

**SAVUNMA SANAYİNDE KULLANILAN
KOMPOZİT MALZEMELERİN BALİSTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Salih ALARÇİN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat, 2014

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SAVUNMA SANAYİNDE KULLANILAN KOMPOZİT KUMAŞLARIN
BALİSTİK PERFORMANS DAYANIMLARI**

Salih ALARÇİN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat, 2014

TEZ ONAY SAYFASI

Salih ALARÇİN tarafından hazırlanan “**Savunma sanayiinde kullanılan kompozit kumaşların balistik performans dayanımları**” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca .../.../2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

Başkan : Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ
AKÜ, Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç.Dr. Abdurrahman KARABULUT
AKÜ, Teknoloji Fakültesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN
AKÜ, Teknik Eğitim Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

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

beyan ederim.

.../.../2014

Salih ALARÇİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SAVUNMA SANAYİİNDE KULLANILAN KOMPOZİT MALZEMELERİN BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Salih ALARÇİN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

Kompozit malzemeler, en az iki veya daha fazla malzemenin biraraya getirilip özel üretim yöntemleri ile birleştirilmesinden oluşan malzemelerdir. Malzemeler; matris ve takviye elemanı olarak iki kısımdan oluşur. Takviye elemanları malzemeye mukavemet sağlarken, matrisler birleştirici olarak görev yapar. Kompozit malzemeler, diğer malzemelere göre daha kompleks yapılar olup, bilgisayar ortamında modellenmesi, mekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi o kadar çok zordur.

Savunma sanayiinde kullanılan bazı kompozit malzemelerin balistik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. İlk olarak farklı özelliklerdeki polietilen ve aramid kumaşlar birleştirilmiştir. Birleştirilen kompozit malzemeler farklı atış hızlarında deneyler yapılmıştır. Bazı kompozit malzemeler şartlandırma işlemine tabi tutulmuş ve şartlandırmanın balistik performans üzerine etkisi incelenmiştir. Deneyler, laboratuvar ortamında NIJ 0101.04 ve STANAG 2920 standartlarında yapılmıştır. Sonuçta, kompozit malzemelerde tabaka sayısı arttıkça V50 hızlarının genellikle arttığı görülmüştür. Ayrıca, kompozit malzemeler üzerinde yapılan şartlandırmanın balistik performansa olumsuz bir etki oluşturmamıştır.

2014, xi + 89 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzeme, aramid, yüksek yoğunluklu polietilen, balistik test

ABSTRACT

M.Sc Thesis

INVESTIGATION ON THE BALLISTIC PROPERTIES OF THE COMPOSITE MATERIALS USED IN THE DEFENCE INDUSTRY

Salih ALARÇIN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist.Prof.Dr. İsmail UCUN

Composite materials are kind of materials that are formed by mixing together at least two or more single type of materials. This type of materials can be separated into two branches as matrix and support elements. Matrix type acts as connective material while support elements provide resistance on the material. It is not that easy to simulate composite materials on the computer platform and also the same to determine the mechanical and chemical specifications of them as they are more complex structure comparing with other material.

In this study, ballistic properties of some composite materials which are used in the defense industry have been examined with an experimental perspective. In the first step, polyethylene and aramide fabrics have been combined in different specifications. Ballistic composite materials have been tested in various shooting velocity. The experiments are performed with NIJ-0101.04 and STANAG 2920 standards under laboratory conditions. After all, the higher the number layer V50 in composite materials generally is seen to increase velocity. Additionally, composite materials made on the creation of conditioning has not a negative effect on ballistic performance

2014, xi + pages

Key Words: Composite materials, aramide, high density polyethylene, ballistic test.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen ablam Yrd. Doç. Dr. Emine ALARÇİN ve Mak.Müh. M.Onur YAVAŞ'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Salih ALARÇİN
AFYONKARAHİSAR, 2014

İçindekiler

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
RESİMLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Aramid Malzeme Üzerine Araştırmalar	3
2.2 Polietilen Malzeme Üzerine Araştırmalar	6
2.3 Cam Elyaf Malzeme Üzerine Araştırmalar	8
2.4 Karbon Elyaf Malzeme Üzerine Araştırmalar	8
2.5 Polietilen ve Aramid Malzeme Üzerine Araştırmalar	8
2.6 Polietilen-Cam Elyaf Hibrid Malzeme Üzerine Araştırmalar	12
2.7 Aramid Ve Cam Elyaf Malzeme Üzerine Araştırmalar	13
2.8 Sıvı Zırh Malzeme Üzerine Araştırmalar	13
2.9 Sürtünme katsayısı ile Balistik Özellik Arasındaki İlişki	14
3. GENEL ÖZELLİKLER	15
3.1 Kompozit Malzemeler	15
3.1.1 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	16
3.1.2 Kompozit Malzeme Elde Etmede Kullanılacak Malzemeler	18
3.1.3 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri	26
3.2 Balistik Koruyucu Malzemeler	32
3.2.1 Sert (Hard) Koruyucular:	32
3.2.2 Yumuşak (Soft) Koruyucular	35
3.2.3 Balistik Dayanımın Ölçülmesi	37
3.2.4 Mermiler ve Sınıflandırılması	40
3.2.5 Balistik ile İlgili Standartlar	42
4. MATERYAL VE METOT	46
4.1 Malzeme Özellikleri	46
4.1.1 Aramid Kumaş	46
4.1.2 Ultra yoğun moleküler yapılı polietilen kumaş (U.H.M.W.PE)	46
4.1.3 Kapalı Hücreli Polietilen Yüzdürücü Levha	47

4.1.4 Kordura Kumaş	48
4.1.5 Yağmurluk Kumaşı	48
4.1.6 Mühimmat Özellikleri	49
4.2 Malzeme Özellikleri.....	50
4.2.1 Mermilerin teste hazırlanması	50
4.2.2 Testlerde kullanılan numunelerin üretim prosesi	51
4.2.3 Deney Düzeneği ve parametreler	55
4.2.4 Balistik Testlerin Yapılışı.....	58
4.2.4 Balistik Test Numuneleri	59
5.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	61
5.1 V50 Test Sonuçları.....	61
5.2 9 mm FMJ Parabellum (MP5 namlusu) Testi	71
5.3 7.62 mm. FMJ (Tam Metal kaplama) Testi	74
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR.....	83
İNTERNET KAYNAKLARI.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	89

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
E	Elastisite Modülü
F	Çekme Kuvveti
E_k	Merminin Kinetik Enerjisi
m	Mermi Kütlesi
V_m	Merminin Hızı
J	Joule
UV	Ultraviöle
RFC	Rigid Fibrous Ceramic (Kati İnce Lifli Seramik)
PAN	Poliakrilonitril
MMC	Metal Matrisli Kompozit
CMC	Seramik Matrisli Kompozit
PMK	Polimer Matrisli Kompozit
RTM	Reçine Transfer Kalıplama
SMC	Sheet Moulding Composites (Tabaka Kalıplama Kompozitleri)
BMC	Bulk Moulding Composites (Hacim Kalıplama Kompozitleri)
CTP	Camelyaf Takviyeli Polyester
GMT	Preslenebilir Takviyeli Termoplastik
HT	High Tenacity (Yüksek Yapışma)
UHMW-PE	Ultra High Moleculer Weight Polyethylene (Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen)
FMJ	Full Metal Jacket (Tam Metal Kaplama)
NIJ	National Instute Of Justice (Uluslar arası Şartname Enstitüsü)

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Nihai ürün ve mermi testi sonucu balistik plakaların görünümü	7
Resim 2.2 Atış yapılan numunenin (polietilen ve aramid hibrid) önden ve arkadan fotoğrafları	12
Resim 3.1 Karbon Elyaf Üretimi	25
Resim 3.2 Elyaf sarma makinesi	28
Resim 3.3 Vakum bagging uygulaması	31
Resim 3.4 Balistik koruyucu kompozit yelek	36
Resim 3.5 Bomba battaniyesi	37
Resim 3.6 Barut	41
Resim 3.7 Mermi çeşitleri	42
Resim 4.1 Aramid kumaş resmi	46
Resim 4.2 Ultra yoğun moleküler yapılı polietilen kumaş resmi.....	47
Resim 4.3 Kapalı Hücreli Polietilen Yüzdürücü Levha resmi.....	47
Resim 4.4 Kordura Kumaş resmi	48
Resim 4.5 Yağmurluk Kumaşı resmi	49
Resim 4.6 Mermi testlerinde kullanılan 9 mm FMJ makineli tabanca mermisi	49
Resim 4.7 Mermi ve parçacık testlerinde kullanılan 7.62 mm FMJ mermi	50
Resim 4.8 Boş kovan ve birleştirilen barutların Resimleri	50
Resim 4.9 Barutların hassas terazide tartılması.....	51
Resim 4.10 Polietilen kumaş serim ve kesimi	52
Resim 4.11 Hidrolik pres resmi	53
Resim 4.12 Üretilen polietilen plaka numunesi.....	53
Resim 4.13 Kumaş serim ve çizim işlemi.....	54
Resim 4.14 Vücut zırhı biçiminde yumuşak zırh.....	54
Resim 4.15 Dikey kesim makinası ile kumaş kesimi.....	54
Resim 4.16 Yumuşak zırh numunelerinin dikilmesi.....	55
Resim 4.17 Balistik performans test laboratuvarı.....	56
Resim 4.18 Şartlandırılmış Macun	57
Resim 4.19 Aramid ve polietilen plakanın suda şartlandırılması	58
Resim 4.20 Kılıfın içindeki numunelerle Şartlandırılması ve kompozit malzemelerin	

kılıfa yerleştirilmesi	58
Resim 4.21 Plakaların test düzeneğine yerleştirilmesi	59
Resim 5.1 Gömlek altı yelek veya kompozit gizli yelek	65
Resim 5.2 Mayın elbisesi örneği	65
Resim 5.3 Balistik koruyucu yelek örnekleri	71
Resim 5.4 34 kat aramidin atış sonrası görüntüsü	72
Resim 5.5 Atış sonrası numunenin görüntüsü ve çöküntü ölçümü.....	72
Resim 5.6 Kılıflı 34 kat aramidin atış sonrası görüntüsü.....	73
Resim 5.7 Şartlandırılmış numunenin atış sonrası görüntüsü	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Farklı kumaş dikiş Şekilleri	4
Şekil 2.2 Test yapılan kumaşların geometrik detayları	5
Şekil 2.3 Malzeme kalınlığına göre enerji değişimi ve hız limiti değişimi	5
Şekil 2.4 Test alanının şematik gösterimi	10
Şekil 2.5 H18 ve F26 kodlu numunelerin darbe anındaki hızı ve mermi çıkış hızı	10
Şekil 2.6 Çelik malzemenin kompozit ile birlikte balistik davranışları	11
Şekil 3.1 Kompozit malzemenin kesit görünüşü	16
Şekil 3.2 Cam elyaf üretimi	22
Şekil 3.3 Elyaf ve matris malzemelerin gerilme uzama diyagramı	26
Şekil 3.4 Elle yatırma yöntemi	27
Şekil 3.5 Püskürtme yöntemi ve Püskürtme tabancası	27
Şekil 3.6 Elyaf sarma yöntemi	28
Şekil 3.7 Reçine enjeksiyonu	29
Şekil 3.8 Profil çekme yöntemi	30
Şekil 4.1 Polietilen dokuma kumaş esaslı kompozit plaka imalat proses şeması	52
Şekil 4.2 Mermi testinde kullanılan test düzeneği	56
Şekil 5.1 Yumuşak zırh katsayısı ve V50 hızları arasındaki ilişki	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Twaron CT 710 kumaşına ait teknik özellikler	4
Çizelge 2.2 Mermi testi değerleri	7
Çizelge 2.3 4 katlık Kevlar malzemenin farklı konfigürasyonlarda yapılan test sonuçları	13
Çizelge 3.1 Alumina kompozit plakalar ve zırh çeliğinin farklı mermiler için ağırlıkları	35
Çizelge 3.2 Mermilerin sınıflandırılması	41
Çizelge 3.3 Dünyadaki balistik koruyucu standart örnekleri	43
Çizelge 3.4 Koruma seviyelerini belirleyen mermi özellikleri	45
Çizelge 4.1 7.62 mm. ve 9 mm. Full metal jacket (FMJ) mermi teknik özellikleri.....	50
Çizelge 4.2 NIJ-STD 0101.04 standartlarında III seviyesine göre test edilecek numuneler.....	60
Çizelge 5.1 16 kat aramid V50 sonuçları.....	61
Çizelge 5.2 18 kat aramid V50 sonuçları.....	62
Çizelge 5.3 20 kat aramid V50 sonuçları.....	62
Çizelge 5.4 22 kat aramid V50 sonuçları	63
Çizelge 5.5 24 kat aramid V50 sonuçları.....	63
Çizelge 5.6 26 kat aramid V50 sonuçları.....	64
Çizelge 5.7 27 kat aramid V50 sonuçları.....	64
Çizelge 5.8 28 kat aramid V50 sonuçları.....	66
Çizelge 5.9 29 kat aramid V50 sonuçları.....	66
Çizelge 5.10 30 kat aramid V50 sonuçları.....	67
Çizelge 5.11 31 kat aramid V50 sonuçları.....	67
Çizelge 5.12 32 kat aramid V50 sonuçları.....	68
Çizelge 5.13 33 kat aramid V50 sonuçları.....	68
Çizelge 5.14 34 kat aramid V50 sonuçları.....	69
Çizelge 5.15 34 kat aramid V50 sonuçları (Doğrulama Testi)	70
Çizelge 5.16 34 kat aramid NIJ 0101.04 standardına göre III-A testi.....	71
Çizelge 5.17 Kılıflı 34 kat aramid NIJ 0101.04 standardına göre III-A testi.....	73
Çizelge5.18 65 Kat polietilen ve 34 Kat aramid numunenin enerji sönümlemesi.....	74

Çizelge 5.19 45 kat polietilen ve 34 kat aramidin NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesi testi.....	74
Çizelge 5.20 50 kat polietilen ve 34 kat aramidin NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesi testi.....	75
Çizelge 5.21 60 kat polietilen ve 34 kat aramidin NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesi testi.....	75
Çizelge 5.22 65 kat polietilen ve 34 kat aramidin NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesi testi.....	76
Çizelge 5.23 65 kat polietilen, 34 kat aramid ve 10 mm.'lik yüzdürücü malzemenin NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesi testi.....	76
Çizelge 5.24 65 kat polietilen, 34 kat aramidden oluşan malzemenin NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesi testi.....	77
Çizelge5.25 5 Kat polietilen ve 34 Kat aramid numunenin enerji sönümlemesi.....	78

1.GİRİŞ

İnsanlar tarihin ilk dönemlerinden bu yana kendini korumak için farklı boyut ve Şekillerde zırh maddelerine ihtiyaç duymuşlardır. Bu zırh maddeleri başlangıçta demir ve çelik malzemelerin dövülmesi ile elde edilen kişisel zırhlardır.

Zırh teknolojisinde istenen en önemli özellikler;

- Hafif olması,
- Hareket kabiliyeti kısıtlamaması (esnek olması, hareketleri engellememesi),
- Koruma seviyesinin yüksek olmasıdır.

Zırh teknolojisinin gelişimi de bu özellikler üzerine bina edilmiştir. Malzeme teknolojisinin gelişimi ile bu özellikler de dikkate alınarak zırh teknolojisi sürekli ilerleme içerisinde olmuştur.

İlk zamanlarda, barut teknolojisinin gelişimine kadar olan süreçte sadece bireysel savunma amaçlı düşünülen zırhlar, sonraki dönemlerde hayatın her alanını kapsamıştır. Silah gelişimine paralel olarak; kara taşıtları (personel taşıyan araçlar, tanklar, obüsler, toplumsal olaylara müdahale araçları vb.), deniz taşıtları, hava taşıtları, binalar, bina iç kısmındaki malzemeler (bomba bidonları, perdeler ve camlar) zırhlandırılmıştır. Zırhlar, iki farklı tehdide maruz kalmaktadır. Bu tehditler, mermi tehdidi ve patlamalarda oluşabilecek parçacık tesiridir. Doğrudan mermi tehdidi, merminin direk vücuda isabet etmesi ile verilen etkilere, Diğeri ise direk mermi ile olmayan, el bombaları, roketler, havanlar, el yapımı patlayıcılar ve mayınların patlaması sonucu oluşan parçacıkların vücuda isabet etmesi sonucu oluşan yaralanma ve ölüm olaylarıdır.

Amerika Birleşik Devletleri, Vietnam Savaşı'ndan sonra ölümleri incelemiştir. Yapılan inceleme neticesinde, ölümlerle sonuçlanan olayların en çoğunun kafa ve vücudun üst kısmına isabet eden mermi ve şarapnel etkisi ile olduğu belirlenmiştir. Başka bir araştırmaya göre, Vietnam Savaşı sonucunda ölümlerin % 47 oranında göğüs ve karın bölgesinde oluşan yaralanmalar ile ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar zırhlı yeleklerin önemini göstermiştir.

Personel korumada kullanılan zırhlar örneklerde verilen nedenlerden dolayı büyük önem teşkil etmektedir. İlk zamanlarda demir ve çeliğin dövülmesi ile elde edilen zırhların yerini, malzeme teknolojisinin ilerlemesi ile kompozit zırhlar almıştır. Bu konuda ilk çalışmalar; 1970'lerin ilk yıllarında Amerikan Du Pont şirketi tarafından çelikten daha hafif olan, ancak 5 (beş) kat daha mukavemetli olan para-aramid fiberini geliştirmesi ile başlayan gelişmelerdir. Bu kompozit malzemeyi "Kevlar" diye tanımlamışlardır. Daha sonra ise Hollanda firması olan Teijin tarafından "Twaron" adı verilen malzemeye patent alınarak üretim yapılmaktadır. Günümüzde de bu ülkelerin yanında çok az ülke tarafından benzer kumaşlar üretilmektedir.

Zırh konusundaki diğer önemli gelişme ise; yoğunluğu sudan daha az (suda yüzme özelliği olan) ve çeliğe göre 10 (on) kat daha mukavemetli olan ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMW-PE) ürünün geliştirilmesidir. Bu fiber DSM firması (ürün adı: Dyneema) ve Allied Signal firmaları (ürün adı: Spektra) tarafından geliştirilmiştir.

Bu tezde, yumuşak zırh ve sert plakalardan oluşan balistik koruyucu malzemeler incelenmiştir. Farklı katsayılarla sert ve yumuşak zırh üretimi yapılmıştır. Numunelerin üretim safhaları ayrıntılı şekilde anlatılmış, hazırlanan yelekler uluslararası standartlara göre teste tabi tutulmuştur. Testlerin sonucuna göre optimizasyon yapılmış ve sonuçlar farklı açılardan yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Her türlü zırh tasarımında önemli yer tutan kompozit malzemeler, hafif silahlara karşı bireysel savunmada da çok önemlidir. Konu ile ilgili literatürde çok sayıda araştırma bulunmaktadır.

2.1 Aramid Malzeme Üzerine Araştırmalar

Aramid hakkında yapılan bir çalışmada, değişik kat sayılarından oluşturulan balistik kompozit zırh kumaş numunelerinin, balistik performansları incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Twaron CT170 kumaş tipi için farklı katman sayılarında ve farklı dikiş şekilleri ile birleşen numuneler yapılmıştır. Bu numuneler NIJ standartlarına göre teste tabi tutulmuş, atış sonrasında koruyucu panelde oluşan çöküntü çapı ve derinliği hesaplanmıştır. Kumaşın çöküntü boyutları ve enerji sönmemesi sonuçlarına göre yorumlamalar yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda balistik performansa etkileyen faktörler; atkı ve çözgü tipi, dokuma tipi ve kat sayısı miktarıdır (Karahan et al. 2008).

Zhang vd. (2000) kevlar zırhlar üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada 10 katmandan oluşan kevlar numuneye, 9 mm.'lik tam metal kaplı özel test mermisi ile atış yapılmış, oluşan deformasyon 3 boyutlu olarak LS-DYNA bilgisayar programı ile analiz edilmiştir. Bu sayede kompozitin iç yapısı ayrıntılı olarak incelenmiş, atkı ve çözgü miktarları, sıklıkları simule edilmiştir. İpliklerin kopması, merminin geçtiği noktalar, kompozit numunenin bağlandığı çerçeve ile zırh arasında oluşan sürtünmeler dikkate alınmıştır. Zırhlar test yapımında kullanılan çerçevelere çok iyi bağlanmış olup, çerçeve boyutunun küçülmesi ile mühimmat atık hızı ve kinetik enerjisi artmıştır. Bunun sonucunda küçük çerçevelere sabitlenmiş zırhların V50 parçacık testi hızı, daha büyük zırhlara göre daha düşüktür. 4 ve 2 barlı numuneler üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu numunelerin mengene üzerine sıkıştırılmaları ile ortaya çıkan basınç arttıkça test mühimmatının hız ve kinetik enerjisi artmıştır. 4 barlı çerçeve mengene ile 200 MPa ile sıkıştırılınca V50 parçacık testi sonucu 270 m/s çıkmıştır. Tüm tipteki çerçeveler için mengeneye sıkıştırmakta kullanılan basınç artarken V50 hızı azalmıştır.

Yapılan diğer bir çalışmada, kompozit kumaşlarda şartlandırma ve çevresel faktörlerin balistik özelliklere etkileri incelenmiştir. Kompozit kumaş olarak; Twaron firmasına ait

CT710 kodlu kumaş kullanmıştır. Kumaş ile ilgili özellikler Çizelge 2.1’de verilmiştir (Karahan et al.2008).

Çizelge 2.1 Twaron CT 710 kumaşına ait teknik özellikler (Karahan et al.2008).

Kumaş Tipi	Atkı/Çözümlü miktarı	Dokuma Tipi	Kumaş ağırlığı (g/m ²)	Mukavemet (KN) (Kuru)
Twaron CT710	930/930	Düz	220	4,45±0,15

Kumaşlar farklı tiplerde dikilerek birleştirilmiştir. Bu sayede farklı tiplerde dikişlerin balistik etkileri incelenmiştir. Farklı tiplerde birleştirilen malzemeler Şekil 2.1’de verilmiştir. A tipi olarak tanımlanan malzeme sadece kenara 2,5 cm. uzaktan dikilmiş, B tipi malzeme kenardan 2,5 cm. uzaktan ve köşelerden köşelere birleştirilmiş, C tipi malzeme ise 5 cm aralıklarla baklava dilimi şeklinde oluşturulmuştur.



Tip A

Tip B

Tip C

Şekil 2.1 Farklı kumaş dikiş Şekilleri (Karahan et al.2008).

