W / Mk
%50 sıkışma sonrası geri dönüş : % 90

Çalışma-II’de ise silikona sitrik asit ve karbon katılarak 140⁰C sıcaklığa kadar ısıtılıp daha sonra elektroliz yapılarak katılaşması sağlanan karışım yapılan işlem sonucunda katı haldeki silikonlar granül haline getirilip yapılacak olan işlemde kullanıldı. Yapılan işlemde kullanılan silikon hakkında bir inceleme;

5.4. Silikon ve Özellikleri

Silikon sentetik bir kauçuktur. Silisyum elementinden bir seri kompleks reaksiyonlar sonucu elde edilir. Silikon normal kauçuklardan farklı bir yapıya sahip olduğu için kauçuğun modern ihtiyaçlara yetemediği yerlerde silikon kullanılmaktadır.

- 1- Yüksek ve düşük sıcaklıklarda fiziksel özelliklerinin kaybolmaması
- 2- Hava şartlarına, Radyasyona, ultraviyole ışınlara, ozona, oksijene karşı yüksek direnç.
- 3- Çok yüksek elektriksel izolasyon.
- 4- Biyolojik inertlik.
- 5- Diğer malzemelere kolaylıkla yapışmama.

Silikon tüm bu özelliklerinden dolayı Elektrik, Elektronik, Genel mühendislik, Otomotiv sanayi, Uçak sanayi, Gemi sanayi, Aydınlatma, Tekstil, Eczacılık, Tıp, Kozmetik ve gıda sanayinde tercih edilerek kullanılmaktadır.

5.4.1. Isısal Özellikleri

Silikon kauçuk, pratik olarak (-60 ile +180 C) gibi geniş bir çalışma sıcaklığı alanına sahiptir. Belirtilen bu sıcaklıklarda fiziksel özelliklerinden hiç bir şey kaybetmeden sonsuz bir dayanımı vardır. 250 C da dahi binlerce saat tam görevini sürdürebilir. Teknik bir hata meydana geldiğinde kısa süreler için 400 C ve daha yüksek sıcaklıkları kaldırabilir. Ortamda alev yoksa çok yüksek sıcaklıklarda bile yanmaz. Açık alev ile karşılaştığında yanar, alev uzaklaşınca sönecek şekilde formüle edilebilir. Silikon -60 C'a kadar düşük sıcaklıklarda da özelliklerini ve elastikiyetini korur kırılgan hale gelmez

5.4.2. Hava Şartlarına Dayanıklılık

Silikon kauçuk, ultraviyole ışınlara, oksijene, ozon ve gazların etkisine karşı çok dayanıklıdır. Her türlü aşırı sıcaklarda dahi renk kaybına uğramaz ve çatlamaz. Yağmur ve yüzeysel sulardan etkilenmez. Diğer kauçuklar ise bu ortamlarda çok çabuk yaşlanır. Silikon inert bir malzeme olduğundan insan sağlığı üzerinde hiçbir olumsuz etkisi yoktur. Gıda sanayinde, Tıpta, Eczacılıkta ve kozmetik sanayinde tereddütsüz kullanılmaktadır. Kan verme hortumları, oksijen maskeleri, bebek emzikleri, ecza ambalaj tapaları gibi birçok malzeme silikondan imal edilmektedir. Ayrıca gıda sanayinde silikon kaplı ekmek ve bisküvi pişirme tavaaları, taşıma bantları, tercih edilmektedir.

5.4.3. Yapışmamazlık

Silikon ‘un yapısının özelliğinden dolayı yüzeyine diğer malzemelerin yapışması çok zordur.

5.4.4. Kimyasal Etkilere Dayanıklılık

Başka elastomerlerin yüksek sıcaklıklarda kimyasal etkiler altında tam netice alınarak kullanılamaması Silikon kauçukların ise daha randımanlı olarak kullanılabilmesi silikonu diğer elastomerlerden ayırır.

5.5. ÇALIŞMA-I Deney Aşaması

Deneyel olarak projede kullanılan (Şekil 5.9.)’da 3 katmanlı koruyucu kompozitin tasarım olarak en üst katmanda kevlar, orta katmanda keçe ve en alt katmanda ise mantar (kauçuk) şeklinde dizayn edilmiştir. Darbeye karşı dayanıklılığı ölçülen malzemeye 9mmx19 Parabellum tabanca mermisi ile 10m ve 20m mesafeden atış yapılarak yelek üzerindeki geometrik yüzey deformasyonu analizi yapılacaktır. Mermi namlu çıkış hızı 370 ± 10 m/s (16 m'de).



Şekil 5.9 Malzeme Katman Sırası ve Kesit Görünümü.

Numunelerin hangi malzemelerden ne miktarda oluştukları Tablo 5.1’de görünmektedir.

NUMUNE NO	N1	N2	N3
KEÇE BOYUTU	250*250*7 mm	250*250*10 mm	250*250*10 mm
KEÇE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	0,8kg/m3	0,42kg/m3	0,8kg/m3
KEVLAR KAT SAYISI	33	20	20

