



**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KURŞUNGEÇİRMEZ KUMAŞLARDA
LOKALİZE OLMUŞ ISININ YAYILMASI**

YASEMİN PERU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAHRAMANMARAŞ
HAZİRAN, 2009**

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KURŞUNGEÇİRMEZ KUMAŞLARDA
LOKALİZE OLMUŞ ISININ YAYILMASI**

YASEMİN PERU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kod No :

Bu Tez 16/06/2009 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.

.....
Yrd. Doç.Dr. Remzi Gemci
DANIŞMAN

.....
Doç.Dr. Ahmet Tutuş
ÜYE

.....
Yrd. Doç.Dr. Muharrem İmal
ÜYE

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Süleyman TOLUN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma K.S.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Daire Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

Proje No:2008/4-13YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
İÇİNDEKİLER.....	I
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ÖNSÖZ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XI
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Balistik Koruyucu Malzemeler.....	2
1.1.1.Sert (Hard) Koruyucular	2
1.1.1.1.Cam Lifleri	2
1.1.1.2.Metal Malzemeler	2
1.1.1.3.Seramikler	3
1.1.2.Yumuşak (Soft) Koruyucular	4
1.2. Kompozit Malzemeler	6
1.2.1. Kompozit Malzemelerin Yapısı.....	6
1.2.1.1.Bağlayıcılar (Matrisler).....	6
1.2.1.1.1. Termoset Reçineler	6
1.2.1.1.1.1. Epoksi Reçineler	6
1.2.1.1.1.2. Polyester Reçineler	7
1.2.1.1.1.3. Fenolik Reçineler	7
1.2.1.1.2. Termoplastikler	8
1.2.1.1.3. Kolloidal Silika.....	8
1.2.1.2. Güçlendiriciler (Bağlayıcı Elemanlar):	10
1.2.1.2.1. Bor.....	10
1.2.2. Kompozit Üretim Prosesinde Temel İşlemler	13
1.2.2.1. Emdirme	13
1.2.2.2. Yatırma.....	13
1.2.2.3.Birleştirme.....	13
1.2.2.4. Katılaştırma	13
1.2.3.Kompozit Üretim Teknikleri	14
1.2.3.1.Yatırma Tekniklerine Göre Sınıflandırma	14
1.2.3.1.1.Islak Yatırma	14
1.2.3.1.2.Pre-Empregne (Prepreg).....	14
1.2.3.2.Kalıplama Yöntemlerine Göre Sınıflandırma	15
1.3.Balistik Koruyucu Kumaşlarda Kullanılan Lifler	15
1.3.1.Poliamid Lifleri.....	16
1.3.1.1. Aramid Lifleri.....	16
1.3.1.1.1. Kevlar Lifleri	19

1.3.1.1.2. Twaron Lifleri.....	21
1.3.1.1.3. Technora Lifleri.....	23
1.3.2. Yüksek Performanslı Polietilen Lifleri.....	23
1.3.2.1.Dyneema Lifleri	25
1.3.2.2. Spectra Lifleri	28
1.3.2.3. Tensylon Lifleri.....	29
1.3.3.Tam Aromatik Polyester Lifleri (Vectran)	30
1.3.4. PBO Lifleri.....	31
1.3.4.1. Zylon	32
1.3.5. PIPD (M5) Lifleri.....	33
1.3.6. Karbon Lifi.....	34
1.4. Balistik Korumanın Temeli	34
1.4.1. Balistik Darbe Mekanizması	34
1.4.2.Balistik Darbe Esnasında Gerçekleşen Enerji Transferi.....	36
1.4.3.Balistik Performansı Etkileyen Mekanizmalar	37
1.4.3.1. Malzeme Özellikleri.....	37
1.4.3.2. Kumaş Yapısı	39
1.4.3.3. Mermi Geometrisi.....	40
1.4.3.4. Mermi Hızı	42
1.4.3.5. Kat Sayısı.....	43
1.4.3.6. Sürtünme	44
1.4.3.7. Malzemenin Tutulma Sınır Koşulları.....	46
1.5.Balistik Koruyuculuğun Test Edilmesi.....	47
1.5.1.NIJ 0101.04'e Göre Koruma Seviyeleri:.....	47
1.5.2.NIJ'e Göre Koruyuculuğun Seviyesini Belirleyen Mermiler:	48
1.5.2.1. Seviye I (22 LR; 380 ACP).....	48
1.5.2.2. Seviye IIA (9 mm; 40 S&W)	48
1.5.2.3. Seviye II (9 mm; 357 Magnum).....	48
1.5.2.4. Seviye IIIA (Yüksek Hızlı 9 mm; 44 Magnum)	48
1.5.2.5.Seviye III (Tüfekler)	48
1.5.2.6. Seviye IV (Zırh Delici Tüfek)	48
1.5.2.7.Özel Tip	48
1.5.3.NIJ 0101.04'ün Uygulaması:	49
1.5.4.Stanag 2920	50
1.6. Bu Çalışmanın Amacı.....	50
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	52
3. MATERYAL VE METOT	56
3.1. Materyal	56
3.1.1.Balistik Yapı Oluşturmada Kullanılan Malzemeler	56
3.1.2. Testlerde Kullanılan Silahlar ve Mermiler	58
3.2. Metot.....	59
3.2.1.Balistik Yapıların Elde Edilmesi.....	59

3.2.2.Balistik Yapıların Test Edilmesi	61
3.2.3.Sonuçların Değerlendirilmesi	61
3.2.4. Çekme ve Eğilme Testi	61
3.2.5. Isı İletim Katsayısının Ölçülmesi	62
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	63
4.1. Varyans Analizi ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi	64
4.2. Bağımsız İki Örnek t Testi.....	70
4.3. Yapılara Ait Deformasyonun Şekli.....	70
4.4. Yapılara Ait Çekme ve Eğilme Testi	71
4.5. Yapılara Ait Lamda (λ) Değerleri.....	72
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ	83

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

ÖZET

**KURŞUNGEÇİRMEZ KUMAŞLARDA
LOKALİZE OLMUŞ ISININ YAYILMASI**

YASEMİN PERU

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Remzi Gemci

Yıl: 2009 Sayfa: 83

Jüri : Yrd. Doç. Dr. Remzi GEMCİ
: Doç. Dr. Ahmet TUTUŞ
: Yrd. Doç. Dr. Muharrem İMAL

Bu çalışmada, kurşun geçirmez kumaşlarda lokalize olan ısının yayılması deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için temel olarak kevlar ve hibrit kumaş kullanılmıştır. Hibrit kumaş % 50 kevlar ile %50 karbonun birleşiminden oluşmaktadır. Test çalışmalarında her biri 25 katmandan meydana gelen 10 farklı balistik yapı oluşturulmuştur. Bu yapıların bazılarında lif-lif ya da lif-mermi sürtünmesi sonucunda meydana gelen ısının yayılması veya tutulması için bakır ve bor katılmıştır. Oluşturulan bu yapıların üzerinde çapraz ve eşit aralıklarla belirlenen noktalara 9 mm'lik mermilerle hızları sırasıyla 326 m/s ve 388 m/s olan CZ ve MP 5 tabancaları ile iki farklı hızda atışlar yapılmıştır. Bu atışlar sonucunda kumaşlarda meydana gelen tahribatlar gözlenmiş ve tahribat sonucunda oluşan çaplar ölçülmüştür. Bu ölçümlerin sonucunda balistik yapıda delinme, lif kopması, matriks kırılması, delaminasyon meydana geldiği ve hedefin arka yüzünde koni formunda yapının oluştuğu gözlenmiştir. Oluşturulan yapıların ve mermi hızlarının deformasyona önemli derecede etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Borlar yardımıyla ısının tutulduğu yapıda deformasyonun diğerlerine nazaran daha az olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Epoksi Reçine, Kevlar kumaş, Hibrit Kumaş, Bor

**UNIVERSITY OF KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF TEXTILE ENGINEERING**

MSc THESIS

ABSTRACT

**PROPAGATION OF HEAT LOCALIZED
ON BULLETPROOF FABRIC**

YASEMİN PERU

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Remzi GEMCİ

Year:2009 Pages:83

**Jury : Assist. Prof. Dr. Remzi GEMCİ
: Assoc. Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ
: Assist. Prof. Dr. Muharrem İMAL**

Experimental investigation on propagation of heat on bullet proof fabric is proposed in this study. Two basic woven fabrics are used to perform this purpose, which are Kevlar fiber and hybrid fabrics. The hybrid fabric is made up of 50 % Kevlar and 50% carbon. Ten different fabric structures are prepared by using different materials in the experimental work. Each fabric structure is formed using twenty five layers. Copper and boron are added to some of these structures to propagate or absorb heat occurred during impact and friction of the bullet and the fabric. Two projectiles with different velocities of 326 m/s and 388 m/s are performed by CZ and MP5 guns having 9 mm caliber to these points determined on the fabrics as staggered and equal distance to each other. As a result of the projectile, deformations taken placed on the fabric structures and diameter of each point are observed and measured. At the end of the tests, perforation, cone formation on the back face of the target, yarn rupture, delaminating, matrixes cracking were observed. It is concluded that different structures obtained and bullet velocity have significant effects on deformations. Finally, it is deduced that ballistic panel being kept the heat by boron have less deformation than the others.

Key Words: Epoxy Resin, woven fabric made from Kevlar fibre, woven fabric made from Hybrid fabric, Bor

ÖNSÖZ

İnsanların özellikle savaşlarda her türlü patlayıcı, delici, kesici tehlikelere karşı kendilerini koruma isteğinden balistik malzemeler oluşturuldu. Mont, yelek, kask gibi balistik malzemelerin vücuda uygunluğu, rahat hareket edilebilirliği, hafif olması istenen özellikler arasındadır. Bu sebeple gelişen teknoloji ile birlikte istenilen özelliklere yakın koruma malzemeleri geliştirildi ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

Balistik malzemelerden sürtünme katsayısı yüksek olan malzemelerde daha yüksek enerji absorpsiyonun gerçekleştiği yapılan araştırmalarda görülmektedir. Sıcaklık oluşumuna ve sıcaklığın artmasına sürtünmenin sebep olduğu bilinmektedir. Sürtünmenin olması istenilen bir olay olmasına rağmen sürtünme sonucunda ısının oluşması istenmeyen bir olaydır. Çünkü sıcaklık artışı ile malzemede oluşan deformasyon artmaktadır. Bu eksiklikten dolayı bu çalışmada malzemenin sürtünme katsayısı artarken darbe noktasında oluşan ısının minimize edilmesi üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmalar boyunca bana yol gösteren, yakın ilgisini esirgemeyen ve her türlü konuda yardımcı olan hocam Prof.Dr. Sadettin KAPUCU' ya ve danışmanım Yrd. Doç. Dr. Remzi GEMCİ' ye teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarımın son şeklini almasında tavsiyelerini esirgemeyen kıymetli hocalarım Yrd. Doç Dr. Recep YUMRUTAŞ'a, Dr. Mustafa ŞAHİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne, Ankara KPL Dairesi başkanı Seyit DEMİRCİ'ye ve görevlilerine, Dost Kimya Satış sorumlusu Turan YİGEN'e, Gemci Bakır Ltd.Şti.'ye desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan Öğretim Görevlisi Esin BAYLAN'a, Tekniker Abdülselim AKDAĞ'a ve Adem BELVERENLİ 'ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Gamze GÜLŞEN, Nihal BAYRAKTAR, Yüksel YILDIZ, Seda AKINCI, Gülay BAYYİĞİT, Kadir KARAKUŞ ve Sami TÜRKOĞLU' na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda maddi manevi yanımda olan, benden desteklerini hiç esirgemeyen aileme, Kubilay YARBASAN Ailesi'ne ve Mehmet YARBASAN'a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Haziran - 2009
Kahramanmaraş

Yasemin PERU

ÇİZELGELER DİZİNİ

	SAYFA
Çizelge 1.1. Alumina kompozit plakalar ve zırh çeliğinin farklı mermiler için ağırlıkları.....	4
Çizelge 1.2. Balistik koruyucu amaçlı liflerin özellikleri	5
Çizelge 1.3. Epoksi termoset reçinenin fiziksel özellikleri	7
Çizelge 1.4. Polyester termoset reçinenin fiziksel özellikleri	7
Çizelge 1.5. Fenolik termoset reçinenin fiziksel özellikleri	7
Çizelge 1.6. Tipik katkısız termoplastik reçinelerin özellikleri	8
Çizelge 1.7. Balistik korumada kullanılan lifler	15
Çizelge 1.8. Aramid Tipleri	20
Çizelge 1.9. Dyneema tiplerinin özellikleri	26
Çizelge 1.10. Spectra 2000 liflerinin fiziksel özellikleri	29
Çizelge 1.11. Tensylon liflerinin özellikleri	31
Çizelge 1.12. Vectran lifinin özellikleri	32
Çizelge 1.13. PBO, p-aramid ve HPPE liflerinin özellikleri	32
Çizelge 1.14. Zylon AS ve Zylon HM liflerinin özellikleri	32
Çizelge 1.15. M5 liflerinin özellikleri	34
Çizelge 1.16. İşlem görmüş ve görmemiş Kevlar 49 ‘un sürtünme katsayıları ve elastik modülleri	45
Çizelge 1. 17. Koruma seviyelerini belirleyen mermi özellikleri	49
Çizelge 3.1. Epoksi reçinesi L285- sertleştirici H286 karışım oranları	56
Çizelge 3.2. L285 epoksinin özellikleri	57
Çizelge 3.3. H286 sertleştirici özellikleri	57
Çizelge 3.4. Borik asit ve boraks dekahidrat’ın kimyasal özellikleri	57
Çizelge 3.5. Borik asit ve boraks dekahidratın fiziksel özellikleri	58
Çizelge 3.6. Bakır şeritlerin mekanik özellikleri	58
Çizelge 4.1. Balistik testler sonunda yapılarda oluşan deformasyon değerleri.	63
Çizelge 4.2. Kevlar ve Hibrit Kumaşlara Ait Varyans Analizi Sonuçları.	64
Çizelge 4.3. Farklı kumaş türlerinde yapılara ait ortalama grupları ve HKO değerleri.	65
Çizelge 4.4. Farklı hızlara ait ortalama grupları ve HKO değerleri.	66
Çizelge 4.5. Farklı yüzeylere ait ortalama grupları ve HKO değerleri.	67
Çizelge 4.6. Yapı*Yüzey İnteraksiyonuna ait ortalama grupları ve HKO değerleri.	68
Çizelge 4.7. Hız*Yüzey İnteraksiyonuna ait ortalama grupları ve HKO değerleri.	69
Çizelge 4.8. Kevlar ve Hibrit Kumaşlara Ait Bağımsız İki Örnek t Testi Sonuçları.	70

Çizelge 4.9. Kevlar kumaşa uygulanan çekme testi sonuçları	71
Çizelge 4.10. Hibrit kumaşa uygulanan eğilme testi sonuçları	71
Çizelge 4.11. Çekme testi sonuçları	72
Çizelge 4.10. Yapılara ait ısı iletim katsayıları	72

SEKİLLER DİZİNİ

	SAYFA
Şekil 1.1. Silika dispersiyonlarda gerçekleşen kesme kalınlaşması	9
Şekil 1.2. Kolloidal dispersiyon emdirilmiş kevlar kumaşın darbe anındaki davranışı	9
Şekil 1.3.El yatırma prosesi	14
Şekil 1.4. Para-aramid (Kevlar) ve meta-aramid (Nomex)'in kimyasal yapıları	17
Şekil 1.5. Sıvı kristalin çözeltinin şematik gösterimi.....	17
Şekil 1.6. Sıcaklığın aramid ve polimer esaslı liflerin dayanımına etkisi	18
Şekil 1.7. Kevlar lifleri.....	19
Şekil 1.8. Kuru jet-yaş lif çekim yönteminde sıvı kristalin çözeltisinden lif çekiminin şematik gösterimi	19
Şekil 1.9. Kevlar ve Twaron liflerinin sıcaklık ile dayanım azalması.....	21
Şekil 1.10. Twaron lifleri	21
Şekil 1.11. Twaronun kimyasal formülü	22
Şekil 1.12. Çeşitli Twaron liflerinin kinetik enerji absorpsiyonları	22
Şekil 1.13. Technora polimerlerinin kimyasal yapısı	23
Şekil 1.14. HPPE ve normal PE liflerinin makromoleküler oryantasyonu.....	23
Şekil 1.15. Jel lif çekim yöntemi	24
Şekil 1.16. Polietilenin çekim işlemleri	24
Şekil 1.17. Çeşitli liflerin hacim bazında ve ağırlık bazında mukavemetleri	25
Şekil 1.18. Işık etkisi ile Dyneema SK60 ve Aramid liflerinde meydana gelen mukavemet kaybı	27
Şekil 1.19. Dyneema liflerinin mukavemet ve modülünün diğer yüksek performanslı liflerle kıyaslanması	27
Şekil 1.20.Liflerin Dyneema UD içindeki yerleşimi	28
Şekil 1.21. Spectra Guard ve Spectra Guard CX iplikleri.....	28
Şekil 1.22. Katı-hal lif çekim aşamaları.....	30
Şekil 1.23. Vectran lifinin kimyasal yapısı	30
Şekil 1.24. PBO polikondenzasyon reaksiyonu	31
Şekil 1.25. PIPD polimerizasyonu	33
Şekil 1.26. Gerinim dalgaları	35
Şekil 1.27. Tek bir lifte gerçekleşen darbe.....	37
Şekil 1.28. Darbe sırasında kompozit hedefin arka yüzünde oluşan koni formu	36
Şekil 1.29. a) karbon kumaşın arka kısmının X-ışını ile çekilen radyograf görüntüsü	36
Şekil 1.30. Merminin iplikleri iterek kumaş içine girmesi.....	39
Şekil 1.31. Twaron CT 176 kumaşındaki çözgü (üstteki) ve atkı (alttaki) ipliklerindeki kıvrım.....	40
Şekil 1.32. Dört farklı mermi ucu. Sırasıyla yarıküre, düz, oval, konik.....	41
Şekil 1.33. Yaklaşık 200 m/sn hızla delinen kumaşın arka görünüşü.....	42
Şekil 1.34. düz uçlu mermi tarafından darbe sırasında liflerin kesilmesi.....	42
Şekil 1.35. Katlı yapılardaki penetrasyon	44
Şekil 1.36. Sürtünme katsayısının kumaş deformasyonuna olan etkisi.....	45
Şekil 1.37. İki ve dört kenarından tutturulmuş balistik yapı	46
Şekil 1.38. İki ve dört kenarı tutturulan tek katlı PBO kumaşın quasi-statik penetrasyonu için yer değişim-yük grafiği	46
Şekil 1.39. Yelek üzerinde test atışlarının yapılacağı noktalar.	50

Şekil 3.1. Tezde kullanılan kevlar kumaş	56
Şekil 3.2. Tezde kullanılan hibrit (%50 karbon -% 50 kevlar) kumaş	56
Şekil 3.3. Tezde kullanılan bakır şeritler	58
Şekil 3.4. FMJ mermi modeli	59
Şekil 3.5. Bakır şeritlerden oluşturulan bezayağı doku	59
Şekil 3.6. Çekme testi düzeneği	61
Şekil 3.7. Isı iletim katsayısının ölçüldüğü cihaz	62
Şekil 4.1. Farklı kumaş türlerindeki yapılara ait deformasyon	66
Şekil 4.2. Farklı kumaş türlerinde hızlara ait deformasyon	67
Şekil 4.3. Farklı kumaş türlerinde yüzeylerde meydana gelen deformasyon	67
Şekil 4.4. Farklı kumaş türlerinde Yapı*Yüzey interaksiyonuna göre deformasyon	69
Şekil 4.5. Farklı kumaş türlerinde Hız*Yüzey interaksiyonuna göre deformasyon ...	70
Şekil 4.6. Yapılarda oluşan deformasyonlar	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

NIJ: National Institute of Justice

HMPE: Yüksek modüllü polietilen

UHMW-PE: Oldukça yüksek molekül ağırlığına sahip polietilen

HPPE: Yüksek performanslı polietilen

PBO: poli-p-fenilenbenzobisoksazol) lif çeşidi

PPA: polifosforik asit içerisinde

TA: Tereftalik asidin

PIPD : (poli 2,6-diimidazo [4,5-b:4',5'-e]piridinilen-1,4-(2,5-dihidroksi)fenilen) lifleri

STANAG 2920:NATO tarafından yayımlanan fragmant ile balistik koruma seviyesi

NIST: Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü

OLES: Kolluk Standartları Ofisi

LR LRN: Uzun Tüfek Kurşun Burunlu Mermilere

FMJ RN: Tam Metal Kaplama Burunlu Mermilere

JHP: Kaplama Çukur Nokta Mermilere

FSP: Fragman simüle edici mermiler

HKO: Hata kareler ortalaması

ΔE_{pk} : merminin kinetik enerjisindeki kayıp

E_{ys}: iplik uzama enerjisi

E_{yk}: iplik kinetik enerjisi

E_f: sürtünmeli kaymada harcanan enerji

m: Merminin Kütlesi

V_i: Merminin çarpma hızı

V_r: Merminin zırhı terk ettiği andaki hızı

R²: Balistik potansiyel

w: malzemenin kırılma enerjisi

c: ses yayılım hızı

E: Lifin elastisite modülü

ρ : İpliğin yoğunluğunu

σ : lifin maksimum gerilme mukavemetini

ϵ : lifin maksimum çekme uzama değerini

ρ : lifin yoğunluğu

λ : ısı iletkenlik katsayısı

α : ısı yayılım katsayısı

ρ : yoğunluk

C_p: özgül ısı

1.GİRİŞ

İnsanoğlu tabiatı gereği hiçbir zaman elindeki ile yetinmemiştir. Her zaman daha fazla güce sahip olma isteği, tarih boyunca savaşların olmasına neden olmuştur. Bu yüzden insanlar her geçen gün yeni silahlar icat etmişlerdir. Yeni silahların ortaya çıkmasıyla, bu silahların etkilerinden korunma ihtiyacı da beraberinde gelmektedir. Silah teknolojisi sürekli geliştikçe, korunmada kullanılan tekniklerin ve materyallerin geliştirilmesi ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır (Temiz, 2005). Bu arayış doğrultusunda her türlü patlayıcı, delici, kesici tehlikelere karşı insanları ve donanımları koruma amacı taşıyan giysiler balistik zırh adını almışlardır (Cheng, 2004).

İnsanoğlu, savaş ve diğer tehlikeli durumlara karşı kendini koruyabilmek amacıyla birçok malzeme kullanmıştır. İlk koruyucu giysi ve zırhlar hayvan derilerinden yapılmıştır. Uygarlıklar geliştikçe tahta ve metal zırhlar kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Metaller, ortaçağ şövalyeleri tarafından koruyucu giysi olarak da kullanılmışlardır. Aslında ilk kurşungeçirmez zırh, duvar ve taşlardan oluşturulan suni bariyerlerle; taş, ağaç ve hendeklerden oluşan doğal bariyerlerdir (Ulçay, 2007).

Balistik koruyucu malzemelerden yumuşak zırhlara ait ilk kayıtlı örnek, ipekten yapılmış zırh kullanan ortaçağ Japonlarına aittir. 19.yy'ın sonlarına doğru ordu, yumuşak zırhın kullanılabilir olmasını keşfetmiştir. Bu tür zırhlar düşük hızlı mermilere karşı koruma sağlayabilirken yeni kuşak silahlara karşı güvenli bir koruma sağlayamamaktadır (Ulçay, 2007).

1931 yılında polis çalışanları için vücut zırhı geliştirilmiştir. İkinci dünya savaşı sırasında uçaksavar ceketi (flak jacket) askeri kullanım amacıyla geliştirilmiştir. Bu giysilerde naylon lifleri kullanılmış olup; oldukça ağır, kullanışsız ve etkisiz kalmışlardır. 1960'ın sonlarına doğru yeni liflerin gelişimiyle birlikte gizlenebilir vücut zırhlarının kullanımı gerçekleşmiştir (Ulçay, 2007).

1960'lı yıllarda NIJ (National Institute of Justice) tarafından polislerin giyebileceği hafif ağırlıklı vücut zırhı üretebilmek amacıyla araştırmalar başlatılmıştır. 1970 yılında, Dupont firması tarafından üretilen Kevlar esaslı kurşungeçirmez yelek, balistik korumada büyük ilerleme kaydetmiştir (Ulçay, 2007).

1971 ve 1976 yılları arasında vücut zırhı gelişimi için NIJ tarafından 4 ayrı bölümden oluşan 3 milyon dolarlık bir yatırım yapılmıştır. Araştırmanın birinci bölümünü, Kevlar'ın mermiyi tutup tutamayacağını test edilmesi oluşturmaktadır. İkinci bölüm ise, farklı çap ve hızdaki mermilerin penetrasyonunun engellenebilmesi için gerekli olan katman sayısının analizini kapsamaktadır. Medikal testler ise araştırmanın üçüncü bölümünü oluşturmaktadır. Burada, hayati tehlikeyi ortadan kaldıracak vücut zırhı seviyesinin araştırılması yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise vücut zırhının giyilebilirliği, konforu ve etkinliği ele alınmıştır (Muszynski, 2004).

1980'lerde yüksek yoğunluklu polietilen liflerinden geliştirilen lifler ve daha sonraları poli-pfenilenbenzobisoksazol liflerinden geliştirilen yapılar balistik koruyucu amaçlı giysilerde kullanılmaya başlanmıştır (Ulçay, 2007).

1.1. Balistik Koruyucu Malzemeler

Balistik koruyucu malzemeler kullanım alanına göre eldiven ve yelekte olduğu gibi vücuda rahatlıkla giyilebilecek kadar esnek yapıda olmalı veya araç, tank zırhlaması, başlık şeklinde kullanılması için katı olmalıdır (Temiz, 2005)

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).

1.1.1.Sert (Hard) Koruyucular:

Cam, metal ve seramik yapılardan oluşan zırh şeklindeki koruyuculara sert koruyucular denir. Cam artık sert koruyucu olarak kullanımındaki önemini kaybetmiştir. Metal ve seramiklerin yanında bazı yumuşak koruyucu malzemeler de çeşitli işlemlerden geçirilerek sert koruyucu olarak kullanılmaktadırlar (Temiz, 2005).

1.1.1.1.Cam Lifleri:

Cam lifleri uzunluk ve enine yönde eşit elastik modüle sahip olup, 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 hidroklorik asit dışında korozyon dayanımları mükemmeldir (Turhan, 1999).

En yaygın kullanılan cam Soda-Kireç-Silis camıdır. Kumdan elde edilir. Bundan dolayı silika camı da denir. Ayrıca boroksit, kurşunoksit gibi diğer oksitlerden de üretilir (Temiz, 2005).

A, C, D, E, S tipi cam lifleri bulunmaktadır. Bunlardan en çok E ve S tipi kullanılmaktadır (Ersoy, 2005).

E camı en çok kullanılan camdır. Boyutsal kararlılığı, kimyasal maddelere ve neme karşı direnci iyidir. Ucuzdur (Temiz, 2005).

S tipi cam lifi yüksek modüle ve mukavemete sahip olmasına karşın yüksek maliyetinden dolayı ancak özel kullanım alanlarına uygundur (Philips, 1989).

Cam lifleri kayıkların, yarış botlarının, helikopter gövde ve kanatlarının, otomobil panellerinin, sıvı tanklarının yapımında kullanılmaktadır (Moncrieff, 1975; Philips, 1989).

1.1.1.2.Metal Malzemeler:

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 (Temiz, 2005).

Zırh çeliği ısıtılarak sertleştirilmekte, böylece çarpan mermiye karşı delinme direnci artmakta ve çarpan merminin kinetik enerjisini daha iyi absorbe edebilmek için zırh çeliği toklaştırılmaktadır (Temiz, 2005).

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 (Temiz, 2005).

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).

1.1.1.3.Seramikler:

Balistik koruyucularda sert koruyucu olarak Al_2O_3 (Alumina), SiC(SilikonKarbür) 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 etken de 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 RC) çelik plakalar da kullanılabilir. Ancak daha ağır olacağı için seramik kullanılması tercih edilmektedir (Temiz, 2005).

Çizelge 1.1'de değişik mermi türlerine karşı seramik kompozit plakalar ile çelik plakaların ağırlık yönünden bir karşılaştırması yapılmıştır.

Çizelge 1.1. Alumina kompozit plakalar ve zırh çeliğinin farklı mermiler için ağırlıkları (Özaydın, 1999)

Mermi Tipi	Mermi Hızı (m/sn)	Alumina Komp. Ağırlığı(kg/m ²)	Zırh Çeliği Ağırlığı(kg/m ²)	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

1.1.2.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 (Temiz, 2005). Dolayısıyla çok yüksek dayanıma ve düşük elastikiyete sahip olan yüksek modüllü tekstil liflerinin kullanımını gerektirmektedir. Düşük elastikiyet vücudun yaralanmasını ve vuruştan sonra koruyucu paketin neden olduğu ezme ve travmaları önlemektedir (Horrocks, 2002).