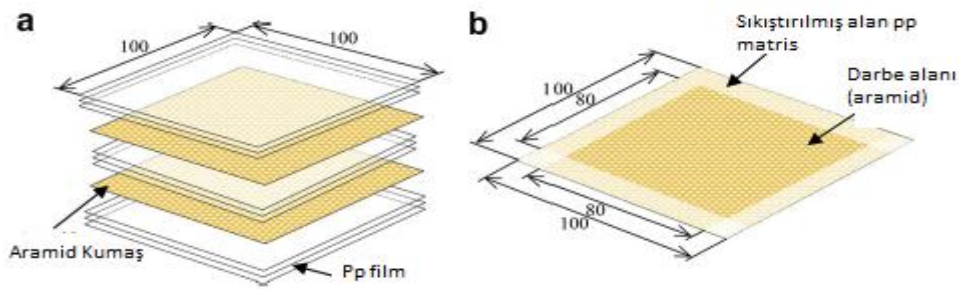
Yapılan balistik testlerde çevresel etkenler (ıslak, kuru), dikiş tipleri ve katsayıların farkları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Başka bir çalışmada, Kevlar 29 ve Al₂O₃ üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu malzemeler epoksi reçine ile güçlendirilmiştir. Değişen malzeme kalınlığı (katsayısı farkından dolayı) ile birlikte enerji değişimi ve değişen hız limitleri kıyaslanmıştır. Test yapılan plakalar 100x100 mm² alana sahip olup, malzeme kalınlığı 3 ila 21 mm. arasında değişmektedir (Abu Talib et al. 2012).

Yavaş (2008)’ın yapmış olduğu çalışmada aramid kumaş numunesine III-A koruma seviyesinde yapılan atışlarda ($V_{ort}=436$ m/sn) olumlu sonuçlar alınmıştır. Numune, ağırlık faktörü (30x30cm. ve 480 gr), Şekil alabilirliği ve yumuşak yapısı itibariyle

bireysel korumada kullanılması uygun görülmektedir.

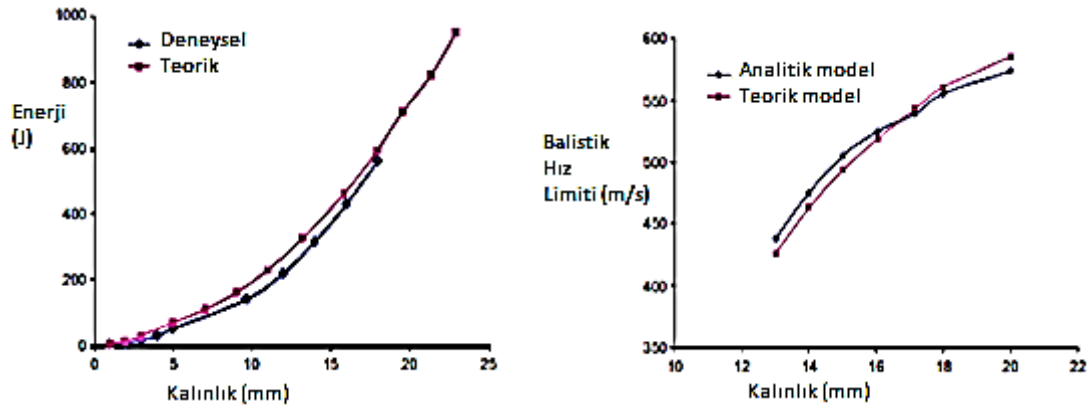
Carrillo vd. (2012) aramid ve polipropilen kumaşlar üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada 2 ayrı konfigürasyon test edildi. İlk konfigürasyonda aramid kumaşlar, diğerinde ise poliproilen kumaşlar test edilmiştir. Bu kumaşlar Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Aramid için düz dokunmuş Kevlar 129 kumaş türleri kullanılmıştır. Polipropilen kumaşlar ise Indelpro şirketine ait kalınlığı 0,032 mm ve yoğunluğu 910 kg/m³ olan kumaş kullanıldı.



Şekil 2.2 Test yapılan kumaşların geometrik detayları;

a) Kompozit tabaka, b) Çok katmanlı düz aramid kumaş (Carrillo et al. 2012)

Test sonuçları incelendiğinde çok katmanlı düz aramid kumaş beşinci katmana kadar delinmişken, kompozit tabaka ikinci katmana kadar delinmiştir. Kompozit tabakada oluşan kalıcı deformasyon daha az olduğu görülmüştür. Aynı alansal yoğunluğa sahip iki numune incelendiğinde; polipropilen matrisli kompozit tabakanın diğerinden daha iyi balistik özelliğe sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 2.3 Malzeme kalınlığına göre enerji değişimi ve hız limiti değişimi (Carrillo et al. 2012).

Sonuç olarak Kevlar 29 ve Al₂O₃'den oluşan hibrit kompozit numunelerin balistik dayanımı çok yüksektir. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi malzeme kalınlığı ve hız limitleri malzeme kalınlığı ile doğrudan ilgilidir. Bu çalışmada yapılan deneysel çalışmalar analitik çözümlerle desteklenmiş ve doğrulanmıştır.

2.2 Polietilen Malzeme Üzerine Araştırmalar

Lee vd. (1999) basit olarak oluşturulmuş, sıcak preslenmiş tabakalı kompozitler üzerinde alçak hızlı darbeleme deneyleri üzerinde değişik çalışmalar yapmışlardır. Denemelerde konik, düz, yarı-küresel ve yarı-silindirik aparatlar denemişlerdir. Bu aparatlar 2,4 mm boyutlarında numunelere 54,5 J. ilk çarpma enerjisiyle darbe oluşturulmuştur. Düz ve yarı-küresel aparatlar benzer hasar mekanizmaları ve numune üzerinde benzer enerji yayılma düzeyleri meydana gelmiştir. Yarı-silindirik aparat düşey yönde ilerleyen bir çatlak oluşturmuştur. Yarı-silindirik aparata nazaran düz ve yarı küresel aparatlar yerel bir çöküntüye neden olmuştur. Bunun yanında darbeden kaynaklanan etki türlerinin numunenin enerji yayma kapasitesinden etkilendiği de ortaya koyulmuştur.

Yavaş (2008) yapmış olduğu tezde plaka numunesi (HB26 polietilen zırh kumaşı) III koruma seviyesine göre yapılan atışlarda (V_{ort} 836 m/sn) mermi mühimmatını istenen seviyede durdurmuştur. Oluşan çöküntü miktarları yapının sağladığı koruma seviyesine göre iyi seviyede olduğu görülmüştür. Bir önceki numune plakanın performansı ile kıyaslanacak olduğunda, ağırlık faktörü ve koruma seviyesi bakımından kullanımı düşünülen uygulamalarda bu çalışmanın daha geniş bir alana sahip olduğu söylenebilir.

Farklı talepler için çeşitli dokuma yöntemleri geliştirilmiştir. Örneğin, miğferler gibi Şekil verilmesi gereken ürünlerde, kumaşın işlenebilme özelliğinin son ürünün performansı üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Miğfer ve ilave koruma plakaları gibi Şekil verilmesi gereken balistik ürünler için geliştirilen termoplastik matris sistemli ultra yoğun moleküler yapıları polietilen işlemesi en kolay olanıdır ve çok üstün performanslı ürünler elde edilmesine imkan verir. İstenildiği takdirde, özel taleplere cevap verebilmek için ultra yoğun moleküler yapıları polietilen türleri termoset matris sistemli olarak da bulunabilir (Dingener 1994).

Candan vd. (2004) 120 ve 130 °C sıcaklıkta ve 200 bar basınçta üretilen polietilen plakalarla ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu plakalar; 30 dakikada basılmış olup, boyutları 25x30 cm. civarındadır. Bu plakalar, balistik atış laboratuvarında teste tabi tutulmuş, mermi testi sonucunda elde edilen V_{ort} değeri 844 m/s'dir. Ortalama çöküntü miktarı ise 22.26 mm'dir. NIJ standartlarında seviye III için verilen hız değeri 838 m/s, çöküntü miktarı ise 44 mm olduğundan söz konusu polietilen plakalar standartlara uygundur. Bu çalışmanın sonuçları Çizelge 2.2'de verilmiştir. Polietilen plakaların atış yapılmadan önceki ve sonraki halleri Resim 2.1'de verilmiştir.



Resim 2.1 Nihai ürün ve mermi testi sonucu balistik plakaların görünümü (Candan et al. 2004)

Çizelge 2.2 Mermi testi değerleri (Candan et al. 2004)

Atış Nu.	V (m/s)	Kinetik Enerji (Nm)	Çöküntü Değeri (mm)	Değerlendirme
1	828	3256.52	16	Delinme Yok
2	830	3272.27	17	Delinme Yok
3	831	3280.16	18	Delinme Yok
4	832	3288.06	19	Delinme Yok
5	835	3311.81	19	Delinme Yok
6	838	3335.66	20	Delinme Yok
7	840	3351.60	20	Delinme Yok
8	842	3367.58	21	Delinme Yok
9	845	3391.62	22	Delinme Yok
10	850	3431.87	24	Delinme Yok
11	852	3448.04	25	Delinme Yok
12	856	3480.49	27	Delinme Yok
13	857	3488.63	27	Delinme Yok
14	860	3513.10	29	Delinme Yok
15	864	3545.86	30	Delinme Yok
$V_{ort} = 844$ m/s		$KE_{ort} = 3384.22$ Nm	$ÇD_{ort} = 22.26$ mm	

2.3 Cam Elyaf Malzeme Üzerine Araştırmalar

Kim vd. (1997) sonlu elemanlar yöntemi ile cam elyaf takviyeli kompozitlerin darbe sonucundaki etkisini incelemiştir. Bu çalışmada darbe aparatının uç kısmının büyüklüğünün darbe aparatının yarıçapına olan oranları 0.1, 1 ve 10 olarak seçilmiştir. Oran küçüldükçe (darbe aparatı bozuldukça) büyük olan kuvvet artmakta ve darbe süresi küçülmektedir.

Yavaş (2008) yapmış olduğu tezde numune olarak hazırlanan polyester kaplı cam elyaf ve cam yünü plakasına III-A koruma seviyesinde toplam 6 atış yapmıştır. III-A koruma seviyesi için standartlarda hız değeri ortalaması 425 m/sn, en yüksek çöküntü miktarı ise 44 mm iken yapılan atışlar sonucu 437 m/sn ortalama hız değeri yakalanmış ve çöküntü değeri çok düşük bir değerde (ortalama 6 mm) kalmıştır. Fakat 1. numune III koruma seviyesinde (V_{ort} 829 m/sn) istenen performansı sağlayamamıştır. Ağırlık ve üretim süresi de göz önüne alındığında numunenin kullanılabilirliği azalmaktadır.

2.4 Karbon Elyaf Malzeme Üzerine Araştırmalar

Mitreviski vd. (2004) ince dokunmuş Şekildeki karbon epoksi tabakalı kompozitlerin darbe sonucundaki özelliklerine darbe aparatının farklı Şekillerinin etkisi üzerinde çalışmışlardır. Yarı-küresel, oval ve konik (çapları 12 mm.) darbe aparatları kullanarak deneyler yapmışlardır. Konik darbe aparatıyla vurulan numuneler enerjinin çoğunu emmiş ve bölgesel nüfuziyet sağlamışlardır. Beklenen Şekilde yarı-küresel darbe aparatı fazla temas kuvveti ve en az temas süresini ortaya çıkarmıştır.

2.5 Polietilen ve Aramid Malzeme Üzerine Araştırmalar

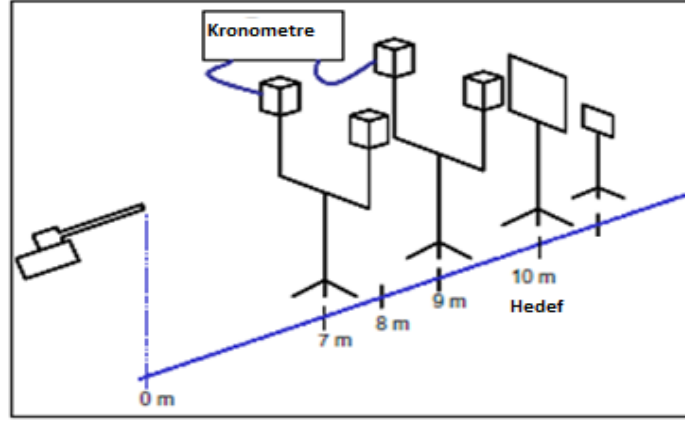
Çolakoğlu vd. (2008) balistik testlerde kompozit plakaların IIA, II ve IIIA koruma seviyeleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu koruma seviyeleri için farklı hızlarda 9 mm çaplı mermi ve bir üst koruma seviyesi olan III'de ise 7.62 mm'lik mermi kullanılmıştır. Farklı elyaflardan farklı kalınlıklarda üretilen kompozit plakalara yapılan atışlar neticesinde malzemelerin balistik limitleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu tür malzemelerin en büyük dezavantajı pahalı olmalarıdır. Dolayısıyla istenen koruma seviyeleri için optimum tabaka sayısının belirlenmesi maliyet açısından önemlidir. IIA ve II koruma seviyelerinde 10 tabakalı Polietilen (SB21) ve Polietilen (SB21)-Lamina

Kevlar hibrit malzemelerin koruma sağlayamadığı ve delindiği gözlemlenmiştir. Bu malzemeler 20 tabakada ise tam koruma sağlamışlardır. Bunun dışında diğer seçilen malzemeler istenen koruma seviyeleri için uygundur. Hatta bazılarında tabaka sayısı azaltılarak optimizasyona da gidilebilir. G3 mermisine karşı yapılan testlerde tam koruma sağlamak için ilk olarak; 80 katlı Polietilen numune, ikinci olarak ise; seramikle beraber 30 kat Kevlar plaka kullanılmıştır. Seviye III için bu malzemelerin tam koruma sağladığı gözlemlenmiştir. 26 kat Kevlar kumaştan üretilen miğferler IIA, II ve IIIA seviyeleri için koruma sağlamakta diğer taraftan Seviye III'de delinmektedir. En iyi balistik koruma sağlayan malzeme aynı zamanda en hafif olan Polietilen'dir. Bunu Kevlar izlemektedir. Personel koruyucu olarak E-cam ve karbon elyafı malzemeler uygun değildir. S-cam, E-cama göre daha iyi koruma sağlamasına karşın ağırlığı sebebiyle daha çok zırhlı arabalarda ve yapıların korunmasında kullanılmaktadır. Kevlar ve Polietilen, polimer içerikli elyaflar oldukları için mekanik özellikleri sıcaklık değişimi konusunda hassastır. Bu malzemelerin farklı sıcaklıklarda balistik özellikleri araştırılmış ve -30 ve +60°C aralığında bazı mermi hızlarında %30'dan fazla değişim gözlemlenmiştir.

Wambua vd. (2007) doğal fiberle oluşturulmuş kompozit malzemelerin parçacık tesiri ve balistik dayanımı üzerine çalışmalar yapmıştır. Yüksek performanslı lifler (ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen, aramid ve aramid kompozitleri) (UHMWPE) ile ilgili bir çok çalışma varken, lif kompozitleri ile ilgili yeterli çalışma yapılmamıştır. Keten ve kenevir gibi farklı doğal fiberler polipropilen kompozit kumaşlarla sıcak baskı vasıtasıyla güçlendirilerek numuneler elde edilmiştir. Bu numuneler elektrikli ısıtıcılarda ısıtılarak şekillendirilmiştir. Malzemelerin basıldığı presin sıcaklığı 190 °C ve basıncı 6,4 bar (0,64 MPa)'dır. Numune 30x30 cm² boyutlarındadır.

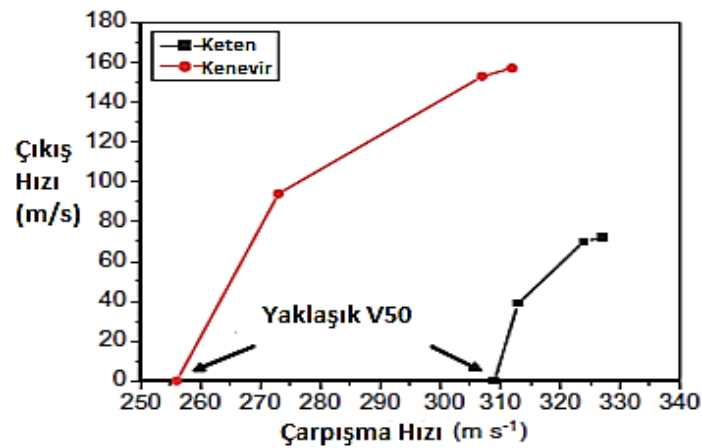
Oluşturulan kompozitlerin balistik etkileri, diğer taraftan doğal lif ile oluşturulan kompozitlerin yan ve arka yüzeyine kalın yumuşak çelik plakalar birleştirilerek denenmiştir. Keten ile oluşturulan kompozitler diğerlerinden daha iyi enerji absorbe edilmiştir. Kompozitler kesme, katman bozulma ve lif özellikleri bakımından iyi neticeler vermemiştir. Ayrıca, kenevir kompozitlerinin balistik sonuçları göstermiştir ki, yumuşak çelik plakalar yanlarda ve arka kısımda kullanıldığında daha iyi olmuştur.

Yapılan balistik testler parçacık tesirine karşı yapılan testlerdir. Testler 22 °C sıcaklıkta yapılmıştır. Çelik alaşımlı Rockwell sertlikleri 30±2 ve çapı 5,385 mm olan parçacıkların farklı hızlarda hedefe atılması ile yapılmıştır. Test alanının şematik gösterimi Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Test alanının şematik gösterimi (Wambua et al. 2007).

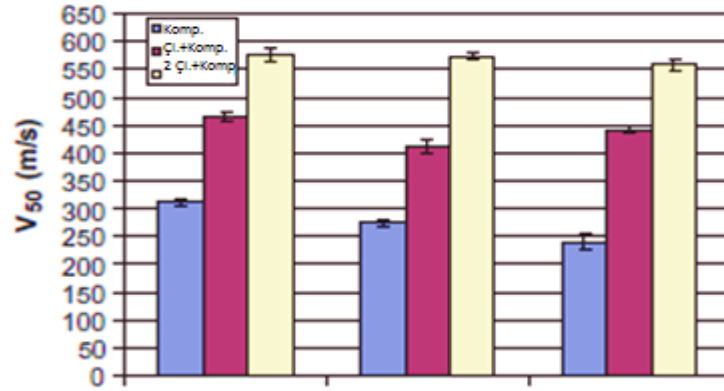
Elde edilen numunelerden F 26 ve H18 kodlu numunelere yapılan testlerin sonuçları Şekil 2.5’de verilmiştir. Grafikte darbe anındaki hızlar ve delinme hızları verilmiştir. Standartlara göre V50 hızları hesaplanırken 3 adet numunenin delinmediği hız ve 3 adet numunenin delindiği hız alınarak aritmetik ortalaması bulunur. Bu grafikte delinmeyen numunenin mermi çıkış hızı hesaplanamadığından grafiğe yansıtılmamıştır. F26 kodlu numunenin V50 hızı 312 m/s, H18 kodlu numunenin V50 hızı ise 254 m/s’dir. Oluşturulan eğri tek numune üzerinde oluşturulmuştur.



Şekil 2.5 H18 ve F26 kodlu numunelerin darbe anındaki hızı ve mermi çıkış hızı (Wambua et al. 2007).

Çelik malzemelerin kompozit malzemeler ile birlikte davranışları Şekil 2.8’de

verilmiştir. Çelik malzemeler kompozit malzemelere yapıştırılmak sureti ile birleştirilmiştir. Oluşturulan 1. Sistemde 1,5 mm kalınlığında çelik malzeme kompozit malzemeler ile birleştirilmiş, V50 oranı % 50 oranında artmıştır. Diğer sistemde ise sandviç şeklinde yapıştırılan numuneler (çelik +kompozit + çelik) denenmiştir. Komozit malzemenin önüne ve arkasına 0,8 mm kalınlığında çelik eklenmiş, sonuçta V50 hızı % 109 oranında artmıştır. Çelik malzemenin kompozit ile birlikte balistik davranışları grafik olarak Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Çelik malzemenin kompozit ile birlikte balistik davranışları (Wambua et al. 2007).

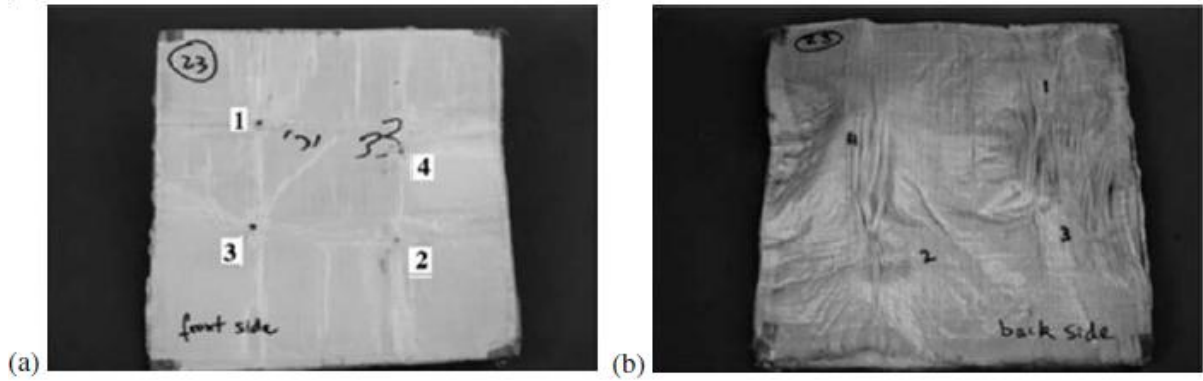
Sonuç olarak bu çalışmada çeşitli doğal fiberler üzerine çalışılmış, balistik test koşullarında testler yapılmıştır, anti balistik özellikleri değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada V50 hızı kalınlık ve alansal yoğunluğa göre nonlineer olarak artmaktadır.

Yavaş (2008) yapmış olduğu tezde preslenerek plaka haline getirilen numuneye [aramid + polietilen zırh (UHMW-PE UD-HB26) kumaş] III-A koruma seviyesinde yapılan atışlar (V_{ort} 440 m/sn) olumlu sonuçlanmıştır. Yapılan atışlar neticesinde oluşan çöküntü miktarları ($20 \sim 23,5 \text{ mm} < 44 \text{ mm}$) numune yapısının değerlerine yakındır. Koruma seviyesi III-A olacak şekilde plaka ile zırhlandırılması düşünülen; açılır kalkan çanta, araç zırhlandırılması (tabanca, makinalı tabanca), güvenlik kabinleri vb. uygulamalarda kullanılabilir.