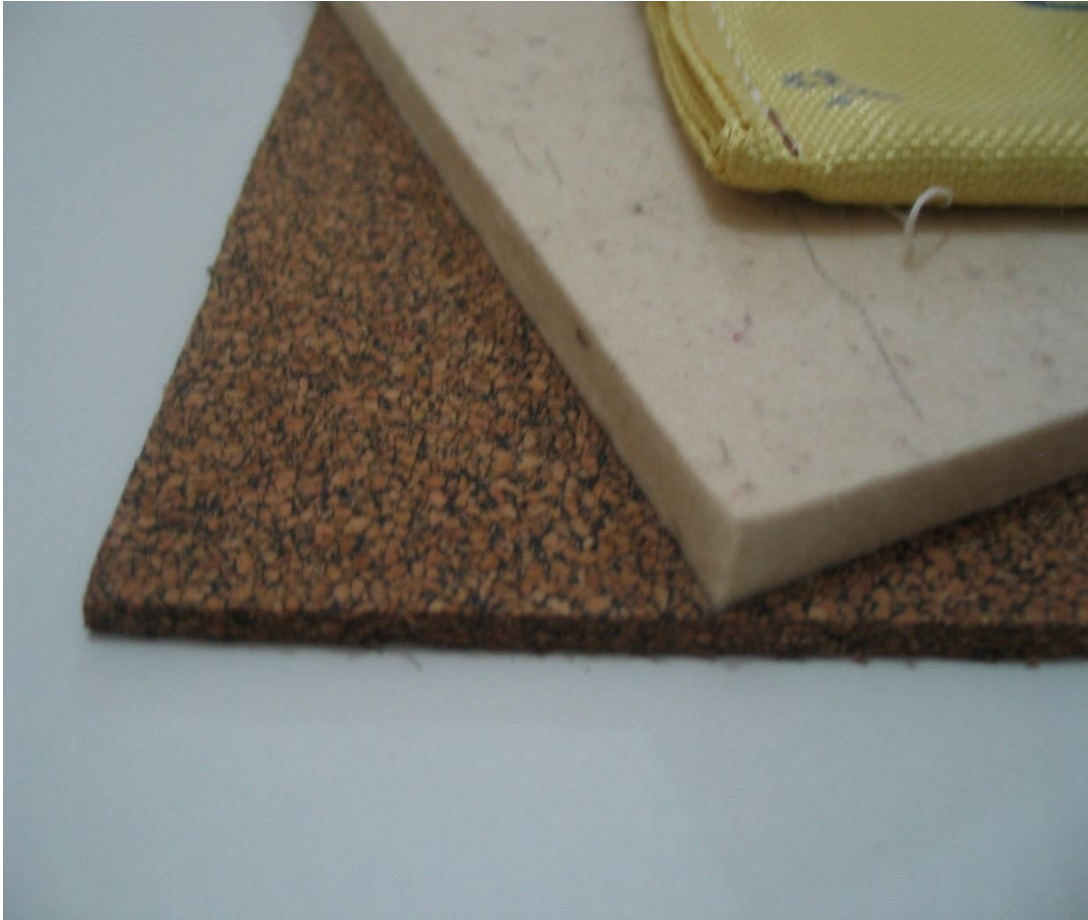
Tablo 5.1 Numunelerin i eri inde i malzemelerin miktarları



Şekil 5.10 9mm’lik tabanca mermisi

Mermi çekirdek kısmı oval yapıda ve kurşun-antimon alaşımından oluşmaktadır (Şekil 5.10.)

Proje kapsamında 3 farklı yapıdaki numune örnekleri üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan; Numune-1, Numune-2, Numune-3 numunelerinin sonuçları tablo olarak ileriki sayfalarda yansıtılmıştır. 3 farklı numune üzerinde kullanılan malzemelerin katmanlarının et kalınlığı üzerinde değişiklik yapılarak daha fazla datanın alınması amaçlanmıştır. Malzemelerin sıralanışı (Şekil 5.11)'de olduğu gibidir. Vücuda en yakın mantar tabaka, daha sonra keçe tabaka ve kevlar olmuştur.



Şekil 5.11. Mantar-Keçe-Kevlar

Kullanılan malzeme et kalınlığı 3mm-4mm olan elastik bir yapıya sahiptir. Vücuda temas eden bölgede vücudun şeklini alabilmektedir. Bu malzemedan sonra kevlar kumaşı kullanılmıştır. Kumaş katman sayısı iki numunede 20 ve bir numunede 33 olarak belirlenmiştir. Farklı tipte numune cinsleri ve kevlar katman sayıları kullanılarak daha çok

datanın elde edilmesi sağlanmıştır. Kevlar malzemesinden sonra keçe kullanılacaktır. Mermi ile ilk teması sağlayacak malzemenin Kevlar olması, daha önceden de belirtildiği gibi mermiyi düzensiz liflerle yormak olacaktır. Bu üç malzeme havalı zımba ile birleştirilmiştir. Mermi, zımbanın telleri gelmeyecek şekilde birleştirme işlemi uygulanmıştır(şekil 5.12).



şekil 5.12. Presli Malzeme

Emniyetli bir alanda 10 m ve 20 m mesafelerden numuneler üzerine tabanca atışları gerçekleştirildi. Atış yapmadan önce numunelerin arkasına insan vucudu kıvamında %100 polietilenden olusmus 20 mm kalınlığında malzeme konulmuştur (şekil 5.13.).



Şekil 5.13 Polietilenden oluşmuş malzeme

Atışlar başarılı bir atıcı tarafından gerçekleştirildi. Çalışma-I'e ek olarak numunelere 25m'den ABD yapımı M-16 Piyade tüfeği (Şekil 5.14.) ve Bixi (Şekil 5.15.) atışları yapıldı.



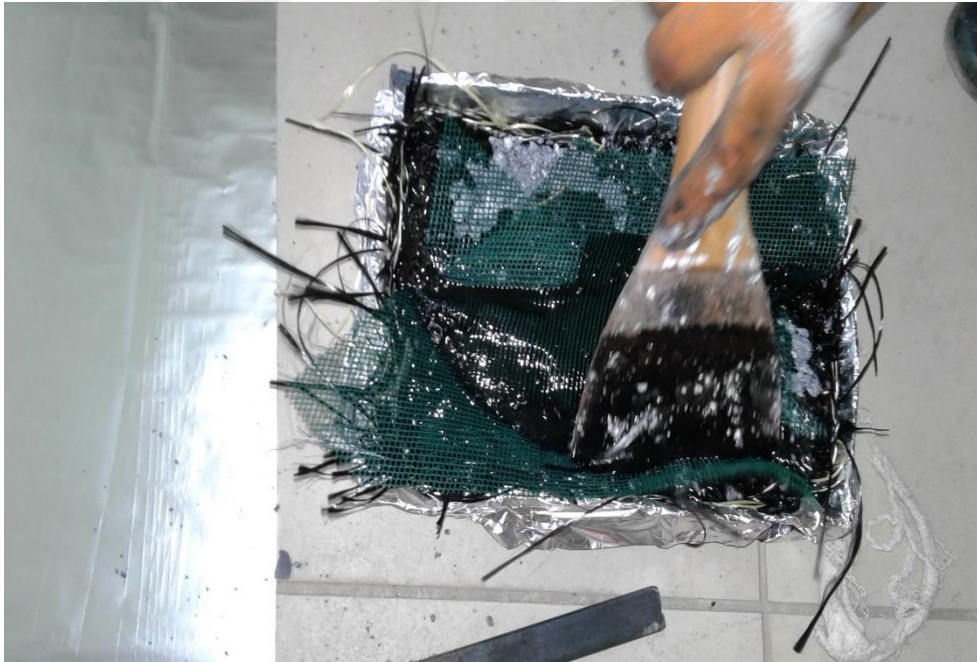
Şekil 5.14 M-16 Piyade Tüfeği



Şekil 5.15 7.62 mm Pkms (Bkc) Makineli Tüfek (Bixi)