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 (Temiz, 2005). Balistik kumaşların üretiminde kullanılan yüksek mukavemetli lifler aramid (Kevlar, Twaron, Technora), yüksek-molekül-ağırlıklı polietilen (Spectra, Dyneema) ve PBO (Zylon, PIPD (M5) lifleridir (Smith, 1998; Phoenix, 2003; Tan 2005; Russell, 2005; Duan, 2006). Bu lifleri içeren kumaşlar, kompozitler ve kaplamalar, metallere ve seramiklere kıyasla daha hafif olduklarından, birim ağırlık başına performansları çok daha yüksektir (Russell, 2005). Düşük ağırlıklı olmalarının en büyük avantajı, kullanıcının hareketlerini sınırlandırmamasıdır.

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 veya reçinelerle ve ısı işlemlerle kompozit yapı haline getirilerek balistik koruyucu yapımında kullanılırlar (Temiz, 2005).

Yumuşak koruyuculardan balistik koruyucu yelek ve balistik koruyucu başlıklar üretilir. Ayrıca bomba eldivenleri ve bomba battaniyeleri de yumuşak koruyucu dediğimiz bu yapılardan yapılmaktadırlar (Temiz, 2005).

Kevlar ve Twaron para-aramid liflerinden, Spectra ve Dyneema yüksek moleküler ağırlıklı polietilen liflerinden ve Zylon poli-p-fenilenbenzobisoksazol liflerinden geliştirilen ve balistik koruyucularda kullanılan liflerdir. Çizelge 1.2'de bu liflere ait bazı özellikler verilmiştir (Özaydın, 1999).

Çizelge 1.2. Balistik koruyucu amaçlı liflerin özellikleri (Özaydın, 1999)

Malzeme Adı	Max. Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (Gpa)	Modül (Gpa)	Uzama (%)
Poliamid HT	255	1,14	0,9	6	20
Kevlar 29/RI (para-aramid)	500	1,44	2,9	60	3,6
Kevlar 49 (para-aramid)	500	1,45	2,9	120	1,9
Kevlar HM/149 (para-aramid)	500	1,47	2,4	160	1,5
Twaron (para-aramid)	500	1,44	2,8	80	3,3
Twaron Hm (para-aramid)	500	1,45	2,8	125	2,0
Dyneema SK60 (yüksek yoğunluklu polietilen)	145	0,97	2,7	89	3,5
Dyneema SK65 (yüksek yoğunluklu polietilen)	145	0,97	3,0	95	3,6
Dyneema SK66 (yüksek yoğunluklu polietilen)	145	0,97	3,2	99	3,7
Spectra 900 (yüksek yoğunluklu polietilen)	145	0,97	2,63	119	3,5
Spectra 1000 (yüksek yoğunluklu polietilen)	145	0,97	3,05	175	2,7
Zylon HM (poli-p-fenilenbenzobisoksazol)	650	1,56	5,8	270	2,5

1.2. Kompozit Malzemeler

20.yy'ın ikinci yarısında teknikteki ve teknolojiadaki hızlı gelişmeler malzeme ve malzeme biliminde de arayışların artmasına ve bunun sonucunda gelişmelerin hızlanmasına neden olmuştur. Hızlı gelişen teknoloji nedeni ile yeryüzünde bulunan ana malzemelerin sınırlı olmasından dolayı bu malzemeler gelişen teknolojiyi destekleyememiştir. Uzay araçlarının yapımına geçilen söz konusu dönemde bilim adamları, mevcut malzemelerin özelliklerinden günün koşullarına uygun olacak şekilde gerek ekonomik gerekse teknik yönden daha uygun malzemeler üretme yolunu seçmişlerdir. Başka bir ifade ile hem daha dayanıklı hem de daha hafif malzemeler elde edebilmek için çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Böylece farklı özelliklerdeki malzemelerin birleştirilmesiyle özellikleri bambaşka yeni malzemeler elde edilmiştir (Özbay, 2003).

Kelime olarak “kompozit”, iki veya daha fazla ayrı parçadan oluşan anlamına gelmektedir. Kompozit malzemeler; makro ölçekte kimyasal olarak birbirinden ayrı, iki veya daha fazla bileşenden oluşan ve bu bileşenler arasında bir ara yüzeyin bulunduğu malzemelerdir (Agarwall, 1980;Rosato, 1997). Bileşenler, kompozit içerisinde özelliklerini korumaktadırlar.

Kompozit malzemeler bağlayıcı (matris) ve güçlendirici malzemeler (takviye elemanı) olarak iki grup malzemedan oluşur. Takviye malzemesi; kontinü elyaf, kesikli elyaf, parçacık, dokuma kumaş yüzeyi, çok yönlü kumaş yüzey, üç boyutlu dokuma veya örme ön form, lif demeti, matris malzemesi ise metal, plastik veya seramik olabilir (Mazumdar, 2002; Ulcay, 1991; Rosato, 1997).

1.2.1. Kompozit Malzemelerin Yapısı

1.2.1.1. Bağlayıcılar (Matrisler):

Kompozitlerde bağlayıcı olarak kullanılan malzemeler genellikle polimer, seramik ve metalden oluşurlar. Bunlar içinde en çok kullanılanları reçine olarak adlandırılan polimerlerdir. Polimerler termosetler ve termoplastikler diye ikiye ayrılırlar. Termosetler sertleştikten sonra tekrar şekillendirilemezler. Termoplastikler ise ısıtılarak tekrar tekrar şekillendirilebilirler (Mazumdar, 2002). Kompozit yapımında kullanılan reçineler; termoset reçineler (epoksi reçineler, polyester reçineler, fenolik reçineler), termoplastik reçineler ve kolloidal silikadır.

1.2.1.1.1. Termoset Reçineler

1.2.1.1.1.1. Epoksi Reçineler:

Epoksi reçineler 1,11-1,14 gr/cm³ özgül ağırlıkları ile orta ağırlıkta olan reçinelerdir. Çekme, basma ve darbe dayanımları oldukça yüksektir. Epoksi reçineler aşınmaya karşı çok dayanıklıdır. En önemli özelliği hangi düzgünlük ve dokuda olursa olsun, herhangi bir yüzeyi yapıştırabilme kabiliyetine sahip olmasıdır. Epoksi reçinelerin kür esnasında çekme payı diğer termoset reçinelere göre çok azdır. Viskozitesi çok düşüktür, oda sıcaklığında katılaşabilirler (Özaydın, 1999).

Çizelge 1.3. Epoksi termoset reçinenin fiziksel özellikleri (Ersoy, 2005)

Reçine Malzemesi	Yoğunluk (gr / cm ³)	Çekme Modülü GPa (10 ⁶ psi)	Çekme Dayanımı MPa (10 ³ psi)
Epoksi	1.11 – 1.14	2.5 – 5.0 (0,36 – 0,72)	50 – 110 (7.2 – 16)

Epoksi reçineler termoset formunda mükemmel mekanik dayanıklılığa, yüksek dielektrik direncine, iyi boyutsal kararlılığa, kimyasal ve ısıl dirence sahiptirler (Pişkin, 1999).

Epoksi reçineler kimyasal polimerizasyon sonucu sertleşirler. Epoksi reçineler karışımı yapılmış halde 0 °C'nin altındaki sıcaklıklarda iki aya kadar muhafaza edilebilirler. Soğuk ortamlarda muhafaza edilebilme özelliklerinden dolayı prepreg (pre emprenye: Önceden reçine ile ıslatılmış kuvvetlendirici elyaflar) sistemlerinde kullanılabilirler (Temiz, 2005).

1.2.1.1.1.2. Polyester Reçineler

Bilinen en eski matriks malzemesidir. Özellikle ıslak yatırma için uygundur. Poliester reçinelere çeşitli maddeler ilave edilerek değişik sertlik derecelerinde malzemeler elde edilir. Poliester reçinelerin 100 °C'nin altında mekanik ve kimyasal dayanımları oldukça iyidir. Katılaşma zamanı oldukça kısadır ve viskoziteleri oldukça düşüktür ve cam elyafını çok iyi ıslatır. Poliester reçinelerin en önemli dezavantajı katılaşma esnasında yüksek oranda çekmeleridir (Temiz, 2005). Sertleşme sırasında kendini çekme oranı % 5-12'dir. Bu durum liflerin basma gerilimi altında burkulmasına neden olabilir. Bu nedenle malzemenin basma gerilimleri altındaki dayanımı düşüktür ve düzgün yüzey elde etmek güçtür. Özellikle alkali ve bazik ortamlarda korozyon dayanımı düşüktür. Bünyesine su alarak bozunur (Ersoy, 2005).

Çizelge 1.4. Polyester termoset reçinenin fiziksel özellikleri (Ersoy, 2005)

Reçine Malzemesi	Yoğunluk (gr / cm ³)	Çekme Modülü GPa (10 ⁶ psi)	Çekme Dayanımı MPa (10 ³ psi)
Polyester	1.1 – 1.4	1.6 – 4.1 (0.23 – 0.6)	35 – 95 (5 – 13.8)

1.2.1.1.1.3. Fenolik Reçineler:

Bakalit olarak da bilinen fenolik reçineler Fenol ve formaldehitten elde edilir. Bunlar orta ağırlık sınıfına girerler. Mekaniksel ve elektriksel özellikleri iyidir. Bu reçinelerin polimerleşme esnasında yüksek basınç istemeleri en önemli dezavantajlarıdır (Temiz, 2005). Fenolik reçineler eriyebilir, laminat ve kalıplama kompozisyonlarında kullanılabilir. Bunun için basınca ihtiyaç duyulur. 300° C' ye kadar asbest lif ile takviye edilebilir. Alkalilere karşı duyarlı olup, su ve birçok asitlere karşı dayanıklıdır (Yazıcı, 1993).

Çizelge 1.5. Fenolik termoset reçinenin fiziksel özellikleri (Ersoy, 2005)

Reçine Malzemesi	Yoğunluk (gr / cm ³)	Çekme Modülü GPa (10 ⁶ psi)	Çekme Dayanımı MPa (10 ³ psi)
Fenolik	1.2 – 1.4	2.7 – 4.1 (0.4 – 0.6)	35 – 60 (5 – 9)

1.2.1.1.2. Termoplastikler

Molekül yapısı olarak yan zincirler ve gruplar ihtiva ederler. Moleküller üç boyutlu bir yapıyı oluşturamadığı için rijit bir yapıya sahip değildirler. Isı altında çok çabuk yumuşarlar. Tekrar tekrar ısıtılarak yeniden şekillendirilirler. Toz ve granit halde bulunurlar (Özbay, 2003).

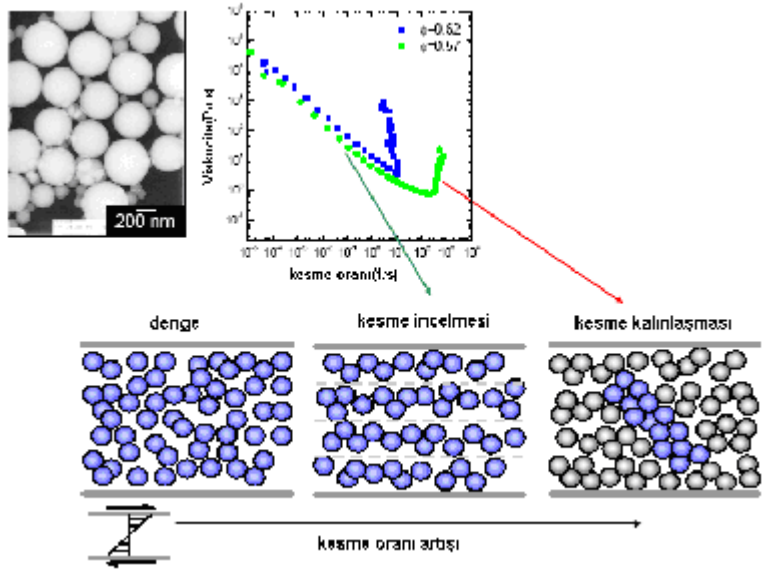
Bazı termoplastiklerin özellikleri çizelge 1.6'da verilmiştir. Düşük katılık ve dayanım değerleri sebebiyle; yapısal uygulamalarda dolgu ve takviye elemanlarına gereksinim duyarlar. Termoplastikler, genellikle termosetlere göre özellikle yüksek sıcaklıklarda, düşük dayanım gösterirler. Termosetlere göre çözütilere karşı daha kolay etkilenebilir yapıdadırlar (Ersoy, 2005).

Çizelge 1.6. Tipik katkısız termoplastik reçinelerin özellikleri (Ersoy, 2005)

Reçine Malzemesi	Yoğunluk (gr / cm ³)	Çekme Modülü GPa (10 ⁶ psi)	Çekme Dayanımı MPa (10 ³ psi)
Naylon	1.1	1.3 – 3.5 (0.2 – 0.5)	55 – 90 (8 – 13)
PEEK	1.3 – 1.35	3.5 – 4.4 (0.5 – 0.6)	100 (14.5)
PPS	1.3 – 1.4	3.4 (0.49)	80 (11.6)
Polyester	1.3 – 1.4	2.1 – 2.8 (0.3 – 0.4)	55 – 60 (8 – 8.7)
Polikarbonat	1,2	2.1 – 2.8 (0.3 – 0.5)	55 – 70 (8 – 10)
Asetal	1.4	3,5 (0.5)	70 (10)
Polietilen	0.9 – 1.0	0.7 – 1.4 (0.1 – 0.2)	20 – 35 (2.9 – 5)
Teflon	2.1 – 2.3	---	10 – 35 (1.5 - 5)

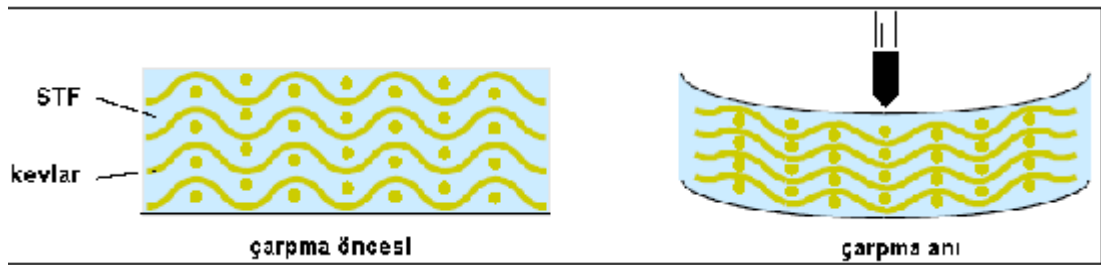
1.2.1.1.3. Kolloidal Silika

Kolloidal silika dispersiyonu mikro veya nano boyutta silikon dioksitten parçacıklarından oluşmuş heterojen çözütilerdir. Bunlarda çözücü ortam olarak su veya etilen glikol kullanılmaktadır. Nano parçacıklı kolloidal silika dispersiyonu visko-elastik malzeme özelliği göstermektedir. Bu dispersiyonlar newtonyen olmayan akış karakteri gösterip belli bir kuvvet değerinden sonra viskozitelerinde ani bir artış yaşanmaktadır. Bu geri dönüşebilir ani viskozite artışı parçalar arasındaki hidrodinamik yağ kuvvetleri nedeniyle, sıkışan kümelerin oluşmasından kaynaklanmaktadır (Wagner ve diğ., 2003). Bir başka ifadeyle, kümecikler arasındaki kısa aralıklı yağ kuvvetleri kümecikleri daha geniş hale getirdiği için kesme kuvvetine bağlı olarak viskozitelerinde artış meydana gelmektedir. Çünkü tabakalar içindeki kümeciklerin birbirleri üzerinden kaymaları zorlaşmaktadır. Kesme kalınlaşması başlamadan önce, düzenli bir halde bulunmayan parçacıklar tabakalar içinde serbestçe hareket etmektedirler. Tabakaların kalınlığı bir veya birkaç kat parçacığın çapı arasında değişmektedir. Kesme kalınlaşmasının başlamasıyla birlikte, hidrodinamik kararsızlık, parçacıkları bu katmanların dışına zorlamaktadır. Bununla birlikte parçacıklar kümeleşmeye ve/veya fiziksel temas yoluyla birbirlerini etkilemeye başlamaktadırlar. Parçacık etkileşiminin veya iticiliğinin olmadığı sınır durumunda kesme kalınlaşması olabilmesine rağmen, genellikle kolloidal stabilite kesme kalınlaşması olabilmesi için gereklidir. Konsantre edilmiş kolloidal dispersiyonlardaki kesme kalınlaşmasını başlamasını kontrol edecek boyutsuz gruplar, hidrodinamik kuvvetlerle parçacıklar arasındaki itme kuvvetleri arasında bir denge sağlamaktadırlar (Hoffman, 1997).



Şekil 1.1. Silika dispersiyonlarda gerçekleşen kesme kalınlaşması (http://www.ccm.udel.edu/STF/PubLinks2/AdvancedBodyArmor_Pres.pdf)

Yukarıdaki şekilde gözüktüğü üzere kesme oranı artışıyla birlikte akışkanın viskozitesinde düşüş meydana gelmektedir. Fakat belli bir kesme oranı değerinden sonra viskozitede ani bir artış meydana gelmekte yani kesme kalınlaşması başlamaktadır. Akışkanın bu özelliği koloidal silika dispersiyonlarının balistik tekstillerde kullanımını akla getirmektedir. Çünkü günümüzde balistik giysilerin konforu büyük önem taşımaktadır. Kullanıcının günlük normal hareketlerinde düşük kesme oranı olacağı için akışkan elastik malzeme gibi davranacak ve kullanıcının hareketini sınırlandırmayacaktır. Öte yandan, balistik bir olay esnasında ise kesme kalınlaşması meydana geleceği için silika dispersiyonu viskoz bir malzeme haline gelecek ve enerji absorpsiyonuna olumlu yönde katkı sağlayacaktır. Dolayısıyla, silika dispersiyonunun uygulamasıyla daha esnek, daha düşük ağırlıklı ve daha ince kurşun geçirmez yeleklerin üretimi gerçekleştirilebilecektir (Ulcay, 2007).



Şekil 1.2. Koloidal dispersiyon emdirilmiş kevlar kumaşın darbe anındaki davranışı (http://www.ccm.udel.edu/STF/PubLinks2/ProtectiveFabricsUtilizingSTF_Pres.pdf)

1.2.1.2. Güçlendiriciler (Bağlayıcı Elemanlar):

Kompozit malzemelerde en çok kullanılan güçlendirici tipi liflerdir. Partikül veya pulcuk şeklinde olan güçlendiriciler daha çok bağlayıcı matrisin özelliklerini biraz iyileştirmek ve maliyeti düşürmek amacıyla kullanılırlar (Temiz, 2005).

Liflerin güçlendirici olarak kullanıldıkları kompozit malzemelerde, hemen hemen tüm yük taşıyıcı işlemini lifler görür. Bu işlevler içerisinde en önemlisi liflerin kompozit malzemeye kazandırdıkları mukavemet ve sertliktir (Candan, 1998).

Kompozit malzemelerde en çok kullanılan lifler:

1. Cam elyafı: E-camı, S-camı, C-camı
2. Para-aramid elyafı: Kevlar, Twaron,
3. Polietilen elyafı: Dyneema, Spectra,
4. Karbon grafit fiberler
5. Bor

Kompozit malzemelerde kullanılan lifler hakkında geniş bilgi ilerleyen sayfalarda verilecektir.

Kevlar ve Spectra gibi liflerden oluşan hafif kompozit yapılar, yüksek modüllerinden kaynaklanan çarpma dirençleri ve yüksek mukavemetleri ile önemli ölçüde balistik korunmada kullanılırlar. Bu lifler filamentler halinde veya dokunmuş kumaşlar reçinelerle kompozit yapı haline getirilirler ve balistik sınıfı veya zırh sınıfı kompozitler olarak adlandırılırlar. Zırh sınıfı kompozitler çok az reçine ile birleştirilirler. Çok az reçine kullanılması sonucu kompozit dikkate değer derecede ince ve esnek olur (Song, 2003).

1.2.1.2.1. Bor

Yer kabuğunun yapısında % 0.001 oranında bulunan bor, periyodik sistemin üçüncü grubunun başında yer alır. Atom numarası 5, atom ağırlığı 10.82, özgül ağırlığı 2.84, ergime noktası 2300°C dir. Bor doğada serbest halde bulunmaz. Bor minerallerinden elde edilen elementel bor iki farklı şekilde olabilir. Kristal halde olan; parlak siyah renkli ve sert amorf halde olan; yeşilimsi sarı renkli, tatsız ve kokusuz bir tozdur (Anonymous). Su ile 100°C üzerinde, oksijenle 700°C'de, hidrojenle 840°C de reaksiyona girer. Endüstride element olarak hemen hemen hiç kullanılmaz (Aytekin, 1987; Polat, 1997).

Borun elektrik iletkenliği oda sıcaklığında çok düşük olmasına rağmen ısıtıldıkça süratle artar. Bu metallere has bir özellik değildir. Diğer mekanik özelliklerinin de çok az olmasından dolayı bir ametaldir. Ergimiş iken soğutulduğunda çok sert ve kırılğan bir madde halini alır. Alevde eşil renkte yanar (Zeybek, 1996) .

200'ün üzerinde çeşitli türde bor minerali vardır. Bor mineralleri bileşimlerinde bulunan alkali ve toprak alkali elementlerin oranlarına, kristal yapılarına ve ihtiva ettikleri su miktarlarına göre değişik isimle alırlar. Bor içeren birçok mineral olmasına rağmen bunlardan ancak bir kısmı ticari değere sahiptir (Polat, 1997).

Ticari Değeri Olan Bor Mineralleri (Baykal, 2003).

1. *Boraks (Tinkal) ($Na_2O.2B_2O_3.10H_2O$)* : renksiz ve saydam olmasına rağmen, bileşimindeki çeşitli safsızlıklar nedeniyle pembe, sarımsı, gri renklerde bulunabilir. % B_2O_3 36.6 dır. Sertliği 2-2.5 Mohs, özgül ağırlığı 1.7 g/cm^3 'tür.. Kristal şekli, düşük özgül ağırlığı ve suda çözünebilirliği ayırıcı özellikleridir. Türkiye'de Eskişehir- Kırka yatağında bulunmaktadır.
2. *Kernit (Rasorit) ($Na_2O.2B_2O_3.4H_2O$)* : renksiz, saydam beyaz, uzunlamasına bireysel iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. % B_2O_3 50.9 dır. Sertliği 3 Mohs, özgül ağırlığı 1.95 g/cm^3 'tür. Soğuk suda yavaşça çözünür. Kırka boraks yataklarında cevher kütlelerinin alt kısımlarında oluşmuştur.
3. *Üleksit ($Na_2O.2CaO.5B_2O_3.16H_2O$)* : saf olanı beyaz olup gri renk tonlarında bulunabilir, ipek parlaklığında olanları da vardır. % B_2O_3 42.9 dır. Sertliği 2.5 Mohs, özgül ağırlığı 1.95 g/cm^3 'tür. Pamuk yumağı şekli, düşük yoğunluğu, soğuk suda çözünmeyip sıcak suda çözünmesi ayırıcı özellikleridir. Türkiye'de Kırka, Bigadiç ve Emet'te bulunmaktadır.
4. *Kolemanit($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$)*: bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Killer içinde cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller halinde bulunur. % B_2O_3 50.8 dır. Sertliği 4.5 Mohs, özgül ağırlığı 2.42 g/cm^3 'tür. Türkiye'de Emet, Bigadiç, Kestelek yataklarında bulunur.
5. *Pandermit(PRİSEİT)($4CaO.5B_2O_3.7H_2O$)*: beyaz renkte olup kireç taşına benzemektedir. % B_2O_3 49.8 dir. Sertliği 3-3.5 Mohs, özgül ağırlığı 2.42 g/cm^3 'tür. Türkiye'de Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında bulunur.
6. *Hidroborsit($CaMgOB_6O_{11}.6H_2O$)*: Beyaz renkte, bazen içerisindeki safsızlıklara bağlı olarak sarı veya kırmızımsı renklerde ve kolemanit, üleksit ile birlikte bulunur. % B_2O_3 50.5 dır. Lifsi bir dokuya sahiptir. Türkiye'de en çok Emet-Doğanlar-iğdeköy sahasında ve Kestelek'te rastlanır.
7. *Borik Asit($B_2O_3.3H_2O$)*: özgül ağırlığı 1.44 g/m^3 'tür. % B_2O_3 56.4 tür. Kistal yapıli bir maddedir. Borik asit yavaş yavaş ısıtıldığı zaman suyunu kaybederek metabolik asite dönüşür. Sıcaklık $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerine çıkmadığı sürece dehidrasyon HBO_2 formunda kalır. Daha yüksek sıcaklıklarda borik asit bünyesindeki tüm su uzaklaştırılarak susuz borik asit elde edilir. Kristal susuz borik asit $450 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de erir. Amorf susuz borik asit belli bir ergime derecesine sahip değildir. Yaklaşık $325 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de yumuşamaya başlar ve yaklaşık $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de tamamen akışkan hale gelir. Borik asidin (H_3BO_3) tamamen ayrışması sonucunda bor oksit (B_2O_3) oluşur.

Dünyanın bilinen bor kaynaklarının büyük çoğunluğu tinkal, kolemanit ve üleksittir. Ticari açıdan önemli olan bu cevherler Türkiye, A.B.D., Rusya, Arjantin ve Şili olmak üzere beş ülkede üretilmektedir. Rezerv açısından Türkiye dünyada birinci sırada olmasına karşın üretim açısından A.B.D. birinci sırada yer almaktadır (Kırk ve Othmer).

Türkiye de bor madenlerinin işletilmesi tamamen bir devlet kuruluşu olan Etibank tarafından gerçekleştirilmektedir (Zeybek, 1996).

Bor Bileşiklerinin Kimya Sanayinde Başlıca Kullanım Alanları

Bor bileşikleri hayatımızın ve sanayinin her alanına girmiş olup, kullanım alanı çok genişlemiştir. Her gün keşfedilen yeni bor ürünleri ile kullanımı artmaktadır. Bor minerallerinin % 10 'u direkt olarak kullanılırken gerisi sektörlere girdi olarak verilmektedir. Bor minerallerinin ve ürünlerinin kullanıldığı sanayi dallarını; cam sanayi, seramik sanayi, temizleme ve beyazlatma sanayi, yanmayı önleyici maddeler, tarım, metalürji, nükleer ve diğer kullanım alanları şekilde sınıflandırmak mümkündür (Zeybek, 1996; Baykal, 2003).

1. *Cam Sanayi:* Özel camlarda borik asit vazgeçilmeyen bir unsurdur. Rafine sulu/susuz boraks, borik asit veya kolemanit, /boraks gibi doğal haliyle kullanılmaktadır.

2. *Seramik Sanayi:* Emayeye katılan hammaddelerin yüzde 17-32'si borik asittir. Bu alanda sulu boraks tercih edilir. Seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılan bor, yüzde 3-24 miktarında kolemanit, alinde sırlara katılır.

3. *Temizleme ve Beyazlatma Sanayi:* Sabun ve deterjanlarda mikrop öldürücü ve su yumuşatıcı etkisi nedeniyle yüzde 10 boraks dekahidrat; toz deterjanlarda beyazlatıcı etkisini artırmak için yüzde 10-20 oranında sodyum perborat kullanılır.

4. *Yanmayı Geciktirici Maddeler:* Borik asit ve boratlar selülozik maddelere ve ateşe karşı dayanıklılık sağlarlar. Bor bileşikleri plastiklerde yanmayı önleyici olarak giderek artan oranlarda kullanılmaktadır.

5. *Tarım:* Bor minerali, değişken oranlarda, birçok bitkinin temel besin maddesidir. Bor eksikliği görülen bitkiler arasında yumru köklü bitkiler, kaba yoncalar, meyve ağaçları, üzüm, zeytin, kahve, tütün ve pamuk sayılabilir. Bu gibi hallerde susuz boraks ve boraks pentahidrat içeren karışık bir gübre kullanılmaktadır. Bor, sodyum klorat ve bromosol gibi bileşiklerle birlikte otların temizlenmesi veya toprağın sterilleştirilmesi gereken durumlarda da kullanılmaktadır.

6. *Metallurji:* Boratlar yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz, çapaksız bir sıvı oluşturma özelliği nedeniyle demir dışı metal sanayinde koruyucu bir cüruf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılır. Alaşımlarda, özellikle çeliğin sertliğini artırıcı madde olarak büyük önem taşımaktadır.