Özek (2005) yapmış olduğu tezde polimer matrisli kompozit malzemeler üzerinde çalışmalar yapmış, hem darbe hem de balistik özellikleri incelemek amacıyla balistik koruyucu özellikleri de bulunan para-aramid ve polietilen malzemeler kullanmıştır. Bu

çalışmada kullanılan aramid (Kevlar-29) ile polietilen (Dynema SK-66) kumaşının çekme deneyleri sonucunda elde edilen çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri, kaynaklardaki sonuçlara benzer çıkmıştır. Fakat bu kumaşların son ürün halindeki plakaların çekme deneyleri ile oluşan çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri, ilk ürün halinde gösterdiği değerlerden daha az olduğu görülmüştür.

HAREL vd. (2002) ise polietilen ve aramid numuneler üzerine çalışmalar yapmışlardır. Ultra moleküler yoğunluklu polietilen numune için Dynema firmasına ait SK 75 kodlu malzemeden, aramid numune için Dupont firmasına ait Kevlar 49 malzemesinden, film olarak da 30 µm kalınlıklı filmler kullanılmıştır. Polietilen ve aramid numunelerin atış yapıldıktan sonra önden ve arkadan fotoğrafları Resim 2.2’de verilmiştir. Resimde verilen numaralar mermi atış sırasına göre verilmiştir.



Resim 2.2 Atış yapılan numunenin (polietilen ve aramid hibrid) önden ve arkadan fotoğrafları (HAREL et al. 2002)

2.6 Polietilen-Cam Elyaf Hibrid Malzeme Üzerine Araştırmalar

Thanomsilp vd. (2003) cam elyaf ve polietilen gibi malzemeler ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada cam elyaf numuneler ve farklı termoplastik malzemeler ile hibrid malzemeler elde etmiştir. Bu hibrid malzemeleri farklı sıcaklıklarda birleştirmiştir. Elde edilen bu numunelerin cam elyaf numunelere göre enerji sönümlenmesi ve darbe dayanımı artmıştır. Enerji sönümlenme özellikleri, mekanik özellikleri farklı olan polipropilen, nylon 6 ve cam elyaflar ile yapılan hibrid malzemeler ile optimizasyon yapılmıştır.

2.7 Aramid Ve Cam Elyaf Malzeme Üzerine Araştırmalar

Yavaş (2008) yapmış olduğu çalışmada değişik katmanlarda hazırlanan numunenin (Polyester kaplı cam elyaf ve cam yünü plakası + farklı katmanlarda aramid kumaş numunesi) balistik performansı III-A koruma seviyesine göre yapılan atışlarda (V_{ort} 438 m/sn) olumlu sonuçlanmıştır. Fakat dünya standartlarına göre (NIJ 0101.04) ağırlık faktörü belirlenen koruma seviyesine göre beklenenin üstündedir. Bu sebeple bireysel savunma amaçlı kullanılması uygun olmadığı değerlendirilmektedir.

2.8 Sıvı Zırh Malzeme Üzerine Araştırmalar

Lee vd. (2003) kevlar üzerine sıvı malzeme ekleyerek mekanik ve balistik özelliklerde yaşanan değişimi gözlemlemiştir. Eklenen sıvının özelliği kesme ile kalınlaşma özelliğidir. Kesme ile kalınlaşan sıvı olarak ağırlıkça Nissan firmasına ait MP4540 sıvısı kullanılmıştır. Bu sıvının partikül konsantrasyonu % 40 oranındadır. Partikül olarak silika kullanılmıştır. Kullanılan partiküllerin boyutları 446 nm olarak gözlemlenmiştir. Kevlar olarak da yüksek performanslı (Kevlar KM-2) malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemenin alansal yoğunluğu 180 g/m^2 'dir. Bütün testler oda sıcaklığında yapılmıştır. Mermi olarak NATO fragman standartlarına göre 1,1 gr ağırlığında, 0,56 cm. çapında parçacıklar kullanılmıştır. 8ml kesme ile kalınlaşan sıvı eklenmiş 4 katlı kevlar malzemenin değişik konfigürasyonu Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 4 katlı Kevlar malzemenin farklı konfigürasyonlarda yapılan test sonuçları (Lee et al.2003)

Hedef	Tanımlama	Numune Ağırlığı (g.)	Çarpışma Hızı m/s	Çöküntü Miktarı (cm)	Enerji (J)
A	8 ml STF-K-K-K-K	13.9	247	1.72	27.8
B	K-K-4 ml STF-K-K-4 ml STF	13.9	249	1.36	29.8
C	K-K-8 ml STF-K-K	13.9	244	1.22	28.9
D	K-K-K-K-8 ml STF	13.9	253	1.19	31.5
E	K-K-8 ml STF	13.9	242	0.787	29.7
F	8 ml STF	13.9	253	0.673	32.9

Bu çalışmada kesme ile kalınlaşan sıvı eklenmesi malzemenin mekanik özelliklerini artırdığı görülmüştür. Bu Çizelgede Kevlar kat sayısı 4 kat olarak sabit bırakılmış, emdirilen sıvının miktarı her testte artırılmış ve balistik özellikler incelenmiştir. Sıvı eklendikçe çöküntü derinliği azalmış ve depolanan enerji artmıştır. Kesme ile kalınlaşan

sıvı eklenmesinin balistik özellikleri olumlu yönde etkilediği açıkça gözlemlenmiştir.

2.9 Sürtünme katsayısı ile Balistik Özellik Arasındaki İlişki

Cheeseman vd. (2003) kumaşların balistik performansında sürtünmenin önemine vurgu yapmıştır. Çalışmada sürtünmeden önce iplik yapısının balistik etki ve enerjiye etkisini incelemiş sonra sürtünmeye çalışmıştır. Merminin hedefe isabet etmesi esnasında, mermi ile iplik arasındaki sürtünme ve ipliklerin birbiri arasında sürtünmesinin enerji sönmlemeye etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda sürtünme katsayısı arttıkça enerji sönmlemenin arttığı görülmüştür.

Briscoe vd. (1990) yaptıkları deneysel çalışmalarla sürtünmenin etkisini sayısal olarak açıklamışlardır. Kevlar 29 ve Kevlar 49 kullanmışlardır. Kevlar 29 kumaşını düz ve saten örgülü denemiş, Kevlar 49 kumaşını ise 3 durumda denemiştir. Alındığı gibi, Sokhlet aparatından geçirilmiş ve % 5 solüsyon ile kaplanmış (PDMS) Şekilde denenmiştir. Alındığı gibi kullanılan kumaş, özel yağlama malzemesi ile bozulmadan yağlanmıştır. Sokhlet aparatından geçirilmiş malzeme 2 gün boyunca aseton ile temizlenmiştir. PDMS kumaşları ise; ilk olarak su ile fırçalanmış, sonra petrol ve eterden geçirilerek kurutulmuştur. Normal yükleme ile sürtünme katsayıları ve enerji sönmlemeleri ölçülmüştür.

3. GENEL ÖZELLİKLER

3.1 Kompozit Malzemeler

Malzemeler özelliklerine göre metal, seramik ve organik olarak 3 (üç) ana bölüme ayrılır. Bu sınıflandırmada malzemelerin birbirine göre iyi veya kötü özellikleri bulunmaktadır. Buna göre, istenilen özellikler dikkate alınarak iki veya daha çok malzeme farklı üretim yöntemleri ile birleştirilerek kompozit malzeme adı verilen üstün özellikli malzemeler oluşturulur (Aran 1990). “Kompozit Malzeme” iki veya daha fazla sayıdaki malzemelerin en iyi özelliklerini bir araya toplamak veya ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere denir. Diğer bir ifadeyle birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir (Şahin 2000). Malzemelerin kompozit malzeme olarak adlandırılması için 3 (üç) ana özelliğe sahip olması gerekmektedir:

- Bileşenlerin doğal malzemeler olmasıdır.
- Kimyasal özellikleri birbirinin aynı olmayan, değişik ara katmanlara bölünmüş iki malzeme bir araya gelmiş olmalıdır.
- Bileşen malzemelerin özelliklerinden daha iyi özelliklere sahip malzeme meydana gelmiş olmalıdır.

Malzeme, uzaktan bakıldığında (makro) homojen görünüme sahip olup, yakından derinlemesine incelendiğinde (mikro) heterojen özelliklere sahip olur. Kompozit malzeme üretimi ile aşağıdaki özelliklerin biri veya birkaçının biraraya gelmesi amaçlanmaktadır.

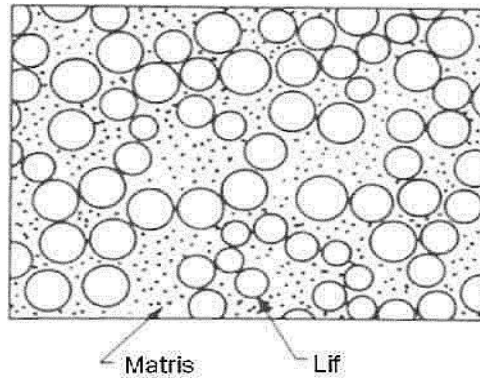
- Mekanik mukavemet
- Sıcaklığa karşı dayanım
- Isıyı iletme
- Elektrik iletme
- Ses iletme
- Sertlik

- Hafiflik
- Paslanmazlık
- Yorulma dayanımı (Atlan 2002)

Kompozit malzemelerin özellikleri; bileşenlerin ağırlıkça yüzdeleri, birbiri arasındaki iletişim gibi özelliklerden etkilenir (Agarwall 1980).

Kompozit malzemeleri anlatırken, birleşen malzemeler ile onların durumlarını açıklamanın yanı sıra, birleşenlerin geometrisinin de kompozit için bir gösterge olarak anlatılması gerekmektedir. Bileşenleri şekli, birleşme geometrisi, ağırlık ve hacimsel oranların dağılımı ile tanımlanabilir (Agarwall 1976).

Esasen lif ve matrislerin, kompozit malzemenin hacim veya kütle olarak yüzdelerinden bahsedilebilir. Lif ve matrislerin kompozit plakadaki dağılımı Şekil 3.1' deki gibidir.



Şekil 3.1 Kompozit malzemenin kesit görünüşü (Agarwall 1980).

3.1.1 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozitlerin çoğu özellikleri metallerin özelliklerinden farklı olup, son yıllarda, metallere göre daha fazla ilgi konusu olmuştur. Kompozitlerin öz kütlesinin az olmasından dolayı konstrüksiyonun hafiflik gerektirdiği durumlarda bu malzemeler önem kazanmaktadır. Buna ek olarak, fiber takviyeli kompozit malzemelerin paslanmazlık özellikleri, izolasyon özelliği ön plana çıkmaktadır (Kinet 2008).

Reçine maddesi, takviye elemanını çok iyi sarabilmeli ve ıslatabilmelidir. Islanma iyi olmazsa, zayıf bir arabirim meydana gelir. Reçinenin ani dökülmesi, takviye elemanının yüzeyinde hava kabarcıkları oluşmasına, zayıf ara bağlara ve zamanla çatlakların oluşumuna neden olur. Arabirimdeki bağ normal koşullarda yeterli sağlamlıkta oluşmuyorsa, bir takım yöntemler kullanılır. Bunlara birkaç örnek vermek gerekirse;

- Takviye elemanının yüzeyini pürüzlendirerek, sürtünmeyle mekanik bağ arttırılabilir,
- Takviye elemanının yüzeyindeki düşük yüzey enerjisi veren maddeler temizlenebilir,
- Bağ yapıcı özelliği olan ilave maddeler kullanılabilir,
- Kimyasal buhar kullanılarak bağ yapma ve kuvvetli bağ oluşturma yöntemi denenebilir,
- Fiziksel yollar kullanılabilir,
- Matris modifiye edilebilir (Buytoz ve Yıldırım 2002).

Bu malzemelerin bazı özelliklerinden aşağıda bahsedilecektir.

a) Yüksek mukavemet: Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedan tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

b) Kolay Şekillendirebilme: Büyük ve kompleks parçalar tek işleme bir parça halinde kaplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

c) Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

d) Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet: Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve

diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.

e) Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

f) Kalıcı Renklendirme: Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

g) Titreşim Sönümlendirme: Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır. (Kinet 2008)

3.1.2 Kompozit Malzeme Elde Etmede Kullanılacak Malzemeler

3.1.2.1 Matris Malzemeleri

Kompozit malzemelerde matrisin üç önemli özelliği bulunur. Bunlar, elyafları birleştirmek, yükü elyaflar üzerine yaymak ve elyafları çevrede oluşabilecek durumlardan korumaktır. Matrisin en önemli özelliklerinden biri de ilk durumda akıcı olması ve sonraları elyafları sağlam ve düzgün şekilde çevreleyebilecek katı hale kolay bir şekilde gelebilmesidir (Arıcasoy 2006).

Matrisler; Kompozit malzemelerde polimer esaslı matrislerin yanısıra metal, seramik bazlı malzemeler de matris olarak kullanılmaktadır. Diğer matrislerin kullanılmasına rağmen kompozit malzemelerin % 90'ı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir. Matris malzemelerinin genellikle plastik esaslı olmasından dolayı kompozit malzemeler de genellikle takviye edilmiş plastikler olarak adlandırılırlar. Metal matrisler büyük çaplı uygulamalarda kullanılmak için çok pahalı ve çalışılmaları çok zordur. Seramik matrisler ise, yüksek oranda kırılğan olmalarından dolayı yeterli dayanıklılığa sahip olmalarını nedeniyle yüksek ısı ile kullanılan yerlerle sınırlanmaktadır. Karbon matrisli kompozit malzemeleri üretmek çok zor ve çok pahalıdır (Olcay 2002).

En çok tercih edildikleri uygulamalar yarış arabalarının ve uçakların fren balatalarıdır. Diğer tüm matris alternatifleri arasında ticari olarak en uygun olan plastik, matrisler arasında ise en çok kullanılan termoset esaslı olan polyeşter ve epoksi reçineleridir.

Matrisler güçlü yapıştıırma, çevre ve atmosfer şartlarına yüksek dayanım ve yüksek mekanik özellikler gösterirler. Bir matrisin öncelikle sağladığı mekanik özellikler yüksek sertlik ve yüksek dayanıklılık değerleridir. İyi bir malzeme sert olmalıdır, fakat gevrek bir malzemenin gösterdiği gibi performansı düşmemelidir. Bu özellikleri büyük ölçüde karşılayan polimer esaslı matrisler termoset ve termoplastik matrisler olarak iki tür olarak bulunmaktadır.

a) Termoset Matrisler

Termoset esaslı kompozit malzeme matrisleri olarak en çok kullanılanlardır. Termoset plastikler sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşır. Termoset polimerlerin polimerizasyon süreci termoplastiklerden farklı olarak geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Çoğu termoset matris sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Dondurucudan çıkarılıp oda sıcaklığında bir müddet (1-4 hafta arası) bekletildiğinde sertleşmeye başlar ve özelliklerini kaybederek biçim verilmesi zor bir hâl alır ve kullanılamaz duruma gelir. Dondurucu içinde olmak şartıyla raf ömürleri ise 6 ila 18 ay arasında değişmektedir. Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmez ve olağandışı hava şartlarında dahi uzun ömürlü olmaktadırlar. Aşağıda en yoğun kullanılan matrisler yer almaktadır (İnt.Kyn.1).

- Polyester
- Epoksiler
- Vinil ester
- Bismaleimid (BMI)
- Fenolikler
- Silikon
- Cynate Esters

b) Termoplastik Matrisler

Termoplastik polimerlerinin çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen matris olarak kullanılan polimerler sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar, ısıya maruz bırakıldıklarında yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bununla birlikte Şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden Şekillendirilebilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastik soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine de sahiptirler. Yeni gelişmelerle termoplastiğin sağladığı bu artı değerleri son dönem termoset matrislerinden 977-3 Epoksi ve 52450-4 BMI reçineleri de sağlamaktadırlar.

Termoplastiklerin kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmemelerinin başlıca nedeni üretimdeki zorlukların yanısıra yüksek maliyetidir. Oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlarlar, bu onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen Şekillere sokabilmek için çözücülere ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler termosetlere kıyasla hammaddesi daha pahalıdır. Devamlı kullanım sıcaklıkları 60°C ile 245°C arasında değişebilen termoplastik reçine çeşitleri bulunmaktadır.

Termoplastik reçineler malzemenin çekme ve eğilme dayanımlarının artırılması için kullanılırlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler uçak sanayisinde de yüksek performanslı malzeme çözümlerinde kullanılmaktadırlar. Çoğunlukla enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile üretilen termoplastiklerin üretiminde GMT (Glass Mat Reinforced Thermoplastics / Preslenebilir Takviyeli Termoplastik) olarak ta üretilmektedir (Bkz. kompozit malzeme üretim yöntemleri). Bu yöntemle hazırlanan takviyeli termoplastikler soğuk plakaların preslenebilmesi ve geri dönüşüm sürecine uygunluğundan dolayı özellikle otomotiv sektöründe tercih edilmektedir (İnt.Kyn.2).

3.1.2.2 Elyaf lar (Lifler)

Matris malzeme içerisinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülü ve sertliğe sahip olan elyaf lar kimyasal korozyona da dirençlidirler. (Philips 2001)

Bazı uygulamalarda fiberler kumaş olarak dokunurlar. Bu malzemenin mukavemetini artırmak ve tüm yönlerde eşit mukavemet elde etmek için uygulanır. Bu dokuma fiber kumaşlarının değişik amaçlar için geliştirilmiş türleri vardır (Olçay et al. 2002)

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaf lar kimyasal korozyona dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaf larıdır. Bu elyaf lar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaf lar teknoloji de kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaf lar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir . Elyaf ların ince çaplı olarak üretilmeleri ile, büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler.

Ayrıca, elyaf ların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır.

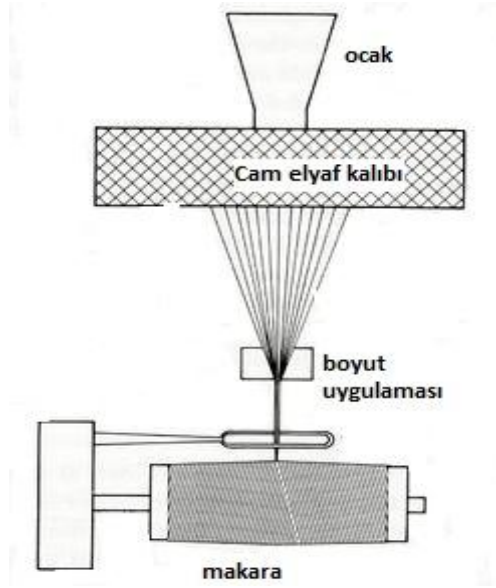
1. Üstün mikroyapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmesi.
2. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaf ları iletilen yük miktarının artması.
3. Elastisite modülünün çok yüksek olması.

Elyaf türleri hakkında aşağıda bilgiler verilmiştir.

▪ Cam elyaf lar

Cam elyaf lar, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üç boyutlu

moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte silis (SiO₂) şeklinde bulunur. Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken 1260 °C civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir. Cam elyaf üretimi Şekil 3.2'deki gibidir.



Şekil 3.2 Cam elyaf üretimi (Philips 1980)

Cam elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.

2. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.

3. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.

4. Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyaflı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.

5. Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyaflı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanır.

Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır (İnt.Kyn.3).

Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur.

1. A (Alkali) Camı
2. C (Korozyon) Camı.
3. E (Elektrik) Camı
4. S (Mukavemet) Camı

▪ **Aramid elyaflar**

Aramid kelimesi bir çeşit naylon olan aromatik poliamid maddesinden gelmektedir. Aramid fiberi 1960'lı yılların sonlarında piyasaya sürülmüştür. Bunlar arasında Kevlar (DuPont) ve Twaron (Teijin) en bilinenleridir. Son yıllarda çeşitli imalatçılar tarafından değişik ticari isimlerle aramid fiberleri üretilmiştir. Aramid fiberinin spesifik çekme mukavemeti çelikten yaklaşık 5 kat daha fazladır (Onuk et al. 1993).

Çok geniş bir ısı yelpazesi içinde (uzun sürelerde) mükemmel dayanıklılık özellikleri gösteren aramid kumaş, -196°C gibi ve daha düşük sıcaklıklarda dahi dayanıklılığında bir şey kaybetmez. Aynı zamanda mükemmel boyutsal stabilite özellikleri gösterirler. Kimyasal maddelerden ve nemden etkilenmeyen aramid kumaş birkaç kuvvetli asit ve alkali hariç kimyasal direnci çok iyi olan malzemelerdir.

Özellikle askeri alanda daha yüksek hızlı ve tehlikeli mermilere karşı korunma ihtiyacı, balistik koruyucu materyallerin geliştirilmesi konusunda teşvik edici olmuştur. Özellikle yüksek performanslı liflerin ve esnek kompozit malzemelerin üretiminde sağlanan gelişmeler balistik koruma amaçlı birçok yeni ürünün ortaya çıkmasını sağlamıştır. Günümüzde en çok bilinen ve kullanılan balistik koruyucu tekstil materyali para-aramid lifleridir. Para-aramidlerin ise en yaygın üretilen ve kullanılan tipi Du Pont'un ürettiği Kevlar lifleri ve Akzo Ind.Fibers'in ürettiği Twaron lifleridir. Bunların yanısıra Teijin firmasının ürettiği Technora lifleri de bu gruba girmektedir (Karahana 1994).

Günümüz teknolojisinde para-aramid fiberler Du Pont firmasının Kevlar adıyla ve Teijin firmasının Twaron adıyla üretilerek dünyadaki birçok dokuma fabrikasında kumaş haline getirilmektedir.

Bununla birlikte ultraviyole ışınlarına direkt olarak maruz kaldıklarında, hassas olan

Aramid'ler bir karma materyal içinde yer aldıkları zaman, direkt olarak ultraviyole ışınlarına maruz kalmadıkları için bu ışınların olumsuz etkilerinden çok az etkilenirler veya hiç etkilenmezler (Çalık 2004). Aramid'lerin bir diğer özelliği de erimemeleri ve yanmayı (oksidlenmeyi) desteklememeleridir. Ancak 427 °C'de kömürleşmeye başlarlar. Çok geniş bir ısı yelpazesi içinde (uzun sürelerde) mükemmel dayanıklılık özellikleri gösteren Aramid'ler -196°C gibi ve daha düşük ısılarda dahi dayanıklılığında bir şey kaybetmezler. Aynı zamanda mükemmel boyutsal stabilite özellikleri gösterirler (Özek 2005). Kimyasal maddelerden ve nemden etkilenmeyen Aramid'ler birkaç kuvvetli asit ve alkali hariç kimyasal direnci çok iyi olan malzemelerdir (Çalık 2004).