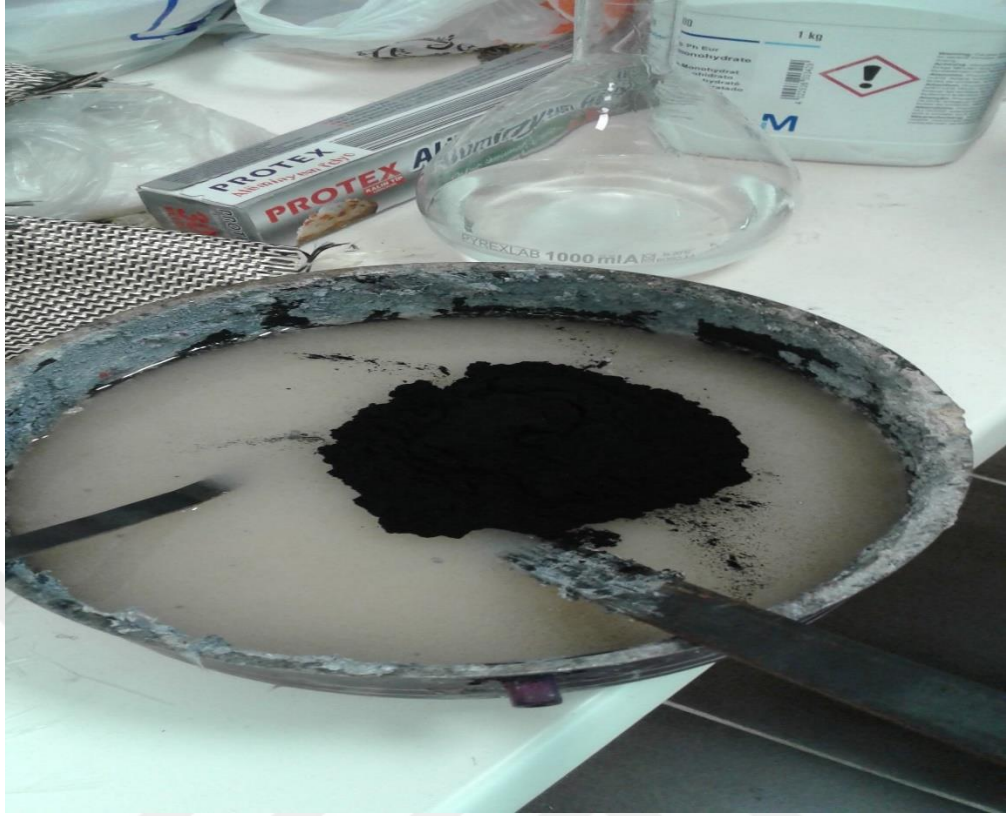
5.6. ÇALIŞMA-II Deney Aşaması

Çalışma-II’de yapılacak olan kompozit malzemedede 8 kat kevlar kullanılmıştır. Her katın arasına macun emdirilmiştir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16 Kevlar arasına macun emdirilirken

Macun; şeker, su, sitrik asit fırın yardımıyla 120 C ısıtılarak %99.999 saflıkta karbon katılmasıyla oluşturulmuştur (Şekil5.17). Katmanlar arasında bağ yapılmasıda amaçlanmıştır.



Şekil 5.17. Macun yapılışı

Macun kevlara emdirildikten sonra fırınlama işlemine başlanır (Şekil5.18).



Şekil 5.18 Macunun fırınlama işlemi

Daha sonra 3 mmlik alüminyum katmanla arka ve ön kısmı koruma altına alınarak malzeme atış yapılacak düzeye getirildi.(Şekil 5.19)



Şekil 5.19 Hazırlanan kompozit malzemenin atış öncesi son hali

Meydana gelen kompozit malzemeye yeterince presleme işlemi uygulandıktan sonra emniyetli bir alanda atış yapılmıştır. 25m mesafeden sıra ile 9mm tabanca, HK-33 (5.56mm) piyade tüfeği (Şekil 5.20) ve BORA keskin nişancı tüfeği ile atış yapılmıştır (Şekil 5.21).



Şekil 5.20. HK-33 Piyade Tüfeği

Ülkemizin yapmış olduğu ilk uzun menzilli keskin nişancı tüfeğimiz olan BORA (Şekil 5.21.) 5 yıllık bir çalışma sonucu seri üretime geçmiştir. Silahın namlu çapı 7,62 milimetredir. Tam olarak JMK Bora 12 olarak adı geçen silahın tesirli menzili 1200 metre olup, 1000 metreye kadar nokta hedef atışı yapabilmektedir.

JMK Bora 12 silahı ülkemiz silahlı kuvvetlerinde ve iç güvenlikte kullanılması ile birlikte bazı Avrupa ülkelerine de ihraç edilmektedir.

Bora keskin nişancı tüfeğinin en büyük özelliği ise namlularının soğuk dövme tekniğiyle üretilmesi.. Çekme çeliğe göre dayanıklılığı çok daha fazla olan dövme çelik silahın gücüne güç katıyor.



Şekil 5.21. Keskin Nişancı Tüfegi BORA

6. BULGULAR

Küt uçlu mermilerin durdurulmasından daha ziyade sivri uçlu mermilerin durdurulabilmesi için daha ince dokunmuş ve dayanıklı bir dokumaya ihtiyaç vardır. Bu sebeple ucu oval olan tabanca mermilerinin projenin yapılabilirliği açısından daha olumlu sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir.