7. *Nükleer Uygulamalar:* Atom reaktörlerinde borlu çelikler, bor karbürler ve titanbor alaşımlar kullanılır. Atom reaktörlerinin kontrol sistemleri ile soğutma havuzlarında ve reaktörün alarm ile kapatılmasında bor kullanılır.

8. *Diğer Kullanım Alanları:* Ahşap, malzeme prezervasyonu için sodyum oktoborat kullanılmaktadır. Araçların soğutma sistemlerinde korozyonu önlemek üzere boraks, antifiriz karışımına katkı maddesi olarak da kullanılır. Tekstil sanayinde, nişastalı yapıştırıcıları viskozitlerinin ayarlanmasında, kazeinli yapıştırıcıların çözücülerinde,

proteinlerin ayrıştırılmasında yardımcı madde, boru ve tel tekmede akıcılığı sağlayıcı madde, dericilikte kireç çöktürücü madde olarak boraks kullanılmaktadır. Borik asit, jet füze yakıtları, cam mutfak malzemeleri, kimya-ilaç sanayinde de kullanılmaktadır.

1.2.2. Kompozit Üretim Prosesinde Temel İşlemler

Kompozit parça üretiminde 4 temel işlem mevcuttur. Bunlar;

- Islatma/emdirme
- Yatırma,
- Birleştirme,
- Katılaştırma işlemleridir.

Her kompozit üretim prosesi, farklı yollardan başarsa da, bu dört temel işlemi içerir (Ersoy, 2005).

1.2.2.1. Emdirme

Bu basamakta, lifler ve reçine, bir tabaka oluşturmak için karıştırılırlar. Örneğin, filament sarım prosesinde; lifler reçinenin içinden geçirilerek emdirilir. El yatırma prosesinde; malzeme üreticisi tarafından, kontrollü bir ortamda emdirilmiş olan prepregler kullanılır. Islak yatırma prosesinde; her bir kumaş tabakasının reçine ile düzgün bir şekilde emdirilmesinin sağlanması için bir sıkma silindiri kullanılarak emdirme işlemi yapılır. Bu basamağın amacı, reçinenin tüm liflerin etrafına aktığından emin olmaktır. Viskozite, yüzey gerilimi ve kapılar etki emdirme prosesini etkileyen temel parametrelerdir (Ersoy, 2005).

1.2.2.2. Yatırma

Bu basamakta, kompozit tabakalar kullanım yerine göre, lif-reçine karışımı veya prepreglerin istenen açı ve konumlarda yerleştirilmesi ile oluşturulur. İstenen kompozit tabaka kalınlığı, lif - reçine karışımı olan katmanların çeşitli miktarda üst üste yerleştirilmesi ile elde edilir (Ersoy, 2005).

1.2.2.3. Birleştirme

Bu basamak, prepreg veya tabakanın her bir katmanı arasında sıkı bir bağlantı oluşturmayı içerir. Bu basamak, katmanlar arasında kalan sıkışmış havanın, çıkarılmasını garanti eder. Kötü birleştirilmiş parçalarda boşluklar ve kuru noktalar olur (Ersoy, 2005).

1.2.2.4. Katılaştırma

Son basamak katılaştırma basamağıdır ki, termoplastikler için bir dakikadan az, termosetler için 120 dakika (oda sıcaklıklarında) kadar zaman almaktadır. Vakum veya basınç bu işlem boyunca devam eder. Katılaştırma süresi ne kadar kısa ise, prosesin gerçekleştirebildiği üretim miktarı o kadar fazladır. Termoset kompozitlerde katılma oranı reçine formülasyonuna ve kür kinetiklerine bağlıdır (Mallick, 1988; Mazumdar, 2002). Termoset reçinelerde, genellikle kür sıcaklığı ne kadar yüksekse çapraz bağlanma işlemi o kadar hızlı olur (Ersoy, 2005).

Termoplastiklerde kimyasal bir değişim yoktur ve termosetlere göre çok daha az süre gerektirir. Termoplastiklerde rijit bir parça elde etmek için sıcaklık düşürülür (Ersoy, 2005).

1.2.3. Kompozit Üretim Teknikleri

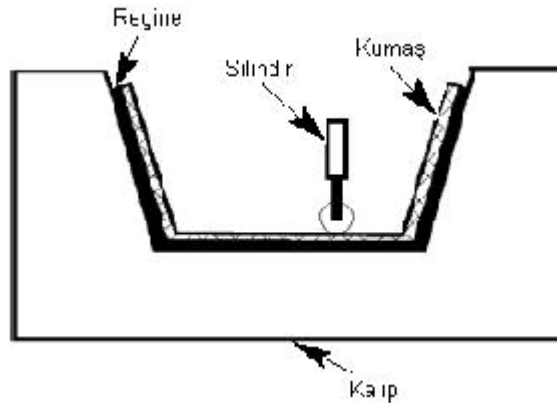
Kompozitler liflerin matrisin içine yatırılma tekniklerine göre ve kalıplama yöntemlerine göre sınıflandırılırlar (Temiz, 2005).

1.2.3.1. Yatırma Tekniklerine Göre Sınıflandırma:

1.2.3.1.1. Islak Yatırma:

Kuvvetlendirici elyafların kuru olarak kalıp üzerine konarak orada reçine ile ıslatılmasına ıslak yatırma denir. Islak yatırma elle, makine ile veya vakum ile yapılabilir. Elle yatırmada reçine elyafa fırça veya rulo ile tatbik edilir. İstenilen reçine/elyaf oranını ayarlamak oldukça zordur. Elyafın ıslanıp ıslanmadığı, renk değiştirmeleri kontrol edilir. Makine ile yatırmada lifler bir makine ile karışım halinde püskürtülür. Vakum altında yatırma ise havası boşaltılan bir örtü altından atmosfer basıncından yararlanılarak liflerin reçine ile ıslatılmasıdır. Bu yöntem hem iyi bir ıslanmayı, hem de fazla reçineyi dışarı almayı sağlar (Temiz, 2005).

Islak yatırma prosesi şematik olarak Şekil 3' de gösterilmektedir. Kompozit parçanın kalınlığı, bir seri takviye kat ve sıvı reçine kat uygulanarak oluşturulur. Bir silindir, fazla reçineyi sıkmak ve reçinenin yüzey boyunca düzgün dağılımını sağlamak için kullanılır. Silindirin sıkma işlemiyle, liflerin homojen olarak ıslanması sağlanır (Ersoy, 2005).



Şekil 1.3. El yatırma prosesi (Ersoy, 2005)

Islatma işlemini verimli hale getirmek için bir fulard kullanılarak reçine, kumaş yüzeye üniform olarak uygulanabilir ve daha sonra kumaş, kalıba yatırılır (Ersoy, S.2005).

1.2.3.1.2. Pre-Empregne (Prepreg):

Kuvvetlendirici lifler, yüksek sıcaklık ve basınç altında bir birleştirme işlemine maruz kalmadan önce, reçine ile ıslatılarak bu işlemlere hazır hale getirilir. Bu olaya prepreg denir. Genelde epoksi reçineler kullanılır. Burada reçine/elyaf oranı çok iyi bir şekilde kontrol edilir. Prepregler vakum altında veya basınç altında pişirilirlir ve katlar arası yapışma çok başarılıdır (Temiz, 2005).

Prototip parçaların ve küçük miktardaki taleplerin karşılanmasında diğer proseslere göre avantajlıdır (Mazumdar, 2002).

1.2.3.2. Kalıplama Yöntemlerine Göre Sınıflandırma:

Bu yönteme göre kompozit malzeme üretirken en çok erkek ve dişi kalıp yöntemleri kullanılır. Bitmiş ürünün dış yüzeyini kalıbın iç yüzü oluşturuyor ise bu tip kalıplama yöntemine dişi kalıp yöntemi denir. Bu yöntemde imalat dıştan başlar ve içe doğru yapılır. Enjeksiyon kalıplar da dişi kalıp yöntemi olarak kabul edilirler. Dişi kalıp yöntemiyle üretilen ürünlerde mamulün dış yüzeyi düzgün olur. Dişi kalıplar pahalı kalıplardır. Çok sayıda üretim yapılacak ise bu kalıpları kullanmak akılcıdır. Bitmiş mamulün iç yüzeyini, kalıbın dış yüzeyi oluşturuyor ise bu tip kalıplamaya erkek kalıp yöntemi denir. Erkek kalıplama yöntemi ile üretilen ürünler iyi bir yüzey için boyanmaları gerekir. Erkek kalıplar oldukça basit ve ucuz kalıplardır (Temiz, 2005).

1.3. Balistik Koruyucu Kumaşlarda Kullanılan Lifler

Balistik korunmada ilk önce poliamid lifleri kullanılmıştır. Günümüzde aramid, yüksek yoğunluklu polietilen ve poli-p-fenilenbenzobisoksazol (PBO) liflerinden yapılmış kumaşlar kullanılmaktadır. Bu kumaşlar çeşitli kat sayılarında, üst üste koyularak, dikişle veya daha başka yöntemlerle kompozit yapı haline getirilerek koruyucu amaçlı kullanılmaktadırlar (Temiz, 2005).

Balistik korumada en yaygın olarak kullanılan sentetik lifler ve bunların ilgili özellikleri çizelge 1.7’de sunulmaktadır (Russel, 2005). Bu lifler, balistik darbe etkisi altında farklı davranışlar sergilemektedirler. Örneğin para-aramid lifleri darbe etkisi altında boyuna yönde fibrilleşmekte veya bölünmektedir. Aramid liflerinin ısıya karşı dirençleri çok yüksektir. Bu nedenle, lif-lif ya da lif-mermi sürtünme ısısı nedeniyle erimemektedirler. Tam tersine, HMPE liflerinde, balistik darbe ile ortaya çıkan ısı lif yüzeninin sıcaklığını artırmakta, dolayısıyla buralarda yumuşama ve kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Diğer yandan bu enerji absorpsiyon (ısı açığa çıkma) mekanizmasının, HMPE liflerinin balistik direncini artırabileceği de ifade edilmektedir (Russel, 2005).

Çizelge 1.7. Balistik korunmada kullanılan lifler (Russel, 2005; Hearle, 2001; NRC, 2005)

Lif cinsi	Kopma muk. (g/den)	Kopma uza. (%)	Modül (g/den)	Özgül ağırlık (g/cm ³)
Poliamid (nylon)	5,9-9,8	15-18	21-58	1,14
Para-aramidler	23-28	2,5-3,5	500-900	1,44
HMPE	30-40	2,5-3,6	1400-2400	0,97
PBO	40,3	2,5-3,5	1254-1875	1,54
Vectran	23-28	>3,3	760-1016	1,4
PIPD(M5)	47-62	1,2-1,5	3165-4088	1,7

1.3.1. Poliamid Lifleri

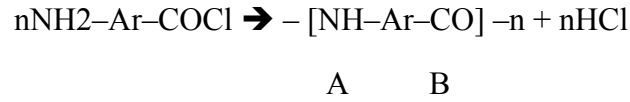
Balistik korunma amaçlı kullanılan ilk tekstil materyalleri balistik dayanıma sahip poliamid kumaşlardır. Bunlar çok katlı olarak, fragmantlara karşı korunma amacıyla kullanılırlardı. Bu tür fragmantasyon yelekleri sadece düşük hızlı mermi ve fragmantlara karşı koruma sağlayabilirler ve en büyük dezavantajları gerekli koruma düzeyine ulaşabilmesi için çok sayıda katman kullanılması zorunluluğundan dolayı çok ağır olmalarıdır. Ayrıca poliamidin ıslanmaya karşı hassas olması ve bu nedenle mukavemetini kaybetmesi nedeniyle balistik özeliği azalmaktadır (Karahana, 1994).

Poliamid ilk sentetik liftir. Yoğunluğu $1,14\text{g/cm}^3$ civarındadır. Poliamid lifinin % 65-85'i kristalin, diğer kısmı ise amorf yapıdadır. Yüzeyi pürüzsüzdür ve yüksek bir aşınma direncine sahiptir (Başer, 1992).

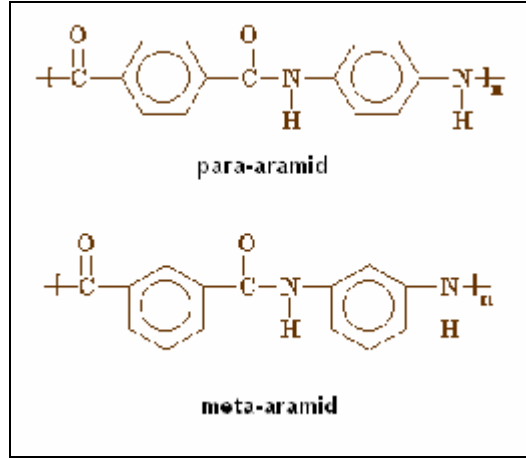
Poliamid 6, $212-215\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında, Poliamid 6,6 ise $250-265\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında bir erime sıcaklığına sahiptirler. Soğuktan etkilenmezler, düşük sıcaklıklarda uzama yüzdesi düşer. Güneş ışığından korunduğu sürece oda sıcaklığında poliamid özelliğinde önemli bir değişiklik olmaz. Poliamidin $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda sürekli hava ile temas durumunda yüzey rengi bozulur ve vurma mukavemeti düşer (Temiz, 2005).

1.3.1.1. Aramid Lifleri

Aramid lifleri aromatik poliamid lifleridir. Amid bağlarının ($-\text{CO}-\text{NH}-$) en az % 85'i direkt olarak iki aromatik halka arasında bulunmaktadır. Aramidler bir amin grubu ile bir karboksilli grubunun reaksiyonu sonucu elde edilmektedir. Basit bir AB homopolimeri ($\text{NH}=\text{A}$, $\text{CO}=\text{B}$) aşağıdaki gibi şematize edilebilmektedir:



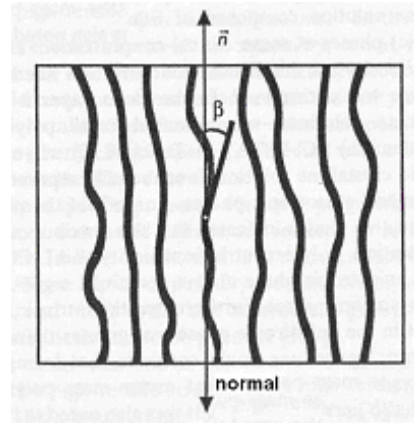
Polimerler daha ziyade ara yüzey polimerizasyonu ve düşük sıcaklık polikondenzasyonu gibi yöntemlerle elde edilmektedirler. Eriyik, ya da buhar fazında polimerizasyon reaksiyonlarından da bahsedilmektedir. AABB aromatik poliamidler çeşitli aromatik diaminler ve diasitler veya diasitklorürlerden üretilmektedirler. AABB polimerleri meta-aramidler ve para-aramidler olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. Para-aramidlerde aromatik grup 1. ve 4. karbon atomları üzerinden zincire dahil olmaktadır. En basit formu poli p-fenilentereftalamid'dir ve piyasada Kevlar ve Twaron lifleri olarak bulunmaktadırlar. Meta-aramidlerde aromatik grup 1. ve 3. karbon atomları üzerinden zincire dahil olmaktadır. Nomex, adı altında ticarileştirilen bu lifler, poli-m-fenilenisofhtalamid yapısındadırlar (Hearle, 2001). Meta-aramidler yüksek ısıya dirençli olan, orta mukavemette ve düşük Young modülüne sahip liflerdir (Temiz, 2005). Şekil 1.4'de para ve meta-aramidlerin kimyasal yapısı sunulmaktadır (Hearle, 2001).



Şekil 1.4. Para-aramid (Kevlar) ve meta-aramid (Nomex)'in kimyasal yapıları(Hearle, 2001)

Normal para-aramid liflerinin yanı sıra, üretimleri esnasında komonomer kullanılan aromatik kopoliamidler de mevcuttur. Tam ya da kısmi aromatik kopoliamidler, alkilaril grupları veya diğer çiklik ve heteroçiklik gruplar içerebilmektedirler (Hearle, 2001). Bunlardan en önemlisi Teijin tarafından geliştirilen Technora'dır.

Aramid liflerinin lif çekim çözeltileri sıvı kristalin yapısı göstermektedirler. Lif üretiminin ilk adımı % 100'lük sülfürik asit ile hazırlanan lif çekim çözeltilerinin 80 °C'a ısıtılmasıdır. Bu sıcaklıkta, ağırlıkça % 10 civarındaki polimer konsantrasyonunun üzerindeki konsantrasyonlarda çözelti sıvı kristalin faza tekabül etmektedir. Çubuk-benzeri polimerler rijit olduklarından, kendilerini birbirlerine göre oryante etmektedirler (Şekil 1.5). Burada β , normale göre oryantasyon açısıdır (Hearle, 2001).



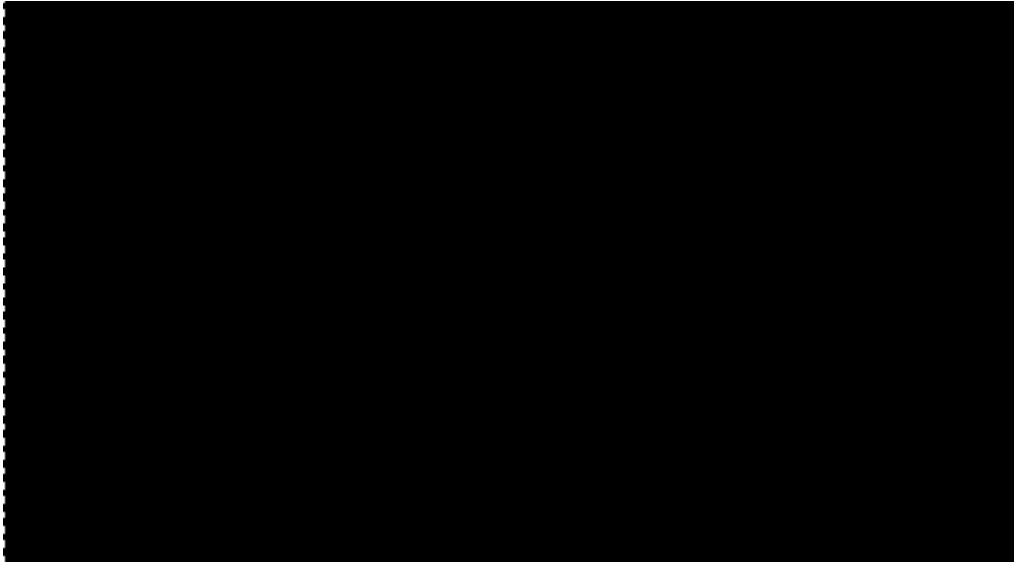
Şekil 1.5. Sıvı kristalin çözeltilerin sematik gösterimi (kalın çizgiler PPTA moleküllerini göstermektedir) (Hearle, 2001)

Lif çekim çözeltileri düzeden geçtikten sonra bir hava boşluğundan geçmektedir. Burada koagülasyon banyosuna giriş hızı artmakta ve kristaller kısmen paralel hale gelmektedir. Sadece soğuk sudan oluşan koagülasyon banyosunda katılma sağlanmaktadır. Lif çekimi sonunda çok yüksek bir oryantasyon sağlanmaktadır (oryantasyon açısı 12°'den az), ancak daha sonra gerilim altında çok kısa sürelerde bir art

Isıl işlem yapılarak kristalizasyon artırılmaktadır. Isıl işlem sonrasında oryantasyon açısı 9°'nin altına düşmektedir (Hearle, 2001).

Para-aramid lifleri, yüksek modülleri ve yüksek sıcaklığa dayanıklı olmaları nedeniyle balistik koruma amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Merminin kinetik enerjisinin absorpsiyonu, enine ve boyuna dalga yayılması ve sürtünme nedeniyle enerji dönüşümüne bağlıdır. Darbe enerjisinin %50'si kadarının dalga yayılması sayesinde absorbe edildiği ifade edilmektedir. Dalga yayılma hızı, lif modülünün karekökü ile doğru orantılı ve lif öz kütlesinin kare kökü ile ters orantılıdır. Bu nedenle yüksek modüllü para-aramid lifleri çok uygundur. Örneğin, para-aramidlerde dalga yayılma hızı 8000 m/s civarındadır ve bu değer poliamidden dört kat daha yüksektir. Bununla birlikte yüksek dalga yayılma hızları sağlayan çok yüksek bir modül, tek basına yeterli değildir. Örneğin, karbon liflerinin kırılgenliği, balistik kumaşlarda kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Böylece liflerin darbe etkisi ile deformasyonu ve uzaması da büyük önem taşımaktadır. Kurşun penetrasyonundan önce ve darbe etkisiyle liflerin ve/veya kumaş yapısının maksimum uzamasından sonra, merminin kumaş/mermi ara yüzeyindeki sürtünme kuvvetlerini yenebilmesi için de ek bir enerji kaybı gerekmektedir. Bu nedenle sürtünme kuvveti de balistik korumada önemli bir faktördür. Elbette çarpma esnasında darbe alanında büyük bir ısı açığa çıkmaktadır. Diğer polimerlere göre para-aramidlerin termal dirençleri oldukça yüksek olduğundan, kullanımları daha uygundur (Hearle, 2001).

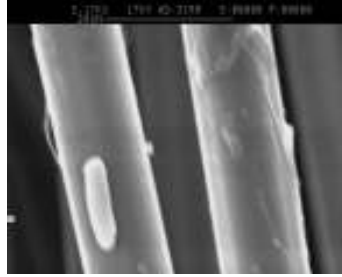
Aramid liflerinin çekme dayanımı artan sıcaklıkla azalmaktadır. Şekil 1.6'de aramid liflerinin diğer bazı polimer esaslı liflere göre sıcaklık dayanımları verilmiştir. para-aramidlerden yapılmış kompozit plakalar veya miğferlerde de koruma özelliği artmış ve ağırlıklar azalmıştır. Bu nedenle özellikle miğfer yapımında ve kompozit plakaların yapımında para-aramidler tamamiyle çeliğin yerini almışlardır. Poliamidden yapılmış bir yelek, aynı düzeyde korumaya sahip para-aramid bir yelekle kıyaslandığında, para-aramid yeleğin % 40 daha hafif olduğu bilinmektedir (Özer, 2004).



Şekil 1.6. Sıcaklığın aramid ve polimer esaslı liflerin dayanımına etkisi (Özer, 2004)

1.3.1.1.1. Kevlar Lifleri

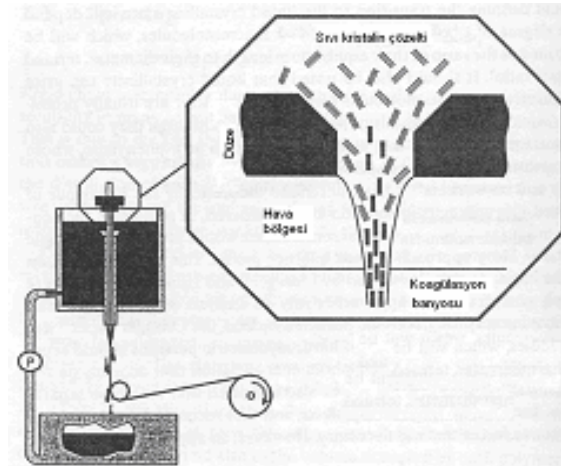
Ticari ismi Kevlar olan poly (p-phenylene terephthalamide, PPD-T) lifleri DuPont'ta 1965 yılında Stephanie Kwolek ve Herbert Blades adlı bilim adamları tarafından geliştirilen ve yüksek performanslı koruyucu giysilerin yapımında kullanılan bir para-aramid lifidir. Hafif, ancak dayanıklı kumaşlar üretilmesine olanak tanımaktadır (<http://www.dupont.com/kevlar>).



Şekil 1.7. Kevlar lifleri [<http://www.eng.yzu.edu/~mtegr/semlab.htm>]

Kevlar para-phenylene diamine ile terephthaloyl chloridenin kondenzasyon reaksiyonu sonucu oluşur. Sonuçta oluşan aromatik polyamid, aromatik ve amid grupları içerir. Polimer bu iki grup sayesinde yüksek mukavemete sahip olur. Aromatik halka yapısı yüksek termal stabiliteyi sağlar. Para konfigürasyonu sert ve rijit moleküller oluşturur, bu da yüksek mukavemet ve yüksek Young modülüne imkân sağlar (www.recguns.com).

Kevlar lifleri kuru jet-yaş lif çekim yöntemine göre elde edilmektedir.



Şekil 1.8. Kuru jet-yaş lif çekim yönteminde sıvı kristalin çözeltisinden lif çekiminin şematik gösterimi (Tarakçıoğlu, 2007)

Lif üretimi esnasında ekstruderlerden geçen ve düzeden çekilen PPD-T solüsyonunun içindeki likit kristalin bölgeleri doğrusallaşır ve molekül zincirleri çekim doğrultusunda sıraya dizilirler ve liflerin Young modülü ve özgül mukavemeti yükselir (Hongu ve Phillips, 1997).

Kevlar lifleri, düşük ağırlıkta yüksek mukavemet, yüksek modül ve kesilmeye karşı yüksek dayanım göstermektedirler. Elektrik iletkenliği düşüktür, yüksek sıcaklığa ve kimyasallara karşı yüksek dayanıma sahiptir, sıcaklıkla büzülmesi azdır ve yüksek boyutsal stabilite göstermektedir (<http://www.dupont.com/kevlar>). Bu nedenle Kevlar lifleri, mayından koruyucu botlar, eldivenler, kurşungeçirmez yelekler ve miğferlerde kullanılan kompozitler başta olmak üzere, balistik koruma ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca dış lastik kuvvetlendirmelerinde, halatlarda, kablolarda ve yüksek mukavemet, ısıl ve kesilme dayanımı gerektiren koruyucu yapılarda kullanılırlar (Lee, 2003).

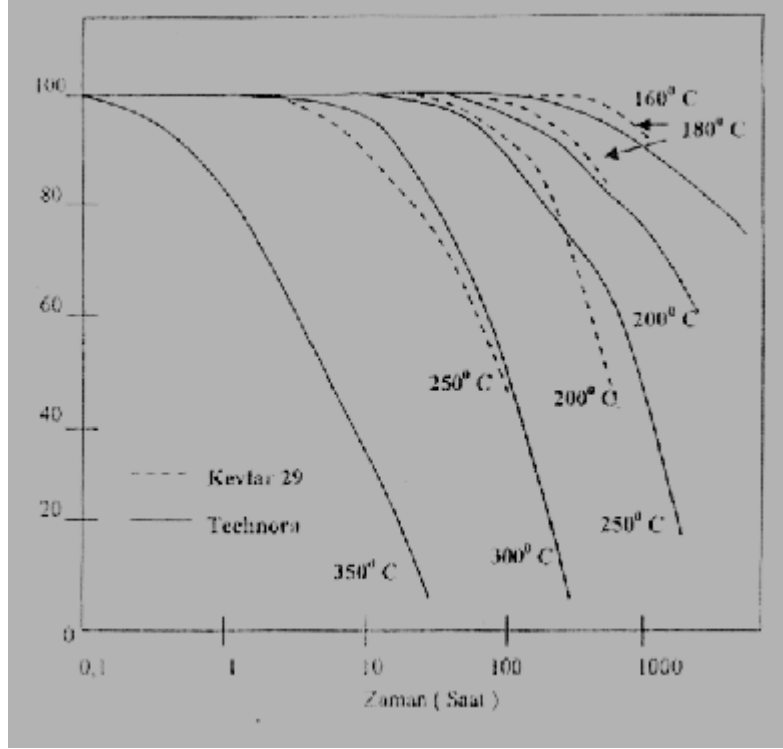
Kevlar liflerinin, Kevlar 29, 49 ve 149 olmak üzere üç tipi mevcuttur. Kevlar 149'ın kristalinitesi diğerleri ile kıyaslandığında daha yüksektir dolayısıyla dayanımı en yüksek olan Kevlar tipi de budur. Kevlar 29 ise en düşük kristaliniteye, dolayısıyla en düşük dayanıma sahiptir. Yapılan araştırmalarda Kevlar 149'un, 49'dan 1,6 kat; 29'dan 2,3 kat daha fazla oryante olduğu ifade edilmektedir (Smith, 1996). Kevlar 29, 49 ve 149 liflerinin fiziksel özellikleri çizelge 1.8'de gösterilmektedir (Hearle, 2001).