Aramid elyafının önemli özellikleri müteakip maddelerde sunulmuştur.

- ✓ Yüksek dayanıklılık
- ✓ Yüksek darbe dayanımı
- ✓ Yüksek aşınma dayanımı
- ✓ Yüksek yorulma dayanımı
- ✓ Yüksek kimyasal dayanımı
- ✓ Kevlar elyafı kompozitler, cam elyafı kompozitlere göre 35 % daha hafiflik
- ✓ E Cam türü elyaflar yakın basınç dayanıklılığı
- ✓ Genellikle sarı renkli
- ✓ Düşük yoğunluktur.

Aramid elyafının Dezavantajları müteakip maddelerde sunulmuştur.

- ✓ Bazı tür aramid elyafı ultraviyole ışınlarına maruz kaldığında bozulma göstermektedir.
- ✓ Sürekli karanlıkta saklanmaları gerekmektedir.
- ✓ Elyaflar çok iyi birleşmeyebilirler. Bu durumda reçinede mikroskobik çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar malzeme yorulduğunda su emişine yol açmaktadır.

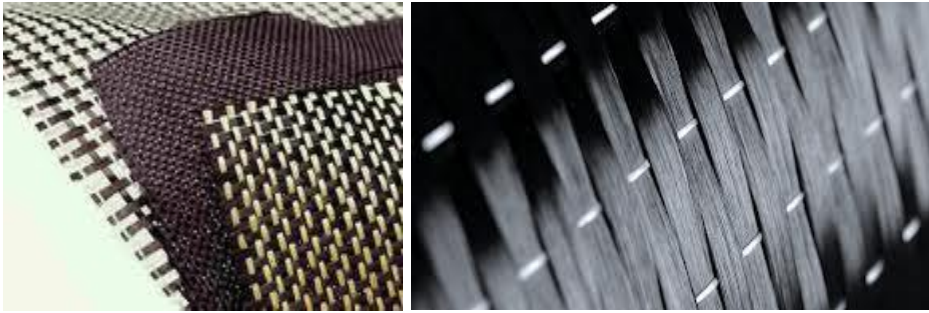
Aramid elyafının bazı kullanım alanları aşağıda sunulmuştur.

- ✓ Balistik koruma uygulamaları; askeri kasklar, kurşun geçirmez yelekler
- ✓ Koruyucu giysiler; eldiven, motorsiklet koruma giysileri, avcılık giysi ve aksesuarları

- ✓ Yelkenliler ve yatlar için yelken direği
- ✓ Hava araçları gövde parçaları
- ✓ Tekne gövdesi
- ✓ Endüstri ve otomotiv uygulamaları için kemer ve hortum
- ✓ Fiber optik ve elektromekanik kablolar
- ✓ Debriyajlarda bulunan sürtünme balatalarında ve fren kampanalarında
- ✓ Yüksek ısı ve basınçlarda kullanılan conta, salmastra vb

▪ **Grafit (Karbon) elyaflar**

Karbon, yoğunluğu 2.268 gr/cm³ olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Hem karbon hem de grafit elyaflar aynı esaslı malzemeden üretilirler. Karbon elyaf üretimi Resim 3.1'de gösterilmiştir. Bu malzemeler hammadde olarak bilinirler. Karbon elyafların üretiminde üç adet hammadde mevcuttur. Bunlardan ilki rayondur (suni ipek). Bu hammadde inert bir atmosferde 1000 - 3000 °C civarına kadar ısıtılır ve aynı zamanda çekme kuvveti uygulanır. Bu işlem mukavemet ve tokluk sağlar. Ancak yüksek maliyet nedeniyle rayon elyaflar uygun değildirler. Karbon elyaf üretimi Resim 3.1'de gösterilmiştir.



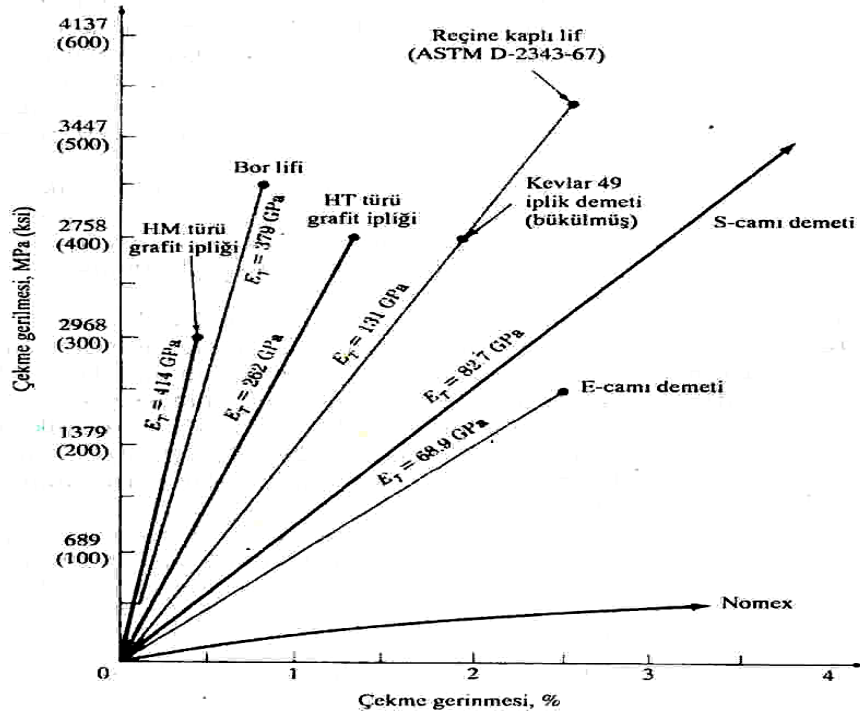
Resim 3.1 Karbon Elyaf Üretimi

Karbon lifi bilinen tüm malzemelerle eşit ağırlıklı olarak karşılaştırıldığında en sert malzemedir (Arıcasoy 2006).

Diğer elyaf türleri de aşağıda sıralanmıştır.

- Bor elyaflar
- Silisyum karbür elyaflar
- Alumina elyaflar

Farklı türlerdeki elyaf ve matris malzemelerin gerilme-uzama diyagramları Şekil 3.3’de verilmiştir.



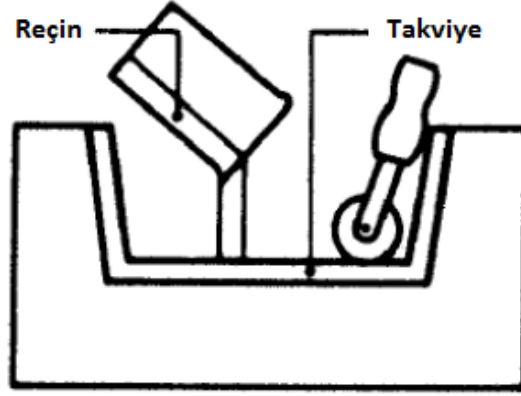
Şekil 3.3 Elyaf ve matris malzemelerin gerilme uzama diyagramı (Smith 2001).

3.1.3 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

İstenilen özelliklerde ve biçimde kompozit malzeme üretimi için bir çok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden başlıcaları aşağıdadır (Arıcasoy 2006).

3.1.3.1 Elle Yatırma

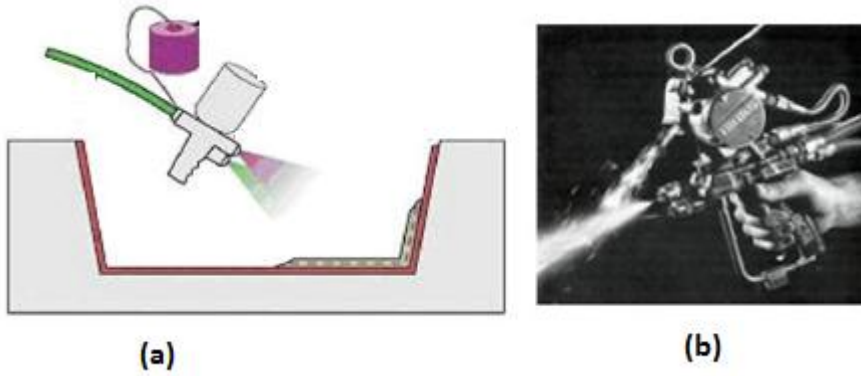
Dokuma veya kırılmış elyaflarla hazırlanmış takviye kumaşları hazırlanmış olan kalıba serilir. Daha sonra üzerine elle yatırılarak üzerine sıvı reçine elyaf katmanlarına emdirilir. Elyaf yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür. Bu işlemde elyaf kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir. El yatırma tekniğinde en çok kullanılan polyester ve epoksinin yanı sıra vinilester ve fenolik reçineler de tercih edilmektedir. Elle yatırma yoğun işçilik gerektirmesine rağmen düşük sayıdaki üretimler için çok uygundur. Elle yatırma yöntemi Şekil 3.4’de basit olarak gösterilmiştir (Arıcasoy 2006).



Şekil 3.4 Elle yatırma yöntemi (Arıcasoy 2006).

3.1.3.2 Püskürtme

Püskürtme yöntemi elle yatırma yöntemini aletli şekli olarak kabul edilebilir. Kırpılmış elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür. Elyafın kırılma işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırpıcı sayesinde yapılır. Püskürtülme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün hazırlanmış olur. Püskürtme yöntemi Şekil 3.5’de gösterilmiştir (Arıcasoy 2006).

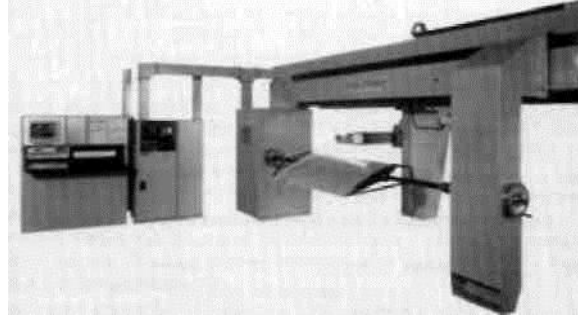


Şekil 3.5 (a) Püskürtme yöntemi (b) Püskürtme tabancası (Arıcasoy 2006).

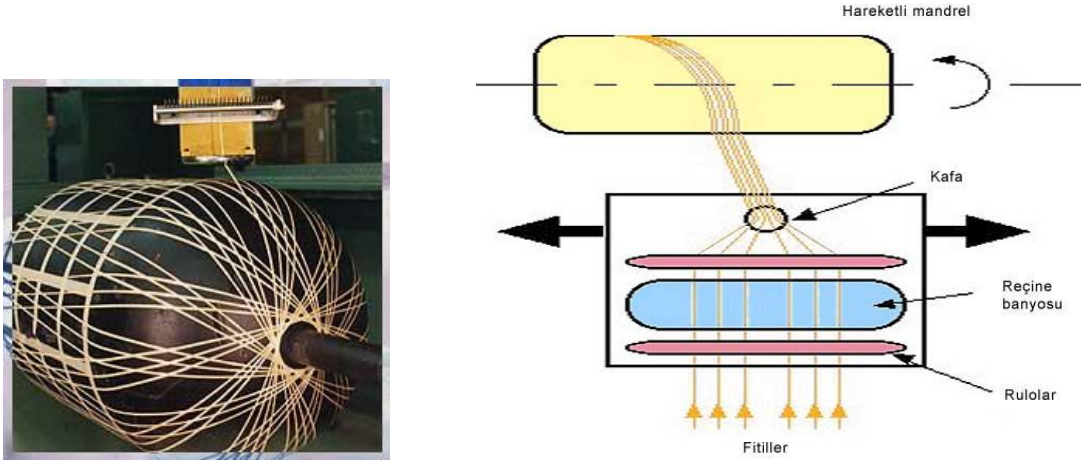
3.1.3.3 Elyaf Sarma

Bu yöntem özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Elyaf sarma yöntemi sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir

kalıp üzerine sarılmasıdır. Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik, borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır. Elyaf sarma makinesi Resim 3.2’de, elyaf sarma yöntemi ise Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Resim 3.2 Elyaf sarma makinesi (Arıcasoy 2006).

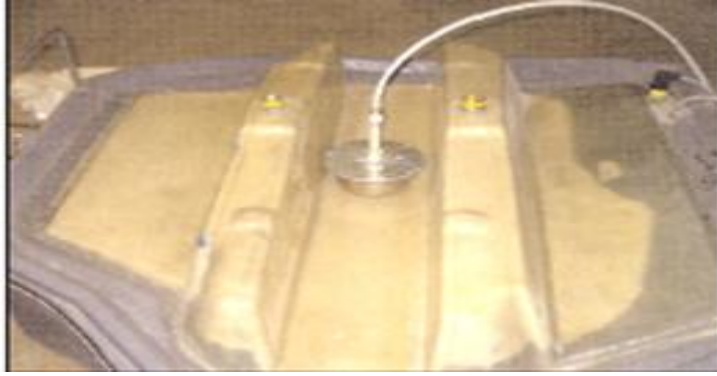


Şekil 3.6 Elyaf sarma yöntemi (Arıcasoy 2006).

3.1.3.4 Reçine Transfer Kalıplama RTM / Reçine Enjeksiyonu

Bu kompozit üretim yönteminde elle yatırma sistemlerine göre daha hızlı ve uzun ömürlü olmakla birlikte iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir. Kalıbın kompozit malzemeye yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük kalmasına neden olmaktadır. RTM yöntemi çoğunluk jel kotlu veya jel kotsuz her iki yüzeyinde düzgün olması istenen parçalarda kullanılır.

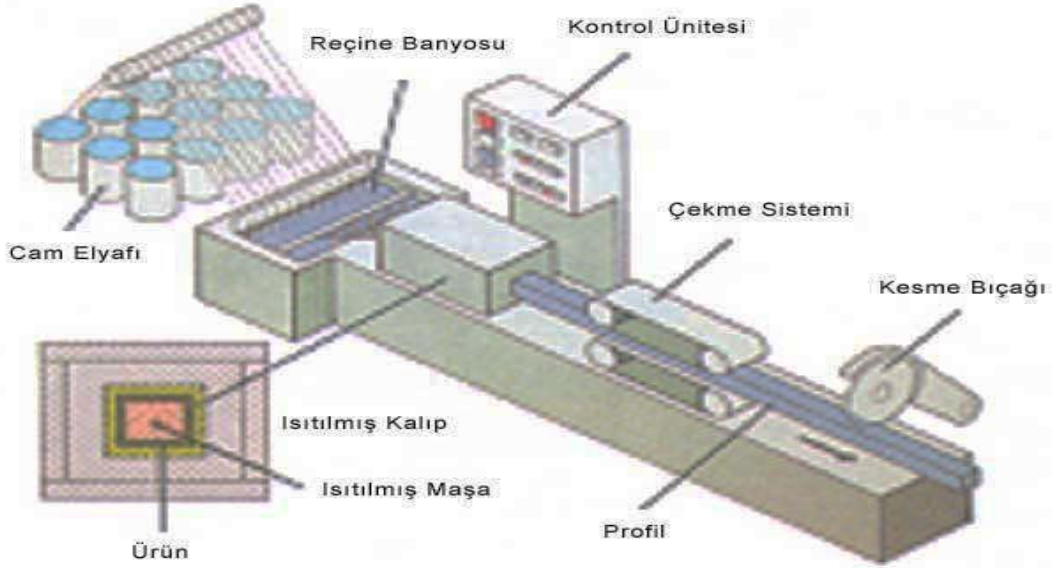
Takviye malzemesi kuru olarak keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılır. Takviye malzemesi önceden kalıp boşluğu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Elyaf lar matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak kalıp içerisinde sürüklenmesi önlenir. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Bu süreç daha fazla zaman ister. Matris enjeksiyonu soğuk, ılık veya en çok 80°C'ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi islemesi için vakum kullanılabilir. Elyafın kalıba yerleştirilmesini gerektirmesinden dolayı uzun sayılabilecek bir işçilik gerektirir. Kalıp kapalı olduğu için ise zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün elde edilebilir. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. Concorde uçaklarında, F1 arabalarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır. Reçine enjeksiyonu Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Reçine enjeksiyonu (Arcasoy 2006).

3.1.3.5 Profil Çekme / Pultruzyon (Pultrusion)

Pultruzyon işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilebildiği düşük maliyetli seri üretim yöntemidir. Pull ve Extrusion kelimelerinden türetilmiştir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirilip, sonra 120-150 °C'ye ısıtılmış Şekillendirme kalıbından geçilerek sertleşmesi sağlanır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli elyaf kullanılmasından dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir. Enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar kullanmak gerekmektedir. Profil çekme yöntemi Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8 Profil çekme yöntemi (Arıcasoy 2006)

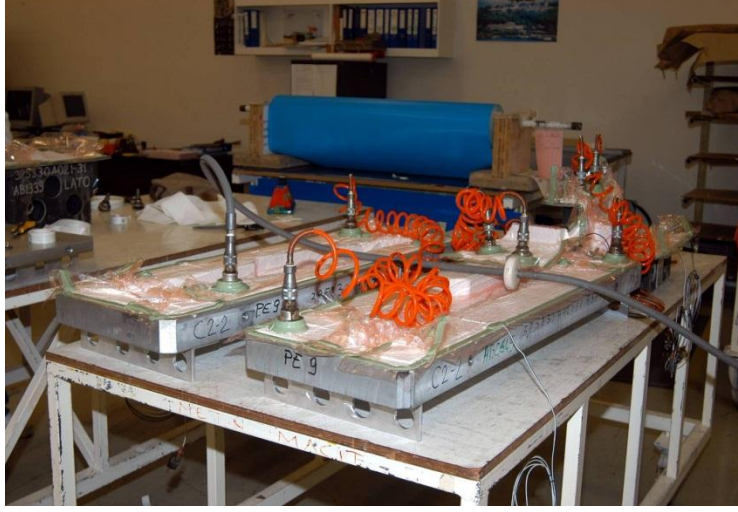
3.1.3.6 Hazır Kalıplama / Compression Molding (SMC, BMC)

Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC,BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık Şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca, ürünün iki yüzü de kalıp ile Şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi karışık Şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır.

3.1.3.7 Vakum torbalama / Vakum Bagging

Kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası en üst katman olarak yerleştirilir. İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygulayarak aşağıya çekilir. Sonraki aşamada tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kür işlemi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak uygulanır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de vakum bagging yöntemi kullanılmaktadır. Vakum bagging (Vakum torbalama) yöntemi Resim 3.3'de

gösterilmiştir.



Resim 3.3 Vakum bagging uygulaması (Arıcasoy 2006).

3.1.3.8 Otoklav / Autoclave Bonding

Termoset kompozit malzemelerin performanslarını artırmak için elyaf/reçine oranını artırmak ve malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek gerekmektedir. Bunun sağlanması için de malzemeye yüksek ısı ve basınç uygulanması gerekmektedir. Vakum bagging yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmasına basınç uygulanabilir. Fakat, 1 atmosferden fazla düzenli ve kontrol edilebilir bir basınç uygulanabilmesi için dış basınca ihtiyaç duyulur. Bu uygulama için, otoklav yönteminde de uygulanan ve karmaşık şekillerde en çok kontrol edilebilen metot, dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir.

Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Vacuum bagging yöntemi ile benzerdir. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalıdır.

3.1.3.9 Preslenebilir Takviyeli Termoplastik/Glass Mat Reinforced Thermoplastics (GMT)

Keçe türünde elyaf takviyesi içeren termoplastik reçine ile yapılmış plaka şeklinde preslenebilir kalıplamaya hazır özel amaçlı bir takviyeli termoplastik çeşidini

tanımlamaktadır. GMT'nin hazırlanması SMC'ye benzemektedir. Ekstruderden çekilen bir termoplastik levha üzerine yumuşak haldeyken bir elyaf takviyesi yerleştirilir. Bu katmanların üzerine bir diğer termoplastik levhada yumuşakken yerleştirilerek soğuk hadde silindirlerinin arasından geçirilir. Sertleşen plakalar kesilerek preslenmeye hazır duruma getirilir.

3.2 Balistik Koruyucu Malzemeler

Balistik koruyucu malzemeler kullanım alanına göre eldiven ve yelette olduğu gibi vücuda rahatlıkla giyilebilecek kadar esnek yapıda olmalı veya araç, tank zırhlandırması, başlık şeklinde kullanılması için katı olmalıdır (Yavaş 2008).

Balistik korunmada kullanılan malzemeleri sert (hard) ve yumuşak (soft) koruyucular olmak üzere iki sınıfta toplayabiliriz. Sert koruyucular cam, seramik ve metalden yapılan koruyuculardır. Bunlar plaka, koruyucu başlık, zırh, kalkan şeklinde kullanılırlar. Yumuşak koruyucular ise kumaş ve kumaş benzeri yapılardan oluşan polimer esaslı malzemelerdir (Temiz 2005).

3.2.1 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.

3.2.1.1 Cam lifleri

Cam lifleri uzunluk ve enine yönde eşit elastisite modülüne sahip olan, genellikle amorf yapılardır. Lif çapı 5-20 µm arasındadır. Camın sıcaklığı, viskozitesi ve çekme hızı değiştirilerek farklı çaplarda filamentler elde edilebilir. Yüksek çekme ve darbe dayanımına sahiptirler. Sürtünerek birbirlerini aşındırırlar. Mekaniksel özellikleri sıcaklık artışıyla fazla değişmez ve yanmazlar. Kimyasal dayanımları çok iyidir. Çok güçlü alkaliler ve hidroflorik asit dışında korozyon dayanımları mükemmeldir. (Turhan 1999). En yaygın kullanılan cam "Soda-Kireç-Kilis" camıdır. Kumdan elde edilir.

Bundan dolayı silika camı da denir. Ayrıca boroksit, kurşunoksit gibi diğer oksitlerden de üretilir.

A, C, D, E, S tipi cam lifleri bulunmaktadır. Bunlardan en çok 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 stabiliteye sahiptirler. Alümina içeriği ve mukavemeti E camına göre fazladır. Pahalıdırlar. Cam lifleri helikopter gövde ve kanatlarının yapımında, roket yapımında, kazan ve kabloların kaplanmasında kullanılırlar.