Kurşun geçirmez malzemeden oluşan yelekler durdurabildikleri kalibre ve mermi çeşitlerine göre seviye katsayılarına sahiptir. Bu malzeme temelli yelekler vucuttaki hayati önem taşıyan organları bir çeşit korumayı amaçlanmaktadır. Bunların yapılmasına rağmen vucut istenilen koruma düzeyine ulaşmamıştır, hatta kurşunun vücuda girmesinden fazla miktarda kurşunun sebep olduğu darbe ile kemiklerin kırılması veya basınç ile iç organların patlaması tehlikesi ile karşı karşıya kalınır.

Çalışma-I de, 10m ve 20m de atlan tabanca atışları sonunda tüm numunelerin mermiyi tuttuğu gözlemlenmiştir. Fakat ileride tablolar kısmında belirtileceği gibi merminin kompozit malzemede ilerleme mesafeleri farklı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.1), (Şekil 6.2)



Şekil 6.1 Merminin kevlare yaptığı basınç sonucu



Şekil 6.2 Mermini keçeye yaptığı basınç sonucu

9mm lik tabanca mermisinin arka kısmı (Şekil 6.3)'te görüldüğü kevlerden geçmemiştir.

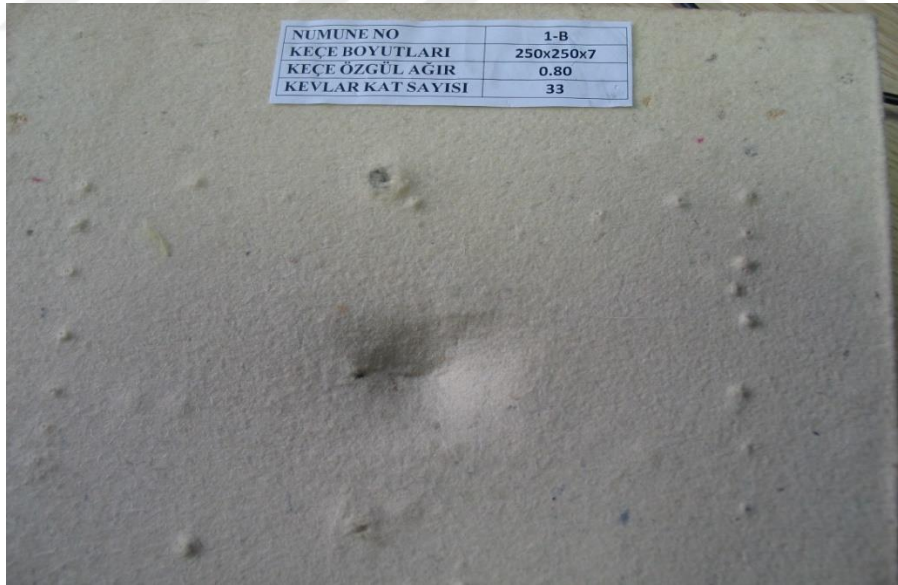


Şekil 6.3. Mermi kompozit malzemedan geçmemiştir.

Mermi kompozit malzemeden geçmemiştir. Her katmanda ilerlemeler ve katkı yaptığı basınç sonuçları görülmektedir (Şekil 6.4.), (Şekil 6.5.) ve (Şekil 6.6)



Şekil 6.4 Atış sonucu merminin malzeme üzerindeki aldığı yol



Şekil 6.5 Merminin keçe üzerinde basıncın etkisi



Şekil 6.6 Mermini Mantar üzerinde yaptığı basıncın etkisi

Merminin Çalışma-I sonucunda kompozit malzemeye çarpması sonucunda aldığı görüntü (Şekil6.7.) ve (Şekil 6.8)'de görülmektedir.