Çizelge 1.8. Aramid Tipleri (Lee, 2003; Başer, 1992)

Tip	Dayanım (mN/tex)	Modül (N/tex)	Kopma uzaması (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
Kevlar 29	2030	49	3,6	1,44
Kevlar 49	2080	78	2,4	1,44
Kevlar 149	1680	115	1,3	1,47
Nomex	485	7,5	35	1,38
Twaron	2100	60	3,6	1,44
Twaron Yüksek Modüllü	2100	75	2,5	1,45
Technora	2200	50	4,4	

Kevlar 29'un dayanımı ve modülü, cam liflerinininkine (S veya E) eşdeğer iken, öz kütlesi neredeyse cam liflerinin yarısı kadardır. Bu nedenle daha hafif bir kıyafet için kompozitlerde cam lifleri yerine Kevlar kullanılabilir. Bunun yanı sıra Kevlar lifleri cam liflerinden oldukça daha pahalıdır. Kevlar lifleri nem absorbe edebildiklerinden, Kevlar takviyeli kompozitler, cam liflerinden yapılan kompozitlere göre çevre şartlarına karşı daha hassastırlar. Kopma dayanımı ve modülünün yüksek olmasına rağmen, sıkıştırılabilirlik değerleri nispeten zayıftır. Bunun yanı sıra, Kevlar kumaşların kesilmesi oldukça zordur(<http://composite.about.com/od/aboutcompositesplastics/l/aa050597.htm>).

Kevlar lifi mükemmel ısıl dengeye sahiptir. 500⁰C'nin üzerindeki sıcaklıklarda şiddetli bozulmalara dayanım gösterir. Ancak bozulmanın başladığı sıcaklık yükseldikçe polimerin yapısından bazı maddelerin ayrışması sonucu lifte ağırlık kayıpları meydana gelmektedir. Şekil 1.9 'da sıcaklıkla Kevlar ve Twaron liflerindeki dayanım azalması karşılaştırılmaktadır (Turhan, 1999).



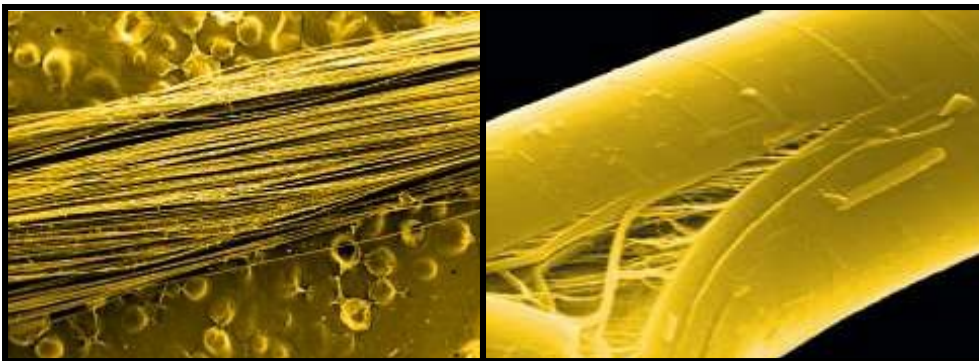
Şekil 1.9. Kevlar ve Twaron liflerinin sıcaklık ile dayanım azalması (Turhan, 1999)

Kevlar ipliğinin kopma mukavemeti çelik telinkinden 5 kat daha yüksektir ve yoğunluğu çeliğin yoğunluğunun beşte biri oranındadır (Hongh ve Phillips, 1997).

1.3.1.1.2. Twaron Lifleri

Twaron, Teijin firmasının piyasaya sürdüğü aramid lifidir. Para-aramid yapısındaki polimerlerden oluşan Twaron lifleri de, yüksek enerji absorblayabilmesi nedeniyle balistik koruma ürünlerinde kullanılmaktadır ve şu anda para-aramid lifleri içerisinde Kevlar'dan sonra en büyük pazar payına sahip olan lifdir (NRC, 2005). Şekil 1.10'da Twaron filamentleri görülmektedir

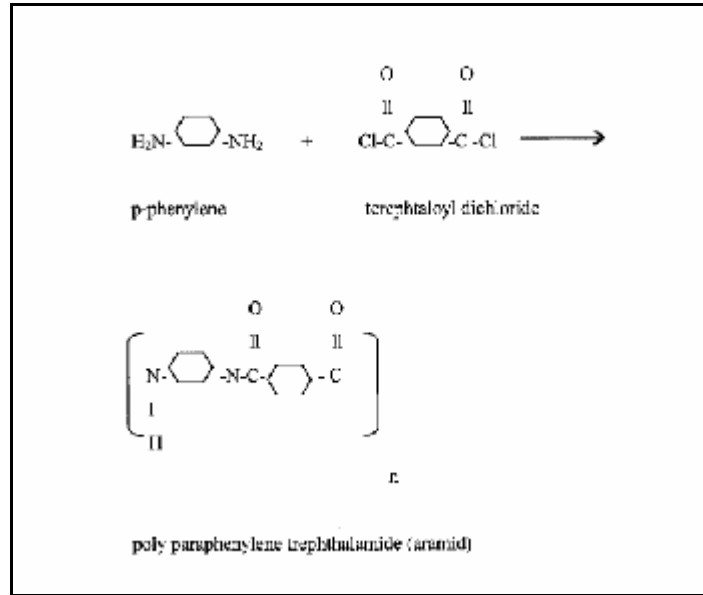
(http://www.krc.su.se/web/undervisn/OHbild/PDF_filer/216_PDF_2.pdf).



Şekil 1.10. Twaron lifleri

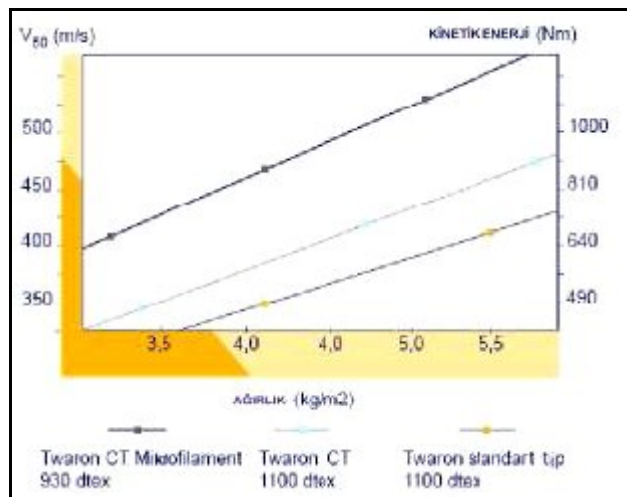
(http://www.krc.su.se/web/undervisn/OHbild/PDF_filer/216_PDF_2.pdf).

Twaron, p-phenylene diamine ile terephthaloyl dichloride'nin HCl açığa çıkarması sonucu oluşur (Temiz, 2005).



Şekil 1.11. Twaronun kimyasal formülü (Twaron ürün katalogları)

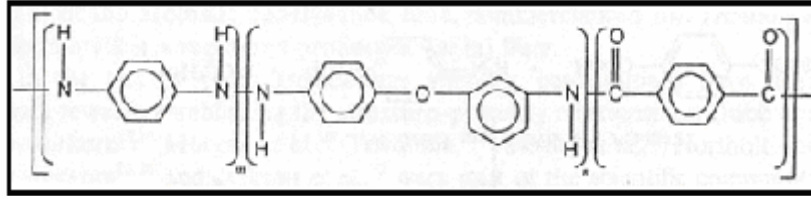
Twaron liflerinin piyasada, 1100 dtex inceliğinde Twaron standart, daha yüksek dayanımlı Twaron CT ve 930 dtex inceliğindeki Twaron CT Microfilament olmak üzere, üç çeşidi bulunmaktadır. Bu liflere ait V50 ölçüm değerleri, şekil 1.12'de verilmektedir. Twaron CT mikrofilamentlerinden yapılan iplikte, standart Twaron'la üretilen aynı ağırlıkta bir ipliğe göre % 50 daha fazla para-aramid lifi olduğu belirtilmektedir. Standart kumaşla kıyaslandığında, aynı enerji absorblama seviyesine sahip Twaron CT Microfilament 541 daha hafiftir. Bu nedenle Twaron CT Microfilament liflerinin giyilebilirlik ve giyim konforu değerlerinin daha iyi olduğu ifade edilmektedir (<http://www.twaron.com/pdf/filament.pdf>).



Şekil 1.12. Çeşitli Twaron liflerinin kinetik enerji absorpsiyonları

1.3.1.1.3. Technora Lifleri

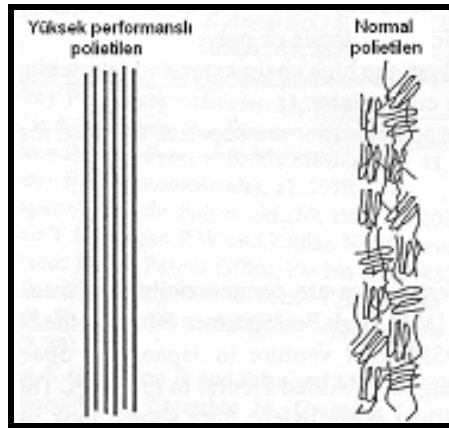
Technora lifleri Teijin firmasının geliştirdiği yüksek mukavemetli liftir. Yukarıda da bahsedildiği gibi, diğer aramid liflerinden farklı olarak, bunlarda makromolekül üretiminde komonomer ilavesi yapılmaktadır. Şekil 1.13’de kimyasal formülü gösterilen Technora, PPD ve 3,4’-diaminodifenileter’in tereftaloilklorür ile reaksiyonu sonucu elde edilmektedir (Hearle,2001). Technora liflerinin modülü Kevlar’a yakın olup, aşınma dayanımı daha iyidir, ancak bu lifler Kevlar’dan çok daha pahalıdırlar. Technora’nın avantajı hidrolize dayanıklı olmasıdır. Technora’nın yapısında bulunan eter bağları, lifin diğer aramid liflerine göre daha esnek olmasını sağlamaktadır (Hongu, 2000).



Şekil 1.13. Technora polimerlerinin kimyasal yapısı (Hearle,2001)

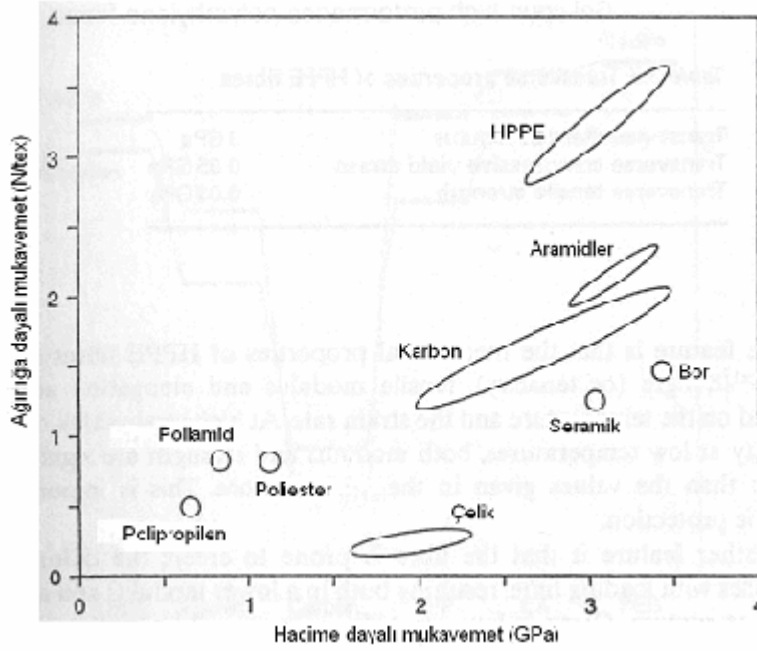
1.3.2. Yüksek Performanslı Polietilen Lifleri

Jel lif çekimi ile elde edilen polietilen lifleri, yüksek modüllü ultra-sağlam liflerdir. Yüksek performanslı polietilen (HPPE) lifleri veya yüksek modüllü polietilen (HMPE) lifleri olarak adlandırılmaktadırlar. Polietilen makromolekülleri arasında yalnızca Van der Waals çekim kuvvetleri etkindir. Bu zayıf çekim kuvveti nedeniyle yüksek performanslı lif elde edebilmek için, oldukça yüksek molekül ağırlığına sahip polietilen (UHMW-PE) makromoleküllerine gereksinim duyulmaktadır. Ortalama polimer ağırlığı 10^6 veya daha yüksektir. Polietilen daha uzun ve esnek moleküllere sahip olup, lif eksenine boyunca oryantasyonu sadece fiziksel işlemlerle sağlanabilmektedir. Normal polietilen liflerinde makromoleküller yeterince oryante olmamıştır, dayanıklı lifler elde etmek için molekül zinciri lif boyunca gerilmeli ve oryantasyon sağlanmalıdır. Bununla birlikte polimer zincirleri yeterli etkileşimin sağlanabilmesi için yeterince uzun olmalıdır. Bu nedenle başlangıç materyali olarak yüksek molekül ağırlığına sahip polietilen makromolekülleri kullanılmaktadır (Hearle, 2001).



Şekil 1.14. HPPE ve normal PE liflerinin makromoleküler oryantasyonu (Hearle, 2001).

olabilmelidir. Düzeden geçtikten sonra çözelti su banyosunda soğutulmakta ve çözgen uzaklaştırılmaktadır. Böylece jel formunda lif elde edilmektedir. Bu işlem, çözgenin buharlaştırılması veya ayrıştırılması ile de gerçekleştirilebilmektedir. Ardından bir süper germe işlemi ile kristalizasyon sağlanmaktadır. Dayanım ve modül tamamen germe oranına bağlıdır. Şekil 1.17’de HPPE liflerinin birim hacimdeki ve ağırlıktaki dayanımları diğer liflerle kıyaslanmaktadır (Hearle, 2001).



Şekil 1.17. Çeşitli liflerin hacim bazında ve ağırlık bazında mukavemetleri (Hearle, 2001)

HPPE lifleri kopma esnasında fazla miktarda enerji absorblayabilmektedirler ve düşük ağırlıkları nedeniyle özgül enerji absorpsiyonu da oldukça yüksektir. Bu nedenle düşük ağırlık ve yüksek dayanım gerektiren balistik koruma ürünlerinde kullanımları uygundur (Tarakçıoğlu ve ark.,2007).

1.3.2.1. Dyneema Lifleri

Dyneema lifleri, 1979 yılında DMS firması tarafından üretilmeye başlanmıştır. Normalde polietilen molekülleri paralel değildir. Jel eğirme yöntemi ile moleküller bir çözücüde çözülür ve düzeler boyunca çekilirler. Çok yüksek bir moleküler oryantasyon sonucunda lifler yüksek mukavemete ve yüksek Young modülüne ulaşırlar. % 85'e varan seviyede kristalizasyon ve % 95'ten fazla olan paralel oryantasyonu ile karakterize edilirler (Temiz, 2005).

Dyneema HDPE (high density polyethylene)'den üretilmektedir. Aromatik halkalar, amin grupları içermez. Bunun sonucu olarak suya, neme, birçok kimyasallara, UV ışınlarına, mikroorganizmalara karşı dayanıklıdır. Dyneema lifleri suda şişmez ve hidroliz olmaz (Temiz, 2005). Yüksek dayanım ve yüksek enerji absorbe edebilme özellikleri nedeniyle özellikle balistik tekstillerde tercih edilmektedir (Tarakçıoğlu ve ark., 2007).

Dyneema'nın yoğunluğu 1'den biraz azdır, bu nedenle suda yüzebilir. Düşük yoğunluğuna karşın, bilinen tüm iplikler arasında en sağlam olanıdır, dayanıklılığı yüksek

kaliteli bir çelikten 15 kez daha fazla olabilir. Kopma anındaki uzaması diğer yüksek performanslı iplikler kadar düşüktür (Özaydın, 1999). Dyneema liflerinin çeşitli kullanım alanları için farklı tipleri mevcuttur. Dyneema lifleri aşağıdaki ticari isimlerde üretilmektedir (Temiz, 2005).

Dyneema SK60/SK65: Çok amaçlıdır. İplikte, şeritte, koruyucu elbiselerde ve çarpmaya dayanıklı eşyalarda bir bileşen olarak kullanılır.

Dyneema SK75: Dyneema SK60'tan daha dayanıklıdır ve maksimum ağırlık kazancına ulaşılabilir. Genellikle halat, balıkçılık ve tekstil uygulamalarında kullanılırlar.

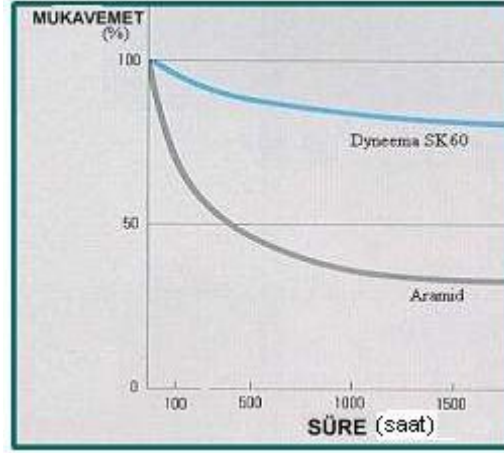
Dyneema SK76: Balistik korunma için özel olarak dizayn edilmiştir. Bu lif yüksek hızlarda en fazla enerji absorpsiyonunu ve şok dalgasının en hızlı şekilde dağıtılmasını sağlar. Bunlardan en yüksek dayanıma sahip olan tiptir.

Çizelge 1.9'da Dyneema liflerinin özellikleri görülmektedir (<http://www.ssgloves.com/khtml/techinfo-no04.html>).

Çizelge 1.9. Dyneema tiplerinin özellikleri (<http://www.ssgloves.com/khtml/techinfo-no04.html>).

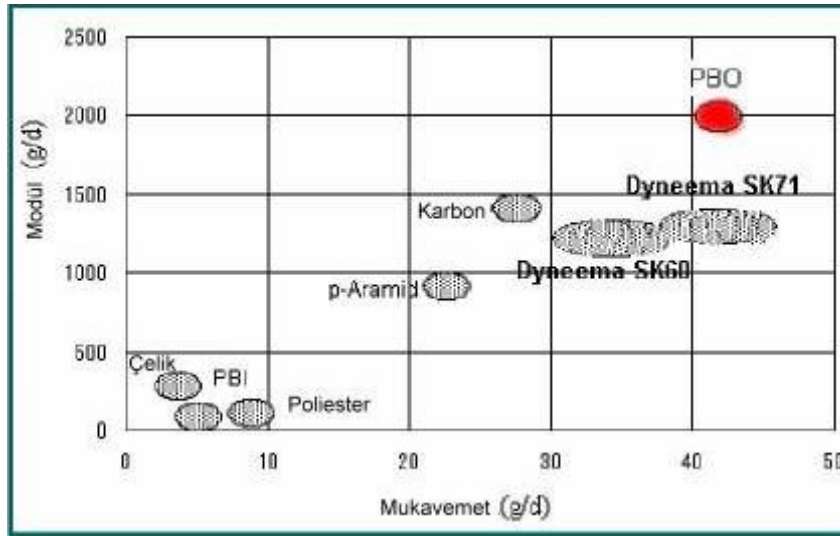
	Dyneema SK60	Dyneema SK65	Dyneema SK75	Dyneema SK76
Öz kütle (g/cm ³)	0,97	0,97	0,97	0,97
Özgül dayanım (N/tex)	2,8	3,1	3,5	3,7
Özgül dayanım (g/den)	32	35	40	42
Kopma mukavemeti (GPa)	2,7	3,0	3,4	3,6
Modül (GPa)	89	95	107	116
Kopma uzaması (%)	3,5	3,6	3,8	3,8

Şekil 1.18'de Dyneema liflerinin ışığa karşı dayanımları aramid lifleri ile kıyaslanmaktadır. Şekil 1.19'da ise Dyneema liflerinin mukavemeti ve modülü diğer yüksek performanslı liflerle kıyaslanmaktadır (<http://www.midasglove.com/english/viewforum.php?f=47&sid=958f4eba776f8198eb930922d3d3dea8>).



Şekil 1.18. Işık etkisi ile Dyneema SK60 ve Aramid liflerinde meydana gelen mukavemet kaybı

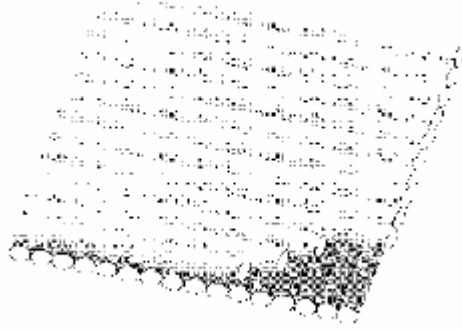
(<http://www.midaglove.com/english/viewforum.php?f=47&sid=958f4eba776f8198eb930922d3d3dea8>).



Şekil 1.19. Dyneema liflerinin mukavemet ve modülünün diğer yüksek performanslı liflerle kıyaslanması

(<http://www.midaglove.com/english/viewforum.php?f=47&sid=958f4eba776f8198eb930922d3d3dea8>).

Polis yeleklerinde kullanılmak için Dyneema UD geliştirilmiştir. Bu iki yönlü bir yapıdadır. İplikler dokunmamıştır, fakat birbirine paralel uzanır. Şekil 1.20’de liflerin Dyneema UD içindeki yerleşimi görülmektedir. Dyneema UD su ve güneş ışığından etkilenmez ve özel bir korumaya gerek duymaz (Temiz, 2005).



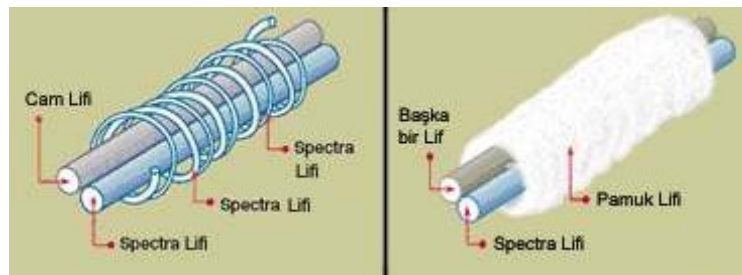
Şekil 1.20. Liflerin Dyneema UD içindeki yerleşimi (Temiz, 2005)

Askeri alanda kullanılan Dyneema Fraglight ise ultra hafif ağırlıkta ve dokunmamıştır. Dyneema Fraglight bomba, el bombası ve mermi parçacıklarına karşı balistik korunmaya garanti verir (Tutak, 1996).

1.3.2.2. Spectra Lifleri

Spectra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen lifleri olarak, 1985 yılında Allied Signal firması tarafından üretilmiştir. Spectra lifleri %95-99 oryantasyon ve kristalizasyon derecesine sahiptirler. Spectra lifinin yoğunluğu $0,97 \text{ gr/cm}^3$ olup Spectra lifleri çelikten 10 kat daha fazla enerji absorbe edebilmektedir. Aramid liflerinden %40, cam liflerinden ise iki kat daha yüksek bir mukavemete sahiptir. Dyneema lifleri gibi kimyasallara, UV ışınlarına ve suya karşı dayanımı yüksektir (Karahana, 1994).

İlk olarak Spectra Fiber 900 ismiyle piyasaya sürülen liflerin, Spectra Fiber 1000, ve 2000 tipleri ile özellikleri iyileştirilip, mukavemetleri artırılmış, daha ince hale getirilmiş ve ağırlıkları azaltılmıştır. Spectra Guard ve Spectra Guard CX ipliklerinde ise, Spectra lifleri cam (Spectra Guard) ve pamuk lifleriyle (Spectra Guard CX) birlikte kullanılarak yüksek kesme dayanımı gösteren iplikler elde edilmiştir. Şekil 1.21’de ise Spectra Guard ve Guard CX iplikleri görülmektedir. Spectra Guard CX’de bulunan pamuk sayesinde elde edilen kumaşların giyilebilirliğinin ve konforunun daha iyi olduğu ifade edilmektedir (http://www.honeywell.com/sites/sm/afc/spectra_fiber.htm).



Şekil 1.21. Spectra Guard ve Spectra Guard CX iplikleri

Çizelge 1.10’da Spectra 2000 liflerinin özellikleri sunulmaktadır.

Çizelge 1.10. Spectra 2000 liflerinin fiziksel özellikleri

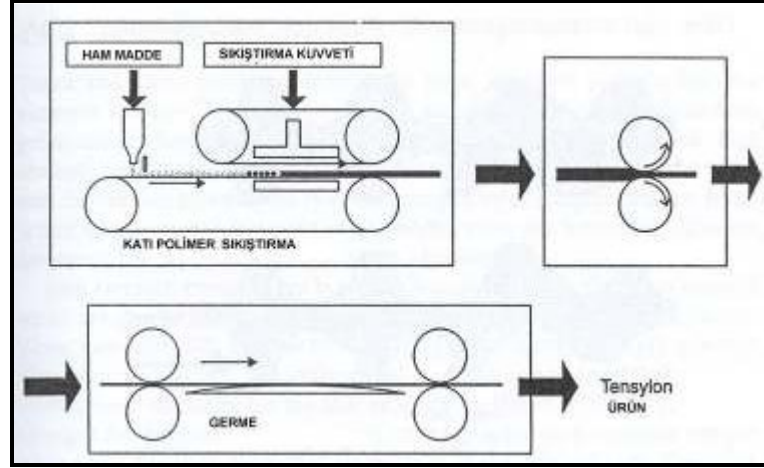
Ağırlık/Birim uzunluk	denye	75	100	130	180	195
	dtex	83	111	144	200	217
Kopma mukavemeti	g/denye	41	39	38	38	37,5
	GPa	3,51	3,34	3,25	3,25	3,21
Modül	g/denye	1450	1450	1320	1350	1320
	GPa	124	124	113	116	113
Kopma uzaması	%	2,9	3,0	2,8	2,9	2,9

Spectra lifleri hem yumuşak, hem de sert koruyucu olarak kullanılabilirler. Yumuşak koruyucu olarak kullanılacağı zaman kumaş veya dokusuz yüzey olarak kullanılabilirler. Dokusuz yüzey uygulamasından önce lifler yan yana dizilirler, sonra bu lifler tek bir kat ince tabaka elde etmek için genellikle kraton reçinesi ile bağlanırlar. Bu şekilde elde edilen iki tabaka $0/90^0$ açılı yapacak şekilde üst üste konur ve aşınma direncini artırmak için bu tabakanın her iki yüzü film ile kaplanır (Temiz, 2005).

Spectra liflerinden elde edilen dokusuz yüzey kompozitleri balistik açıdan nemden etkilenmez. Kimyasallara ve UV ışınlarına dirençleri yüksektir. Yanma sıcaklığı 357^0C gibi düşük bir değerdir. Bu yüzden balistik koruyucu yapı güç tutuşur kılıf ile kaplanmalıdır (Turhan, 1999).

1.3.2.3. Tensylon Lifleri

Tensylon lifleri, diğer yüksek molekül ağırlıklı polietilen lifleri gibi jel lif çekim yöntemine göre üretilmemektedir. Herhangi bir çözgen kullanılmaksızın başlangıç materyali katı halde iken lif çekimi sağlanmaktadır. Bu esnada sıcaklık erime noktasına yakın derecelerde olmaktadır. Lif çekimi için molekül ağırlığı 3-5 milyon arasında değişen polietilen makromolekülleri kullanılmaktadır. Katı-hal lif çekimi işlemi üç adımdan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla toz sıkıştırma, kalandır ve ultra germe işlemleridir. İlk aşamada polimer, ısıtılmış sonsuz iki bant arasına beslenmekte ve burada sıkıştırılarak, film haline getirilmektedir. Kalandırlama kısmında ısıtmalı basınçlı iki silindir arasından geçirilen filmin kalınlığı azaltılmaktadır. Üçüncü aşamada ise sıcak plakalar kullanılarak yüksek bir germe işlemi yapılmaktadır. Germe oranı 12-13 civarındadır. Tensylon lifleri, diğer yüksek modüllü polietilen liflerinin kullanıldığı yerlerde uygulama alanı bulmaktadır. Diğerlerine nazaran lif çekimi esnasında çözgen kullanılmadığından üretim maliyetinin % 40-50 daha düşük olduğu belirtilmektedir (Hearle, 2001).



Şekil 1.22. Katı-hal lif çekim aşamaları (Hearle,2001).

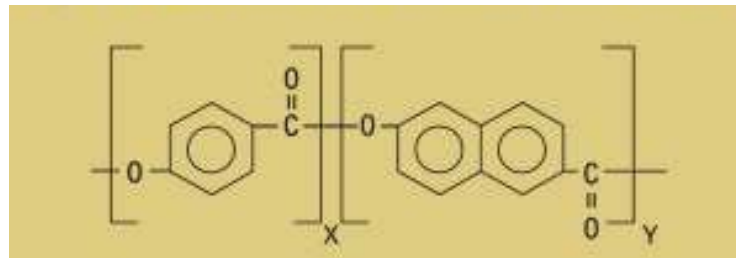
Çizelge 1.11' de tensiyon liflerinin özellikleri verilmiştir. (http://www.pearson-ntl.com/high_strength_yarn.html)

Çizelge 1.11. Tensiyon liflerinin özellikleri

Kopma dayanımı (g/denye)	17,0
Modül (g/denye)	1450
Kopma uzaması (%)	2,8
Erime noktası (°C)	147
Su absorpsiyonu %	0

1.3.3. Tam Aromatik Polyester Lifleri (Vectran)

Vectran lifleri, tam aromatik poliester liflerinin ticari adıdır. Bu lifler Vectra sıvı kristalin polimerinden elde edilmektedirler. Lifin kimyasal yapısı Şekil 1.23 'de görülmektedir. Polimerler termotropiktir ve yüksek sıcaklıklarda erir. Bu nedenle eriyikten lif çekimine göre lif eldesi sağlanmaktadır. Sıvı kristalin yapı nedeniyle yumaklaşma olmaksızın yüksek bir oryantasyon söz konusudur (Hearle, 2001; <http://www.vectranfiber.com>).