3.2.1.2 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 (Yavaş 2008). Zırh çeliği ısıtılarak sertleştirilmekte, böylece çarpan mermiye karşı delinme direnci artmakta ve çarpan merminin kinetik enerjisini daha iyi absorbe edebilmek için zırh çeliğini toklaştırmaktadır. MIL-A-12560 B standardı zırh olarak kullanılacak çeliğin özelliklerini anlatmaktadır. Bu standarda göre Sınıf-1 ve Sınıf-2 olmak üzere iki çeşit zırh bulunmaktadır. Sınıf-1 maksimum delinme direncini, Sınıf-2 ise maksimum şok direncini sağlayacak şekilde ısıtılarak sertleştirilir.

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 (Özer 2004).

3.2.1.3 Seramikler

Seramik matrisler genellikle yüksek termal performans (HTP = High Thermal Performance) özelliklerine ihtiyaç duyulduğu durumlarda kullanılır. RFC (Rigid Fibrous Ceramic) seramik matrisler içerisinde yer alan bir ürün sistemidir (Onuk 1994).

Balistik koruyucularda sert koruyucu olarak Al_2O_3 (Alumina), SiC(Silikon Karbayt) ve BuC (Borkarbür) 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 (Özaydın 1999). Seramiğin performansını etkileyen bir başka etkende, seramik imalatı sırasında sinterleme yapılırken içinde kalan hava boşluklarıdır. Bu hava boşluklarının fazla olması balistik performansı olumsuz etkilemektedir (Özaydın 1999).

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 HRC) çelik plakalar da kullanılabilir. Ancak daha ağır olacağı için seramik kullanılması tercih edilmektedir. Aşağıdaki Çizelgede değişik mermi türlerine karşı seramik kompozit plakalar ile çelik plakaların ağırlık yönünden bir karşılaştırması yapılmıştır.

Alumina kompozit plakalar ve zırh çeliğinin farklı mermiler için ağırlıkları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Alumina kompozit plakalar ve zırh çeliğinin farklı mermiler için ağırlıkları (Özaydın 1999).

Mermi Tipi	Mermi Hızı (m/sn)	Alumina Komp. Ağırlığı(kg/m²)	Zırh Çeliği Ağırlığı(kg/m²)	Ağırlık Kazancı(%)
7.62x51 Normal	840	38	45	20
7.62x51 Ap	830	46	104	55
7.62x39 mm	710	38	88	57
7.62x45 mm	985	33	68	49

3.2.2 Yumuşak (Soft) Koruyucular

Balistik koruyucu giysi 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 (Yavaş 2008).

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, aramid, polietilen ve poli-p-fenilenbenzobisoksazol liflerinden elde edilirler. Bazı alanlarda cam elyafı da yumuşak koruyucu olarak kullanılmaktadır.

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 ısıtılımlarla kompozit yapı haline getirilerek balistik koruyucu yapımında kullanılırlar.

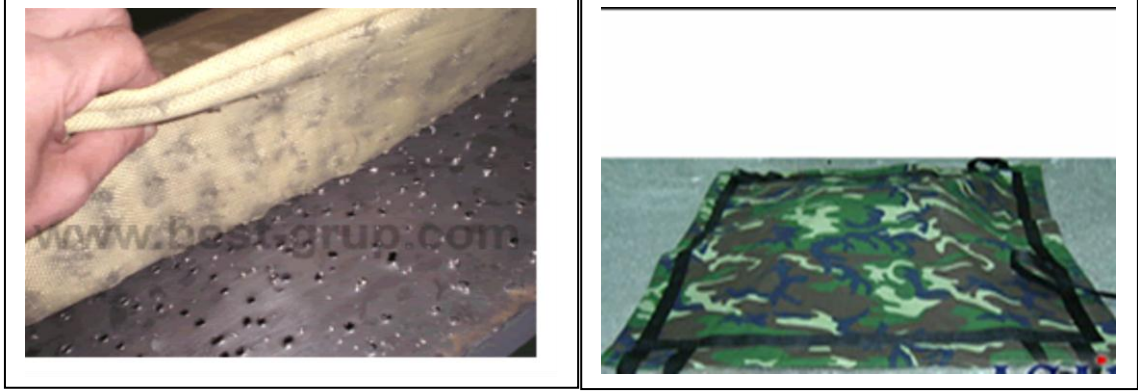
Yumuşak koruyuculardan balistik koruyucu yelek ve balistik koruyucu başlıklar üretilir. Ayrıca bomba eldivenleri ve bomba battaniyeleri de yumuşak koruyucu dediğimiz yapılardan oluşmaktadır. Balistik koruyucu yelekler vücudun ön arka, yan kısımları,

kasık bölgesi, yaka ve boyun bölgesini koruyabilmektedir. Ön ve arkasındaki plaka ceplerine plaka ilavesi ile seviye III ve seviye IV gibi maksimum koruma değerine yükseltilebilmektedir. Balistik koruyucu kompozit yelek ve kısımları Resim 3.3’de gösterilmiştir.



Resim 3.4 Balistik koruyucu kompozit yelek (Yavaş 2008).

Bomba battaniyesi işte bu amaçla üretilmiş olup binaya ve insanlara gelebilecek şarapnel etkisini minimize etmeyi amaçlar. Battaniyenin esnekliği sayesinde şüpheli cismin üzeri tamamen örtülerek mümkün olan maksimum koruma amaçlanır. Bomba battaniyeleri NIJ-STD 01.01.04 e göre koruma seviyesi III-A olarak ve V50 stanag 650 m/s şarapnel korumasını sağlayacak şekilde 120x120 ve 150x150 ebatlarında üretilmektedir. Bomba battaniyesine bir örnek Resim 3.4’de gösterilmiştir.



Resim 3.5 Bomba battaniyesi (Yavaş 2008).

3.2.3 Balistik Dayanımın Ölçülmesi

3.2.3.1 Balistik nedir

Fransızca "balistique" sözcüğünden gelen bir kelime olup, özellikle mermilerin bir namlunun içindeki, dışındaki devinimlerini ve hedef üzerindeki etkisini inceleyen bilimdir (Yavaş 2008).

Bir başka deyişle, mermilerin itme kuvveti, uçuşu ve çarpma etkisini inceleyen bir bilimdir. 19.yy boyunca silah alanında ortaya çıkan teknik ilerlemeler sonucunda gelişen modern balistik bilimi üç dala ayrılır:

- ✓ Mermi veya füzenin, silah içerisinde ve tesir sahasındaki hareketini inceleyen iç balistik,
- ✓ Uçuş sırasındaki hareketini araştıran dış balistik,
- ✓ Hedefteki etkileri inceleyen hedef balistiği.

3.2.3.2 İç balistik

Bu bölüm, kimyasal enerji kaynağını, gazın genişlemesini ve ortaya çıkan enerjinin kontrolünü ve yönlendirilmesini incelemektedir. Askeri silahlar, askeri olmayanlara

göre sıcaklık ve basınç bakımından daha çok zorlanmış durumlarda çalışırlar. Bir merminin silah içindeki hareketi, gazın mermiye etkisi ile ilgilidir. Mermi hareketi sırasında, içinde bulunduğu namluya basınç yaparken arada sürtünme kuvveti ortaya çıkar. Yüksek sıcaklıktaki gaz, namluyu o derece ısıtır ki, onunla kimyasal reaksiyona dahi girer. (Yavaş 2008)

Gerçekte modern bir silah bir ısı makinesinden ibarettir. Çalışması otomobil motoruna benzer. Burada genişleyen gaz bir piston yerine merminin hareketine sebep olur. Ateşlemenin yapılması sonucu yüksek basınçla yayılan gazın basıncı artarken, mermi atalet ve sürtünme sebebiyle hareket etmez. Ancak, basıncın daha da artması, merminin hareketine sebep olur. Merminin hareketi sonucu hacim büyürken, basınç bir maksimuma erişinceye kadar hızla yükselir. Bundan sonra basınç düşer, mermi silahı terk ederken bu miktar maksimumun % 10-30'u arasında değişir. Silahın ağzındaki basınç, merminin burayı terk etmesinden sonra da belli bir mesafe için hızlanmasını sağlar. Değişik bir düzende, genişleyen gazların bir kısmının diğer yönde çıkması sağlanarak silahı etkileyen kuvvetler dengelenir. Mermi hızlarını ve gaz basınçlarını zaman ve merminin silah içindeki hareketine bağlı olarak ifade eden formüller geliştirilmiştir. Modern top mermilerinde yerçekimi ivmesinin 20.000-30.000 katları kadar ivme elde edilirken, yüksek gerilimler meydana gelir. Bu sebeple, iç balistik namlu gerilmesinin hesabını önemli bir konu olarak telakki eder. Silahta ortaya çıkan iç gerilmeler, aynı zamanda dışardan tatbik edilecek gecikmelerle önemli ölçüde azaltılır.

İç balistiğin diğer bir konusu da, silahın namlu içindeki spiral şeklindeki yiv ve setlerdir. Bu, uzun bir merminin dönerek hedefe ulaşmasına sebep olurken, yörüngesinin kararlı olmasını sağlar. Spiral yivler silah namlusunun eğimine bağlıdır. Düzgün olabileceği gibi, ağza doğru sıklaşabilir veya bunların bir çeşit birleşmesinden ibarettir.

3.2.3.3 Dış balistik

Mermi veya füzeye tesir eden atalet, yerçekimi ve hava tarafından tesir eden aerodinamik kuvvetlerin bilinmesi halinde, yörüngelerin hesabı önemli bir zorluk arz etmez. Ancak, aerodinamik kuvvetlerin bilinmesi oldukça zordur. Bir mermi, hava

direncini yenmek ve dengeli (stabil) uçuş yapmak için uçuş müddeti boyunca hedef noktasına doğru ilk çıkış pozisyonunda gitmek zorundadır. Eğer mermi pozisyonunu değiştirirse, hatta takla atarsa, bu uçuşun planlandığı gibi sonuçlanmamasına ve menziline düşmemesine sebep olur. Uçuş stabilizasyonunu sağlamak için iki metot vardır. Bunlar, kanatçık stabilizasyonu ve spin, dönme stabilizasyonudur. Kanatçık stabilizasyonunda, mermi üzerine monte edilmiş kanatcıklar merminin kendi ekseninde dönmeden gitmesini sağlarlar. Bu durum kanatçıklar üzerinde ortaya çıkan aerodinamik kuvvetler yardımıyla temin edilir. Spin stabilizasyonlu bir merminin ise sahip olduğu jirokobik dönme hareketinin bir sonucu olarak daima ilk hedef doğrultusu boyunca hareketi devam eder. Bu dönme hareketinin ataleti, doğru eksenden olacak sapmalara müsaade etmez (Yavaş 2008).

3.2.3.4 Hedef balistiği

Temel bilgilerin elde edilmesindeki güçlükler dolayısıyla balistiğin bu kolu, diğer dallar olan iç balistik ve dış balistikten geri durumdadır. Fakat Radyografi alanındaki gelişmeler ve yüksek sürat fotoğraf çağındaki hızlı gelişmeler bu konuya yardımcı olmuştur (Yavaş 2008).

Ancak alınan bilgilerin güvenilebilirliği konusu hala tartışıla gelmektedir. Bütün bilinen silah tipleri ve hedef şartlarında hedefin tahrib edilmesi aşağıdaki fiziki tesirlerle olmaktadır:

- ✓ Bomba, roket, harp başlığı, el bombası kullanıldığı durumlarda genellikle parçalanma etkisi veya küçük parçacıkların birbirlerinden farklı hareketleri sebebiyle,
- ✓ Karşı kütleyi delme ve sızma sonucunda parçalama sebebiyle,
- ✓ Su veya hava gibi akışkan bir ortam içerisinde büyük miktarda bir enerjinin ani olarak serbest kalmasının sebep olduğu infial hadisesiyle,
- ✓ Nispeten yüksek süratli sarsıntıların meydana getirdiği yıkma etkisiyle,
- ✓ Bir infilakın ateşi veya radyasyonu sonucu çıkan ısı sebebiyle,
- ✓ Yangın bombaları veya infilaklar sebebi ve çıkan yangınlar sebebiyle,
- ✓ Özellikle duman veya zehirli gazların kimyasal etkisiyle,

- ✓ Bakteriyolojik etkiyle,
- ✓ Radyasyon etkisiyle radyoaktivite. Bu tür hedef etkilerin analiz edilebilmesi ve değerlendirilebilmesi sonucu bu konuyla ilgili birtakım esaslar geliştirilmektedir.

Son yıllarda hedefe çarpan bir merminin meydana getirdiği etkiler üzerine bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda hedefte meydana gelen zararı ve silahın verimliliğini arttırmak için ilk çalışmalar kovanı büyütme şeklinde düşünülmüştür. Bununla birlikte, savaşlarda zırh ve uçakların kullanılması, zırh delici sistemlerin gelişimini beraberinde getirmiştir. Ayrıca, malzeme bilimindeki son yenilikler, çok yüksek basınçlar ile milisaniye aralığında gerçekleşen olayları ölçebilen cihazların bulunması ile hedef balistiğinin gelişimine imkân sağlamıştır.

Mermi, ateşli silahlar tarafından atılan delici, patlayıcı madde, kurşun anlamına gelmektedir. Küçük çaplı ateşli silahlar ile ağır ateşli silahların mermileri farklıdır. Tüfek, tabanca gibi küçük silahların mermisi çarpma etkisiyle hedefi deler. Büyük çaplı, ağır ateşli silahlar olan topların mermileri ise hedefi bulduğunda patlar.

3.2.4 Mermiler ve Sınıflandırılması

Ateşli silahların mermisi üç ana bölümden oluşur. Merminin uç bölümüne mermi çekirdeği denir. Silah ateşlenince mermi çekirdeği hedefe doğru fırlar. İkinci bölüm, sevk barutudur. Sevk barutu yandığı zaman meydana getirdiği basınçla mermiyi iterek namludan fırlatır. Üçüncü bölüme mermi kovanı denir. Tek yanı kapalı bir metal silindirik 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 veya 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 kurşundan yapıldığı için, hafif silahların mermileri kurşun olarak da adlandırılır. Fişeklerde mermi çekirdeği ile mermi kovanı bir bütündür

ve yalnızca sevk barutu ateşlendiğinde birbirinden ayrılır. Oysa top mermilerinde mermi çekirdeği ile kovan birbirinden ayrılabilir ve içindeki barut miktarı hedefin uzaklığına göre ayarlanabilir.

Barut, çok hızlı yanan bir maddedir. Yandığında ortaya çıkan gazların basıncı, ateşli silahlarda mermi için itici gücü oluşturur. Barut düşük seviyeli patlayıcılar grubuna girer. Yandığında sestem yavaş bir parlama ortaya çıkar. Bu sayede silahta barutun yanmasından oluşan basınç, mermiyi itecek kadar güç ortaya çıkarırken, namluya da zarar veremez. Barutun açık görüntüsü Resim 3.5’de verilmiştir.



Resim 3.6 Barut

Delme hızı yüksek, tahribatın az olduğu mermiler gömleklili, delme hızı düşük, tahribatın fazla olduğu mermiler ise gömleksiz mermilerdir. Gömleklili ve gömleksiz mermiler Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi kendi aralarında sınıflara ayrılmıştır.

Çizelge 3.2 Mermilerin sınıflandırılması (Yavaş 2008).

Mermi	
Gömleksiz Mermiler	Gömleklili Mermiler
Kurşun, yuvarlak burunlu	Metal kaplı
Kurşun, küt	Yumuşak uçlu
Kurşun, yarım yuvarlak	Gömleklili oyuk uç
	Yarım gömleklili, oyuk uç
	Gaz kontrollü, kurşun

Mermi giriş hızının düşük olduğu gömleksiz kurşun mermi genel amaçlı bir mermi olup üzeri yağlı bir madde ile sıvanarak kurşunun namlu iç yüzeyine sıvanmasına engel

olunur (Çalık 2004). Gömlek, mermilerde namlu aşınmasını azaltan, depolamada paslanmayı engelleyen ve hedefte delme gücünü arttıran bir unsurdur. Kurşunun namluya zararının azaltıldığı, giriş hızının yüksek tutulduğu mermi metal gömleklili bir mermidir. Yumuşak ucun çarpmanın etkisi ile açılarak, gerideki gömleğin üzerine sıvıdığı ve merminin genişleyerek giriş deliğinin büyümesine ve tahribatın artırmasına neden olduğu mermi ise yarım gömleklili bir mermidir.

Oyuk uçlu mermi havada hareket halinde iken oyuğun içine hava dolar ve bu hava mermi hedefe çarpınca serbest kalır. Çarpma anında mermi ucunun açılarak genişlediği ve parçalara ayrıldığı yarık uçlu mermide tahrip gücünün artması hedeflenmektedir. Resim 3.6'da görülen bazı mermi çeşitleri içerisinde yarım gömleklili ve oyuk uçlu mermiler yeterince hızlı olup fazla tahribat yapan en etkili mermilerdir (Çalık 2004).



Resim 3.7 Mermi çeşitleri

İnsan vücudunu silah ateşine karşı koruyacak vücut zırhlarının balistik dayanıklılığı için, minimum performans gereklilikleri ve test metotları oluşturulmaktadır.

Koruyucu bir yapının balistik dayanıklılığını belirlemede vuruş sonrası yapıda oluşan bozulmanın büyüklüğü ve yapının mermideki enerjiiyi absorbe etme miktarı olmak üzere iki parametre göz önüne alınır. İlk parametre merminin yapıyı delmediği (macun testi), ikincisi ise delmenin gerçekleştiği durumlarda belirlenir. Macun testinde koruyucu vuruş hızı ve düzlem dışı (enine) deformasyonun büyüklüğü birbiriyle ilişki kurularak balistik açıdan değerlendirilir. Diğerinde ise, mermideki enerji kaybı veya koruyucunun merminin enerjisini absorbe edebilme oranı tespit edilerek bir değerlendirme yapılır. Bu testlerin gerçekleştirilmesi için birçok teknik geliştirilmiştir (Temiz 2005).

3.2.5 Balistik ile İlgili Standartlar

Balistik koruyuculuğu ölçmek amacıyla National Institute of Justice (NIJ) ve NATO

çeşitli standartlar geliştirmiştir. Ayrıca bu konu ile ilgili Türk Standartları Enstitüsü tarafından da bir standart hazırlanmıştır. NIJ ve Alman standartlarında, kullanılan merminin kalibresi, tipi, ağırlığı ve hızı dikkate alınarak çeşitli koruma seviyeleri tanımlanmıştır. NATO tarafından yayımlanan STANAG 2920 ise fragment ile balistik koruma seviyesini ölçer (Temiz 2005).

Dünyadaki balistik koruyucu standartlara örnekler Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Dünyadaki balistik koruyucu standart örnekleri (Temiz 2005).

STANDART NO	STANDART ADI
MIL-STD-662 E	Department Of Defense Test Method Standart V50 Ballistic Test For Armor (Zırhlar İçin Balistik Testlerde Kullanılan V50 Standardı)
NIJ-STD-0101.04	Balistic Resistance of Personel Body Armor (Personel korumasında kullanılan malzemelerin balistik dayanımları.)
MIL-STD-662 F	Balistic Test For Armor (Zırh için balistik test)
STANAG 2920	Balistic Test Method For Personel Armor (Personel Korumasında Kullanılan Malzemelerin Balistik Test Metotları Dokümanı.)
TS 11164	Balistik Koruyucu Yelek

Bu çalışmada sıklıkla kullanılan standart Amerikan Ulusal Adalet Enstitüsü tarafından geliştirilmiş olan **NIJ-STD-0101.04** standardıdır. Bu standardın amacı, silah ateşine karşı korunmayı amaçlayan kişisel vücut zırhının balistik direnci için minimum performans gereklerini ve test yöntemlerini oluşturmaktır. Bu standart, etiketleme gereklerini, kabul kriterlerini, test mühimmatını, prosedürleri ve standart kapsamında yer alan diğer kalemleri anlatmaktadır.

Standardın kapsamı, sadece balistik direnç ile sınırlıdır; bu standart, değişik tipte

tehditler oluşturan, bıçakla veya keskin aletler ile yaralanmalar için geçerli değildir. (NIJ-STD 0101.04 2000)

- **Vücut Zırhının Seçimi**

Kolluk kuvvetlerinin idarecileri, altında çalışan personelin her bir görevinde vücut zırhını giymeleri konusunda gerekli her türlü çabayı göstermelidirler. Vücut zırhları, öncelikle tabanca saldırısına karşı koruma sağlama amacı ile üretilmiş olsalar da, trafik kazalarında (hem araba ve hem de motosiklet kazalarında) ciddi ve ölümcül yaralanmalara, hazırlıksız gidilen yerlerde uğradıkları fiziksel saldırıya ve bir dereceye kadar, bıçak saldırılarına karşı da koruma sağlamaktadır. Kolluk kuvvetlerinin ölüm istatistikleri Federal Araştırma Bürosu tarafından yıllık olarak düzenlenmektedir. Bu istatistikler analiz edildiği zaman, rapor edilen memur ölümlerinin çok büyük bir yüzdesinin, eğer memur zırh kullanıyor olsa önlenebileceğini göstermektedir. (NIJ-STD 0101.04 2000)

Vücut zırhı alınırken temel olarak, personelin maruz kaldıkları tehdit ve kendi hizmet silahların doğası dikkate alınmaktadır. O bölgede, sokakta kullanılan silahların neler olduğu bilgisi (el konulan silahlar, bu bilgiyi edinmek için iyi bir yoldur) çok önemlidir ve seçilen zırh, sokak tehdidine ve departmanın servis silahlarına karşı koruma yapacak şekilde seçilmelidir. Son on yılda, altı memurdan bir tanesi, kendi görev silahından yapılan ateş ile öldürüldü. Gövdenin tam olarak kaplanması kritik önem taşımaktadır çünkü vücut zırhı giyen memurlar arasındaki ölümler genellikle, memurun yan tarafından, ön ve arka paneller arasındaki açıklıktan giren mermiler sebebi ile olmuştur. NIJ Standardı – 0101.04 vücut zırhını, en düşükten en yüksek koruma seviyesine kadar sıralanacak şekilde, yedi değişik tehdit seviyesinde sınıflandırmaktadır.