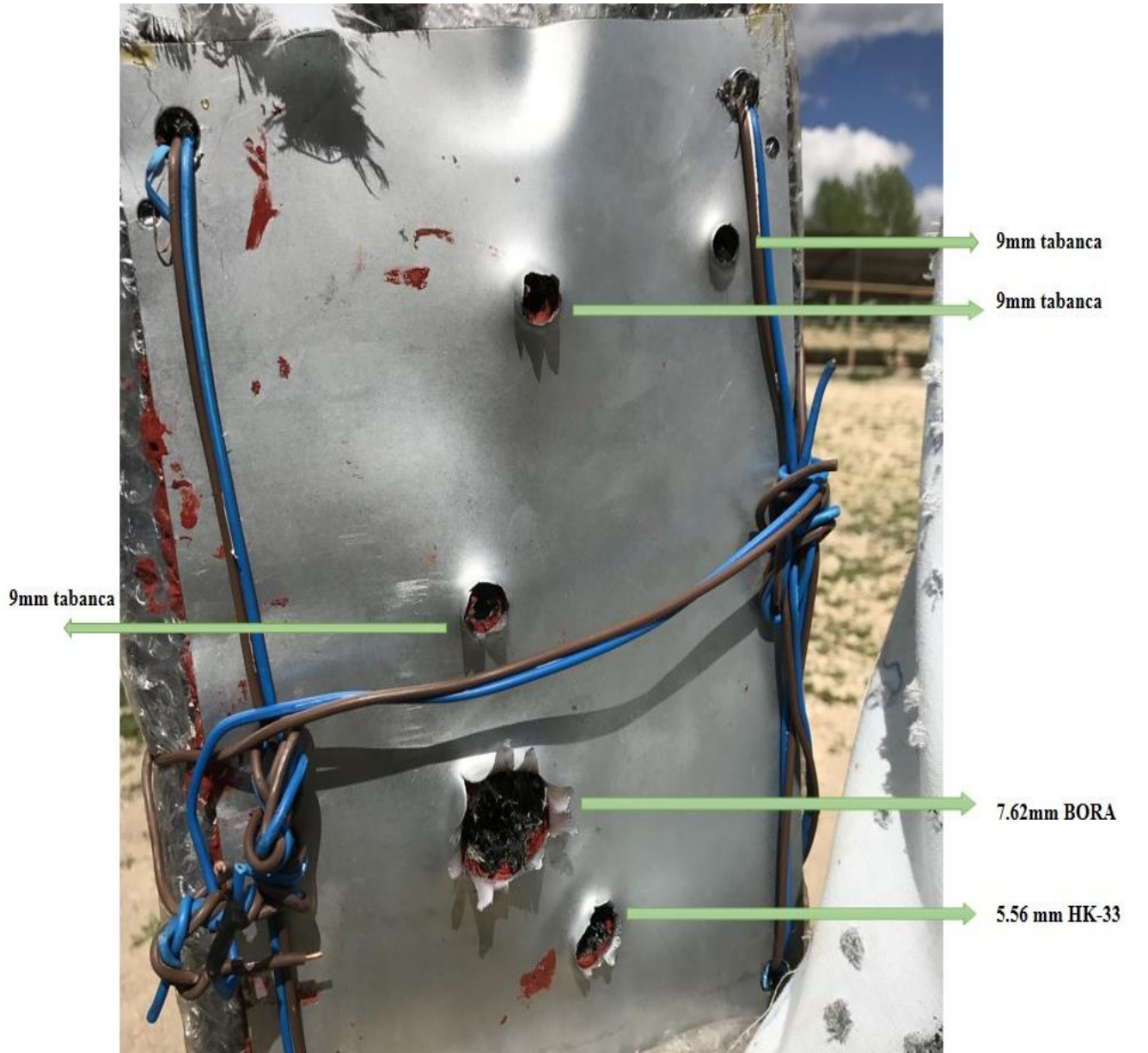


Şekil 6.7. Merminin kompozit malzemeye çarpması sonucu hali



Şekil 6.8 Merminin kompozit malzemeye çarpma öncesi ve sonrası halleri

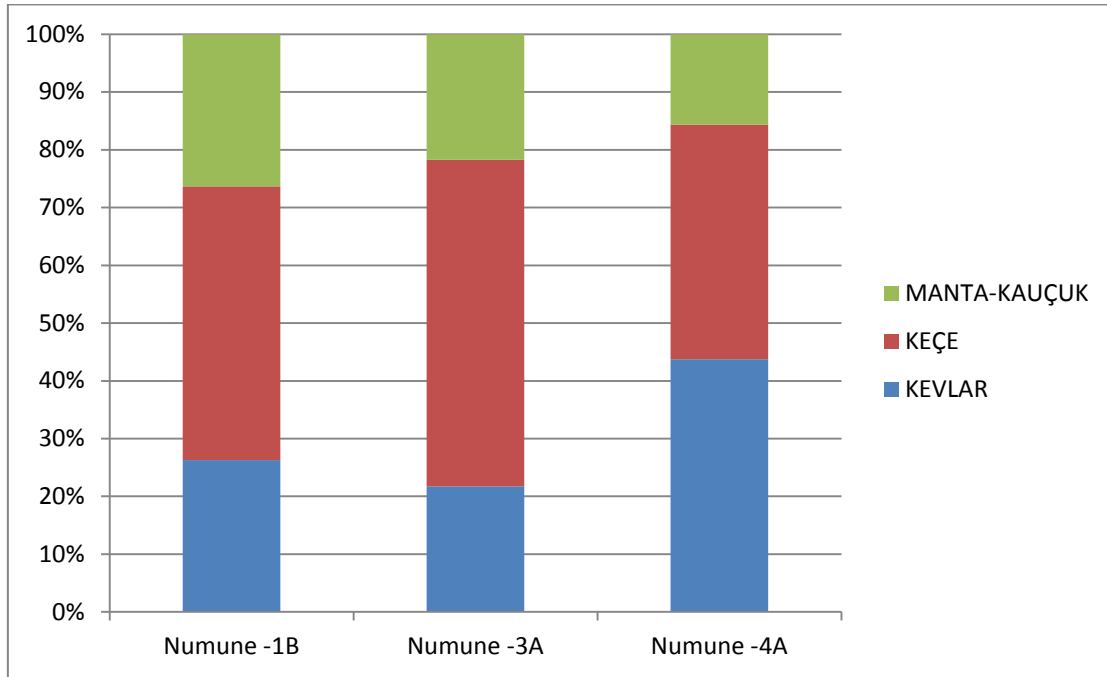
Çalışma-II de yapılan düzenek sonrası yaptığımız atışlar sonucu kompozit malzemenin kullanılan silahlara dayanımı geliştirmeye açıktır ve olumlu çıkmamıştır (Şekil 6.9). Üst kısımdaki üç atış 9 mm tabanca atışı sonucu, en alttaki atış HK-33 atış sonucu, büyük çaplı olan ise BORA'nın atışı sonucu oluşan tablodur.



Şekil 6.9 Çalışma II'nin 25 m'de atış sonuçları

7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR (TABLO VE GRAFİKLER)

Çalışma-I’de numuneler ile Grafik 7.1.de görüldüğü gibi farklı oranlar kullanılmış ve daha sonra presleme işlemi uygulanmıştır. Preslenmiş malzemenin, arkasına insan vücuduna yakın bir elastik malzeme konularak 10m ve 20m mesafeden atış yapılmış (Şekil 7.1.) ve yakın mesafeye dayanım sonuçları gözlemlenmiştir.



Grafik 7.1. Numulere ait Kevlar-Keçe-Mantar (Kauçuk) Oranları.