Şekil 1.23. Vectran lifinin kimyasal yapısı (<http://www.vectranfiber.com>)

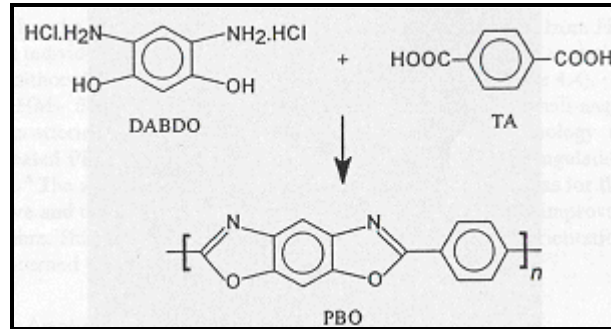
Çizelge 1.12’de Vectran liflerinin özellikleri verilmektedir (Hearle,2001). Yüksek mukavemetli ve yüksek modüllü bu lifler de balistik koruma ürünlerinde kullanılabilirler (Tarakçıoğlu ve ark., 2007).

Çizelge 1.12. Vectran lifinin özellikleri (Hearle,2001).

Dayanım (g/denye)	23-28
Modül (GPa)	65-87
Kopma uzaması (%)	>3,3
Erime noktası (oC)	330
LOI	30
Higroskopik nem (%)	<0,1

1.3.4. PBO Lifleri

PBO (poli-p-fenilenbenzobisoksazol), 4,6-diamino-1,3-benzendioldihidroklorür (DABDO) ile tereftalik asidin (TA), polifosforik asit içerisinde (PPA) polikondenzasyonu sonucu elde edilmektedir. PBO’nun polikondenzasyon reaksiyonu şekil 1.24’de görülmektedir (Hearle, 2001).



Şekil 1.24. PBO polikondenzasyon reaksiyonu (Hearle,2001).

Poli-p-fenilenbenzobisoksazol (PBO) lifleri yüksek ısıya dirençli polimerler olarak geliştirilmişlerdir ve birkaç çözgen sistemi haricinde çözünmemektedirler. Bu nedenle PBO liflerinin üretimi için, geleneksel eriyikten ya da çözültiden lif çekimi yöntemleri uygulanamamaktadır. Bu lifler PPA içerisinde çözülerek, para-aramid liflerinde olduğu gibi, sıvı kristalin fazında, sıcaklık ve basınç altında kuru jet-yaş lif çekimi yöntemine göre üretilmektedir (Hearle, 2001).

PBO aromatik polimerler içeren bir polibenzazoldür. Lif mukavemetinin yüksek olması makromolekül zincirlerinin lif eksenine paralel yerleşmesi sonucudur (Dirican, 2002).

PBO lifleri diğer yüksek performanslı liflerle kıyaslandığında, mükemmel mekaniksel özellikler göstermektedir. Oldukça yüksek yanma dayanımı ve yüksek termal stabiliteye sahiptir. Çizelge 1.13’de PBO lifleri, p-aramid ve yüksek performanslı polietilen lifleri ile kıyaslanmaktadır (NRC, 2005).

Çizelge 1.13. PBO, p-aramid ve HPPE liflerinin özellikleri (NRC, 2005)

	p-Aramid	HPPE	PBO
İplik mukavemeti, g/denye	18-27	30-38	40-42
Öz kütle, kg/m ³	1440	970	1560
Higroskopik nem, %	1-7	0	0,6-2
Sıcaklık dayanımı, °C	550	150	650
LOI	29	20	68

Aramid liflerinde olduğu gibi, PBO lifleri de yüksek enerji absorpsiyonu ve fibriler morfoloji sayesinde darbe etkisinin hızlı bir şekilde yayılmasını sağladığından, balistik koruyucu giysilerde kullanılmaktadır.

1.3.4.1. Zylon

Zylon lifleri Toyoba firmasının ürettiği PBO lifleridir. Zylon liflerinin dayanımları ve modülleri aramid liflerinin neredeyse iki katıdır. Sıcaklığa karşı dayanımı oldukça iyidir ve yüksek modüllü organik lifler arasında en yüksek LOI değerine sahiptir. Zylon liflerinin de AS (as spun) ve HM (high modulus) olmak üzere iki tipi mevcuttur. Zylon HM daha yüksek modüle sahiptir ve higroskopik nemi de AS ile kıyaslandığında oldukça düşüktür. Çizelge 1.14'de Zylon AS ve Zylon HM liflerinin özellikleri görülmektedir (Pro Fiber Zylon, Technical Information, Toyobo CO LTD, 2005).

Çizelge 1.14. Zylon AS ve Zylon HM liflerinin özellikleri (Pro Fiber Zylon, Technical Information, Toyobo CO LTD, 2005)

Özellik	Zylon AS	Zylon HM
Yogunluk (g/cm ³)	1,54	1,56
Kopma mukavemeti(cN/dtex)	37	37
Kopma mukavemeti (GPa)	5,8	5,8
Kopma mukavemeti(kg/mm ²)	550	590
Çekme modülü (cN/dtex)	1150	1720
Çekme modülü (Gpa)	180	270
Çekme modülü (kg/mm ²)	18000	28000
Kopma uzaması (%)	3,5	2,5
Nem oranı (%)	2,0	0,6
Bozunma sıcaklığı (°C)	650	650
LOI	68	68

Yüksek sıcaklık ve nem Zylon liflerinin mukavemetini düşürür. Bu yüzden Zylon lifleri oda sıcaklığında ve nemsiz ortamda saklanmalıdır. 500 °C sıcaklıkta Zylon mukavemetinin % 40'ını kaybeder. Bu yüzden Zylon lifleri koruyucu bir yapı ile kaplanmalıdır. Zylon'un 6 aylık güneş ışığına maruz kalması sonucunda mukavemetinin % 35'ini kaybeder. Zylon lifleri sadece güneş ışığından değil, floresan ışıktan da korunmalıdır (Temiz, 2005).

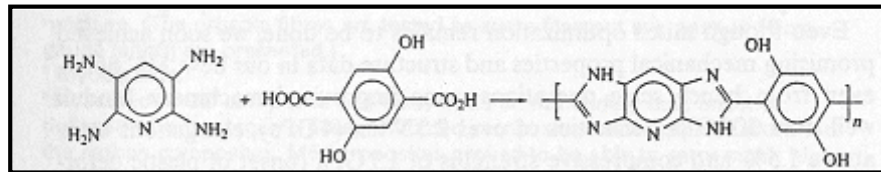
Zylonun aşınma direnci Kevlardan oldukça yüksek fakat yüksek molekülü polietilenden oldukça düşüktür (www.toyobo.co.jp/seihin/kc/pbo/technical pdf).

Zylon lifleri kumaş olarak kullanılabileceği gibi nonwoven yapılar olarak da kullanılmaktadırlar (Temiz, 2005).

Z Shield Zylon liflerinden elde edilen özel esnek bir kompozit yapıdır. Lifler özel reçine ile iki katlı sandviç bir yapı haline getirilmiş ve koruyucu film ile kaplanmıştır. Sonuçta ince, yüksek mukavemetli balistik kompozit bir yapı geliştirilmiştir (www.armorholdings.com).

1.3.5. PIPD (M5) Lifleri

PIPd (poli 2,6-diimidazo [4,5-b:4',5'-e]piridinilen-1,4-(2,5-dihidroksi)fenilen) lifleri yüksek dayanım ve yüksek modüle sahip liflerdir. 2,3,5,6-tetraaminopiridin (TAP) ile 2,5-dihidroksitereftalik asit'in polimerizasyonu ile elde edilmektedirler. Polimerizasyon reaksiyonu Şekil 1.25'de görülmektedir. Lif çekimi kuru-jet yas lif çekim yöntemine göre yapılmaktadır. Lif çekim çözeltisinde bulunan polimerlerin molekül ağırlıkları 60000-150000 arasındadır. Koagülasyon banyosunda su veya seyreltik fosforik asit bulunmaktadır. Koagülasyon banyosunda katılan lifler yıkanmakta, kurutulmakta ve yüksek sıcaklıklarda (>400°C) gerdirme işlemine tabi tutulmaktadır (Hearle,2001). Böylece yüksek kristaliniteye sahip yüksek modüllü lifler elde edilmektedir. (http://www.m5fiber.com/magellan/m5_fiber.htm).



Şekil 1.25. PIPD polimerizasyonu (http://www.m5fiber.com/magellan/m5_fiber.htm).

Magellan System tarafından geliştirilmiş olan M5 liflerinin kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Dayanım değerleri PBO lifleri ile benzer olmakla birlikte, sıkıştırılabilirlik özellikleri diğer liflerden çok daha iyidir. Bu özellik, yapısal bütünlüğü geliştiren hidrojen bağı seviyesinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Tüm bu özellikler hem yapısal, hem de balistik gereksinimleri karşılamaktadır. Çizelge 1.15'de M5 liflerinin özellikleri görülmektedir (NRC, 2005).

Çizelge 1.15. M5 liflerinin özellikleri (NRC, 2005).

	M5 (1999-2000)	M5 (Nisan 2002)	M5 (Hedeflenen)
Dayanım, GPa	4	5,3	9,5
Kopma uzaması, %	1,2	1,5	>2
Modül, GPa	330	350	>400
Higroskopik nem, %	2,0	2,0	2,0
Sıcaklık dayanımı, °C	530	530	530

M5 lifleri yüksek bir ısı ve elektrik direncine sahiptir. Asit, UV ışınları gibi dış etkenlerden zarar görmezler ve performans özellikleri oldukça iyidir. M5, uzay çalışmaları ve savunma sanayinde kullanıma uygundur. Güç tutuşur giysilerden helikopter pervanelerine, uydulardan tenis raketlerine kadar çok farklı alanlarda kullanılabilir. M5 liflerinin kullanım alanları arasında balistik koruma ön sıralarda yer almaktadır (<http://www.m5fiber.com/magellan/>).

1.3.6. Karbon Lifi

Karbon lifleri metallerle göre oldukça düşük yoğunluktadır. Çeliğe göre mukavemeti yüksek olup, aşırı katıdır (Cook, 1984).

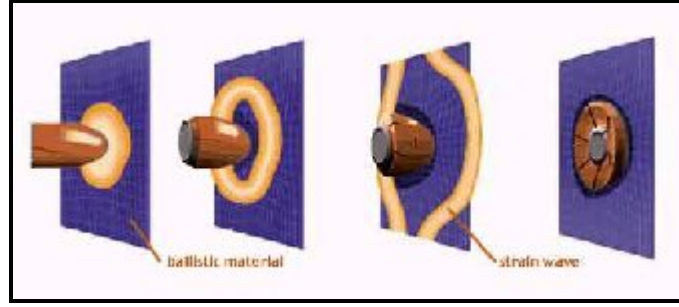
Karbon liflerinde mukavemet/ağırlık ve modül/ağırlık oranları çok yüksektir. Isıya karşı boyutsal stabilite, yüksek yorulma mukavemeti, yüksek erime noktası ve yüksek katlıkları onların avantajlarıdır. Düşük ani darbe direnci, yüksek elektrik iletkenliği karbon liflerinin dezavantajlarıdır (Ersoy, 2005).

1.4. Balistik Korumanın Temeli

Balistik korumada amaç, merminin çarpması sonucunda oluşan enerjinin balistik koruyucu tarafından absorbe edilmesi ve insan vücudunda oluşacak çöküntü miktarının en az seviyede gerçekleşmesidir. NIJ 0101.04 standardına göre insan vücudunun dayanabileceği çöküntü miktarı en fazla 44 mm'dir. Balistik koruyucu yelekler ve başlıklar ile herhangi bir mermi çarpması sonucu merminin insan vücuduna geçmemesi ve oluşacak çöküntü miktarının en aza indirilmesi amaçlanmaktadır (Temiz, 2005).

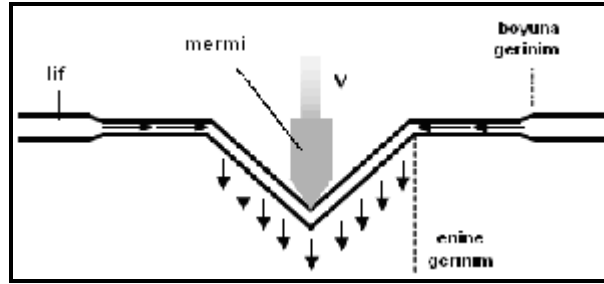
1.4.1. Balistik Darbe Mekanizması

Kumaşa meydana gelen darbe olayını analiz edebilmek amacıyla tek bir lifte gerçekleşen darbe olayı incelendiğinde; şekil 1.27'de gösterildiği gibi bir mermi tek bir life çarptığında, darbe noktasında (şekil 1.26) enine ve boyuna olmak üzere iki tip dalganın yayıldığı görülür (Cheeseman ve diğ., 2003).



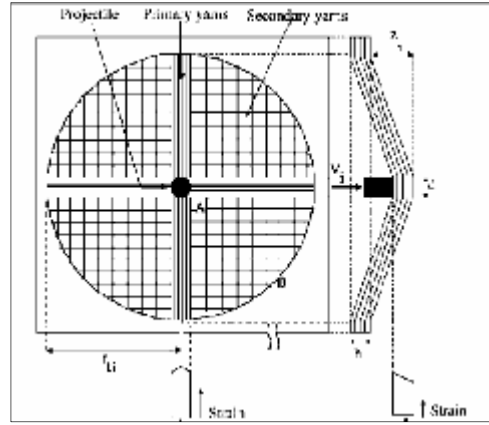
Şekil 1.26. Gerinim dalgaları (Cheeseman ve diğ., 2003).

Boyuna gerinim dalgası malzemenin ses yayılım hızında lif ekseni boyunca hareket etmektedir. Gerinim dalgası darbe noktasından yayıldıkça, materyal çarpan merminin hareket doğrultusunda darbe noktasına doğru hareket eder. Lifin bu enine yöndeki hareketi enine dalga olarak adlandırılmaktadır ve bu enine dalga malzemenin hızından daha düşük bir hızda yayılır (Cheeseman ve diğ., 2003).



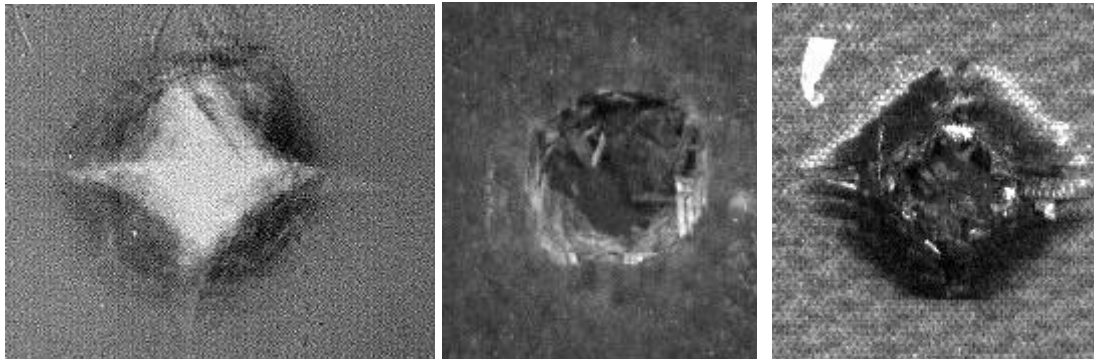
Şekil 1.27. Tek bir lifte gerçekleşen darbe (Cheeseman ve diğ., 2003)

Tek katmanlı bir kumaşın enine darbesi ile tek bir lifin enine darbesi arasındaki benzerliğe dayanarak; bir mermi kumaşa çarptığında, mermi ile direkt temas eden temel ipliklerde enine yönde bir eğilmenin meydana geldiği ve iplik ekseni boyunca malzemenin ses hızında yayılan boyuna gerinim dalgası oluşturduğu görülmektedir. Bununla birlikte temel ipliklerle kesişen iplikler olarak adlandırılan ortogonal iplikler, temel iplikler tarafından orijinal kumaş düzleminde dışarıya doğru çekilmektedirler. Bu ortogonal iplikler deformasyona uğramakta ve temel ipliklerde olduğu gibi uzama dalgası oluşturmaktadırlar. Benzer şekilde bu ortogonal iplikler kendileriyle kesişen iplikleri zorlamaktadırlar. Birbirleri arasındaki sürtünmenin fonksiyonu olan bu iplik-iplik etkileşimi, darbe noktasında ortogonal ipliklerin düzensizliği şeklinde oluşan eğilme meydana getirmektedir. Bu enine eğilme darbe noktasında uzamanın kopma uzaması değerine ulaşmasına kadar devam etmektedir (Cunniff, 1992). Bütün bu olaylar gerçekleşirken malzemenin arka kısmında koni formu oluşur (Zhu ve ark., 1992; Morye ve ark., 2000). Yapının arka yüzündeki koni formunun oluşumu darbe sırasındaki enine dalga yayılması esasına dayandırılabilir (Naik ve ark., 2004). Şekil 1.28'de balistik darbe sırasında kompozitin arka yüzündeki koni formunu ve deformasyonu göstermektedir. Burada d , mermi çapını, r_i , oluşan koninin yüzey çapını, z_i , merminin itmesiyle yapının aldığı mesafeyi, ifade etmektedir. Merminin itmesiyle yapının aldığı mesafe ile oluşan koninin yüksekliği eşittir. Hız arttıkça oluşan koninin yüksekliği de artacaktır (Naik ve ark., 2004).



Şekil 1.28. Darbe sırasında kompozit hedefin arka yüzünde oluşan koni formu (Naik ve ark., 2004).

Nümerik olarak yapılan analizlerde merminin kinetik enerjisinin büyük bir bölümünün uzama ve kinetik enerji olarak temel ipliklere transfer edildiği; ortogonal ipliklerin enerji absorpsiyonuna olan katkılarının oldukça az olduğu ortaya çıkarılmıştır (Roylance, 1980; Naik ve ark., 2004).



(a)

(b)

(c)

Şekil 1.29. a) karbon kumaşın arka kısmının X-ışını ile çekilen radyograf görüntüsü b) karbon kumaşın ön yüzü c) karbon kumaşın arka yüzü (Morais ve ark., 2003)

1.4.2. Balistik Darbe Esnasında Gerçekleşen Enerji Transferi

Mermi kumaşa çarptığında; kumaş tarafından merminin hızını azaltan bir kuvvet uygulanır. Aynı zamanda kumaşta da deformasyon meydana gelir. Darbe noktasından kumaş kenarlarına doğru uzama dalgaları iplik boyunca yayılma gösterir. Darbe sistemi üzerine etkili olan herhangi bir dış kuvvet yoksa sistem içindeki enerji absorbe edilecektir. Mermi deformasyonu için harcanan enerji, lif molekülleri arasındaki sürtünme, hava sürtünmesi ve akustik kayıplar ihmal edildiğinde merminin kinetik enerjisindeki kayıp (ΔE_{pk}); iplik uzama enerjisi (E_{ys}), iplik kinetik enerjisi (E_{yk}) ve sürtünmeli kaymada harcanan enerji (E_f) olmak üzere 3 mekanizma doğrultusunda absorbe edilecektir. Dolayısıyla kumaş ve mermi arasındaki enerji transferi şu eşitlikle karakterize (Duan ve diğ., 2006);

$$\Delta E_{pk} = E_{ys} + E_{yk} + E_f \dots \dots \dots (1)$$

Merminin kinetik enerjisindeki kayıp (ΔE_{pk}); malzemeyi oluşturan lif özellikleri, kumaş yapısı, mermi geometrisi, darbe hızı, mermi ve kumaş arasındaki sürtünme, iplikler arası sürtünme, kumaş sınır koşulları gibi birçok faktöre bağlıdır (Duan ve diğ., 2006).

1.4.3. Balistik Performansı Etkileyen Mekanizmalar

Balistik performansı etkileyen önemli fiziksel mekanizmalarda malzeme özellikleri, kumaş yapısı, mermi geometrisi, çarpma hızı, katman sayısı ve etkileşimi, balistik yapının tutulması için sınır koşulları ve sürtünme önemli rol oynarlar (Cheeseman ve diğ., 2003).

1.4.3.1. Malzeme Özellikleri

Yüksek mukavemetli ve yüksek Young modüllü liflerin geliştirilmesi kurşungeçirmez kumaşların ve laminantların geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Çarpma olduğu zaman, iplik çarpma hızının büyüklüğüne bağlı olarak ani ve sert bir darbe görür. Düşük hızlardaki çarpma (bu “kritik hız” olarak adlandırılan hızların altındaki çarpmalardır) liflere uygulanan kuvvet onları koparmak için yetersiz kalır, bu çarpma enine yönde sapmalara ve sonuçta ipliğin uzamasına ve enerjinin kumaş tarafından absorbe edilmesine sebep olur (Shim, 1995). Yani yüksek gerilme mukavemetine ve yüksek kopma gerinimine sahip olan lif takımları daha fazla enerji absorpsiyonu yapabilmektedirler. Yapılan çalışmalarda enerji absorpsiyonuyla kopan lif sayısı arasında bir korelasyon geliştirilmiştir ki lif gerinimi balistik bir kumaşın enerji absorpsiyonundaki temel mekanizmasıdır. Yapılan çalışmadaki sonuçlar %50 perforasyon olasılığının olduğu hız değeri olarak tanımlanan V50 balistik hızın üzerindeki hız değerlerinde kumaşlarda başlangıçtaki ani gerginlik artışı esnasında perforasyonun gerçekleştiğini göstermektedir. Sonuç olarak enine eğilmenin yayılması için gerekli olan sürenin yetersizliği nedeniyle lif gerinimi azalmaktadır ve bu nedenle V50 balistik hızın üzerindeki hız değerlerinde absorblanan enerji miktarı daha düşük olmaktadır (Shim, 1995).

Balistik korunmada lifin enerji sönmleme yeteneği çok önemlidir. Zırhın sönmlediği enerji merminin zırhı delmek için harcadığı enerjiye eşittir. Merminin zırhı delip geçtiği durumlarda sönmlenen enerji miktarı, merminin çarpma enerjisinden zırhı delip geçtiği an sahip olduğu enerji çıkartılarak bulunur. Balistik limitin altındaki çarpmalar için ise merminin çarpma enerjisi doğrudan zırhın sönmlediği enerjiye eşittir. Balistik limitin üzerindeki hızlar için sönmlenen enerji:

$$E = \frac{1}{2} m (V_i^2 - V_r^2) \dots \dots \dots (2)$$

Balistik limitin altındaki hızlar için:

$$E = \frac{1}{2} m V^2 \dots \dots \dots (3)$$

dir. Burada,

E: Zırhın sönmlediği enerji

m: Merminin Kütlesi

V_i : Merminin çarpma hızı

Vr: Merminin zırhı terk ettiği andaki hızı ifade eder (Özer, 2004).

Balistik malzeme seçideki en önemli faktör verilen malzemenin balistik potansiyelidir. Balistik potansiyel (Faur, 2005);

$$R^2 = w \times c \dots \dots \dots (4)$$

R²: Balistik potansiyel

w: malzemenin kırılma enerjisi

c: ses yayılım hızı

Ses yayılım hızı;

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \dots \dots \dots (5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu formülde;

c: ses yayılım hızı

E: Lifin elastisite modülü

ρ: İpliğin yoğunluğunu ifade etmektedir (Faur, 2005).

Boyuna yönde dalga hızı ne kadar yüksek olursa merminin çarpma enerjisi o kadar hızlı yayılır. Ayrıca yapı içindeki ipliklerin birbirleriyle bağlantıları sonucu, oluşan dalga diğer ipliklere iletilir. Burada lifin elastiklik modülü ne kadar yüksek olursa, oluşacak deformasyonun dağılması, yayılması o kadar hızlı olmaktadır. Yani yapının enerji absorbe yeteneği lifin Young modülü ile doğru orantılıdır (Temiz, 2005).

Kumaşların çarpma altındaki davranışları geliştirilen çeşitli modellerle açıklanmaktadır. Roylance ve Wang, yüksek modül (E) ve düşük yoğunluğa (ρ) sahip materyalin çarpma sonucu oluşan dalgaları hızla çarpma noktasından uzağa yaydığını göstermişlerdir. Bu enerjinin geniş bir alana yayıldığını ve çarpma noktasındaki büyük gerinimlerin engellendiğini göstermektedir. Sun ve Field, Kevlar ve Spectra lifler kullanarak yaptıkları çalışmalarda, yüksek yayılma hızlarına sahip malzemelerin çarpmanın etkisini komşu liflere ve katmanlara daha hızlı bir şekilde aktardığı için daha avantajlı olduğunu göstermiştir (Roylance,1980).

Gerilme mukavemetinin, modülün ve kopma gerilmesinin kumaşın balistik performansında çok büyük bir rol oynamasına rağmen bunların etkisi tek başına düşünülmemelidir. Eğer balistik performans sadece ipliğin tokluğuna bağlı olsaydı, düz zincir poliamidlerin aramid poliamidlere göre daha iyi bir performans göstermesi gerekirdi (Prosser, 2000).

Spesifik lif tokluğu lif gerinim dalga hızıyla çarpılarak boyutsuz lif özelliği U* türetilmiş ve balistik performansın bütün bu özelliklere bağlı olduğu ancak yalnızca bu özellikler göz önüne alınarak değerlendirilemeyeceği ortaya konulmuştur (Cheeseman ve diğ., 2003).

$$U^* = \frac{\sigma \epsilon}{2\rho} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \dots\dots\dots(6)$$

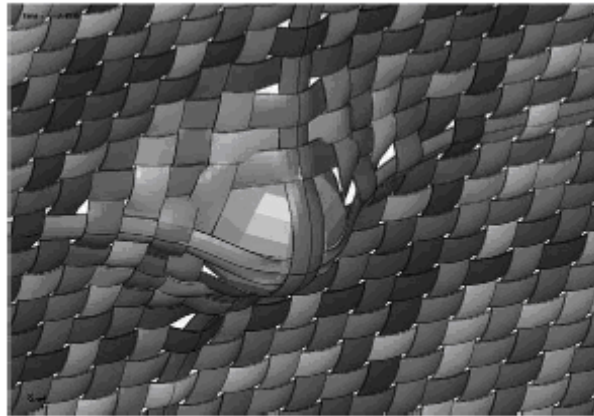
Bu formülde σ lifin maksimum gerilme mukavemetini, ϵ lifin maksimum çekme uzama değerini, ρ yoğunluğu, E ise modülü ifade etmektedir (Cheeseman ve diğ., 2003).

1.4.3.2. Kumaş Yapısı

Polimer esaslı malzemelerden elde edilen kumaş veya benzeri yapılardan elde edilen kompozit yapıların balistik koruyucu özelliği kullanılan lifin özelliklerine ve liften elde edilen yapının konstrüksiyonuna göre değişiklikler göstermektedir. En iyi balistik korumayı sağlayabilmek için kullanılan malzeme özelliklerine ve tehlike tiplerine göre atış testleri yapılarak deneysel yöntemler kullanılmaktadır (Temiz, 2005).

Balistik korumada lifler dokuma kumaş olarak veya non-woven yapılar olarak kullanılırlar (Temiz, 2005).

Balistik uygulamalarda genelde bezayağı ve sepet örgüler kullanılmaktadır. Örtme faktörü olarak tanımlanan doku yoğunluğu çözgü ve atkı ipliklerinin sıklıkları tarafından belirlenmektedir ve kumaşın kapladığı alanın yüzdelik değerini ifade eder. Balistik uygulamalarda kullanılacak olan kumaşların örtme faktörünün 0,6 ile 0,95 arasında olmalıdır. Çünkü örtme faktörü 0,95'den büyük olduğunda iplikler dokuma esnasına bozulmakta; 0,6'dan küçük olduğunda ise kumaş çok gevşek bir yapıya sahip olmaktadır (Chitrangad, 1993). Gevşek dokunmuş kumaşlar ikinci derecede balistik performans gösterir (Cunniff, 1992). Şekil 1.30'da görüldüğü üzere mermi kumaş katmanına çarptığında kumaşa enine yönde eğilme olup iplikler birbiri üzerine itilerek iplikler arasındaki boşluklar büyüyecektir. Eğer mermi çok küçükse ve/veya belli bir açı ile çarparsa ve/veya merminin önündeki birkaç iplik kopuksa; mermi iplikleri koparmak yerine onları kenarlara iterek oluşan boşluktan geçebilecektir (Cheeseman ve diğ.,2003).