2000 yılı itibari ile, tüm yıl boyunca, bir görev vardiyası esnasında giymek için uygun olan balistik dirençli vücut zırhları, tabanca tehditlerine karşı artan seviyelerde koruma sağlayan Tip I, IIA, II ve IIIA sınıflamasındaki zırhlardır. İlk olarak 1975 yılında NIJ gösterim projesi olarak ortaya çıkartılan Tip I vücut zırhı, her hangi bir memura gerekli olan minimum koruma seviyesi sağlamaktadır. Düşük hızlı 9 mm ve 40 S&W tehditlerinden korunma arayan memurlar için, Tip IIA vücut zırhı uygundur. Yüksek hızlı 357 Magnum ve yüksek hızlı 9 mm'lik tehditlere karşı korunmayı sağlamak için

memurlar genellikle Tip II vücut zırhını tercih etmektedirler. Tip IIIA vücut zırhı, mümkün olan en yüksek korumayı sağlar, yüksek hızlı 9 mm ve 44 Magnum'a karşı koruma sağlar. Yukarıda da belirtildiği üzere, her hangi bir durumda % 100 koruma mümkün değildir, ancak uygun bir vücut zırhının kullanımı, ölümcül yaralanma olasılığını azaltır. Vücut zırhı seçimi, bir ölçüde balistik koruma ile giyilebilirlik arasında bir denge kurulmasını gerektirir. Vücut zırhının ağırlığı ve büyüklüğü, sağladığı balistik koruma ile test orantılıdır; bu nedenle, koruma seviyesi arttıkça konfor azalır. Ajanslar, her bir memurun, vücut zırhının sağladığı koruma seviyesini ve sınırlarını bilmesini ve anlamasını temin etmelidir. Giyilmeyen vücut zırhı hiçbir koruma sağlamaz (NIJ-STD 0101.04, 2000).

Koruma seviyelerine göre mermi özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Koruma seviyelerini belirleyen mermi özellikleri (NIJ-STD 0101.04, 2000).

Koruma Seviyesi	Kullanılan Mermi	Atış Hızı (m/sn)	Çekirdek Ağırlığı (gr)
Seviye I (5m mesafeden)	0.38 special RN	329± 10	10.2
	.22 kalibre	322± 10	2.6
Seviye II-A (5m mesafeden)	0.357 mag, JSP	341± 10	10.2
	9mm FMJ	322± 10	8.0
Seviye II (5m mesafeden)	0.44 mag, JW	436± 10	10.2
	9mm FMJ	367± 10	8.0
Seviye III-A (5m mesafeden)	0.44 mag, SWC	436± 10	15.55
	9mm FMJ	436± 10	8.0
Seviye III (15m mesafeden)	7.62 mm FMJ	838± 10	9.7
Seviye IV (15m mesafeden)	36-60 AP	869± 10	10.8

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Malzeme Özellikleri

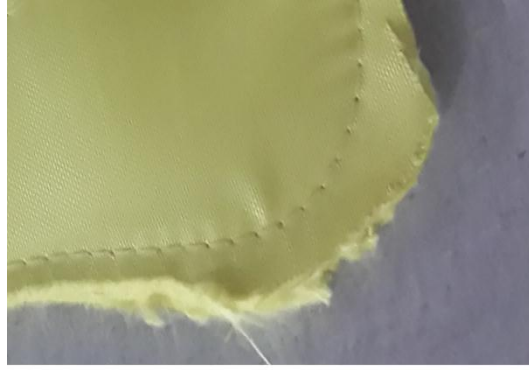
Testlerde kullanılan malzemelere ait özellikler sunulmuştur.

4.1.1 Aramid Kumaş

Aramid kumaş aşağıdaki özellikleri içermektedir.

- ✓ Malzeme % 100 aramid olacaktır. Doku 1/1 bez ayağı olacaktır.
- ✓ Kumaşın metrekare ağırlığı $450 \pm 20 \text{ g/m}^2$ 'dir.
- ✓ Kumaşta kullanılan reçine % 100 fenolik reçinedir.
- ✓ Kumaşta kullanılan reçine renksiz ve tek taraflı film tabakası halindedir.
- ✓ Kumaşın genişliği $100 \pm 2 \text{ cm.}$ 'dir.
- ✓ Kumaşın atkı çözgü sayısı 10 cm.'de en az 60 adettir.
- ✓ Satın alınacak kumaş ile imal edilen başlık balistik teste tabi tutulduğunda NIJ standartlarında III-A seviyesine uygun koruma sağlamaktadır.

Aramid kumaş örneği Resim 4.1 'de sunulmuştur.



Resim 4.1 Balistik testlerde kullanılan aramid kumaş.

4.1.2 Ultra yoğun moleküler yapıli polietilen kumaş (U.H.M.W.PE)

Ultra yoğun moleküler yapıli polietilen kumaş çok lifli dokusuz kumaş olup aşağıdaki özellikleri içermektedir.

- ✓ Malzeme cinsi poliamid iplikten yapılmış, kaplaması akriliktir.
- ✓ Kumaşın metrekare ağırlığı $260 \pm 10 \text{ g/m}^2$ 'dir.
- ✓ Kumaşın genişliği $160 \pm 4 \text{ cm}^2$ 'dir.
- ✓ Zırh kumaşı bir yönlü tabaka şeklinde yoğunluğu $0,900 \pm 0,05 \text{ g/m}^3$ 'tür.

- ✓ Kumaş imal edilmiş renginde beyazdır.
- ✓ Kumaşın tabakası, dokusuz tabaka şeklinde birbirine paralel olarak yatırılan ipliklerden müteşekkil katların oryantasyon ile çapraz yatırılması ile oluşturulmuş polietilen tabakadır.

Ultra yoğun moleküler yapılu polietilen kumaş örneği Resim 4.2’de sunulmuştur.



Resim 4.2 Ultra yoğun moleküler yapılu polietilen kumaş.

4.1.3 Kapalı Hücreli Polietilen Yüzdürücü Levha

Kapalı Hücreli tipte, yoğunluğu $33\pm 4 \text{ kg/m}^3$ olan (suda yüzme özelliği bulunan) malzemedir. Malzeme cinsi polietilendir. Bazı malzeme özellikleri;

- ✓ Çekme mukavemeti $0,25 \text{ N/mm}^2$ ‘dir.
- ✓ Basınç altında ezilme oranı % 5’dir.
- ✓ Levhanın % 50 ‘sinin sıkıştırılması için basınç altında gerilme değeri, 135 KPa ‘dır.

Kapalı hücreli polietilen yüzdürücü levha örneği Resim 4.3’de sunulmuştur.



Resim 4.3 Kapalı Hücreli Polietilen Yüzdürücü Levha.

4.1.4 Kordura Kumaş

Kordura kumaş aşağıdaki özellikleri içermektedir.

- ✓ Malzeme cinsi poliamid iplikten yapılmış, kaplaması akriliktir.
- ✓ Metrekare ağırlığı 365 ± 30 g/m² 'dir.
- ✓ Kopma mukavemeti; atkı yönünde 2400 N, çözgü yönünde 2800 N'dur.
- ✓ Yırtılma mukavemeti; atkı yönünde 440 N, çözgü yönünde 390 N'dur.
- ✓ Orijinal su geçirmezliği; 550 mm. su sütunu, yıkamadan sonra su

geçirmezliği; 350 mm. su sütunudur.

Kordura kumaş örneği Resim 4.4'de sunulmuştur.



Resim 4.4 Kordura Kumaş.

4.1.5 Yağmurluk Kumaşı

Yağmurluk kumaşı aşağıdaki özellikleri içermektedir.

- ✓ Malzeme cinsi %100 polyesterdir.
- ✓ Atkı en az 25 adet/cm.'dir.
- ✓ Çözgü en az 35 adet/cm.'dir.
- ✓ Metrekare ağırlığı $65(-5, +20)$ g/m² 'dir.
- ✓ Kopma mukavemeti; atkı yönünde 390 N, çözgü yönünde 680 N'dur.
- ✓ Yırtılma mukavemeti; atkı yönünde 18 N, çözgü yönünde 18 N'dur.
- ✓ Su geçirmezliği; 250 mm. su sütunudur.
- ✓ Su iticilik özelliği 3 (üç)'dür.

Yağmurluk Kumaş örneği Resim 4.5'de sunulmuştur



Resim 4.5 Yağmurluk Kumaş.

4.1.6 Mühimmat Özellikleri

Bu tez çalışmasında farklı atış testleri için standartlar tanımlanmıştır.

İlk olarak atışlarda kullanılan şarapnel parçacıkları, NATO Standardı STANAG 2920’de A3 şarapneli olarak tanımlanmış olan ve boyutları ile Şekilleri farklı 5,385 mm çapında 1,102 gr (17 grain) malzemedir.

Bununla birlikte, 9 mm. tam metal kaplamalı mermi NIJ STD-0101.04 Seviye III-A testlerinde kullanılmıştır. Kullanılan merminin resmi Resim 4.6’da gösterilmiştir.



Resim 4.6 9 mm FMJ makineli tabanca mermisi.

Yapılan çalışmada kullanılan diğer mermi çeşidi ise Resim 4.7’de resmi gösterilen ve NIJ STD-0101.04 Seviye III-A testlerinde kullanılan 7,62 mm. tam metal kaplamalı mermidir.



Resim 4.7 Mermi ve parçacık testlerinde kullanılan 7.62 mm FMJ mermi.

7,62 ve 9 mm. tam metal kaplamalı mermilerin özellikleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 7.62 mm. ve 9 mm. Full metal jacket (FMJ) mermi teknik özellikleri

KULLANILAN MERMİ	9 mm FMJ	7.62 mm FMJ
Mermi Çekirdek Çapı	9.08 mm.	7.82 mm.
Mermi Çekirdek Ağırlığı	7.43 gr.	9.50 gr.
Mermi Kovan Ağırlığı	3.8 gr.	11.84 gr.
Mermi Uzunluğu	15 mm.	28.6 mm.
Barut Miktarı	0.41±0.005 gr.	2,768±0.005 gr.

4.2 Malzeme Özellikleri

4.2.1 Mermilerin teste hazırlanması

Standart olarak temin edilen mermilerin, kovan, çekirdek ve barutları birbirinden ayrılmıştır. Daha sonra barutlar bir kapta birleştirilmiştir. Kovan ve barut Resimleri Resim 4.8’de sunulmuştur.



Resim 4.8 Boş kovan ve birleştirilen barutların görüntüsü.

Daha sonra; ayrılan barutlar huni yardımıyla ayarlanarak hassas terazilerde Resim 4.9'deki gibi tartılır ve daha önceki tecrübi değerlere göre kovanlara yerleştirilir. Bu barut değerlerine göre mermi hızları ayarlanır.



Resim 4.9 Barutların hazırlanmasında kullanılan hassas terazi.

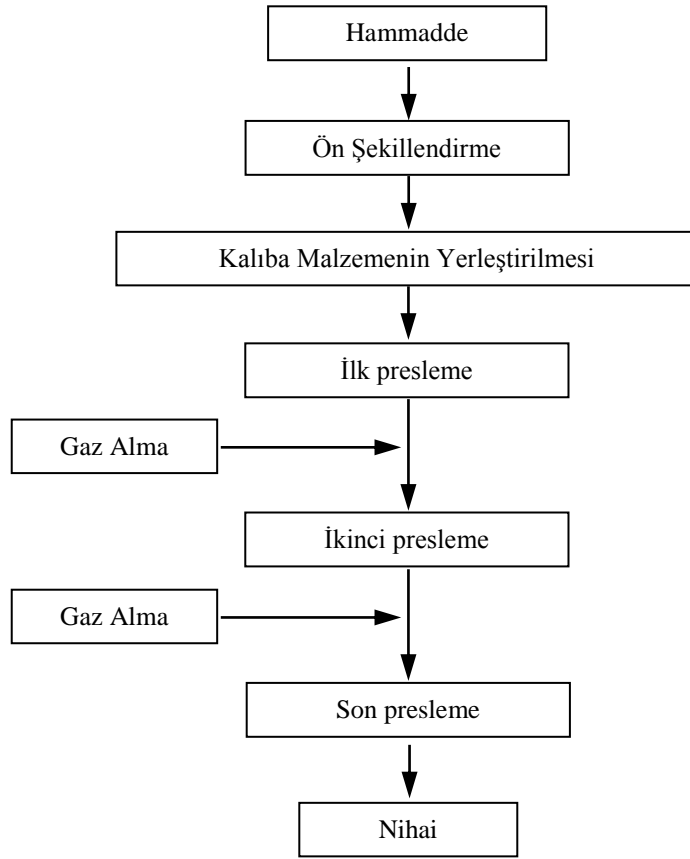
4.2.2 Testlerde kullanılan numunelerin üretim prosesi

Bu çalışmadaki deneyler esnasında yumuşak zırh olarak Aramid numuneler ile Dyneema firması ürünü olan UHMW-PE UD-HB2 ile oluşturulan plakalar kullanılmıştır.

4.2.2.1 Polietilen Plaka Üretimi

Balistik deneylerde kullanılan polietilen dokuma kumaş esaslı kompozit plakaların üretim prosesi aşağıdaki Şekilde sunulmuştur. Buna göre ön Şekillendirme yapılan malzeme daha sonra ısı ve basınç altında preslenmek suretiyle ürün haline gelmektedir. Bu esnada hammadde üzerinde bulunan reçineden dolayı açığa çıkan gazların alınma işlemi iki periyot halinde yapılmaktadır (Özek, 2004).

Polietilen plakanın imalat proses şeması, hammadde aşamasından (kumaş halinden) sert plaka haline gelinceye kadar işlem sırasına göre Şekil 4.1 'de sunulmuştur.



Şekil 4.1 Polietilen dokuma kumaş esaslı kompozit plaka imalat proses şeması (Temiz 2005).

İlk önce Resim 4.10'daki gibi kumaş serim ve kesim işlemleri yapılmıştır. Kumaş istenilen boyutlarda ölçüm yapılarak, cetvel yardımıyla işaretlenir. İşaretlenen kumaşın altına 9 kat daha kumaş serilerek istenilen boyutlarda 10 kat kumaş kesilmiş olur.



Resim 4.10 Polietilen kumaş serim ve kesimi

İkinci aşamada kumaş Şekil 4.1’de belirtilen proses yardımıyla Resim 4.11’de gösterilen 600 tonluk hidrolik preslerde basılarak plaka haline getirilmiştir.



Resim 4.11 Kompozit kumaşların üretiminde kullanılan hidrolik pres.

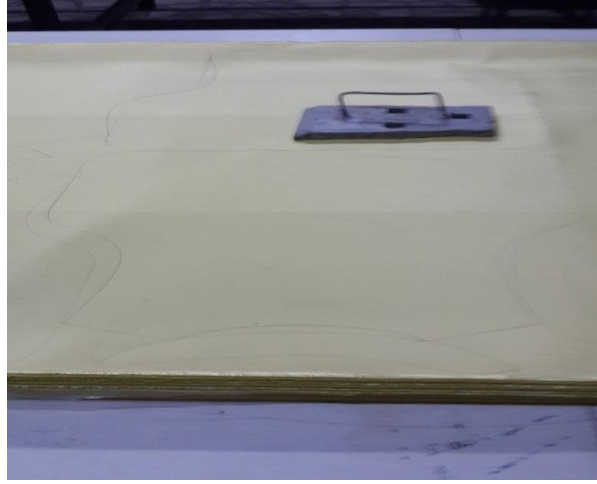
Preslerde basılarak hazırlanan kumaşlar Resim 4.12’de gösterilen plaka haline gelmiştir.



Resim 4.12 Üretilen polietilen plaka numunesi

4.2.2.2 Aramid kumaş birleştirme

Daha önce özellikleri verilen aramid kumaşlar önce belirli katlarda Resim 4.13’deki gibi kesim masasına serilmiştir. Daha sonra şablonlarda ve cetvel yardımıyla çizilmiştir.



Resim 4.13 Kumaş serim ve çizim işlemi

28 kata kadar olan numuneler 40x40 cm. ebadında çizilmiştir. Diğer numuneler ise şablon yardımıyla Resim 4.14'deki gibi vücut zırhı şeklinde şablon yardımıyla çizilmiştir.



Resim 4.14 Vücut zırhı biçiminde yumuşak zırh

Çizilen şablonlar Resim 4.15'de resmi verilen dikey kesim makinası yardımıyla kumaş kesimi yapılır.



Resim 4.15 Dikey kesim makinası ile kumaş kesimi.

Daha sonra; kumaşlar numunelerde belirtilen kat sayılarına göre (16 kat-28 kat arası) üst üste getirilerek Resim 4.16’da gösterilen branda makinasında dikilerek birleştirilmiştir. Son olarak da yapılacak numunelere göre yağmurluk kumaşı veya kordura kumaş ile kaplanarak teste tabi tutulmuştur.



Resim 4.16 Yumuşak zırh numunelerinin dikilmesi.

4.2.3 Deney Düzenegi ve parametreler

Balistik testler özel olarak kurulmuş ve korumalı bir alanda yapılmıştır. Resim 4.12’de balistik testlerin yapıldığı laboratuvar verilmiştir. Deney düzenegi NIJ-STD 0101.04 standardına göre tasarlanmıştır

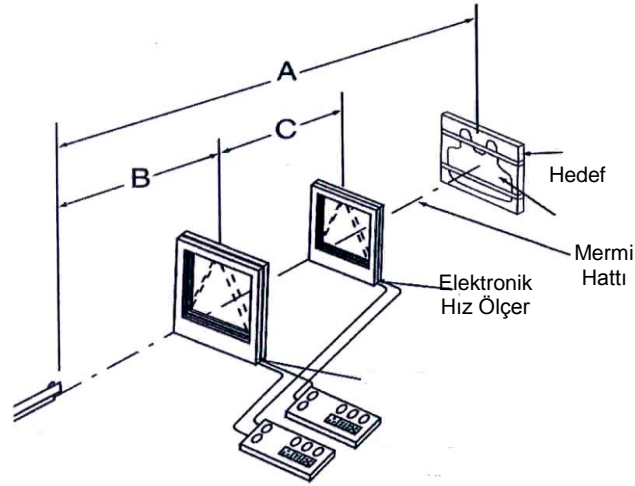
Resim 4.17 ile resmi verilen NIJ-STD 0101.04’e göre deneylerin yapıldığı balistik test laboratuvarı aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır;

1. Atış namlusu (ileri-geri hareket sehpalı),
2. Mermi Hızı Ölçme Tüneli,
3. Hedef Bağlama Aparatı’ndan oluşmaktadır.



Resim 4.17 Balistik performans test laboratuvarı (NIJ-STD 0101.04).

NIJ-STD 0101.04'e göre hazırlanan deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Mermi testinde kullanılan test düzeneği (NIJ-0101.04).

Mermi testinde kullanılan test düzeneği Şekilde gösterilmiştir. Test düzeneğinde Oehler Research Model ORM 55 model hızölçer kullanılacaktır. Aralarında 1 m mesafe bulunan iki ışık perdesi arasından geçiş süresi ölçülerek merminin hızları tespit edilecektir. Testler esnasındaki sabit namlular kullanılarak mermilerin zırha dik olarak isabet etmeleri sağlanacaktır. Balistik performansı ölçme amacıyla normal oda sıcaklığında şartlandırılmış deney numunelerine test yapılacaktır. Balistik performans testi sırasında kullanılacak olan macunun şartlandırılması, balistik performans testi

sonrası oluşacak deformasyonun ölçümlerini yapmayı sağlayacaktır. Şartlandırılmış macun Resimleri Resim 4.18’de sunulmuştur.



Resim 4.18 Şartlandırılmış macun.

Mermi testlerinde aramid ve polietilenden imal edilmiş ve şartlandırılmış numunelere G3 Piyade tüfeği. namlusu kullanılarak 7,62 mm çapında ve MP5 namlusu kullanılarak 9 mm çapında tam metal kaplama (FMJ) mermiler ile atışlar yapılacaktır. 5m ve 15 m mesafeden numunelerin ön yüzüne kenar noktalarından en az 50 mm uzakta ve numune üzerinde yer alan daha önceki bir vuruş noktasından veya bir delikten en az 80 mm uzakta olacak şekilde yapılacaktır. Plakalara mermilerin barut imla hakları ayarlanarak değişik hızlarda atışlar yapılmıştır

Tüm bu işlemlerde National Institute of Justice (NIJ STD 0101.04) standardı referans olarak alınacaktır. NIJ Standard-0101.04’e göre mermiye karşı korumada balistik dayanım kriterinin ölçütü atış yapılan numune arkasına yerleştirilen ve insanı simule eden macunun üzerinde meydana gelen çöküntü miktarının 44 mm’nin altında olması gerekmektedir.

Test yapılacak numunelerin bir kısmı havuzda 10 dakika bekletmek sureti ile şartlandırılmıştır. Şartlandırılmayı müteakip atışlar yapılarak malzemelerin suya karşı dayanımları incelenmiştir. Bu numunelerin şartlandırılmasına ait Resimler Resim 4.19 ve Resim 4.20’de gösterilmiştir.



Resim 4.19 Aramid ve polietilen plakannın suda şartlandırılması



Resim 4.20 Kılıfın içindeki numunelerle Şartlandırılması ve kompozit malzemeleri kılıfa yerleştirilmesi

4.2.4 Balistik Testlerin Yapılışı

✓ STANAG 2920 standardına göre V50 Testleri

Atışlarda NATO Standardı STANAG 2920’de A3 şarapneli olarak tanımlanmış olan ve 5,385 mm çapında 1,102 gr (17 grain) şarapnel kullanılır. Belirli bir sayıda atış yapıldıktan sonra, V50 değeri tam atışlardan en düşük değerli 3 tam delme atış ve en yüksek değerli 3 kısmi delme atışın aritmetik ortalaması alınarak bulunur. Ortalama almak için kullanılan hızların en yükseği ile en düşüğü arasındaki farkın en fazla 40 m/s olması istenmektedir. Aramid kumaşlarının farklı katsayılarında üst üste dikilmek suretiyle birleştirilmesiyle numuneler elde edilmiştir. Söz konusu numunelere STANAG 2920’ye göre 1,1 gr’lık fragmentlerle atışlar yapılmış ve sonuçlar raporlandırılmıştır.

✓ NIJ 0101.04 Standardında Seviye IIIA Testleri

Balistik test atışlarında kompozit yelek zırh plakasının dışa bakan yüzüne, NIJ 0101.04 standardına göre IIIA koruma seviyesinde $436 \pm 9,1$ m/sn hızlarda 5 metre mesafeden atış yapıldığında delinmemesi ve arka kısma yerleştirilmiş olan macun üzerinde en fazla 44 mm deformasyon (çöküntü) olması istenir.

✓ NIJ 0101.04 Standardında Seviye III Testleri

Balistik test atışlarında kompozit yelek zırh plakası ve aramidden oluşan plakaya, NIJ 0101.04 standardına göre III koruma seviyesinde 838 ± 10 m/sn hızlarda 15 metre mesafeden atış yapıldığında delinmemesi ve arka kısma yerleştirilmiş olan macun üzerinde en fazla 44 mm deformasyon (çöküntü) olması istenir. Plakanın test düzeneğine yerleştirilmesi Resim 4.21’de gösterilmiştir.



Resim 4.21 Plakaların test düzeneğine yerleştirilmesi.