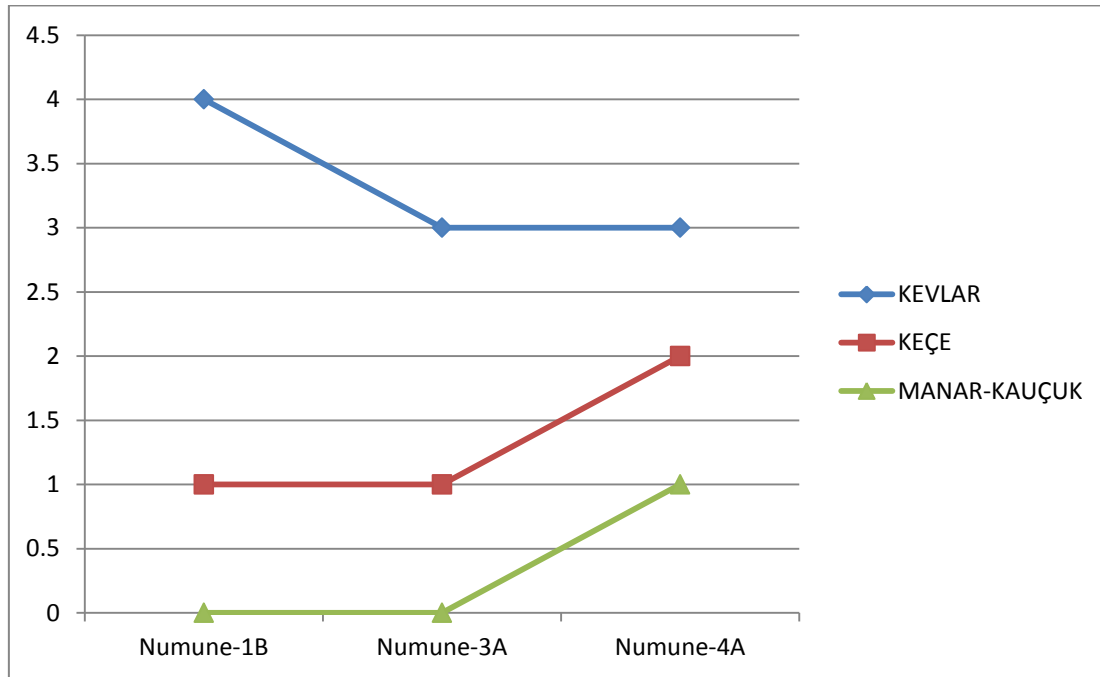


Şekil 7.1 Merminin son hali

Grafik 7.1’de; numuneler içerisinde bulunan malzemelerin (kevlar-keçe-mantar (kauçuk)) et kalınlığına bağılı yüzde "%" oranları bulunmaktadır. Yapılan deneylerde numunelerde belirlenen et kalınlık merminin darbe etkisine karşı mukavemeti sağlayacak ve merminin geçmesini engelleyecek şekilde uygun olarak ve denenerek seçilmiştir. Bu kapsamda yapılan atışlarda merminin yüzeyler içerisindeki ilerleme derinliği (Tablo 7.1), (Tablo 7.2) ile (Grafik 7.2), ve (Grafik 7.3)’te gösterilmiştir.

MERMİ İLERLEME DERİNLİĞİ				
NUMUNE KODU	KEVLAR (mm)	KEÇE (mm)	MANTAR-KAUÇUK (mm)	TOPLAM İLERLEME DERİNLİĞİ (mm)
NUMUNE-1	4	1	0	5
NUMUNE-2	3	1	0	4
NUMUNE-3	3	2	1	6

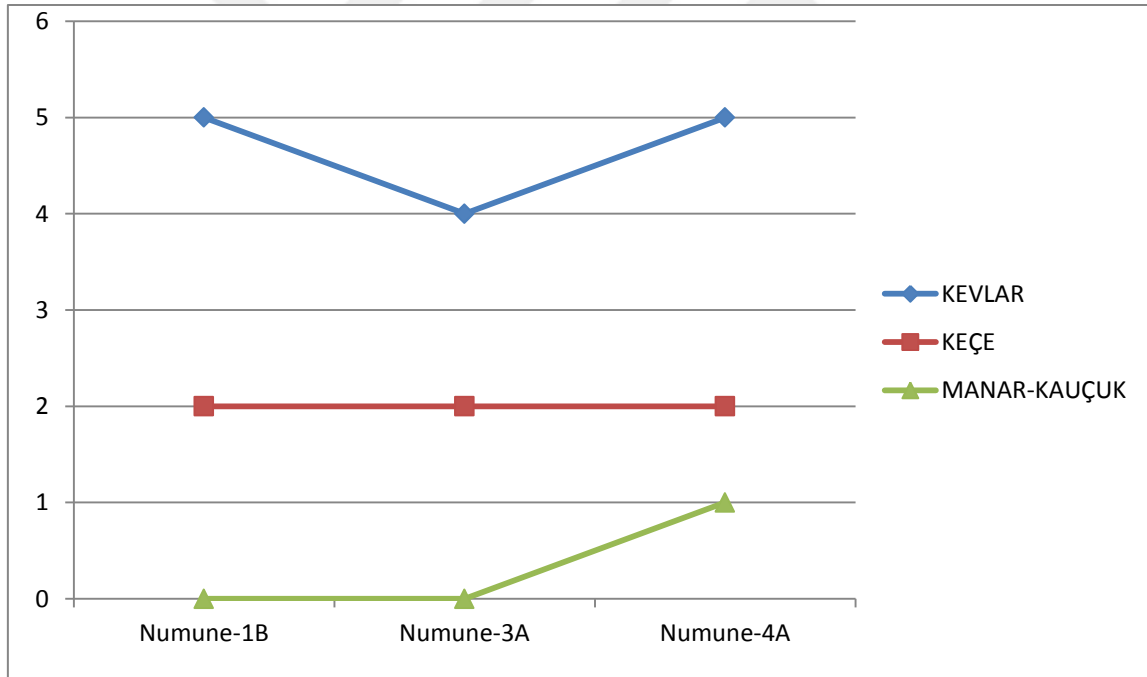
Tablo 7.1Numunelere Ait Katmanlarda Merminin İlerleme Derinliği.(20m mesafe için)



Grafik 7.2. Numulere ait Mermi ilerleme Derinliği (20 metre mesafe için)

MERMİ İLERLEME DERİNLİĞİ				
NUMUNE KODU	KEVLAR (mm)	KEÇE (mm)	MANTAR-KAUÇUK (mm)	TOPLAM İLERLEME DERİNLİĞİ (mm)
NUMUNE-1B	5	2	0	7
NUMUNE-3A	4	2	0	6
NUMUNE-4A	5	2	1	8

Tablo 7.2.Numunelere Ait Katmanlarda Merminin İlerleme Derinliği (10 metre mesafe için)



Grafik 7.3. Numunelere ait Mermi ilerleme Derinliği (10 metre mesafe için)

Çalışma I'de, yapılan testler sonucunda tüm numuneler 9mm lik mermiyi tutmuş fakat aynı levhalara 5.56mm uzun namlulu M-16 Piyade Tüfeği ile 7.62 mm (Pkms) (Bixi) Makineli Tüfek atışları yapıldığında hepsi delinmiştir.