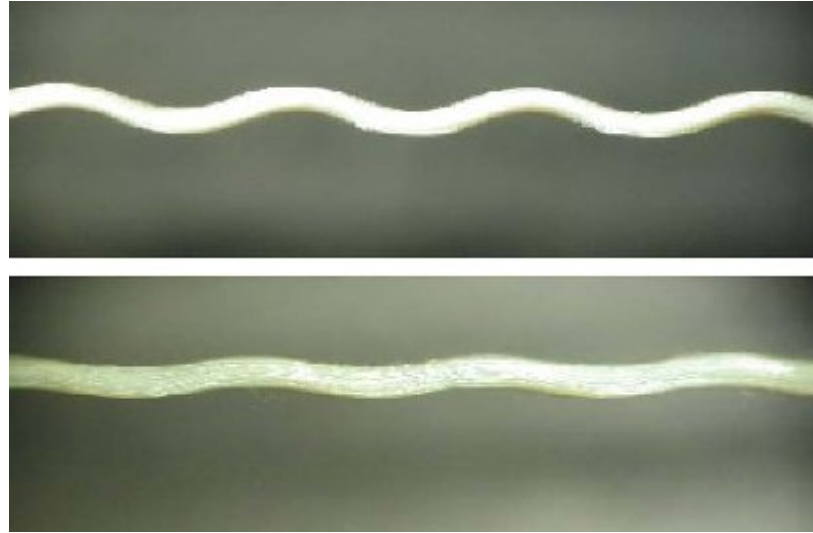


Şekil 1.30. Merminin iplikleri iterek kumaş içine girmesi (Duan Y.,2002)

Merminin kumaşa yerleşmesi ile oluşan delik sadece kumaş konstrüksiyonuna bağlı olmayıp ipliklerin hareketliliğine ve mermi geometrisine de bağlıdır (Kirkland ve ark., 1991). İplik hareketliliği ipliklerin birbirleri ve mermi ile sürtünmelerinden etkilenir ve matriks içinde ipliklerin yanal hareketinin engellenmesi ile minimize edilir. Walsh ve arkadaşları ve Lee, Spectra kumaş ve onun benzer zırh koruma derecesine sahip kompozit

laminalarda, matriksin ipliklerin yanal hareketini engellediğini göstermişlerdir. Bu engelleme merminin içeri girmesini ve kompozit içinde benzer kumaş yapılarından daha çok iplik koparılmasını zorlaştırır. Sonuç olarak kompozit tarafından daha çok enerji absorbe edilir (Lee ve ark., 2001)

Balistik performansı etkileyen kumaş özelliklerden biri de kıvrımdır. Kıvrım, ipliklerin dokunmuş kumaş yapısındaki konumlanmalarından kaynaklanan dalgalanmadır. Bezayağı bir örgüde, kıvrım derecesi dengelenmemiştir (şekil 1.31'de görüldüğü gibi çözümlü ipliklerinin kıvrımı atkı ipliklerine göre daha fazladır). Balistik korumada yüksek kopma uzamasına sahip olan atkı iplikleri kullanılmalıdır. Çünkü atkı iplikleri çözümlü ipliklerinden daha az kıvrıma sahip oldukları için çözümlü ipliklerine göre daha önce kopacaklardır. Çözümlü iplikleri sahip oldukları yüksek kıvrımın açılması için zamana ihtiyaç duymaktadırlar (Chitrangad, 1993). Yüksek kopma uzamasına sahip olan atkı ipliklerinin balistik performansının arttığı deneysel olarak ispatlamıştır (Cheeseman ve diğ., 2003).



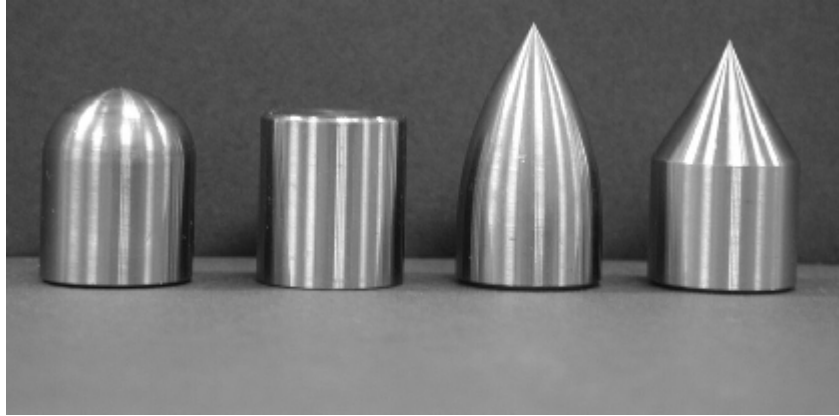
Şekil 1.31. Twaron CT 176 kumaşındaki çözümlü (üstteki) ve atkı (alttaki) ipliklerindeki kıvrım (Tan, 2005)

1.4.3.3. Mermi Geometrisi

Gelişen teknoloji ile beraber değişik silahlar için hız, şekil, çekirdek yapısı gibi özellikleri birbirinden çok farklı, değişik amaçlara hizmet eden birçok mermi türü geliştirilmiştir. Tasarım esnasında balistik koruyucu malzemenin özelliklerini bilmek kadar, tehlike arz eden mühimmatın özelliklerini bilmek de gereklidir. Göz önünde bulundurulması gereken başlıca mermi özellikleri şunlardır (Temiz, 2005):

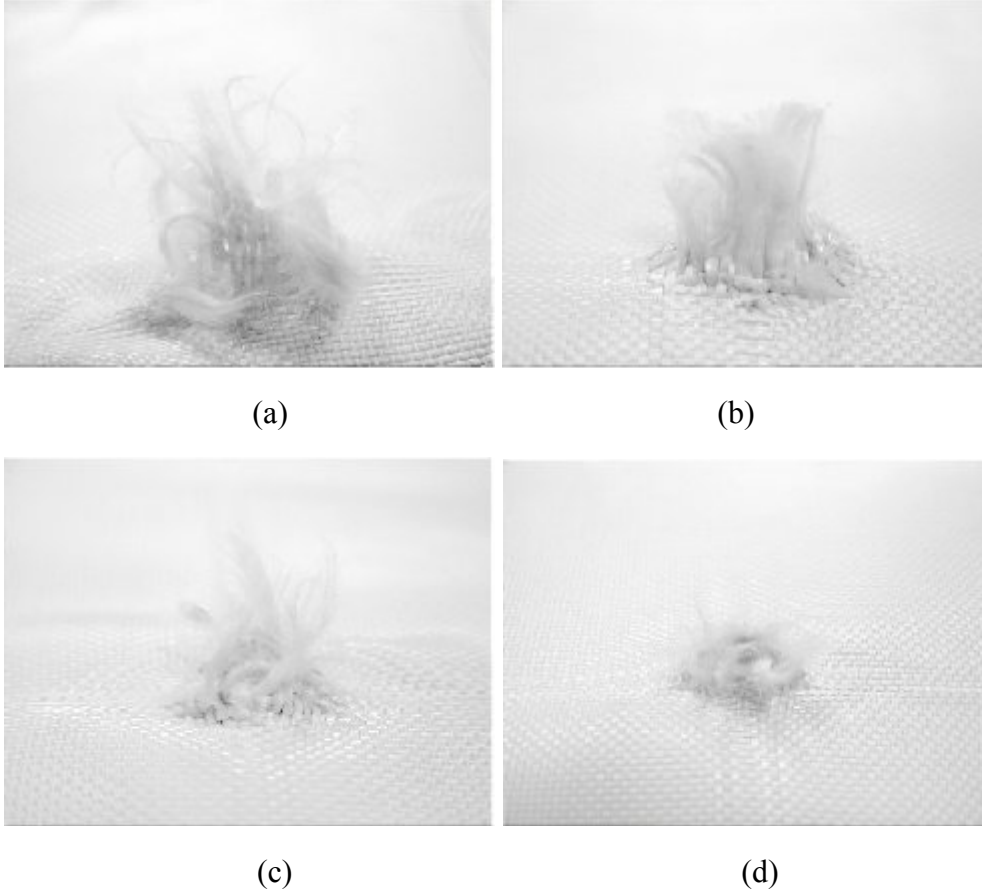
1. Mermi çekirdeğinin sertliği
2. Merminin ucunun sivri(delme etkisi) veya küt(çöküntü yapma etkisi) oluşu
3. Çekirdek ağırlığı
4. Mermi hızı
5. Ateşlendiği namlu uzunluğu

Mermi geometrisi kumaşın delinme kabiliyetini etkiler. Montgomery ve arkadaşları 0.22 kalibre dört farklı geometride mermi ile bir, iki ve üç katlı Kevlar kumaşların balistik performansını incelemiştir. Araştırmalar sivri uçlu mermilerin delik oluşturma kabiliyetinin iyi olduğunu ve sivri uçlu mermilerin kör uçlu mermiler kadar hızlı durdurulamadığını göstermektedir (Montgomery, 1982). Buna benzer bir çalışmayı 7.62 mm kalibrelik sivri uçlu mermi ve 9 mm yuvarlak uçlu mermi ile Bazhenov gerçekleştirmiştir (Bazhenov, 1997). Tan ve arkadaşları, tek katlı bezayağı dokuma Twaron CT 176 kumaşı düz, şekil 1.32’de gösterilen yarıküre (yuvarlak),düz, oval ve konik uçlu mermilerle yaptıkları deney sonucunda kumaşın kırılma ve delinme (perforasyon) mekanizmasının mermi şekli ile yakından ilgili olduğunu bulmuşlardır (şekil 1.33). Konik ve oval uçlu mermilerde çok az iplik kopuşunun olduğunu ve merminin doku içerisinde kayarak ilerlediğini görmüşlerdir. Bu tür mermilerle yapılan çalışmalarda sırasıyla 58 ve 76 m/s gibi düşük V50 değeri elde edilmiştir. Düz uçlu mermilerde kumaşı kalınlık boyunca kesmeye zorladığı için 100 m/s V50 değeri elde edilmiştir. Bununla birlikte yarıküreli mermide en fazla lif kopuşu gerçekleşmiş ve dolayısıyla 159 m/s gibi yüksek V50 değeri elde edilmiştir (Tan, 2003). Montgomery kat sayısı arttıkça mermi geometrisinin etkisinin azaldığını da ortaya koymuştur (Montgomery, 1982).

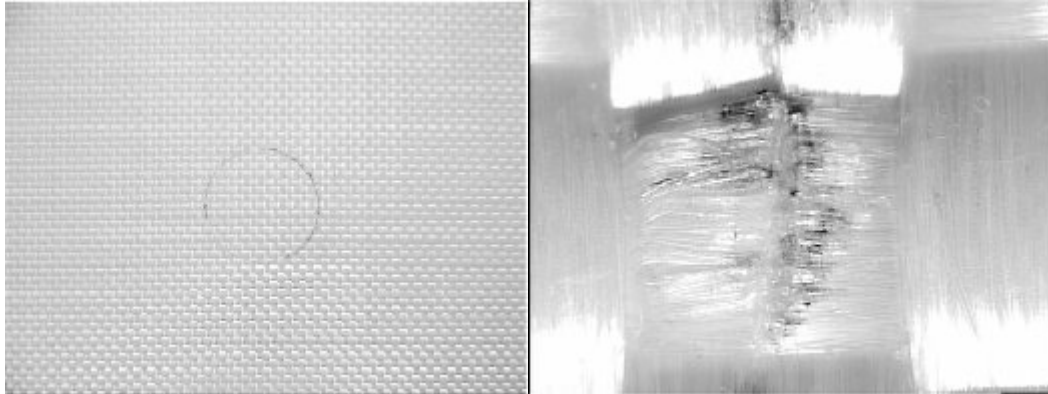


Şekil 1.32: Dört farklı mermi ucu. Sırasıyla yarıküre, düz, oval, konik (Tan, 2003)

Keskin uçlu mermiler ya da yüksek hızlı mermiler, iplikleri şekil 1.34’te görüldüğü gibi keserek hedef kumaşı delerler (Cunniff, 1992, Martinez, 1993, Lee, 1994, Prosser, 2000, Lim, 2002). Prosser ve arkadaşları, Spectra ve naylon liflerinden yapılmış katlı kumaşlarla yaptığı deneylerde merminin keskin ucunun kesme etkisinin kumaşın delinmesinin başlıca sebebi olduğunu göstermiştir (Prosser, 2000).



Şekil 1.33. Yaklaşık 200 m/sn hızla delinen kumaşın arka görünüşü (Tan, 2003) (a) yarı küre uçlu mermi, (b) düz uçlu mermi (c) ogival uçlu mermi, (d) konik uçlu mermi



Şekil 1.34. Düz uçlu mermi tarafından darbe sırasında liflerin kesilmesi(Tan, 2003)

1.4.3.4. Mermi Hızı

Merminin hızı tehlikenin büyüklüğünü etkileyen en önemli parametredir.

3 nolu denklemden de anlaşılacağı gibi hız arttıkça kinetik enerji hızın karesi ile doğru orantılı olarak artacak ve balistik koruyucu yapının mermiyi durdurmak için absorbe etmesi gereken enerji miktarı da artacaktır. Ayrıca merminin kütlesi de kinetik enerji ile doğru orantılı olduğundan kütle arttıkça yine absorbe edilecek enerji miktarı artacaktır.

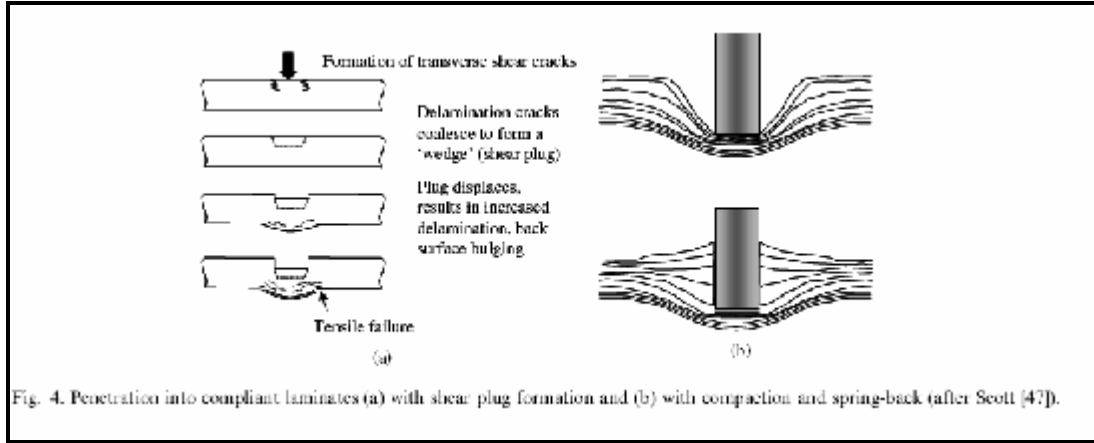
Merminin çarpma hızının kumaşın balistik performansını etkileyeceği açıktır. Fakat farklı hızlarla gerçekleşen mekanizmanın ölçülmesi gerekir. Daha önceden de belirtildiği gibi keskin uçlu ve yüksek hızlı mermiler kumaş kalınlığı boyunca lifleri uzatıp koparmak yerine keserek koparmaya neden olmaktadır (Ani bir şekilde kopmaya yol açan hız değeri kritik hız olarak tanımlanmaktadır). Düşük hız ve yüksek hız çarpmaları üzerine yapılan bir çalışma sonuçlarına göre düşük hızlı çarpmalarda ani gerilim artışında iplikte bir kopuş olmamaktadır. Bu nedenle enine eğilme kenarlara kadar ulaşabilme imkânı bulabilmektedir. Bu da daha çok enerjinin absorbe edilmesini sağlar. Düşük hız çarpmaları enerji dağılımını kolaylaştıran geniş eğilme ve gerilme davranışı ile karakterize edilirler. Yüksek hız çarpmalarında ise bölgesel hasar oluşmakta ve iplikler yeterli derecede enine eğilme gerçekleştiremeden iplikte kopuşlar meydana gelmektedir (Cheeseman ve diğ., 2003).

Yüksek hızlı çarpmalarda bir takım potansiyel mekanizmalar da gerçekleşmektedir. Tek lif Kevlar ve UHMWPE lif üzerinde yapılan bir araştırmaya göre yüksek hızlarda liflerde kesilme meydana gelmekte ve üstelik UHMWPE liflerinde erime oluşmaktadır (Carr, 1999). Benzer sonuçlar PBO ve Dyneema liflerinden oluşmuş kumaşlarda da görülmüştür (Mitchell, 1999; Iremonger, 1999). Naylon panellerde balistik darbe esnasında filamentlerde yumuşama, erime, ayrışma olma, yanma ve fibrilasyon meydana geldiği 1950'lerden beri gözlenmektedir (Susich, 1958). Proversek sonlu eleman analizini kullanarak sıcaklık oluşumuna ve sıcaklığın artmasına sürtünmenin sebep olduğunu göstermiştir (Prevorsek, 1994).

1.4.3.5. Kat Sayısı

Kompozit bir yapının yüksek hızlardaki çarpmalara gösterdiği direnç lifin elastiklik modülü, kırılma uzaması gibi lif özellikleri ile lifin bu kompozit yapı içerisindeki kullanım şekline ve kompozitin alansal yoğunluğuna bağlıdır (Temiz, 2005).

Kompozit bir zırh darbe altında kaldığında eğer mermi keskin uçlu bir mermi ise ve /veya kompozitin malzeme biraz kırılğan ise ve/veya yüksek seviyede lif/matriks yapışması varsa, ilk birkaç kat kesilmeye uğrar. Arka taraftaki diğer katlar şekil 1.36 (a)'da görüldüğü gibi lif kopma gerilimine uğrar (Lee, 1994). Şekil 1.35 (b)'de görüldüğü gibi ilk birkaç katta lif gerilmesi vardır. Lifler kopmadan ve darbe yüzeyinde ters piramit (koni) şeklini almadan önce önceki katlar aracılığıyla lifler zorlanır. Merminin altındaki katlar sıkıştırılır ve geride kalan katlar arta kalan enerjiyi absorbe eden zar şeklini alır (Iremonger, 1996).



Şekil 1.35. Katlı yapılardaki penetrasyon (Cheeseman ve diğ., 2003)

Katlı yapı keskin uçlu mermi ile temas ettiğinde darbe yüzeyine yakın olan katlar elastik olmayan şekilde davranırken arka katlar elastik bir şekilde davranır. Yeterince yüksek hızlarda çarpma gerçekleşirse malzeme elastik olmayan şekilde davranır (Cheeseman ve diğ., 2003).

Montgomery ve arkadaşları (1982), 0.22 kalibre dört farklı geometride mermi ile bir, iki ve üç katlı Kevlar kumaşların balistik performansını incelemiş ve kat sayısı arttıkça mermi geometrisinin etkisinin azaldığını da ortaya koymuştur.

Katlı yapıların ciddi tehlike tipleri için geliştirildiği ve bu yapıların temelde lif tipi, reçine tipi, doku konstrüksiyonu, kat sayısı, iplik yönü ile kesişmeleri ve iplik yoğunluğu gibi parametrelere bağlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Vurmanın katlı yapılara etkisi katı ve esnek tiplerine bağlı olarak değişmekte, katlı yapılar için katlar arası açılmanın bozulma modu olduğu ve bunun enerjinin dağıtılması açısından olumlu ancak yapının dayanımı açısından negatif olarak etkilediği iddia edilmiştir. Katlı yapıların ağırlığı ve konforunun da tehlike tipine bağlı olarak göz önüne alınması gerekmektedir. (Bilişik, 1997).

1.4.3.6. Sürtünme

Sürtünme, balistik kumaşların darbe direncine doğrudan ve dolaylı olarak etki etmektedir. Delinmenin gerçekleşmediği bir sistemde iplik çekmeleri enerji absorpsiyonunda doğrudan etkili olmaktadır. Bununla birlikte mermi-kumaş ve iplik-iplik arasındaki sürtünme ne kadar enerjinin absorblanacağını belirler. Merminin kumaşa girmesiyle ipliklerde oluşan yanal hareket (reçine kullanılarak) sınırlandırılarak enerji absorpsiyonunun artırılabilineceği deneysel olarak kanıtlanmıştır. Daha genel bir ifade ile mermi-kumaş ve iplik-iplik arasındaki sürtünmenin artması ipliklerin hareketini engellemekte, bu nedenle mermi daha fazla iplikle temas etmekte ve daha fazla iplikleri koparmaya çalışmaktadır. Bunun sonucunda absorblanan enerji miktarı artmaktadır. Sürtünme, bu yolla enerji absorpsiyonuna dolaylı olarak etki etmektedir (Cheeseman ve diğ., 2003).

Balistik bir kumaşın (kevlar 49) balistik performans üzerinde sürtünmenin önemini incelemek için yapılan bir çalışmada kumaşın bir kısmı soxhlet ile işleme sokularak aşındırılıp sürtünme katsayısı artırılmıştır. Kumaşın diğer bir kısmı da polidimetilsiloksan

(PDMS) ile kaplanarak ve sürtünme katsayısı düşürülmüştür. Daha sonra bu kumaşın ayrı ayrı elastik modülleri hesaplanmış, sürtünme katsayısı artırılan kumaşın elastik modülünün de arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Sonuçlar çizelge 1.16'da görülmektedir (Briscoe, 1990, 1992).

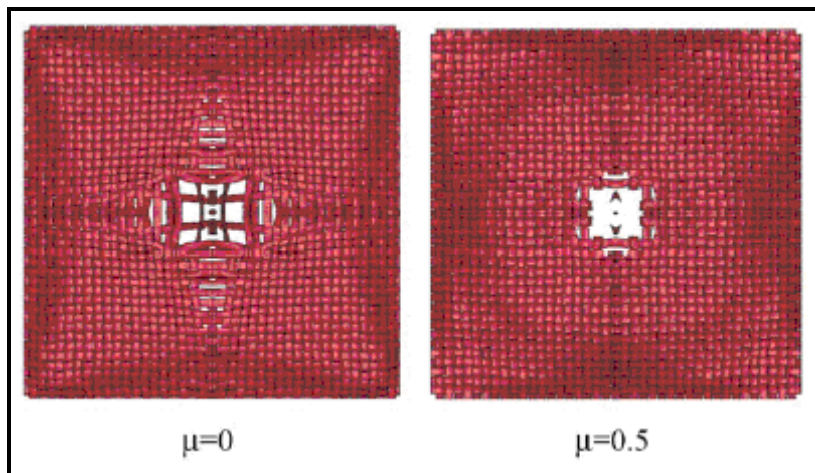
Çizelge 1.16. İşlem görmüş ve görmemiş Kevlar 49 'un sürtünme katsayıları ve elastik modülleri (Briscoe, 1990, 1992)

Kumaş	μ	E (N)
Orijinal	0.22± 0.03	2132
Soxhlet ile pişirilmiş(yıkama)	0.25± 0.03	2773
PDMS ile kaplanmış	0.18±0.03	1964

Araştırmacılar sürtünme katsayısı artırılmış kumaşın daha büyük bir enine dalga yayma hızına sahip olduğunu kaydetmişlerdir. Yukarıda yapılan çalışma daha sonra balistik teste tabi tutulmuş ve enerji absorpsiyonun bir göstergesi olarak merminin kalan hızı ölçülmüştür. Sonuçta sürtünmenin artmasıyla birlikte perforasyon için gerekli olan hızın arttığı ve kalan hız değerinin ise düştüğü ortaya çıkarılmıştır. Bu sonuçlar da daha fazla sürtünme olan kumaşta daha yüksek enerji absorpsiyonun gerçekleştiğini göstermektedir (Cheeseman ve diğ., 2003).

DeneySEL olarak yapılan diğER bir çalışmada ise suyun balistik performansa olan etkisi incelenmiştir ve ıslak numunelerde perforasyon meydana gelirken kuru numunelerde herhangi bir delinme meydana gelmediği görülmüştür. Islak numunelerde ipliklerde kopma gerçekleşmemiş olmasına rağmen ipliklerin yatay hareketi nedeniyle mermi kumaş içinden geçmiştir. Bu çalışmanın ışığı altında suyun mermi ile iplik arasındaki sürtünmeyi azaltan bir yüzey aktif madde gibi davrandığı ortaya konulmuştur (Cheeseman ve diğ., 2003).

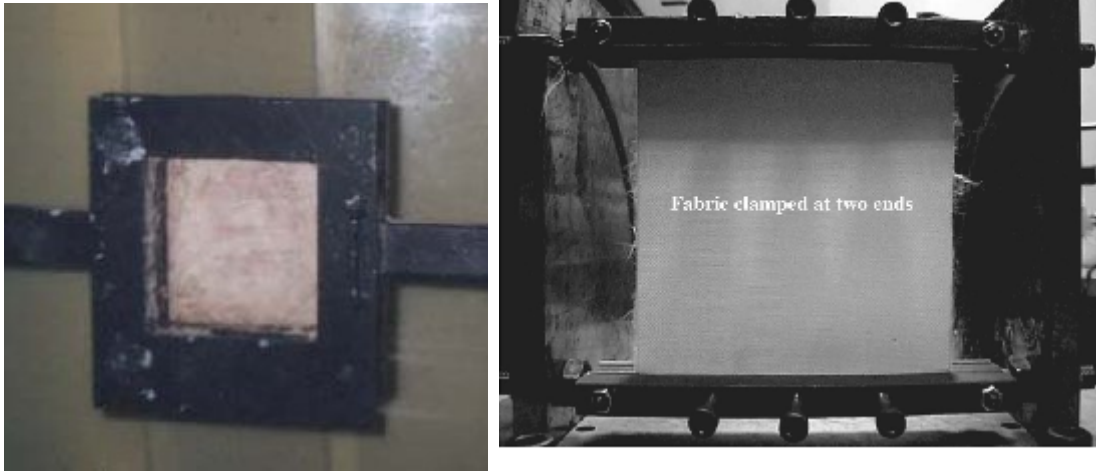
Duan ve arkadaşları (2006), sürtünme katsayısına bağlı olarak merminin kalan hızını nümerik olarak hesaplamışlardır. Buna göre sürtünme katsayısı $\mu=0,5$ iken merminin çıkış hızı 749m/s iken; sürtünme katsayısı 0 olduğunda mermi 769 m/s'lik bir çıkış hızına ulaşmıştır (şekil 1.36).



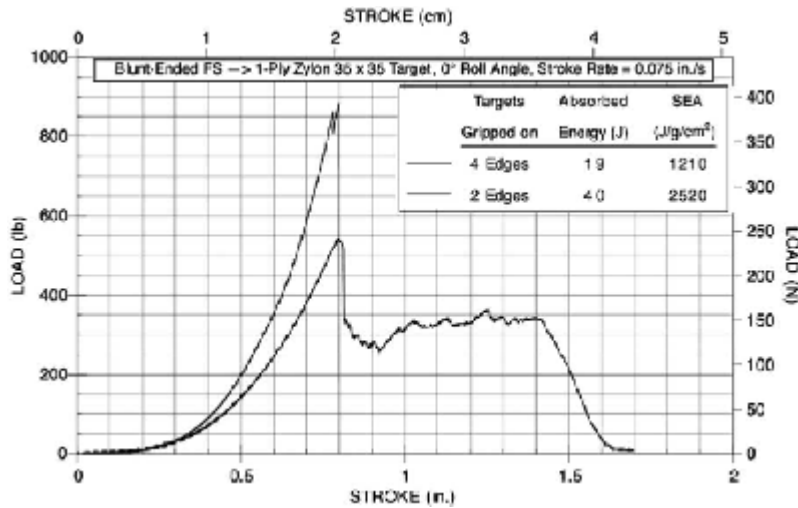
Şekil 1.36. Sürtünme katsayısının kumaş deformasyonuna olan etkisi (Duan ve diğ, 2006)

1.4.3.7. Malzemenin Tutulma Sınır Koşullar

Balistik darbe testine tabi tutulan örneğin tutturulma şekli önemlidir. Absorblanan enerji üzerinde balistik malzemenin tutulma sınır koşullarının etkisini göstermek için darbe ve quasi-static deneyler yapılmıştır. Örnek mamül şekil 1.37 'e benzer yapıda iki ve dört kenarından sıkıca tutturularak balistik test yapılmış ve iki kenarı sıkıca tutturulan örneğin daha fazla enerji absorbladığı deneysel olarak ispatlanmıştır. Aşağıdaki grafikte dört kenarından ve iki kenarından tutturulan PBO lifinden oluşmuş tek katlı kumaş balistik teste tabi tutulup quasi-static delme testi için yük-strok eğrisi gösterilmektedir. Dört kenarından tutturulan kumaşı keskin uçlu mermi delmekte ve yük aniden sıfıra inmektedir. İki kenarı tutturulan kumaşta ise iplik kopmanın yanı sıra darbe alanından dışarıya doğru itildiği gözlemlenmiştir. Diğer ipliklerle sürtünmesi sayesinde kopan iplikler, mermi üzerindeki önemli bir yükü alırlar. Kopmayan ama kumaşın dışına doğru itilen iplikler gözlenmiş ve enerjinin absorblanmasına katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır (Shockey DA,2001).