4.2.4 Balistik Test Numuneleri

- V50 tespitinde kullanılacak yumuşak zırh kumaş numuneleri

Balistik testler, standartlara uygun olarak balistik test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. 16, 18, 20, 22, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 ve 34 kat olarak dikilmek suretiyle birleştirilmiş aramid kumaş numunesi kullanılmıştır. Atış yapılan plakalar macunun ön

tarafına gelecek şekilde sabitlenmiştir. Mermi testleri 23 °C sıcaklık (normal oda şartları) ve %50 bağıl nem oranına sahip ortamda gerçekleştirilmiştir.

- **9 mm. FMJ (Full Metal Jacket) Parabellum Test numuneleri**

Balistik yeleklerde kullanılacak soft balistik numunelerinin NIJ 0101.04 standartlarına göre III-A seviyesinde dayanımının ölçülmesi için 2 adet şartlandırılmış numuneye 5 m. mesafeden 9 mm FMJ Parabellum mermisi ile atışlar yapılmıştır. Bu numuneler;

- ✓ 34 Kat 35x40 cm. aramid numunesi (Kılıfsız) : 10 dakika suda bekletildi ve daha sonra 10-30 dakika arasında atışlar yapıldı.
- ✓ 34 Kat 35x40 cm. aramid numunesi (Üzerinde siyah yağmurluk kumaşı ve kordura kumaş kılıfı var) : 10 dakika suda bekletildi ve daha sonra 10-30 dakika arasında atışlar yapıldı.

- **7.62 mm FMJ mermisi ve G3 namlusu ile yapılan test numuneleri**

Balistik yeleklerde kullanılacak sert (Hard) balistik numunelerinin NIJ 0101.04 standartlarına göre III seviyesinde dayanımının ölçülmesi için 15 m. mesafeden **7.62 mm. FMJ mermisi ve G3 namlusu** ile atışlar yapılmıştır. Bu testlerde kullanılan kompozit kumaşlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 NIJ-STD 0101.04 standartlarında III seviyesine göre test edilecek numuneler

Deney no	Malzemenin adı	Açıklamalar
1	45 kat polietilen plaka + 34 kat aramid	
2	50 kat polietilen plaka + 34 kat aramid	
3	60 kat polietilen plaka + 34 kat aramid	
4	65 kat polietilen plaka + 34 kat aramid	
5	65 kat polietilen plaka + 34 kat aramid numune	10 mm yüzdürücü kullanılmış
6	65 kat polietilen plaka + 34 kat aramid numune	Şartlandırılmış

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

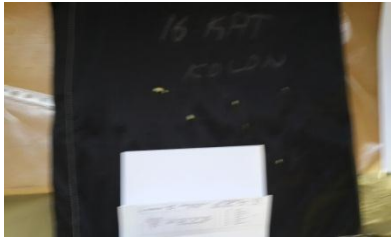
Aramid numuneleri 16 ile 34 arasındaki farklı tabaka sayılarına göre atış testleri gerçekleştirilmiştir.

5.1 V50 Test Sonuçları

STANAG 2920 Standardına göre yapılan test sonuçları aşağıda sunulmuştur. V50 hızı, %50 ihtimalle numunenin delinebileceği hızı ifade eder ve en az 620 m/s olması hedeflenmektedir. V50 hızı hesaplanırken delinmiş olan üç atış ile delinmemiş üç atışın aritmetik ortalaması hesaplanır. 16 kattan oluşan numuneden başlanarak V50 hızı 620'ye ulaşana kadar katsayısı artırılarak testler yapılmıştır.


Çizelge 5.1'de 16 kat aramid kumaşın V50 test sonuçları verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi 16 kat numunede V50 hızı 620 m/s'ye ulaşmadığı için katsayısı 2 kat daha artırılarak test yapılmıştır. Atış testlerin çok fazla değişken olduğundan dolayı (nem, kumaşın atkı çözgü durumu, fragmanın numuneye çarptığı nokta, vb.) 408 m/s'de delinirken, 447 m/s'de malzeme parçacığı tutmuştur. Ayrıca V50 testlerinde çöküntü miktarının hesaplanmasına gerek olmadığından Çizelgede delindi/delinmedi olarak görülmektedir.

Çizelge 5.1 16 kat aramid V50 sonuçları

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 16 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	408	Delindi	430
		2	333	Delinme Yok	
		3	441	Delinme Yok	
		4	437	Delindi	
		5	447	Delinme Yok	
		6	440	Delindi	
		7	407	Delinme Yok	


Çizelge 5.2’ de görüldüğü gibi 18 kat numunede V50 hızı 426,1 m/s olduğundan (620 m/s’ye ulaşmadığı için) katsayısı 2 kat daha artırılarak test yapılmıştır. V50 hızı hesaplanırken en yüksek hız ile en düşük hız arasındaki fark 40 m/s olması gerektiğinden dolayı ilk iki atış hesaplamaya katılmamıştır.

Çizelge 5.2 18 kat aramid V50 sonuçları

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 18 kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	394	Delinme Yok	426,1
		2	383	Delinme Yok	
		3	410	Delinme Yok	
		4	447	Delindi	
		5	429	Delindi	
		6	441	Delinme Yok	
		7	407	Delinme Yok	
		8	423	Delindi	


Çizelge 5.3’ de görüldüğü gibi **20** kat numunede V50 hızı 460,1 m/s olduğundan (620 m/s’ye ulaşmadığı için) katsayısı 2 kat daha artırılarak test yapılmıştır. İlk altı atış gerekli şartları sağladığından dolayı daha fazla atışa ihtiyaç duyulmamıştır. Bu atışta da daha yüksek atışlarda delinme gözlenmezken daha yüksek atışlarda delinme olmuştur.

Çizelge 5.3 20 kat aramid V50 sonuçları.

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 20 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	457	Delindi	460,6
		2	468	Delinme Yok	
		3	458	Delinme Yok	
		4	466	Delinme Yok	
		5	450	Delindi	
		6	465	Delindi	


22 kat numunede V50 hızı 533,8 m/s olduğu Çizelge 5.4' de görülmüştür. 620 m/s'ye ulaşmadığı için katsayısı 2 kat daha artırılarak test yapılmıştır. Bu testte de ilk üç atışta mermi hızının düşük gelmesinden dolayı barut miktarı artırılarak atışlar yapılmış ve V50 hızı hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4 22 kat aramid V50 sonuçları.

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 22 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	442	Delinme Yok	533,8
		2	492	Delinme Yok	
		3	495	Delinme Yok	
		4	533	Delindi	
		5	548	Delindi	
		6	546	Delinme Yok	
		7	511	Delinme Yok	
		8	521	Delinme Yok	
		9	544	Delindi	


Çizelge 5.5' de 24 kat numunenin V50 hızı 544,5 m/s olduğundan (620 m/s'ye ulaşmadığı için) katsayısı 2 kat daha artırılarak testlere devam edilmiştir. Barut miktarı elle ayarlandığı ve bir çok değişkenden etkilendiği için ilk iki atıştaki hız hesaplamaya katılırken, 3 ve 4. atışlarda hızlar düşük geldiği için hesaplamaya katılmamıştır.

Çizelge 5.5 24 kat aramid V50 sonuçları

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 24 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	536	Delinme Yok	544,5
		2	528	Delindi	
		3	485	Delinme Yok	
		4	477	Delinme Yok	
		5	532	Delinme Yok	
		6	559	Delindi	
		7	544	Delinme Yok	
		8	568	Delindi	


Çizelge 5.6' da görüldüğü gibi **26** kat numunenin V50 hızı 574,5 m/s olduğundan (620 m/s'ye ulaşmadığı için) test başarısız olmuştur. Fakat 620 m/s sınırına yaklaşıldığı için katsayısı 2 kat yerine 1 kat artırılarak 27 katlık numune ile testlere devam edilmiştir.

Çizelge 5.6 26 kat aramid V50 sonuçları

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 26 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	564	Delinme Yok	574,5
		2	554	Delindi	
		3	579	Delindi	
		4	566	Delinme Yok	
		5	594	Delindi	
		6	590	Delinme Yok	

Çizelge 5.7' de **27** kat numunenin V50 hızı 557,3 m/s olarak tespit edilmiştir. 26 katlık numuneye göre daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi daha önceki testlerde de bahsedilen farklı değişkenlerden olabilir. V50 hızı 620 m/s'ye ulaşmadığı için katsayısı 1 kat daha artırılarak test yapılmıştır.

Çizelge 5.7 27 kat aramid V50 sonuçları

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 27 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	580	Delindi	557,3
		2	608	Delindi	
		3	548	Delinme Yok	
		4	540	Delinme Yok	
		5	578	Delindi	
		6	556	Delindi	
		7	542	Delinme Yok	

28 kat numunenin V50 hızı 592 m/s olduğu Çizelge 5.8’de görülmektedir. Bu testte V50 hızının tespit edilmesi 11 atışta ancak gerçekleştirilebilmiştir. V50 hızı artmasına rağmen hedeflenen 620 m/s sınırına ulaşamadığı için katsayısı 1 kat daha artırılarak test yapılmıştır.

Fakat piyasada örnekleri bulunan kompozit gizli yelekler incelendiğinde, V50 hızının 550 m/sn. civarında olduğu görülmüştür. 28 katlık numune mermi tehdidini de karşılayabilirse Resim 5.1’de örnekleri gösterilen kompozit gizli yeleklerin imalatında kullanılabilir.



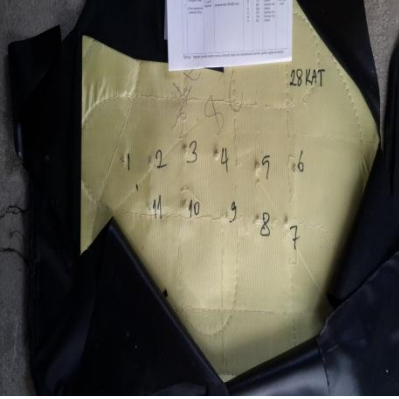
Resim 5.1 Gömlek altı yelek veya kompozit gizli yelek

Buna ilave olarak Resim 5.2’de örnekleri bulunan mayından koruyucu elbiseler incelendiğinde; parçacık tesirine karşı V50 hızlarının 550 m/sn’den başladığı ve genellikle mermi tehdidine karşı koruma arandığı gözlemlenmiştir. 28 katlık numune doğrulama testleri yapıldığı takdirde bu amaçla da kullanılabilir.




Resim 5.2 Mayın elbisesi örneği

Çizelge 5.8 28 kat aramid V50 sonuçları

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 28 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	668	Delindi	592
		2	657	Delindi	
		3	643	Delindi	
		4	632	Delindi	
		5	642	Delindi	
		6	701	Delindi	
		7	567	Delinme Yok	
		8	588	Delindi	
		9	570	Delinme Yok	
		10	574	Delinme Yok	
		11	621	Delindi	


Çizelge 5.9'da 29 Kattan oluşan numunede ilk 3 atışta delinme gerçekleştiği için V50 hızının 596 m/sn'den daha düşük olacağı değerlendirilmiştir. Çünkü delinme olmaması için barut miktarı azaltılarak atış hızlarının düşürülmesi gerekmektedir. Dolayısıyla V50 hızı 620 m/sn'den daha düşük olacağı için, V50 hızı tam olarak tespit edilmeden, testler 30 katlık numune ile devam ettirilmiştir.

Çizelge 5.9 29 kat aramid V50 sonuçları

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 29 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	596	Delindi	V50≤596
		2	620	Delindi	
		3	624	Delindi	

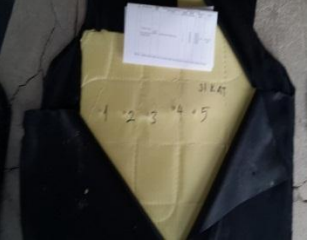
Çizelge 5.10' da 30 katlık numunede V50 hızı 620 m/sn olmasına rağmen, sınırlarda olduğu için katsayısı 1 kat daha artırılarak 31 katlık numune teste tabi tutulmuştur.

Çizelge 5.10 30 kat aramid V50 sonuçları

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 30 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	634	Delinme Yok	620
		2	629	Delindi	
		3	599	Delindi	
		4	603	Delinme Yok	
		5	624	Delindi	
		6	631	Delinme Yok	

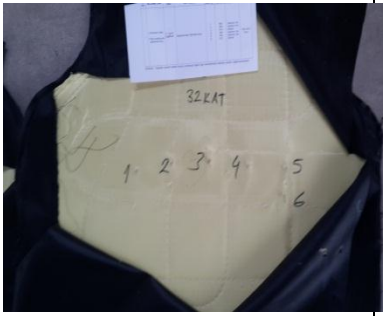
Çizelge 5.11' de 31 katlık numunede V50 hızı 600 m/sn olmuştur. 30 katta 620 olan V50 hızı katsayısı 1 kat daha artmasına rağmen 20 m/sn düşmüştür. Katsayısı 1 kat daha artırılarak 32 katlık numuneye test yapılmıştır.

Çizelge 5.11 31 kat aramid V50 sonuçları

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 31 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	621	Delindi	600
		2	626	Delindi	
		3	588	Delinme Yok	
		4	639	Delindi	
		5	609	Delindi	


Çizelge 5.12' de 32 katlık numunede V 50 hızı 610 m/sn olmuştur. 33 katlık numune ile teste devam edilmiştir.

Çizelge 5.12 32 kat aramid V50 sonuçları

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 32 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	606	Delinme Yok	610
		2	593	Delinme Yok	
		3	614	Delindi	
		4	584	Delinme Yok	
		5	604	Delinme Yok	
		6	612	Delindi	


Çizelge 5.13'de 33 katlık numunede V50 hızı 623 m/sn çıkmış ve 620 m/sn sınırını geçmiştir. Fakat söz konusu insan hayatı olduğu için, daha emniyetli olması açısından katsayısı artırılarak testlere devam edilmiştir.

Çizelge 5.13 33 kat aramid V50 sonuçları

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 33 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	639	Delindi	623
		2	613	Delindi	
		3	610	Delindi	
		4	599	Delindi	
		5	588	Delindi	
		6	621	Delindi	
		7	624	Delinme Yok	
		8	616	Delindi	
		9	598	Delinme Yok	
		10	629	Delinme Yok	


Çizelge 5.14’ de 34 katta V50 hızı 620 m/sn sınırını aşarak 645 m/sn olmuştur. Fakat V50 hızı testinde, yapılış şeklinden dolayı, her zaman aynı katsayısında aynı sonucun çıkması beklenmez bu nedenle sonucun doğrulanması için 34 katlık numuneye 1 test daha yapılması uygun görülmüştür.

Çizelge 5.14 34 kat aramid V50 sonuçları

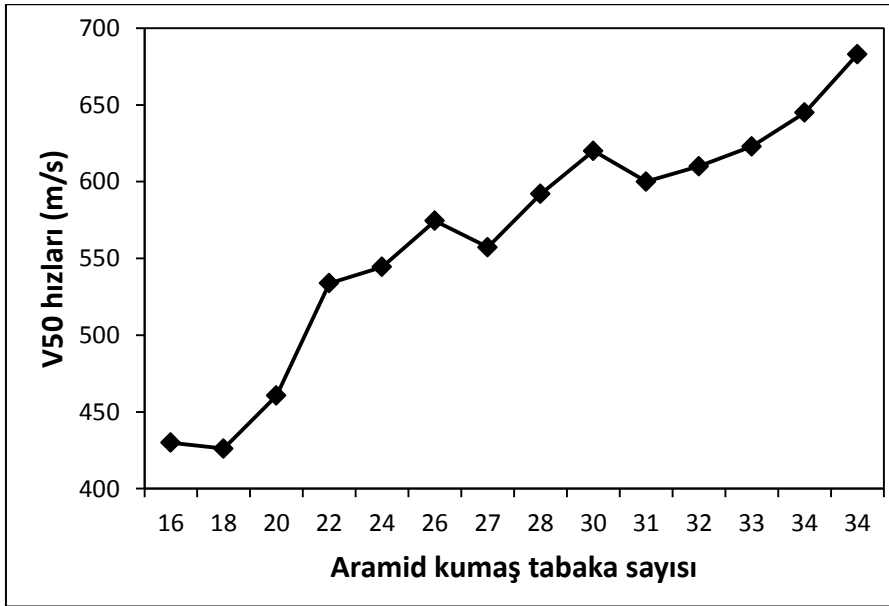
MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 34 Kat 	1,1 gr.'lık fragment	1	707	Delindi	645
		2	685	Delindi	
		3	699	Delindi	
		4	664	Delindi	
		5	710	Delindi	
		6	648	Delinme Yok	
		7	624	Delindi	
		8	648	Delinme Yok	
		9	626	Delinme Yok	
		10	588	Delinme Yok	
		11	617	Delinme Yok	
		12	660	Delindi	

Çizelge 5.15’de 34 kattan oluşan 2. Numunede de 620 m/sn olan V50 hızı sınırının çok üstüne çıkarak 685 m/sn. seviyesine ulaşmıştır. Dolayısıyla, doğrulama testinde de başarılı olmuş ve balistik kompozit ürünler için kullanılacak yumuşak zırh kısmında STANAG 2920 standardına göre 34 kata karar verilmiştir. Ancak nihai ürün aşamasında yapılacak testlerin sayısının artırılması gerekir. V50 hızı her test için aynı sonucu vermemekte olup, test sayısı artırılarak istatistiki örneklerin artırılması uygun bir hal tarzı olacaktır.

Çizelge 5.15 34 kat aramid V50 sonuçları (Doğrulama Testi)

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ	SONUÇ (V50) (m/sn)
Aramid zırh 40x40 cm 34 Kat (2.) 	1,1 gr.'lık fragment	1	707	Delindi	685,3
		2	668	Delinme Yok	
		3	640	Delinme Yok	
		4	699	Delindi	
		5	690	Delindi	
		6	674	Delinme Yok	
		7	674	Delinme Yok	

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi 16 kat ile 34 kat arasındaki aramidlere, STANAG 2920’ye göre yapılan testlerde 422 ve 683 m/sn arasında değişen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.1 Yumuşak zırh katsayısı ve V50 hızları arasındaki ilişki.

Resim 5.3’de resmi gösterilen tipte balistik koruyucu yeleklerde yumuşak zırh olarak 34 katlık aramid numunenin kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Fakat ihtiyaca göre, koruma seviyesinin (STANAG 2920’ye göre V50 hızı) düşürülmesi halinde daha düşük koruma seviyelerinde yelekler kullanılabilecektir.



Resim 5.3 Balistik koruyucu yelek örnekleri.

5.2 9 mm FMJ Parabellum (MP5 namlusu) Testi

Yelekte kullanılacak yumuşak zırh için V50 testinde 34 kata karar verilmiştir. Ancak aynı numunenin NIJ 0101.04 standardına göre III-A koruma seviyesine göre $436 \pm 9,1$ m/sn hızlarda, 5 metre mesafeden atış yapıldığında delinmemesi ve arka kısma yerleştirilmiş olan macun üzerinde en fazla 44 mm. deformasyon (çöküntü) olması gerekmektedir. Testlerin yapıldığı ortam sıcaklığı 22°C olup, nem ise %50'dir. Bu malzemeler her türlü ortamda kullanılacağından dolayı 34 katlık numuneler 10 dakika suda bekletilip Çizelge 5.16'da belirtilen atışlar yapıldı.

Çizelge 5.16 34 kat aramid NIJ 0101.04 standardına göre III-A testi

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ (mm.)
Aramid zırh 35x40 cm.34 Kat, 10 dakika suda bekletildi. 10-30 dakika içerisinde atış yapıldı. Herhangi bir kılıf yok	9x19 mm MP5 FMJ mermisi	1	434	35
		2	428	34
		3	439	38
		4	434	29
		5	428	29
		6	436	31

Şartlandırılmış 34 kat aramid üzerine yapılan bu atışlar neticesinde delinme görülmemiştir. Çöküntü miktarları ise en düşük 29 mm. ve en yüksek 38 mm. olarak ölçülmüştür. Bu miktar standartlarda bulunan 44 mm.'nin altında olduğu için test başarılıdır. Atış yapılan numunenin görüntüsü Resim 5.4'de verilmiştir.



Resim 5.4 34 kat aramidin atış sonrası görüntüsü.

Atış yapılan numunelerin görüntüsü ve çöküntü miktarının kumpas yardımıyla ölçülmesi Resim 5.5'de gösterilmiştir.



Resim 5.5 Atış sonrası numunenin görüntüsü ve çöküntü ölçümü

Daha sonra kordura kılıfa konulan 34 kat aramidin test sonuçları Çizelge 5.17'de verilmiştir. Çöküntü miktarları 30 ile 34 mm. arasında değişmiştir. Delinme olmayıp,

çöküntü miktarı 44 mm.'nin altında olduğu için bu test de başarılıdır. Atış yapılan numunenin görüntüsü Resim 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.17 Kılıflı 34 kat aramid NIJ 0101.04 standardına göre III-A testi

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ (mm.)
Aramid zırh 35x40 cm. 34 Kat, 10 dakika suda bekletildi. 10-30 dakika içerisinde atış yapıldı. Yağmurluk kumaşı ve kordura kılıf kullanıldı.	9x19 mm MP5 FMJ mermisi	1	427	33
		2	434	34
		3	435	33
		4	444	30
		5	434	31
		6	435	31



Resim 5.6 Kılıflı 34 kat aramidin atış sonrası görüntüsü

Yapılan 2 testte de delinme olmayıp çöküntü 44 mm'nin altında olduğu için 34 katlık numune NIJ 0101.04 standardına göre IIIA koruma seviyesine göre başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Şartlandırılmış 34 Kat aramid numune testinde mermi çekirdeğinin numuneye çarptığı andaki kinetik enerjileri Çizelge 5.18'de sunulmuştur. Kinetik enerji hesaplanması aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$E_k = \frac{1}{2} m V_m^2 \quad V_m = \text{Çarpma anındaki hız}$$

m= Mermi çekirdeğinin kütlesi

E_k =Kinetik enerji


Çizelge5.18 65 Kat polietilen ve 34 Kat aramid numunenin enerji sönümlenmesi.

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	KİNETİK ENERJİ (Joule)
Aramid Plaka 35x40 cm 34 Kat (2.)	9x19 mm MP5 FMJ mermisi	1	427	1354,7
		2	434	1399,5
		3	435	1405,9
		4	444	1464,7
		5	434	1399,5
		6	435	1405,9

5.3 7.62 mm. FMJ (Tam Metal kaplama) Testi


Numunelere NIJ 0101.04 standardında, III koruma seviyesine göre, 838 ± 10 m/sn hızlarda, 15 metre mesafeden atış yapıldığında delinmemeli ve arka kısma yerleştirilmiş olan macun üzerinde en fazla 44 mm. deformasyon (çöküntü) olmalıdır. Testlerin yapıldığı ortamda sıcaklık 22°C , nem ise %50'dir. Yapılan ilk atış sonuçları Çizelge 5.19'dadır. 45 Kat polietilen ve 34 Kat aramidden oluşan numune ilk atışta delinmiş ve sonuç başarısız olmuştur.