Çalışma –II de kevlar katsayısının düşük miktarda olmasından dolayı olumsuz sonuç doğurmuş olup gelişmeye açık bir çalışma olduğunu ifade edebiliriz.



8. ÖNERİLER

Silahlı çatışma denince akla bir veya birden fazla kişinin kendi arasında veya toplu olarak farklı bir gruba doğrultmuş olduğu ateşli silahların ateşlenmesi sonucu ortaya çıkan olaydır. Buradaki durumun sonucu silahın çapı, etkili menzili, hava koşulları ve hedefin üzerindeki cismin hedefe gelen merminin cinsine karşı dayanımına göre değişmektedir. Hedef canlı veya cansız varlıklar olabilir, bizim üzerinde duracağımız durum canlı varlık olarak insanların merilere karşı zarar görmesini en aza indirmeyi amaçlanması gerekmektedir. Mermi olarakta belirlediğim çapı 9mm'lik tabanca mermisidir.

Günümüzde silahlı çatışmalar genellikle meskun mahallerde sürmektedir. Meskun mahallerde kullanılan silahların çapları ve namlu uzunlukları kısa olmaktadır. Bunun sebebi hedef mesafelerinin yakın olması ve genellikle korunma amaçlı kullanılmasıdır. Tabanca mermisinin çapları 5.7mm ile 11.43 mm arasında değişen çapları bulunmaktadır. Tez projesinde kullanacağımız mermi çapı (9mm) tüm ülkelerde kullanılan tabanca mermilerinin büyük bir oranını oluşturmaktadır.

Projede tabanca mermisinin etkisini azaltmak için karbon kökenli kevlar kumaş ile yoğunlaştırılıp bir araya getirilen keçi kılından bir kompozit malzeme çalışması amaç edilmektedir. Bu kompozit malzemenin merminin geçmesini engellemekle birlikte temas ettiği yüzeye olan basıncıda absorbe etmesi kabiliyeti bulunmaktadır. Kompozit malzemede merminin temas edeceği kısımda keçi kılından türetilmiş (Keçe) malzeme kullanılmaktadır, buradaki maksat tabanca mermisinin uç kısmı diğer mermiler gibi sivri olmadığından daha oval olduğundan keçenin bu oval kısmın geçişini bir nebze olsun zorlaştırmakla birlikte mermiyi yorduğu kanısına varmış bulunmaktayım.

Tüm numunelere tabanca atışının üzerine M-16 ve PMKS (bixi) atışları 100 metreden yapılmış. Yapılan atışların sonucunda merilerin kompozit malzemeden geçtiği gözlenmiştir.



Şekil 8.1. M-16 Piyade Tüfeği Atışı Sonucu

Örneğin Şekil 8.1.'de kırmızı çizgi ile gösterilen yer 5.56mm çapındaki M-16 mermisinin isabet ettiği yerdir. Mermi kompozit malzemeyi delip geçmiştir. Hemen yanında ise 9 mm tabanca mermisin malzemeyi geçmediği görülmektedir.

Çalışmaya katkı sağlayacağını değerlendirdiğim, 2mm-3mm et kalınlığında sert bir malzemenin kompozit malzemeye ilave edilmesidir. Bu malzeme ilave edildikten sonra 5.56 mm'lik mermi kullanılan silahlara karşı olumlu sonuçlar çıkaracağını tahmin etmekteyim. Sert malzeme sivri uçlu mermilerde kullanılırsa, sivri ucun çok az da olsa bükmesi sonucu projede kullanılan (keçe-keklar) diğer malzemelerin bu mermiyi tutabileceği kanaatindeyim.

KAYNAKLAR

- Anderson, Jr CE, Hohler, V., Walker JD, Stilp AJ.** 1999 The influence of projectile hardness on ballistic performance. *Int J of Impact Eng*, 22, 619-632,
- Alma, M.H. ve Şen S.** 2001. Mantar Meşesi Kabuklarından Mantar Üretimi ve Mantar Artıklarının Değerlendirilmesi. *Ekoloji Çevre Dergisi*, Cilt 11.
- Bourne N.K.,** 2005. On the impact and penetration of soda-lime glass. *Int. J. Impact Eng.* 32, 65-79,
- Cork C.R., Foster P.W.,** 2003. The ballistic performance of narrow fabrics. *Int. J. Impact Eng.* (in press)
- DeLuca E., Prifiti J., Betheney W., Chou S.C.** 1998. Ballistic impact damage of S-2 glass-reinforced plastic structural armor. *Composites science and tech.* 58, 1453-2461,
- Demirkesen, Erdem,** 1997 *Kompozit Malzemeler*, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi İstanbul.
- Dikshit SN, Kutumbarao VV., Sundararajan G,** 1995 The influence of plate hardness on the ballistic penetration of thick steel plates. *Int J of Impact Eng*, 16(2), 293-320,
- Elperin T.,** 2005. Ben-Dor G., Dubinsky A., Optimization of two-component composite armor against ballistic impact. *Composite Structures* 69, 89-94,
- Edwards MR, Mathewson A.** 1997. The ballistic properties of tool steel as a potential improvised armour plate. *Int J of Impact Eng*, 19(3), 297-309,
- Ersoy Halit Yaşa,** 2001 *Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık Dağıtım*, İstanbul
- Findik F., Tarım N.,** 2003 Ballistic impact efficiency of polymer composites. *Composite Structures* 61, 187-192,
- Gupta NK, Madhu V.** 1997 An experimental study of normal and oblique impact of hard-core projectile on single and layered plates. *Int J of Impact Eng* 19, 395-414,
- Gupta NK, Madhu V.** 1991 Normal and oblique impact of a kinetic energy projectile on mild steel plates. *Int J of Impact Eng*, 12 (3), 333-343,