Şekil 1.37. İki ve dört kenarından tutturulmuş balistik yapı (Tan, 2005; Temiz, 2005)



Şekil 1.38. İki ve dört kenarı tutturulan tek katlı PBO kumaşın quasi-statik penetrasyonu için yer değişim-yük grafiği (Cheeseman ve diğ., 2003)

1.5. Balistik Koruyuculuğun Test Edilmesi

Koruyucu bir yapının balistik direncini belirlemede vuruş sonrası yapıda oluşan bozulmanın büyüklüğü ve yapının mermideki enerjiyi 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 ya da koruyucunun merminin enerjisini absorbe edebilme oranı tespit edilerek bir değerlendirme yapılır. Bu testlerin gerçekleştirilmesi için birçok teknik geliştirilmiştir (Temiz, 2005).

Balistik koruyuculuğu ölçmek amacıyla National Institute of Justice (NIJ) ve NATO çeşitli standartlar geliştirmiştir. Ayrıca bu konu ile ilgili çeşitli askeri standartlar ve 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 fragmant ile balistik koruma seviyesini ölçer (Temiz, 2005).

1.5.1. NIJ 0101.04'e göre koruma seviyeleri:

NIJ Standart-0101.04, "Kişisel Vücut Zırhının Balistik Direnci," Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) Kolluk Standartları Ofisi (OLES) tarafından geliştirilen bir teçhizat standardıdır. Alıcılar bu standartta tanımlanan yöntemleri teçhizatın belirli bir parçasının ana gereksinimleri karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için kullanabilirken, kullanıcılar bu testin sadece tam anlamıyla yetkilendirilmiş laboratuvarlarda yürütülmesi için teşvik edilmektedir. Bu standardın amacı asgari performans şartlarını ve insan gövdesini silah ateşine karşı korumayı amaçlayan kişisel vücut zırhının balistik direnci için test yöntemleri tesis etmektir (Temiz, 2005).

Bu standarda göre, kişisel vücut zırhları, balistik performans seviyesine göre yedi sınıf veya tipte sınıflandırılır. Bir kurşunla ortaya çıkan balistik tehdit, diğer parametrelerin dışında; merminin bileşimi, şekli, kalibresi, kütlesi, gelme açısı, ve etki hızına bağlıdır. Belirli bir kalibredeki kurşunların ve fişeklerin çok çeşitlilik göstermesi ve elle yüklenen mühimmatın varlığı sebebiyle bir test atışını başarıyla geçen zırh aynı kalibrede diğer atışları geçemeyebilir. Genelde, belirlenmiş bir mermiye karşı başarılı olan bir zırh, değişik yapı ve değişik konfigürasyonda, aynı kalibrede diğer mermilerin tam delmesini engelleyemeyebilir (Temiz, 2005).

2000 yılı itibariyle, bir görev vardiyası süresince tam zamanlı olarak giyilmek için uygun balistik dirençli vücut zırhı, tabanca tehditlerine karşı koruma seviyelerini artırmayı sağlayan Tip I, IIA, II ve IIIA sınıflarında mevcuttur. Düşük hızlı 9 mm ve 40 S& W mühimmatından korunma arayışında olan görevliler genelde Tip II A vücut zırhını giyer. Yüksek hızlı 357 Magnum ve yüksek hızlı 9 mm mühimmattan korunma için, görevliler geleneksel olarak Tip II vücut zırhını seçer. Tip IIIA vücut zırhı, gizlenebilir vücut zırhında mevcut en yüksek koruma düzeyini sağlar ve yüksek hızlı 9 mm ve 44 Magnum mühimmatından koruma sağlar. Yüksek güçlü tüfek atışından koruma sağlayan Tip III ve IV zırhlar, açıkça sadece, tehdit bu çeşit korumayı haklı gösterdiğinde, taktik durumlar içindir (NIJ standartları).

1.5.2. NIJ'e göre koruyuculuğun seviyesini belirleyen mermiler:**1.5.2.1. Seviye I (22 LR; 380 ACP)**

Seviye I zırhlar, kütlesi 2.6 g (124 grain) olan ve asgari 320 m/s (1050 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden .22 kalibre Uzun Tüfek Kurşun Burunlu Mermilere (LR LRN) ve kütlesi 6.2 g (95 grain) olan ve asgari 312 m/s (1025 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 380 ACP Tam Metal Kaplama Burunlu Mermilere (FMJ RN) karşı korur (NIJ standartları).

1.5.2.2. Seviye IIA (9 mm; 40 S&W)

Seviye IIA zırhlar, kütlesi 8.0 g (124 grain) olan ve asgari 322 m/s (1090 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 9 mm Tam Metal Kaplama Burunlu Mermilere (FMJ RN) ve kütlesi 11.7 g (180 grain) olan ve 312 m/s (1025 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 40 S & W kalibre Tam Metal Kaplama Mermilere (FMJ) karşı korur. Ayrıca 6.2.1 de bahsedilen tehditlere karşı koruma sağlar (NIJ standartları).

1.5.2.3. Seviye II (9 mm; 357 Magnum)

Seviye II zırhlar, kütlesi 8.0 g (124 grain) olan ve asgari 358 m/s (1175 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 9 mm Tam Metal Kaplama Burunlu Mermilere (FMJ RN) ve kütlesi 10.2 g (158 grain) olan ve 427 m/s (1400 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 357 Magnum Yumuşak Nokta Kaplama Mermilere (JSP) karşı korur. Ayrıca 6.2.1,6.2.2 de bahsedilen tehditlere karşı koruma sağlar (NIJ standartları).

1.5.2.4. Seviye IIIA (Yüksek Hızlı 9 mm; 44 Magnum)

Seviye IIIA zırhlar, kütlesi 8.0 g (124 grain) olan ve asgari 427 m/s (1400 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 9 mm Tam Metal Kaplama Burunlu Mermilere (FMJ RN) ve kütlesi 15.6 g (240grain) olan ve 427 m/s (1400 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 44 Magnum Kaplama Çukur Nokta Mermilere (JHP) karşı korur. Ayrıca 6.2.1,6.2.2,6.2.3 de bahsedilen tehditlere karşı koruma sağlar (NIJ standartları).

1.5.2.5. Seviye III (Tüfekler)

Seviye III zırhlar, kütlesi 9.6 g (148 grain) olan ve asgari 838 m/s (2750 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 7.62 mm Tam Metal Kaplama Mermilere (FMJ) (A.B.D. Askeri adı M80) karşı korur. Ayrıca 6.2.1,6.2.2,6.2.3,6.2.4. de bahsedilen tehditlere karşı koruma sağlar (NIJ standartları).

1.5.2.6. Seviye IV (Zırh Delici Tüfek)

Seviye IV zırhlar, kütlesi 10.8 g (166 grain) olan ve asgari 869 m/s (2850 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden .30 mm zırh delici (AP) mermilere (A.B.D. Askeri adı M2 AP) karşı korur. Ayrıca 6.2.1,6.2.2,6.2.3,6.2.4,6.2.5 de bahsedilen tehditlere karşı koruma sağlar (NIJ standartları).

1.5.2.7. Özel Tip

Yukarıda bahsedilen standart tiplerden ve tehdit düzeylerinden başka bir koruma seviyesi için özel bir ihtiyacı olan alıcı tam test atış(lar)ı ve kullanılacak asgari referans

etki hızlarını belirtmeli ve bu standardın bütün diğer cephelerde etkili olacağını bildirmelidir (NIJ standartları).

Çizelge 1. 17. Koruma seviyelerini belirleyen mermi özellikleri (NIJ standartları)

Koruma Seviyesi	Kullanılan Mermi Tipi	Atış Hızı (m/sn)	Çekirdek Ağırlığı (gr)
Seviye I (5m mesafeden)	0.38 special RN .22 kalibre4	259 320	10.2 2.6
Seviye II-A (5m mesafeden)	0.357 mag, JSP 9mm FMJI	381 332	10.2 8.0
Seviye II (5m mesafeden)	0.44 mag, JW 9mm FMJ	425 358	10.2 8.0
Seviye III-A (5m mesafeden)	0.44 mag, SWC 9mm FMJ	426 427	15.55 8.0
Seviye III (15m mesafeden)	7.62 mm FMJ	838	9.7
Seviye IV (15m mesafeden)	36-60 AP	868	10.8

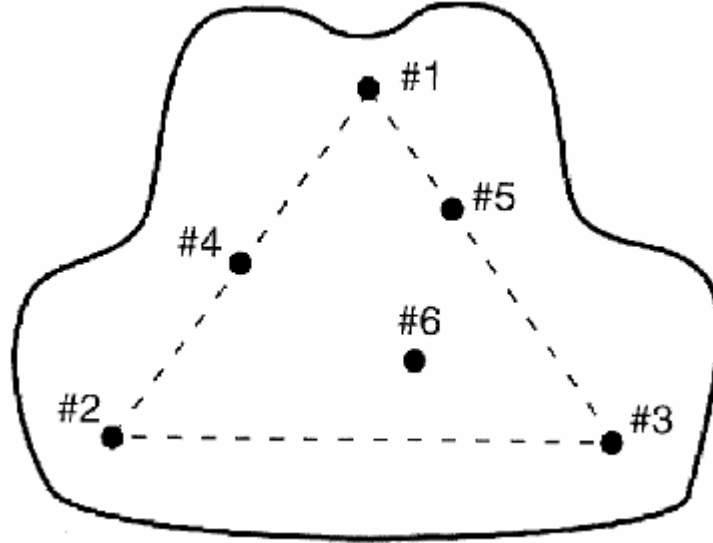
1.5.3. NIJ 0101.04'ün Uygulaması:

NIJ standardına göre kişisel vücut zırhının balistik koruyucu direnci ölçüldüğü için test malzemesi olarak balistik koruyucu yelek ele alınmıştır. Yelekler ön ve arka olmak üzere iki parça şeklinde ve ıslak-kuru olarak test edilirler (NIJ standartları).

Balistik koruyucu malzemenin sudan etkileneceği göz önünde bulundurularak yelekler ıslak ve kuru olmak üzere iki aşamalı test uygulanmaktadır. Islak testte yelekler 10-20 °C sıcaklık aralığındaki 100±20 mm/sa hızla akan su ile 6 dakika boyunca ıslanır. Bu 6 dakikalık ıslatma süresi 3 dakika ön yüzeye, 3 dakika arka yüzeye olacak şekilde ayarlanır. Yelek ıslatıldıktan sonra 10 ila 30 dakika arasında atış testine tabi tutulur (NIJ standartları).

Yelekler test düzeneğine yerleştirilirken arkalarına destek malzemesi konur. Bu destek malzemesi merminin insan vücudunda yaptığı çöküntü miktarını ölçmek için kullanılır. Destek malzemesi kil, cam macunu veya benzeri bir malzeme olabilir. Malzeme 29 °C'nin üzerinde bir sıcaklıkta en az 3 saat bekletilir. 1043±5 gram ağırlığında, 63,5±0,05 mm çapında çelik bilya ile 2 m yükseklikten, kenarlardan 6±3 mm içeriden ve merkezler arası 203±25 mm olacak şekilde 5 adet serbest düşüş hareketi yapılır. Çelik bilyanın yaptığı çukur derinlikleri ölçülerek aritmetik ortalaması alınır. Aritmetik ortalama 20±3 mm olduğu zaman destek malzemesi teste hazır demektir (NIJ standartları).

Yelekler ve destek malzemesi test düzeneğine sıkıca yerleştirilir. Destek malzemesi yelekler tam temas edecek, arada boşluklar, çukurluklar kalmayacaktır. İstenilen koruma seviyesine göre çizelge 1.17'deki mermiler ve silahlarla yelek üzerindeki işaretli yerlere atışlar yapılır. Şekil 1.39'da yelek üzerinde atış yapılacak noktalar görülmektedir (NIJ standartları).



Şekil 1.39. Yelek üzerinde test atışlarının yapılacağı noktalar (NIJ standartları)

Atışlar istenilen koruma seviyesine göre 5 veya 15 m mesafeden yapılır. Her atışta mermi hızı ölçülür ve kaydedilir. Atışlar sonucunda değerlendirme delinme oldu/ olmadı şeklinde ve destek malzemesinde oluşan çöküntünün ölçülmesi şeklinde olmaktadır. Yapılan atışlar sonucunda yeleklerde hiçbir delinme olmadığı ve çöküntü değerinin hiçbirinin 44 mm'yi geçmediği takdirde NIJ 0101.04'e göre koruyuculuğu sağlıyor demektir (NIJ standartları).

1.5.4. Stanag 2920

NATO Standartlaştırma Anlaşması çerçevesinde geliştirilmiş Personel Zırhları İçin Balistik Test Metodu'dur (STANAG 2920)

Standart bir mermi ile yapılan, %50'sinin zırhı deldiği, %50'sinin ise kısmi deldiği eşit sayıdaki atışların hızının aritmetik ortalaması ile bulunan değerdir. Bu hız değerine V50 balistik hız sınırı denir. Bulunan bu hız değeri, balistik koruyucu malzeme için istenilen hız sınırının üzerinde ise malzeme istenilen korumayı sağlıyor demektir(STANAG 2920)

Fragman testi olarak bilinen STANAG 2920 NIJ'den farklı olarak aynı fragman ile yapılan bir değerlendirmedir. Burada kullanılan mermi tek çeşit olduğu için kullanılan koruyucuların karşılaştırılmasına imkân sağlar. Burada kullanılan mermi, US-MIL-P-46593'te tanımlanan parçalanma taklit edici parçacıklar serisinden birisi olmalıdır. Genellikle 5.385 kalibre, 1.102 g'lık merminin kullanımı tercih edilmektedir (STANAG 2920).

1.6. Bu Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada kumaş olarak kevlar ve hibrit (% 50 kevlar -%50 karbon) kumaş kullanılmıştır. Kompozit kevlar / epoksi, kevlar / epoksi+borik asit, kevlar / epoksi+boraks

dekahidrat, keklar / epoksi+borik asit / bakır, keklar / epoksi+boraks dekahidrat / bakır; hibrit / epoksi, hibrit / epoksi+borik asit, hibrit / epoksi+boraks dekahidrat, hibrit / epoksi+borik asit / bakır, hibrit / epoksi+boraks dekahidrat / bakır' dan oluşacak şekilde 10 farklı yapı oluşturulmuştur. Yapılar 25 kat olacak şekilde tasarlanmıştır. Daha sonra, oluşturulan bu yapıların üzerinde belirlenen noktalara 9 mm'lik mermilerle hızları sırasıyla 326 m/s ve 388 m/s olan CZ ve MP 5 tabancaları ile iki farklı hızda atışlar yapılmıştır. Atışlar sonucunda balistik yapıda ne şekilde bir deformasyonun olduğu, farklı yapıların ve farklı hızların deformasyona etkisi olup olmadığı incelenmiştir. Balistik yapıda lif-lif ya da lif-mermi sürtünmesi sonucunda meydana gelen ısıyla oluşan deformasyona da hangi yapının katkısının daha az olduğunun öğrenilmesi amaçlanmıştır.

Balistik malzemelerden sürtünme katsayısı yüksek olan malzemelerde daha yüksek enerji absorpsiyonun gerçekleştiği yapılan araştırmalarda görülmektedir. Sıcaklık oluşumuna ve sıcaklığın artmasına sürtünmenin sebep olduğu bilinmektedir. Sürtünmenin olması istenilen bir olay olmasına rağmen sürtünme sonucunda ısının oluşması istenmeyen bir olaydır. Çünkü sıcaklık artışı ile malzemede oluşan deformasyon artmaktadır. Bu eksiklikten dolayı bu çalışmada malzemenin sürtünme katsayısı artarken darbe noktasında oluşan ısının minimize edilmesi üzerinde durulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gerard ve Wilmington (1980), bu çalışmada p-fenilen tereftalamid lifinden elde edilen kumaş ve naylon 6,6 film tabakası belirli katlar halinde kullanılmıştır. Uygun sıcaklıkta, basınçta ve yeterli zaman içerisinde film tabakası yeterince eritilerek kumaş katları içindeki ipliklerin yüzeyini kaplayarak bağ yapması sağlanmıştır. Daha sonra oluşturulan yapı balistik teste tabi tutulmuş, film tabakasının kompozit ağırlığının % 16 olduğu durumda en iyi balistik performansı gösterdiği ortaya konulmuştur.

Samowich (1985), bu çalışmada kevlar kumaş, ısı ile sertleşebilen akrilik film ve köpük kullanılmıştır. Köpük polimer filmle çapraz bağ yapabilmesi için ısıtılmıştır. Film kaplı köpük oluşturulmuştur. Sırasıyla film, köpük, kevlar dan 4 katlı laminat oluşturulmuştur. Oluşturulan balistik yapının her iki dış yüzeyine çarpma anında travma etkisini azaltmak ve yapıyı ışıktan ve nemden korumak için film tabakası gelecek şekilde laminantlar yerleştirilmiştir. Bu balistik yapı sadece kevlardan yapılmış balistik yapıyla karşılaştırılmak üzere balistik teste tabi tutulmuş ve balistik performansları incelenmiştir. Sadece kevlardan yapılmış yapı ile karşılaştırıldığında daha az kat kullanıldığı için maliyetin düştüğü, travma etkisinin azaldığı ve daha iyi bir balistik performansa sahip olduğu ortaya konulmuştur.

Chocron ve arkadaşları (1997), yaptıkları çalışmada, aramid ve polietilen esaslı beş farklı kompozitin dinamik mukavemet değerlerini Hopkinson bar yöntemi ile test ederek, numerik analiz sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Deneysel ve numerik sonuçlardan Hopkinson bar yönteminin kompozit malzemelerin kuvvet altında uzama oranlarını ölçmede kullanışlı olduğu sonucuna varmışlardır. Dokuma kompozitlerde kopma mukavemetinin yükselmesinin, uzama oranını düşürdüğünü ve polietilen kompozitlerin aramid kompozitlere göre polietilenin özelliklerinden dolayı çok çeşitlilik gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Morye ve arkadaşları (1998), jel eğirme yöntemi ile elde edilmiş polietilen liflerinden elde edilen kompozitlerin balistik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan kompozitleri iki şekilde elde etmişlerdir. Birincisi geleneksel prepreg yöntemi ile diğeri ise eriyik kumaş üzerine serilip sıcak sıkıştırma işlemi ile elde edilmiştir. Bu iki grup kompozit ile farklı lif ve matris düzenleri araştırılmıştır. Sonuçta geleneksel yöntemle elde edilen kompozitler ile sıcak sıkıştırma yöntemiyle elde edilen kompozitlerin balistik performansının aynı olduğunu gözlemlemişlerdir. Fakat iki kompozitin enerji absorblama mekanizmalarının farklı olduğu gözlenmiştir. Sıcak sıkıştırma yöntemi ile elde edilen kompozitlerin çarpma enerjisini liflerin deformasyonu ve laminatın kat yapısının bozulması ile absorbladığını gözlemlemişlerdir. Bilinen prepreg yöntemi ile elde edilen kompozitlerin enerjisi sadece liflerin deformasyonu ile absorbe ettiği ve ara yüz mukavemetinin enerji absorblama mekanizmalarında önemli rol oynadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Turhan (1999), Kevlar kumaştan dikişli ve dikişsiz olarak iki çeşit balistik yapı tasarlamıştır. Balistik yapıları 14 kat Kevlar 29, 14 kat Kevlar 129, 7 kat Kevlar 29/7 kat Kevlar 129 ve 2 kat Kevlar 29/12 kat Kevlar 129 olarak dikişli ve dikişsiz şekilde tasarlamıştır. Katlı yapılara beş tip mermi ile ateş etmiş ve yapıların balistik direncini tespit etmek için her bir yapının hasar gören bölgesini ölçmüştür. Sonuçta dikişli yapıların dikişsizlere göre katı hale gelmesinden dolayı enerji absorblamasının arttığı, ancak

bozulan kat sayısının da arttığını gözlemlemiştir. Dikişsiz yapılarda katların bozulmasının daha az fakat travmalara sebep olan çökme miktarının arttığını gözlemlemiştir.

Özaydın (1999), yüksek yoğunluklu polietilen kumaşı 22, 24 ve 26 kat olmak üzere 80, 250 ve 416 kg/cm² basınçlarda farklı sürelerde presleyerek plakalar elde etmiştir. Bu plakaları atış testleri ve çekme deneylerine tabi tutmuştur. Atışlar 9 mm'lik mermilerle ve MP 5 tabanca ile yapılmış ve oluşan darbe derinliği ölçülmüştür. Sonuçta balistik miğfer yapımında 24 kat yerine 22 kat kumaş sayısının yeterli olduğu sonucuna varmıştır. Kürleme süresinin ise 20 dakikadan 5 dakikaya düşürülerek balistik miğfer üretimi gerçekleştirilebileceğini gözlemlemiştir.

Larsson ve Svenson (2001), karbon ve organik liflerden elde edilen hibrit kompozitlerin özelliklerini incelemiştir. Çarpmanın olduğu yüzeyde karbon lifleri kullanmak kaydıyla karbon/polietilen ve karbon/PBO liflerinin %100, 75/25, 50/50, 25/75 ve %100 oranında kullanıldığı kompozitler elde etmişler ve bu kompozitlerin darbe davranışını incelemiştir. Yapılan testler sonucunda 75/25 oranında quasi isotropik karbon lifi /çapraz yerleştirilmiş polietilen liften elde edilen kompozitin baskı mukavemetinin % 20 azaldığını ve balistik hız limitinin % 82 arttığını gözlemlemiştir.

Lim ve arkadaşları (2001), Twaron CT 716 tek kat ve çift kat kumaşa düz, yarıküre, oval ve konik uçlu mermilerle atış yapmışlar. Kumaşların enerji absorpsiyon mekanizmalarını incelemiştir. Çalışma sonucunda kumaş katı iki katına çıkarılınca enerji absorpsiyonunun iki katına çıkmadığını gözlemiştir. Enerji absorpsiyonunun merminin çarpma hızına ve mermi geometrisine de bağlı olduğunu görmüştür.

Harel ve Marok (2002), polietilen/polietilen kompozitlerin balistik performansının UZI mermileri ile test etmişlerdir. Karşılaştırma için ise polietilen/aramid liflerden ve polietilen lifler/polikarbonattan oluşan tabakalarla karşılaştırmışlardır. Polietilen/polietilen kompozitlerin 1 kg/m² ağırlığında 90 m/sn V50 değerine sahip olduğunu ölçmüşlerdir. Dikkati çeken ana eksiklikler olarak, merminin içeriye dalması, liflerdeki kırılmalar, yüzeyde oluşan çentik ve kompozitin delaminasyonunu gözlemlemiştir.

Gu (2003), çok katlı düz dokunmuş kumaştan elde edilen kompozite çarpan merminin ilk çıkıştaki kinetik enerjisi ve kaybettiği enerjisini hesaplamak için analitik bir model oluşturmuştur. Twaron ve Kuralon isimli iki çeşit kumaşa mermi çarptığı zamanki mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu liflerin yüksek gerilim altındaki mekanik özelliklerini modellemiştir. Çarpmada kaybedilen hız ile absorblanan enerji değerlerinin deneysel ve hesaplanan değerlerinin birbirine yakın çıktığını gözlemlemiştir.

Lee ve arkadaşları (2003), yaptıkları çalışmada silika parçacıkları emdirilmiş ve emdirilmemiş Kevlar kumaşların balistik performanslarını karşılaştırmışlardır. Bu iş için yaklaşık 244 m/sn hızda fragman simüle edici (FSP) mermiler kullanmışlardır. Silika parçacıkları emdirilmiş numunelerde malzeme esnekliğinde hiçbir kayıp olmadan balistik mukavemette önemli ölçüde artış olduğunu gözlemlemiştir. Metrekare ağırlığı aynı silika parçacıkları emdirilmiş ve emdirilmemiş kumaşların balistik özelliklerinin aynı olduğunu gözlemlemiştir.

Bulut (2003), bu çalışmada, balistik koruyucu teçhizatın imalatında kullanılan aramid ve ultra yoğun moleküler yapı polietilen malzemenin balistik dayanım değeri, çeşitli mekanik özellikleri, korozyon ve kimyasallara karşı yüksek dayanım özellikleri, balistik

koruyucu elemanlar teorisi ve tasarım kriterleri, imalat aşamaları ve uygulanan test yöntemleri incelenmiştir.

Cheeseman ve Bogetti (2003), kumaşların çarpma altındaki davranışları geliştirilen çeşitli modellerle açıklanmıştır. Roylange ve Wang, yüksek modül (E) ve düşük yoğunluğun çarpma sonucu oluşan dalgaları düzenli olarak çarpma noktasından uzağa yaydığını göstermişlerdir. Bu enerjinin geniş bir alana yayıldığını çarpma noktasındaki büyük kuvvetin engellendiğini göstermiştir. Sun ve Field, Kevlar ve Spectra lifler kullanarak yaptıkları çalışmalarda, yüksek yayılma hızlarına sahip malzemelerin çarpmanın etkisini komşu liflere aktarmada daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

Hosur ve arkadaşları (2004), karbon/epoksi dokuma kumaşlardan elde ettikleri 7, 17 ve 37 katlı dikişli ve dikişsiz kompozitlerin yüksek çarpmaya karşı davranışlarını incelemişlerdir. Sertleştirilmiş SC-15 epoksi reçine vakum altında eritilerek düz ve saten dokulu kumaşlar ile birleştirilerek laminatlar elde edilmiştir. Dikilmiş laminatları elde etmek için 3 katlı Kevlar ipliği kullanılmıştır. Dikişli laminat yapıların dikiş aralıkları 12,7 mm ve 25,4 mm ve dikiş adımı 6 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu çalışmada dikişsiz yapılar 7, 17 ve 37 kat; dikişli yapılar ise 7 ve 17 kat olarak dizayn edilmiştir. Her yapıdan dört laminatın değişik hızlardaki balistik limiti denenmiştir. Çalışma sonucunda dikişsiz yapıların balistik limitinin daha yüksek olduğu ve kalınlık arttıkça balistik limitin arttığı gözlenmiştir. Her iki durum için de saten dokulu kumaşlardan elde edilen laminatların daha yüksek balistik limite sahip oldukları gözlenmiştir.

Naik ve Shrirao (2004), iki çeşit lif ile iki farklı şekilde dokunmuş kumaştan elde edilen kompozitlerin balistik davranışını incelemişlerdir. Düz dokuma E-cam liflerinden dokunmuş kumaş/epoksi kompozit ile dimi doku T300 karbon lifli kumaş/epoksi kompozitin balistik davranışları karşılaştırılmıştır. Benzer balistik çarpmalar için E-cam/epoksi ile elde edilen kompozitin balistik limitinin T300 karbon/epoksiden elde edilen kompozitten daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. E-cam/epoksi kompozitlerde birinci ipliklerin ana enerji absorblama mekanizması olduğu ve ikinci ipliklerle de enerji absorblandığı gözlemlenmiştir. T300 karbon/epoksi kompozitlerde ise ikinci ipliklerin deformasyonu ve kesilmenin ana enerji absorpsiyon mekanizması olduğunu gözlemişlerdir.