Çizelge 5.19 45 kat polietilen ve 34 kat aramidin NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesi testi

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ (mm.)
45 Kat polietilen +34 Kat aramid 	7,62 x 51 mm. G3 FMJ mermisi	Ön	829	Delindi


45 Kat polietilen ve 34 Kat aramidden oluşan numune başarısız olduğundan dolayı (sert plaka) 5 kat daha eklenerek atışlara devam edilmiş ve Çizelge 5.20'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.20 50 kat polietilen ve 34 kat aramidin NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesi testi

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ (mm.)
50 Kat polietilen +34 Kat aramid 	7,62 x 51 mm G3 FMJ mermisi	Ön	836	Delindi

50 Kat polietilen ve 34 Kat aramidden oluşan numune sınırlarda yapılan (838 ± 10 m/sn) ilk atışta delindiği için test başarısız olmuş ve 10 kat daha eklenerek Çizelge 5.21'deki sonuçlar elde edilmiştir


Çizelge 5.21 60 kat polietilen ve 34 kat aramidin NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesi testi

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ (mm.)
60 Kat polietilen +34 Kataramid 	7,62 x 51 mm G3 FMJ mermisi	Ön	834	38
			829	38
			830	38
			840	36
			832	35
			831	38

Delinme olmayıp, çöküntü miktarları 44 mm'nin altında olduğu için başarılıdır. Fakat emniyetli bir sonuç elde edilmesi için 5 kat daha artırılarak atışlara devam edilmiştir.


Atış sonuçları Çizelge 5.22'de sunulmuştur.

Çizelge 5.22 65 kat polietilen ve 34 kat aramidin NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesi testi

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ (mm.)
65 Kat polietilen +34 Kat aramid 	7,62 x 51 mm G3 FMJ mermisi	Ön	832	29
			830	30
			838	34
			826	34
			829	34
			834	35

Diğer atışlara göre, daha başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Sonucun doğrulanması için yine aynı katsayıdaki numuneye 10 mm.'lik yüzdürücü malzeme de eklenerek bir test daha yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.23'de sunulmuştur.

Çizelge 5.23 65 kat polietilen, 34 kat aramid ve 10 mm.'lik yüzdürücü malzemenin NIJ-0101.04 standardına göre III seviyesi testi

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ (mm.)
65 Kat polietilen +34 Kat aramid+10 mm. yüzdürücü 	7,62 x 51 mm G3 FMJ mermisi	Ön	842	35
			824	30
			839	34
			835	34
			839	32
			843	36

Yüzdürücü malzeme de eklenen, 65 kat polietilen ve 34 kat aramid oluşan bu numune de başarılı olmuştur. Kullanılan yüzdürücü maddenin balistik etkisi olmamasına rağmen, yumuşak bir malzeme olduğu için vücuda gelebilecek etkiyi azalttığı değerlendirilmiştir. 65 kat polietilen ve 34 kat aramid oluşan bu konfigürasyonun

başarılı olduğuna karar verilmiştir. Ancak bu malzemeler her şartta kullanılacağı değerlendirilerek 10 dakika suda bekletilerek bir test daha yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.24’de verilmiştir.

Çizelge 5.24 65 kat polietilen, 34 kat aramidden oluşan malzemenin NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesi testi

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	ÇÖKÜNTÜ (mm.)
65 Kat polietilen +34 Kat aramid (Şartlandırılmış)	7,62 x 51 mm G3 FMJ mermisi	Ön	841	34
			837	34
			837	33
			838	33
			839	33
			845	33

10 dakika suda bekletilerek şartlandırılan bu numunede delinmemiş ve çöküntü miktarı da 44 mm.’nin altında çıkmış ve test başarılı olmuştur. Numunenin atış yapılmadan sonra ön ve arkadan resmi Resim 5.7’de gösterilmiştir.



Resim 5.7 Şartlandırılmış numunenin atış öncesi ve sonrası görüntüsü.

Şartlandırılmış 65 Kat polietilen ve 34 Kat aramid numune testinde mermi çekirdeğinin numuneye çarptığı andaki kinetik enerjileri Çizelge 5.25’de sunulmuştur.

Çizelge5.25 65 Kat polietilen ve 34 Kat aramid numunenin enerji sönümlemesi

MALZEME CİNSİ	MERMİ CİNSİ	VURUŞ NOKTASI	MERMİ HIZI (m/sn)	KİNETİK ENERJİ (Joule)
65 Kat polietilen +34 Kat aramid (Şartlandırılmış)	7,62 x 51 mm G3 FMJ mermisi	Ön	841	6719,2
			837	6655,4
			837	6655,4
			838	6671,3
			839	6687,2
			845	6783,2

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, NIJ 0101.04 ve STANAG 2920 standartlarına göre balistik testler yapılmış ve sonuçları Çizelgelerle sunulmuştur. Özellikle; NIJ 0101.04 standardına göre III-A seviyesinde koruma sağlaması ve STANAG 2920'ye göre belirli V50 hızlarının üzerinde olması öngörülen yumuşak zırhlar (aramid malzemeden elde edilmiş) üzerinde çalışılmıştır. Daha sonra da NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesinde koruma sağlaması öngörülen polietilen malzemeden imal edilmiş sert zırh plakaları üzerine atışlar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Aramid malzemeden elde edilmiş yumuşak zırhların katsayılarına göre V50 hızlarının tespiti için testler yapılmıştır. yapılan çalışmalarda; 16 kat ile 34 kat arasındaki zırhlara, yapılan testlerde 422 ve 683 m/sn arasında değişen sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre aramidin katsayısı arttıkça V50 hızları genellikle artmaktadır. V50 hızı ile aramidin katsayı artışı arasındaki dalgalanmaların nedeni; barutun elle ayarlanması ve mermi hızlarının sıcaklık, nem gibi farklı değişkenlerden etkilenmesidir.

STANAG 2920'ye göre balistik kompozit yeleklerde V50 hızı olarak öngörülen değer 620 m/sn'dir. Bu değer ilk olarak 30 katta elde edilmiştir. Fakat sınırda olduğu için katsayısı artırımına gidilmiştir. 31 katta V50 hızı 600 m/sn, 32 katta V50 hızı 610 m/sn, 33 katta V50 hızı 623 m/sn ve 34 katta ise V50 hızı 645 m/sn olarak tespit edilmiştir. Daha sonra doğrulama yapılması için 34 katta bir test daha yapılmış, V50 hızı 683 m/sn çıkmış ve kompozit yelekte kullanılabilen yumuşak zırhın 34 kat olabileceği mütalaa edilmiştir.

Balistik kompozit yelek olarak 34 kata karar verildikten sonra, NIJ 0101.04 standartlarına göre III-A seviyesinde koruma sağlaması hususu incelenmiştir. Bu konuda;

- Herhangi bir kılıf kullanılmayan aramid numune 10 dakika suda bekletilip atış yapılmıştır. En büyük çöküntü miktarı 35 mm. olmuş ve tam delinme gerçekleşmemiştir. Standartlarda en yüksek çöküntü miktarı 44 mm. olduğundan NIJ 0101.04 standartlarına göre III-A seviyesinde koruma sağladığı belirlenmiştir.

- Daha sonra, aramid kumaş, kordura ve yağmurluk kumaşı ile kaplanmış ve 10 dakika suda bekletilmiştir. Tam delinme olmamış ve en yüksek çöküntü miktarı 34 mm. olmuştur. Dolayısıyla, bu testte de numunenin NIJ 0101.04 standartlarına göre III-A seviyesinde koruma sağladığı belirlenmiştir.

Yukarıda 34 kat aramid numunenin STANAG 2920'ye göre 620 m/sn'nin üzerinde koruma sağladığı ve NIJ 0101.04 standardına göre III-A seviyesinde koruma sağladığı tespit edilmiştir. Bunun ilave olarak; balistik koruyucu özelliği bulunan yeleklerin genellikle NIJ 0101.04 standardına göre III seviyesinde koruma sağladığı, nadiren de tehdidin yüksek olduğu yerlerde farklı özelliklerde zırhlar kullanılarak (bor- karbür veya seramik zırhlar vb.) IV seviyesinde koruma sağladığı görülmüştür. Bu çalışmada ise III seviyesinde koruma sağlayan polietilen plakalar üzerinde çalışmalar yapılmıştır;

- 34 kat aramid ve **45** kat polietilen plaka üzerine atışlar yapılmış, 829 m/sn hızda delinerek başarısız olmuş,
- 34 kat aramid ve **50** kat polietilen plaka üzerine atışlar yapılmış, 836 m/sn hızda delinerek başarısız olmuş,
- 34 kat aramid ve **60** kat polietilen plaka üzerine atışlar yapılmış, delinme olmamış, fakat çöküntü miktarları (III seviyesinde maksimum 44 mm. olmalı) atışların hepsinde 38 mm. civarında geldiğinden dolayı plakanın daha emniyetli olması için 5 kat daha polietilen kumaş eklenerek atışlar yapılmış,
- 34 kat aramid ve **65** kat polietilen plaka üzerine atışlar yapılmış, delinme olmamış, maksimum çöküntü miktarı 35 mm. olduğundan 65 kata karar verilmiş,
- Testin doğrulanması için; 34 kat aramid ve **65** kat polietilen plakaya üzerine 10 mm. yüzdürücü malzeme eklenerek bir test daha yapılmış ve yine olumlu sonuç alınmış,
- Fakat test sonuçları incelendiğinde yüzdürücü malzemenin balistik koruma noktasında katkı sağlamadığı değerlendirilmiş, ancak yumuşak malzeme olduğu için, plakadaki çöküntü miktarından dolayı personele gelecek etkiyi azaltabileceği öngörülmüş,
- Daha sonra 34 kat aramid ve 65 kat polietilen 10 dakika suda bekletilip atış yapılmış ve emniyetli olduğu belirlenmiştir. Söz konusu malzemenin kötü hava koşullarında (yağmur vb.) da kullanılabilirliği görülmüştür.

Dolayısıyla; testlerin tekrar sayılarının arttırılması halinde; balistik koruyucu yeleklerde 34 kat aramid ve 65 kat polietilen plaka kullanılabilir. Kompozit gizli yelek veya gömlek altı yelek olarak adlandırılan yeleklerde incelendiğinde NIJ 0101.04 standartlarına göre III-A seviyesinde koruma sağladığı görülmüştür. Buna göre; 34 kat aramid kullanılan numunenin söz konusu yeleklerde kullanılabilirliği kıymetlendirilmiştir. Bu yelekler; güvenlik görevlileri, önemli devlet adamları tarafından kullanılmaktadır.

Dünyada farklı ülkelerde örnekleri olan mayın elbiseleri incelendiğinde, dış kumaş olarak genellikle yanması geciktirilmiş kumaş (nomex kumaş vb.) kullanıldığı, içlerinde kullanılan zırhların ise parçacık tesirine göre koruması seviyesinin STANAG 2920'ye göre 576 m/sn' den başladığı görülmektedir. Buna göre, mayın elbiselerinde yanması geciktirilmiş kumaşın içine;

- Yapılan teste göre V50 hızı 592 olan 28 kat aramid kumaş eklenerek; STANAG 2920'ye göre 576 m/sn.'lik tehdide karşı koruma sağlanabilecek,
- Karşılaşılabilecek tehditin artması halinde aramid kumaş kat sayısı arttırılabilecek,
- Parçacık tesirinin yanında, mermi tehdidine (NIJ 0101.04'e göre III-A) karşı da koruma istenirse 34 kat aramid numune kullanılabilir.

Bazı terör örgütlerinin bomba olaylarını gizlemek için çöp kutularını kullanmaktadır. Bu nedenle, patlamadan oluşacak parçacık tesiri ve basınç etkisini azaltmak için bomba bidonları geliştirilmiştir. Piyasada bulunan benzer ürünler incelendiğinde, 600 m/sn'lik V50 hızlarına karşı koruma sağladıkları tespit edilmiştir. Aramid kumaş üzerinde yapılan testlere göre, 30 katın üzerinde bulunan katsayılarındaki numuneler bu amaçla kullanılabilir.

Topluma açık herhangi bir yerde bir patlayıcı tespit edildiğinde, bomba imha uzmanları ve görevliler gelene kadar bombadan oluşacak parçacık tesiri ile blast etkisini azaltmak için bomba battaniyesi adı malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeleri özellikleri incelendiğinde NIJ 0101.04 koruma standardına göre III-A seviyesinde ve STANAG 2920'ye göre 650 m/sn. koruma sağladığı görülmüştür. Aramid kumaş üzerine yapılan

testlerde 34 katlık numunenin III-A seviyesinde koruduğu, ancak V50 testlerinde 685 ve 645 m/sn.'lik sonuçlar çıkmıştır. Dolayısıyla 34 katın üzerindeki numunelerin (yapılacak ilave testlerle) bu amaçla kullanılabilceği değerlendirilmiştir.

Tüm büro, ofis ve yaşam alanlarında gelebilecek balistik tehditlere karşı balistik perde olarak adlandırılan balistik perdeler kullanılmaktadır. Balistik perde örnekleri incelendiğinde NIJ 0101.04 koruma standardına göre III-A seviyesinde ve STANAG 2920'ye göre 350 m/sn. koruma sağladığı görülmüştür. Bu nedenle yapılan testlere göre 34 kat aramid numune her iki tehdidi de durdurabildiği için bu amaçla kullanılabilir. Ayrıca istenilen herhangi bir kumaş ile de kaplanarak, görselliğin de sağlanabileceği kıymetlendirilmektedir.

İç güvenlik hareketleri, operasyonel faaliyet ve özel koruma görevlerinde kullanılmak üzere hazırlanan açılabilir kalkan çantalar tasarlanmıştır. Bu çantalar kapalı hali ile çanta izlenimi verir ve bünyesinde bulunan cepler sayesinde evrak taşımaya müsaittir. Koruma seviyeleri incelendiğinde, NIJ 0101.04 koruma standardına göre III-A seviyesinde koruma sağladığı görülmüştür. 34 kattan oluşan aramid numune bu amaçla da kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abu Talib, A.R., Abbud, L.H., Ali, A, Mustapha, F. (2012). Ballistic impact performance of Kevlar-29 and Al₂O₃ powder/epoxy targets under high velocity impact. *Materials and Design*, **35**: 12–19.
- Agarwal B.D., Broutman L.J. (2006). Chandrashekhara K. Analysis and Performance of Fiber Composites, John Wiley & Sons, 3. Edition, New Jersey, USA.
- Altan, E., Kıyak, M., Çakır, O. (1997). Metal Matrisli Kompozitlerin İşlenebilirliği. 9. Denizli Malzeme Sempozyumu, 8-10 Mayıs, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 341-348.
- Aran, A. (1990). Elyaf takviyeli karma malzemeler, İ.T.Ü. Yayını, 1420: 95.
- Aran, A. (1997). Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Alanında Yeni Gelişmeler. MAMKON'97, I. Makina Mühendisliği Kongresi, İstanbul, 4-6 Haziran, 368-372.
- Arcasoy, O. (2006). Kompozit sektör raporu. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
- Briscoe, B.J., Motamedi, F. (1992). The ballistic impact characteristics of aramid fabrics: the influence of interface friction. *Wear*, 158(1-2): 229-247.
- Briscoe, B.J., Motamedi, F. (1990). Role of interfacial friction and lubrication in yarn and fabric mechanics. *Text Res J*, 60(12): 697-708.
- Buytoz, S., Yıldırım, M. (2002). Metal Matriksli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemi. 9. Denizli Malzeme Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 8-10 Mayıs, 349-357.

- Candan, C., Akdemir A. (2004). Hafif silahlara karşı kompozit zırh tasarımı ve terminal balistik özelliklerinin incelenmesi. 10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, 14-16 Nisan, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Candan, C. (2007). The Examination Of Terminal Ballistic Qualifications Of High Density Polythene (UHMW-PE) Armor Plaque Which Are Produced With Pressing And Without Pressing Against Small Arms. Proceedings of 8th International Fracture Conference, İstanbul, 7-9 November, 176-184.
- Candan, C., Akdemir, A., Önal G. (2003). Hafif Silahlara Karşı İmal Edilen Para-Aramid Kompozit Zırh Malzemesinin Balistik Özellikleri. 6. International Fracture Conferans, Selçuk Üniversitesi, Konya, 525-530.
- Candan, C. (1997). Ultra Yoğun Moleküler Yapılı Kompozit Başlığın İmalatı, Balistik ve Teknik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Carillo-Baeza, J.G., Gamboa-Castellanos R.A, Flores Johnson E.A., Gonzales Chi P.I. (2012). Ballistic Performance of thermoplastic composite Laminates made from aramid woven fabric and polypropylene matrix. Polimer Testing, 31: 512-519.
- Cheeseman, B.A., Bogetti, T.A. (2003). Ballistic impact into fabric and compliant composite laminates, Composite Structures, 61: 161-173.
- Çalık, M. (2004). Zırh Tasarımında Kullanılan Farklı Geometriye Sahip Kompozit Kabukların Balistik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Çolakoğlu, M., Soykasap, Ö., (2008)Hafif Silahlara Karşı Zırh Yapımında Kullanılan Polimer Matrisli Kompozitlerin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi. 106M104 nolu proje raporu, Afyonkarahisar.

- Dingenen, J.V. (1994). Balistik korumada yeni bir çığır: Dyneema. Savunma ve Havacılık, 3(94): 83.
- Harel, H., Marom, G., Kenig, S. (2002). Delamination controlled ballistic resistance of polyethylene/polyethylene composite materials. Applied Composite Materials, 9: 33-42.
- Lee, Y.S., Wetzal, E.D., Wagner, N.J. (2003), The ballistic impact characteristics of Kevlar® woven fabrics impregnated with a colloidal shear thickening fluid, Journal of Material Science, 38: 2825-2833.
- Karahan, M., Ulcay, Y. (1994). UHMWPE Spectra lifleri ve kompozit yapılarda kullanımları. Tekstil Maraton, 4(1):17-33.
- Karahan, M., Kus, A., Eren, R. (2008). An investigation into ballistic performance and energy absorption capabilities of woven aramid fabrics. International Journal of Impact Engineering, 35: 499-510.
- Kim S.J., Goo N.S. (1997). Dynamic contact responses of laminated composite plates according to the impactor's shapes. Composite Structure, 65(1): 83-90.
- Lee S.M., Cheon J.S., Im Y.T. (1999). Experimental and numerical study of the impact behavior of SMC plates. Composite Structure, 47: 551-661.
- Mitrevski, T., Marshall, I.H., Thomson, R., Jones, R., Whittingham, B., (2004). The Effect of Impactor Shape on the Impact Response of Composite Laminates. Composite Structures, 67: 139-148.
- NIJ STD 0101-04. (2001). Ballistic Resistance of Personnel Body Armor, U.S. Department of Justice, Office of Justice Programs, National Institute of Justice, Washington.

- Olçay, Y., Akyol, M., Gemci, R. (2002). Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metodlarının Etkisinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık fakültesi, 7(1): 93-116.
- Olçay, Y., Akyol, M., Gemci, R. (2002). Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metodlarının etkisinin incelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 7(1): Bursa
- Onuk, E., Odabaşı, Y., İnel, M., (1993). A Report On The Evaluation Of Grp Boatbuilding Methods Employed In The Manufacture Of The Egyptian Minehunter.
- Onuk, E. (1994). Kompozit İmalat Konferans, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Özek, T. (2005). Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Philips N. L.,1989, Design with Advance Composite Materials, Springer-Verlag, The Design Council, Great Britain Younossi O., Kennedy M., Graser J. C I., 2001, Military Airframe Costs The Effects of Advanced Materials and Manufacturing Processes, Project Air Force, RAND, Pittsburg, USA
- Philips N. L., Design with Advance Composite Materials, Springer-Verlag, The Design Council, Great Britain Younossi O., Kennedy M., Graser J. C I., 2001.
- Smith William, F. (2001). Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- STANAG 2920. (2003) Balistic Test Method For Personel Armor, Brussels, Belgium.

- Şahin, Y. (2000). Kompozit malzemelere giriş. Gazi Üniversitesi, Seçkin Yayıncılık, Birinci baskı, Ankara.
- Temiz, S., An investigation about ballistic fabrics and test methods, 3-95, 2005.
- Thanomsilp, C., Hogg P.J. (2003). Penetration impact resistance of hybrid composites based on commingled yarn fabrics. *Composites Science and Technology*, 63: 467-482.
- Yang, H.H. (1993). Kevlar Aramid Fiber. John Wiley&Sons Ltd., England.
- Yavas, M.O. (2008). Hafif silahlara karşı bireysel savunma amaçlı kompozit alzeme tasarımı ve balistik dayanımı. Yüksek Lisans Tezi, Konya Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Konya.
- Wambua, P. Vangrimde, B., Lomov S., Verpoest I. (2007). The response of natural fibre composites to ballistic impact by fragment simulating projectiles. *Composite Structures*, 77(2): 232-240.
- Zhang, C., Sheng, J.F., Ma, C.A., Sumita, M. (2005). Electrical and damping behaviors of CPE/BaTiO₃/VGCF composites. *Materials Letters*, 59: 3648 – 3651.
- Zhang, G.M., Batra R.C., Zheng, J. (2007). Effect of frame size, frame type, and clamping pressure on the ballistic performance of soft body armor. *Composites Part B: Engineering*, 39(3): 476-489.

İNTERNET KAYNAKLARI

1. https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/.../488423867_kompozitler.ppt, 29.09.2013
2. <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index2.html>, 8.12.2013
3. <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index2.html>, 11.12.2013
4. <https://web.deu.edu.tr/ansys/sayac8.php?id=39>, 09.10.2013

ÖZGEÇMİŞ

- Adı Soyadı** : Salih ALARÇİN
- Doğum Yeri ve Tarihi** : İstanbul, 1984
- Yabancı Dili** : İngilizce
- İletişim (Telefon/e-posta)** : salihalarcin28@gmail.com
- Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)**
- Lise** : Haydarpaşa Anadolu Lisesi, 2002
- Lisans** :Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği,
2009
- Yüksek Lisans** : Afyonkocatepe Üniversitesi, 2013
- Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl** : Milli Savunma Bakanlığı, 2010-2014
- Yayınları (SCI ve diğer)** : -