Hetherington J.G., Rajagopalan B.P., 1991 An investigation into the energy absorbed during ballistic perforation of composite armours. *Int. J. Impact Eng.* 11, 33–40,

Hohler V., 2000. Comparative analysis of oblique impact on ceramic composite systems. *Int. J. Impact Eng.* 26, 333-344,

Horsfall I., Austin S.J., Bishop W., 2000 Structural ballistic armour for transport aircraft. *Materials and Design* 21, 19-25,

K. Maweja, W. 2006 Stumpf, Fracture and Ballistic induced phase transformation in tempered martensitic low-carbon armour steels, *Materials Science and engineering A*, 432, 158-169,

K. Maweja, W. Stumpf, 2006 The design of advanced performance high strength low-carbon martensitic armour steels Part1. Mechanical property considerations, *Materials Science and Engineering A*, 2007 (in press).

Karamis M.B., Nair F., Tas demirci A., 2003 Failure and tribological behaviour of the AA5083 and AA6063 composites reinforced by SiC particles under ballsitic impact. *Composites: Part A* 34, 217-226,

Lach E., Koerber G, Scharf M, Bohmann A.1999 Comparison of nitrogen alloyed austenitic steels and high strength armor steels impacted at high velocity. *Int J of Impact Eng*, 23, 509-517,

Manganello J, Abbott KH. 1972 Metallurgical factors affecting the ballistic behavior of steel targets. *J of Mater JMLSA*, 17, 231-239,

Navarro C., 1999 The effect of the thickness of the adhesive layer on the ballistic limit of ceramic/metal armours. An experimental and numerical study. *Int. J. Impact Eng.* 32, 321-336,

Orgorkiewicz RM. 1969 Armor for combat vehicles. *New Armor Materials*, 36-42 Mach Des

Ozek, T., 2005 Hafif Silahlara Karsı Zırh Yapımında Kullanılan Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi, 44-90,

Reddy GM, Mohandas T, Papukutty KK.1998 Effect of welding process on the ballistic performance of high-strength low-alloy steel weldments. J of Mater Process Technol, 74, 27-35,

Robinson H.R.,1967 Oriental armour., Walker, New York,

Rosenberg Z., 2005 Ricochet of 0.3" AP projectile from inclined polymeric plates. Int. J. Impact Eng. 31, 221-233,

S. Dey, T. Borvik, O.S. Hopperstad, J.R. Leinum, M. 2004 Langseth, Int. J. of Impact Eng. 30,1005-1038,

S. Dey, T. Borvik, X. Teng, T. Wierzbicki, 1999 O.S. Hopperstad, Int. J. of Solids Struct. 44, 6701-6723,

Borvik, M. Langseth, 1999 O.S. Hopperstad, K.A. Malo, Int. J. of Impact Eng. 22, 855-886,

Şenel F., 2004 Balya B., Parnas L., ileri Kompozit Malzemelerin Balistik Analizi, Savunma Teknolojileri Kongresi, ODTÜ, Ankara, 1-10,

Sadanandan S., Heterington J.G.,1997 Characterisation of ceramic/steel and ceramic/aluminum armours subjected to oblique impact. Int. J. Impact Eng. 19, 811 819,

Sorensen BR, Kimsey KD, Silsby GF, Scheffler DR, Sherrick TM, De Rosset WS. 1991 High velocity penetration of steel targets. Int J of Impact Eng,11(1), 107-119,

Şahin, Yusuf, 2001 Kompozit Malzemelere Giriş. Gazi Kitabevi, Ankara

Tan V.B.C. 2005 Strengthening fabric armour with silica colloidal suspensions. Int. J. Solids and Structures. 42, 1561-1576,

Tan V.B.C., 2005 Khoo K.J.L., Perforation of flexible laminates by projectiles of different geometry. Int. J. Impact Eng. 31, 793-810,

Taşgın, Y.,Katı, N.,Şahin, E., &Çalgülü, U. (2018). Production of Kevlar-Carbon-Aramid Composite Materials by using Vacuum Assisted Resin Infusion Molding Method.Ciencia Tecnica Vitivinicola Vol. 33 (n. 2,2018) ISSN:0254-0223

Übeyli M, Yıldırım RO, Ögel B. 2007 On the comparison of the ballistic performance of steel and laminated composite armors. Materials & Design, Volume 28(4), 1257-1262

Übeyli M., Demir T.,2006 Hava araçları için seramik zırh uygulamaları., VI Havacılık sempozyumu (HASEM'06) bildirileri kitabı, 67-71, Kayseri

Wang B., Chou S.M., 1997 The behaviour of laminated composite plates as armour.J. Materials processing Tech. 68, 279-287,

Woodward RL. 1977 A rational basis for the selection of armour materials. The J of Aust Inst of Metals; 22, 167-170,



ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Havza’da doğan Tamer KÖŞÜM, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Seniha Çobanoğlu İlkokulu, İsmail Safa Özler İlköğretim Okulu, Adana Karşıyaka Teknik Lisesinde tamamlamıştır. Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Teknoloji ve Tasarım Öğretmenliği Bölümünü 2008 yılında başarıyla bitirmiştir.

2011 yılında yüksek lisans eğitimine Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır. Dr. Yahya TAŞGIN danışmanlığında hazırladığı “KEÇE-MANTAR-KEVLAR MALZEMELERİNDEN OLUŞAN KOMPOZİTİN 9MM TABANCA MERMİSİNE KARŞI MUKAVEMETİ” Başlıklı bu teziyle Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

Halen Tunceli’nin Hozat ilçesinde 51’inci Motorlu Piyade Tugay Komutanlığında görev yapmakta olan Tamer KÖŞÜM, evli ve iki çocuk babasıdır.

İletişim Bilgileri

Adres: Zümrütevler Mahallesi, Ertuğrul Gazi Caddesi Manolya Sitesi D3 Blok No:44
Maltepe/İSTANBUL