Tan ve arkadaşları (2005), silika parçacıklarının su içinde farklı konsantrasyonlarda oluşturduğu sıvının Twaron CT 615 düz doku kumaşa emdirilmesiyle, kumaşın balistik performansında oluşan etkileri gözlemlemişlerdir. 1, 2, 4 ve 6 kat % 0, 20, 40 ve 50 konsantrasyonlarda çözelti emdirilmiş kumaş sistemlerinin balistik limitini incelemişlerdir. % 40 konsantrasyonlu çözelti emdirilen 1, 2 ve 4 katlı kumaş sistemlerinin en yüksek balistik limite sahip olduklarını gözlemlemişlerdir. 2 katlı % 40 konsantrasyonlu çözelti emdirilmiş kumaşın balistik limitinin işlem görmemiş iki katlı kumaşa göre %70 daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Shastri ve arkadaşları (2005), üç farklı bileşenden oluşan kompozitin sürtünme özelliklerini incelemişlerdir. Her bir bileşenin sürtünme özellikleri, bileşenlerin yapışması ve sonuçta elde edilen kompozitin performansını etkilediği düşüncesiyle vücuda gelen iç yüzeyde non-woven poliester doku, ortada antibalistik Spectra kumaş ve dış yüzeyde deriden oluşan üç farklı bileşenden oluşan kompozit yapıyı oluşturan her bir bileşenin sürtünme faktörünü hesaplamışlardır. Sürtünme katsayısı μ 'nün, bu üç bileşenin sürtünme özelliklerini hesaplamak için uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Sheffer ve arkadaşları (2005), örme yapılar ile kuvvetlendirilmiş kompozitlerin darbe dayanımlarını incelemiştir. S-camından 1x1 rib, interlock ve milano rib şeklinde örölmüş üç farklı yapı oluşturmuşlardır. Bu örme yapıların her birine epoksi reçine emdirilerek düz kompozit yapılar elde etmişlerdir. Elde edilen kompozitlere mukavemet testleri ve IZOD metoduna göre darbe testleri uygulanmışlardır. Her bir kompozitin ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönündeki testlerini yapmışlardır. Testlerde standart düz dokuma cam lifinden kumaş kullanılarak kuvvetlendirilmiş kompozit referans olarak kullanılmıştır. Düz dokuma kumaş ile kuvvetlendirilen kompozitlerin en iyi mukavemet sonuçlarına sahip olduğunu görmüşlerdir. Darbe testlerinde ise, örme kumaşlarla kuvvetlendirilen kompozitlerin en iyi sonucu verdiğini görmüşlerdir. Milano rib doku ile kuvvetlendirilen kompozitin ilmek sırası yönünde, interlock doku ile kuvvetlendirilen kompozitin ise ilmek çubuğu yönünde en iyi darbe dayanımına sahip olduğunu görmüşlerdir.

Temiz (2005) Para-aramid, yüksek yoğunluklu polietilen ve % 40 Aramid-% 60 PBI kumaşlardan 30 kat olarak elde edilen yumuşak koruyucu yapılar 390 m/sn ve 425 m/sn hızlarda atışlar yapılmıştır. Atışlar sonucunda yapıların katlarında meydana gelen bozulma ve arka kısım malzemesinde oluşan çöküntü miktarları incelenmiştir. Yapıların absorbe ettiği kinetik enerji miktarları ile oluşan çöküntüler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Epoksi reçinenin para-aramid ve cam lifinden elde edilmiş yapılar ile kuvvetlendirilmesi sonucu elde edilen sert koruyucu tabakalara 390 m/sn hızda atışlar yapılmıştır. Atışlar sonucunda koruyucu kumaş kullanılmadan sadece epoksi reçineden elde edilmiş tabaka ile koruyucu kumaşlarla kuvvetlendirilmiş tabakaların tehlike karşısındaki davranışları incelenmiştir. Kumaşlarla kuvvetlendirilen yapıların tehlikenin hızını azaltmada etkili olup olmadığı araştırılmıştır.

Ulcay ve Çekez (2007) bu çalışmada koloidal silika dispersiyonunun farklı gramajlardaki dokusuz yüzey tela malzemesinin enerji absorpsiyonuna olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla; üç farklı gramajdaki (18, 28 ve 45 gr/m²) tela malzemeleri beş farklı konsantrasyondaki (0,20, 30, 40 ve 50 gr/lt) silika dispersiyonu ile emdirilerek gramaja ve konsantrasyona bağlı olarak telanın enerji absorpsiyonundaki değişim ölçülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre silika konsantrasyonunun ve tela gramajının artışıyla birlikte enerji yutumunun arttığı görölmüştür.

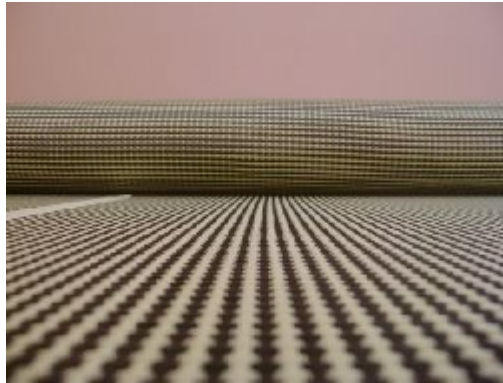
3. MATERYAL VE METOT**3.1. Materyal****3.1.1. Balistik Yapı Oluşturmada Kullanılan Malzemeler**

1/1 bezayağı şeklinde dokunmuş, kumaş eni 100 cm kevlar 49 kumaşın (şekil 3.1) atkı ve çözgü sıklığı 13 tel/cm olup 61 gr/m² ağırlığındadır.



Şekil 3.1. Tezde kullanılan kevlar kumaş

1/1 bezayağı şeklinde dokunmuş, kumaş eni 120 cm olan %50 karbon -% 50 kevlar kumaşın (şekil 3.2) atkı ve çözgü sıklığı 4 tel/cm olup 220 g/m² ağırlığındadır.



Şekil 3.2. Tezde kullanılan hibrit (%50 karbon -% 50 kevlar) kumaş

Yapıştırıcı malzeme olarak Hexion marka MGS Laminasyon 285 epoksi ve sertleştirici 286 kullanılmıştır. Malzemelerin teknik özellikleri ve karışım oranları çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Epoksi reçinesi L285- sertleştirici H286 karışım oranları

	Laminasyon reçinesi L285- sertleştirici H286
Ağırlıkça	100:40±2
Hacimce	100:50±2

Çizelge 3.2. L285 epoksinin özellikleri

Özellikler	Epoksi reçine
Yoğunluk (g/cm ³)	1,18-1,23
Viscosity (mPas)	600-900
Eğilme mukavemeti(N/mm ²)	110-120
Çekme mukavemeti (N/mm ²)	70-80
Kopmada uzama(%)	5,0-6,5
Darbe mukavemeti (KJ/m ²)	45-55
Çalışma süresi	40 dak. - 4 saat

Çizelge 3.3. H286 sertleştirici özellikleri

	Sertleştirici
Yoğunluk (g/cm ³)	0,9-0,97
Viscosity (mPas)	60-100

Epoksi ile sertleştiricininin 24 saat 23°C de ve 15 saat 80°C de kurlenmesi gerekmektedir.

Kumaşlar ve epoksi reçine Dost Kimya End. San. Tic. LTD şirketinden temin edilmiştir.

Yapı oluşumda bor çeşidi olarak borik asit (H₃BO₃) ve boraks dekahidrat (Na₂B₄O₇.10H₂O) kullanılmıştır. Borik asit (H₃BO₃) ve boraks dekahidrat (Na₂B₄O₇.10H₂O)'a ait fiziksel ve kimyasal özellikler çizelge 3.4 ve 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Borik asit ve boraks dekahidrat'ın kimyasal özellikleri (Eti Maden)

	Borik asit	Boraks Dekahidrat
Safılık (%)	99.90 min	99.90 min
B ₂ O ₃ (%)	56.25 min	36.47 min
SO ₄ (ppm)	3.000 max.	70 max.
Cl (ppm)	50 max.	50 max.
Fe (ppm)	100 max.	10 max.

Çizelge 3.5. Borik asit ve boraks dekahidratın fiziksel özellikleri (Eti maden)

	Borik asit	Boraks Dekahidrat
Molekül ağırlığı	61.83	381.83
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	1.435	1.73
Yığın yoğunluğu(gr/cm ³)	0.8	0.812
Tane boyutu (mm)	+1.000 %5 max. -0.060 %5 max.	+1.000 %1 max. -0.063 %4 max.

Borlar Eti Maden İşletmeleri'den temin edilmiştir.

Balistik yapıda kullanılan bakır şeritler (Cu-Sn0,15) Gemciler Güven Metal'den temin edilmiştir. Bakır şeritler (şekil 3.3) 0,50 mm kalınlığında 1,5 cm eninde olacak şekilde temin edilmiştir. Sert bir bakır olup % 99 bakırdan oluşmaktadır. Bakır şeritlerin mekanik özellikleri çizelge 3.6' da verilmiştir.



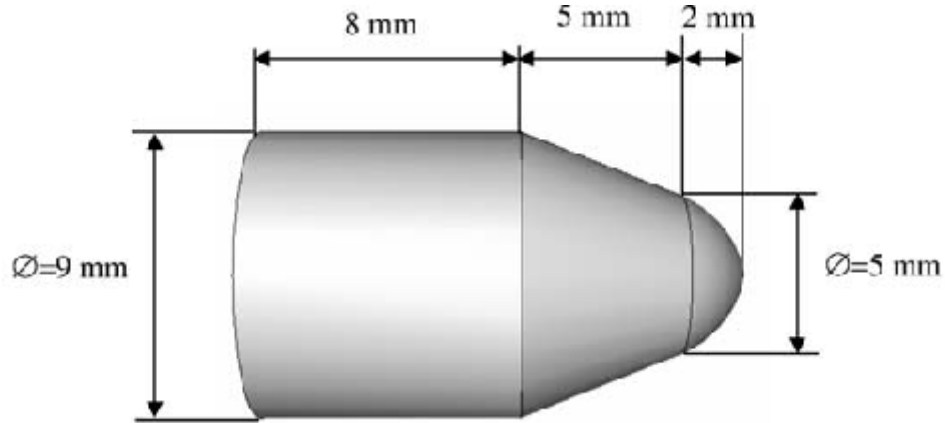
Şekil 3.3. Tezde kullanılan bakır şeritler

Çizelge 3.6. Bakır şeritlerin mekanik özellikleri

Madde sembol	Nominal kalınlık (mm)	Gerilme gücü (N/mm ²)	Dayanıklılık gücü (N/mm ²)
Cu-Sn0,15 R360	0.2-2	360 min.	Max. 320

3.1.2. Testlerde Kullanılan Silahlar ve Mermiler

Testlerde 8 gr çekirdek ağırlığında, 9 mm çapında FMJ (tamamen metal uçlu) mermiler (şekil 3.4) ile barut miktarı sırasıyla 326 m/sn ve 388 m/sn'lik hızları elde edecek şekilde ayarlanmış CZ 75 (9mm parabellum) yarı otomatik tabanca ve MP 5 makineli tabanca kullanılmıştır.



Şekil 3.4. FMJ mermi modeli

3.2. Metot

3.2.1. Balistik Yapıların Elde Edilmesi

Kumaş eni 100 cm olan kevlar kumaş 40 cm x 40 cm ve 20 cm x 40 cm boyutlarında, kumaş eni 120 cm olan %50 karbon- %50 kevlar kumaş 40 cm x 40 cm boyutlarında kesilmiştir.

Epoksi ve sertleştirici ağırlıkça 100:40±2 oranında karışımı elde edilmiştir. Borik asit ve boraks dekahidratın karıştırıldığı karışımlarda, borik asit ve boraks dekahidrat miktarı toplam karışımın %15'i olacak şekilde belirlenmiştir.

Bakır şerit eni 1,5 cm olan şeritler, boyu 40 cm olacak şekilde kesilmiş olup 40 cm'e 23 şerit, şeritler arası mesafe;

$$23 * 1,5 = 34,5$$

$$40 - 34,5 = 5,5$$

$$5,5 / 22 = 0,25 \text{ cm}$$

olacak şekilde ayarlanarak bezayağı dokusu oluşturulmuştur.



Şekil 3.5. Bakır şeritlerden oluşturulan bezayağı doku

Kevlar kumaştan oluşturulan yapılar

Birinci yapı: 20 cm x 40 cm boyutlarında kesilen 61 gr/m² ağırlığında kevlar kumaştan 25 katlık bir laminant elde edilmiştir. Laminantın her bir katına epoksi el yatırma yöntemi ile sürülmüştür. İki adet laminant oluşturulmuştur.

İkinci yapı: 40 cm x 40 cm boyutlarında kesilen 61 gr/m² ağırlığında kevlar kumaştan 25 katlık bir laminant elde edilmiştir. Karışımın % 15'i borik asit olacak şekilde ayarlanan epoksi + borik asit karışımı her kata el yatırma yöntemi ile sürülmüştür.

Üçüncü yapı: 40 cm x 40 cm boyutlarında kesilen 61 gr/m² ağırlığında kevlar kumaştan 25 katlık bir laminant elde edilmiştir. Karışımın % 15'i boraks dekahidrat olacak şekilde ayarlanan epoksi + boraks dekahidrat karışımı her kata el yatırma yöntemi ile sürülmüştür.

Dördüncü yapı: 40 cm x 40 cm boyutlarında kesilen 61 gr/m² ağırlığında kevlar kumaştan 25 katlık bir laminant elde edilmiştir. Laminantın ön yüzünden 2. ve 5. katına bakır şeritlerden oluşturulan bezayağı doku yerleştirilerek karışımın % 15'i borik asit olacak şekilde ayarlanan epoksi + borik asit karışımı her kata el yatırma yöntemi ile sürülmüştür.

Beşinci yapı: 40 cm x 40 cm boyutlarında kesilen 61 gr/m² ağırlığında kevlar kumaştan 25 katlık bir laminant elde edilmiştir. Laminantın ön yüzünden 2. ve 5. katına bakır şeritlerden oluşturulan bezayağı doku yerleştirilerek karışımın % 15'i boraks dekahidrat olacak şekilde ayarlanan epoksi + boraks dekahidrat karışımı her kata el yatırma yöntemi ile sürülmüştür.

Hibrit kumaştan oluşturulan yapılar

Birinci yapı: 40 cm x 40 cm boyutlarında kesilen 220 gr/m² ağırlığında %50 kevlar-%50 karbon kumaştan 25 katlık bir laminant elde edilmiştir. Laminantın her katına epoksi el yatırma yöntemi ile sürülmüştür.

İkinci yapı: 40 cm x 40 cm boyutlarında kesilen 220 gr/m² ağırlığında %50 kevlar-%50 karbon kumaştan 25 katlık bir laminant elde edilmiştir. Karışımın % 15'i borik asit olacak şekilde ayarlanan epoksi + borik asit karışımı her kata el yatırma yöntemi ile sürülmüştür.

Üçüncü yapı: 40 cm x 40 cm boyutlarında kesilen 220 gr/m² ağırlığında %50 kevlar - %50 karbon kumaştan 25 katlık bir laminant elde edilmiştir. Karışımın % 15'i boraks dekahidrat olacak şekilde ayarlanan epoksi + boraks dekahidrat karışımı her kata el yatırma yöntemi ile sürülmüştür.

Dördüncü yapı: 40 cm x 40 cm boyutlarında kesilen 220 gr/m² ağırlığında %50 kevlar - %50 karbon kumaştan 25 katlık bir laminant elde edilmiştir. Laminantın ön yüzünden 5. ve 2. katına bakır şeritlerden oluşturulan bezayağı doku yerleştirilerek karışımın % 15'i borik asit olacak şekilde ayarlanan epoksi + borik asit karışımı her kata el yatırma yöntemi ile sürülmüştür.

Beşinci yapı: 40 cm x 40 cm boyutlarında kesilen 220 gr/m² ağırlığında %50 kevlar - %50 karbon kumaştan 25 katlık bir laminant elde edilmiştir. Laminantın ön yüzünden 2. ve

5. katına bakır şeritlerden oluşturulan bezayağı doku yerleştirilerek karışımın % 15'i boraks dekahidrat olacak şekilde ayarlanan epoksi + boraks dekahidrat karışımı her kata el yatırma yöntemi ile sürülmüştür.

Her bir yapı oluşturulduktan sonra belli bir basınç altında preslenmiş olup daha sonra 24 saat 23 °C de ve ardından 15 saat 80 °C de etüvde bekletilmiştir.

3.2.2. Balistik Yapıların Test Edilmesi

Elde edilen on adet balistik yapıya MP5 makinalı tabanca ve CZ yarı otomatik tabanca ile balistik yapı üzerinde test atışlarının yapılacağı noktalara 5 metre mesafeden atışlar yapılmıştır. Balistik yapılar alttan ve üstten tutturulmuştur.

Test atışları balistik yapılara barut miktarı 326 m/sn ve 388 m/sn hızları elde edecek şekilde ayarlanmış mermiler ile yapılmıştır.

3.2.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışmada elde edilen veriler varyans analizi, Tukey çoklu karşılaştırma testi ve bağımsız iki örnek t testi yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucu farklı yapıların ve farklı hızların farklı yüzeylerdeki deformasyonları tesbit edilmiştir (Efe, 2000).

3.2.4. Çekme ve Eğilme Testi

Oluşturulan numunelerin çekme ve eğilme dayanımı; K.S.Ü., Orman ve Endüstri Mühendisliği Fiziksel Tekstil Laboratuvarı' nda ZWICK/ROELL Z010 markalı universal test makinesinde yapılmıştır. Deneyde çekme için numune boyutları, kalınlık 5 mm, genişlik 13 mm, uzunluk 165 mm; eğilme için numune boyutları kalınlık 5 mm, genişlik 13 mm, uzunluk 150 mm'dir. Çekme testi için test hızı 5 mm/ dak., eğilme testi için test hızı 2 mm/dak. olacak şekilde ayarlanmıştır. Hem çekme hem de eğilme testinin yapıldığı makinanın çekme testi düzeneği şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.6. Çekme testi düzeneği

3.2.5. Isı İletim Katsayısının Ölçülmesi

Oluşturulan balistik yapıların ısı iletim katsayıları şekil 3.4’de görülen Quick Thermal Conductivity Meter Model QTM-500 ile ölçülmüştür. Ölçüm aralığı 0,0023 ile 12 W/mK dır. Örnek numunede% ± 3 okuma değeri vardır. Standart ölçüm zamanı 60 sn dir. Sabit ısıtıcı tel ve chromel-alumel ısıl çifti olan proba sahiptir. Örnek numune üzerine standart probu yerleştirilerek ölçüm değeri alınır.



Şekil 3.7. Isı iletim katsayısının ölçüldüğü cihaz

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Kevlar ve hibrit kumaştan oluşturulan yapıların balistik testler sonucunda oluşan deformasyonun incelenmesinde elde edilen deformasyona ait değerler farklı kumaş türleri, farklı kumaş yapıları, mermi hızı ve kumaş yüzeyi dikkate alınarak çizelge 4.1.'deki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Balistik testler sonunda yapılarda oluşan deformasyon değerleri.

			Deformasyon (mm)					Deformasyon (mm)	
Yapı	Mermi Hızı	Yüzey	Kevlar	Hibrit	Yapı	Mermi Hızı	Yüzey	Kevlar	Hibrit
1	1	1	10	9	3	2	1	9	7
1	1	1	10	10	3	2	1	9	7
1	1	1	10	10	3	2	1	9	7
1	1	2	19	20	3	2	2	17	19
1	1	2	17	23	3	2	2	16	17
1	1	2	18	23	3	2	2	16	16
1	2	1	9	9	4	1	1	9	8
1	2	1	10	9	4	1	1	8	8
1	2	1	10	10	4	1	1	9	8
1	2	2	9	20	4	1	2	17	17
1	2	2	17	20	4	1	2	17	17
1	2	2	17	18	4	1	2	20	17
2	1	1	8	8	4	2	1	8	8
2	1	1	8	7	4	2	1	8	8
2	1	1	9	7	4	2	1	8	8
2	1	2	15	19	4	2	2	16	14
2	1	2	18	16	4	2	2	16	14
2	1	2	15	16	4	2	2	16	14
2	2	1	8	8	5	1	1	9	9
2	2	1	7	8	5	1	1	9	8
2	2	1	8	7	5	1	1	9	9
2	2	2	15	16	5	1	2	20	26
2	2	2	15	9	5	1	2	20	26
2	2	2	15	10	5	1	2	25	20
3	1	1	8	7	5	2	1	9	9
3	1	1	9	8	5	2	1	9	10
3	1	1	9	7	5	2	1	9	8
3	1	2	18	17	5	2	2	16	18
3	1	2	15	21	5	2	2	17	21
3	1	2	16	20	5	2	2	17	15

Yapı 1, kevlar / epoksi veya hibrit / epoksi ile oluşturulan yapıdır.

Yapı 2, kevlar / epoksi+ borik asit veya hibrit / epoksi+borik asit ile oluşturulan yapıdır.

Yapı 3, kevlar / epoksi+ boraks dekahidrat veya hibrit / epoksi+boraks dekahidrat ile oluşturulan yapıdır.

Yapı 4, kevlar / epoksi+borik asit / bakır veya hibrit / epoksi+borik asit / bakır ile oluşturulan yapıdır.

Yapı 5, kevlar / epoksi+boraks dekahidrat / bakır veya hibrit / epoksi+boraks dekahidrat / bakır ile oluşturulan yapıdır.

Mermi hızı 1, MP5 makinalı tabanca ile atılan 388 m/s 'lik hızdır.

Mermi hızı 2, CZ tabanca ile atılan 326 m/s 'lik hızdır.

Yüzey 1, ön yüzeydir.

Yüzey 2, arka yüzeydir.

Balistik testler sonucunda oluşan deformasyonun incelenmesinde farklı yapıların(yapı 1, yapı 2, yapı 3, yapı 4, yapı 5), farklı hızların (MP5 ve CZ) ve farklı yüzeylerin (ön ve arka) karşılaştırılması için her bir kumaş türüne (kevlar ve hibrit) ayrı ayrı varyans analizi (faktöriyel) uygulanmıştır. Önemli çıkan faktörlere ait karşılaştırmalar ise Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılarak yapılmıştır. Kumaş türlerinin (kevlar ve hibrit) deformasyon bakımından karşılaştırılmasında ise bağımsız iki örnek t testi kullanılmıştır. Varyans analizinde yapı, hız, yüzey, yapı*hız, yapı*yüzey, hız*yüzey ve yapı*hız*yüzey etkileşimlerinin deformasyona etkisi incelenmiştir (Çizelge 4.2.).

4.1. Varyans Analizi ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi kevlar tipi kumaşlarda deformasyona yapı, hız, yüzey ve hız*yüzey etkileşim etkisi istatistiksel açıdan çok önemli ($P<0.01$) ve yapı*yüzey etkileşiminin ise önemli ($P<0.05$) olduğu görülmektedir. Diğer yandan yapı*hız ve yapı*hız*yüzey etkileşimlerinin ise deformasyona istatistiksel açıdan bir etkisinin olmadığı görülmektedir ($P>0.05$).

Hibrit kumaşlarda (Çizelge 4.2) ise deformasyona yapı, hız, yüzey, yapı*yüzey ve hız*yüzey etkileşim etkisi istatistiksel açıdan çok önemli ($P<0.01$) olduğu, yapı*hız, ve yapı*hız*yüzey etkileşimlerinin ise kevlar tipi kumaşlarda olduğu gibi deformasyona istatistiksel açıdan bir etkisinin olmadığı görülmektedir ($P>0.05$).

Çizelge 4.2. Kevlar ve Hibrit Kumaşlara Ait Varyans Analizi Sonuçları.

Varyasyon Kaynakları	Kevlar			Hibrit		
	Serbestlik Derecesi	Kareler Ort.	F	Serbestlik Derecesi	Kareler Ort.	F
Yapı	4	8.558	4.141**	4	41.833	15.987**
Hız	1	25.35	12.266**	1	54.15	20.694**
Yüzey	1	968.017	468.395**	1	1430.817	546.809**
Yapı * Hız	4	3.225	1.56	4	1.567	0.599
Yapı * Yüzey	4	6.308	3.052*	4	17.567	6.713**
Hız * Yüzey	1	16.017	7.75**	1	54.15	20.694**
Yapı * Hız * Yüzey	4	3.142	1.52	4	3.233	1.236
Hata	40	2.067		40	2.617	

* $\alpha=0.05$ önem düzeyinde önemli, ** $\alpha=0.01$ önem düzeyinde önemli.

Varyans analizi ile deformasyonun oluşmasında etkili bulunan yapı, hız, yüzey, yapı*yüzey ve hız*yüzey interaksiyonlarına ait grafikler Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, ve Şekil 4.5'te verilmiştir.

Varyans analizi ile deformasyonun oluşmasında etkili bulunan yapılara ait çoklu karşılaştırma (Tukey) testi sonuçları ve ortalama grupları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

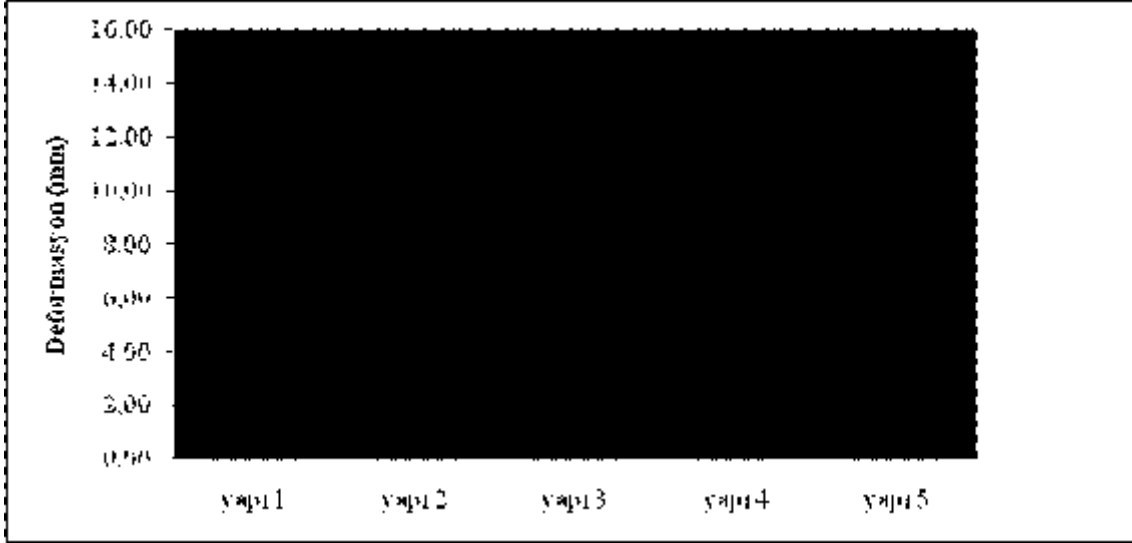
Çizelge 4.3. Farklı kumaş türlerinde yapılara ait ortalama grupları ve HKO değerleri.

Yapı	Kevlar	Yapı	Hibrit
1.Epoksi/ keklar	13±1.187 ^{ab}	1.Epoksi/ hibrit	15.083±1.729 ^a
2.Borik asit+epoksi /keklar	11.75±1.162 ^b	2.Borik asit+epoksi / hibrit	10.9166±1.287 ^b
3.Boraks deka+epoksi/keklar	12.583±1.151 ^{ab}	3.Boraks deka+epoksi/ hibrit	12.75±1.728 ^b
4.Borik asit+epoksi/keklar/bakır	12.666±1.344 ^{ab}	4.Borik asit+epoksi/hibrit/ bakır	11.75±1.1750 ^b
5.Boraks deka +epoksi/keklar/bakır	14.083±1.662 ^a	5.Boraks deka +epoksi/hibrit/ hibrit	14.9166±2.028 ^a
HKO	2.067		2.617

HKO; Hata kareler ortalaması; $\bar{x} \pm S_x$; Aritmetik ortalama±standart hata.

Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre keklar ve hibrit kumaşlarda ikişer farklı ortalama grubu oluşmuştur. Kevlar tipi kumaşlarda en düşük ortalama grubunu 1, 3, 4 ve 2-inci yapı (13±1.187^{ab}, 12.583±1.151^{ab}, 12.666±1.344^{ab}, 11.75±1.162^b), en yüksek ortalama grubunu ise 1, 3, 4 ve 5-inci yapı (13±1.187^{ab}, 12.583±1.151^{ab}, 12.666±1.344^{ab}, 14.083±1.662^a) oluşturmuştur (Çizelge 4.3). Diğer bir ifade ile en fazla deformasyon 1, 3, 4 ve 5-inci yapıda, en düşük deformasyon ise 1, 3, 4 ve 2-inci yapıda gerçekleşmiştir. Burada 1, 3 ve 4-üncü yapılar her iki grupta da yer almıştır. Hibrit tipi kumaşlarda en düşük ortalama grubunu 2,3 ve 4-üncü yapılar (10.9166±1.287^b, 12.75±1.728^b, 11.75±1.1750^b), en yüksek ortalama grubunu ise 1 ve 5-inci yapılar (15.083±1.729^a, 14.9166±2.028^a) oluşturmuştur (Çizelge 4.3). Diğer bir ifade ile en fazla deformasyon 1 ve 5-inci yapıda, en düşük deformasyon ise 2, 3 ve 4-üncü yapılarda gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak keklar kumaşa ait en düşük deformasyon 2-inci yapıda olurken en yüksek deformasyon 5-inci yapıda oluşmaktadır. Hibrit kumaşa ait en düşük deformasyon, en düşük deformasyonlar arasında yine 2-inci yapıda oluşurken en yüksek deformasyon 1-inci yapıda oluşmaktadır.



Şekil 4.1. Farklı kumaş türlerindeki yapılara ait deformasyon

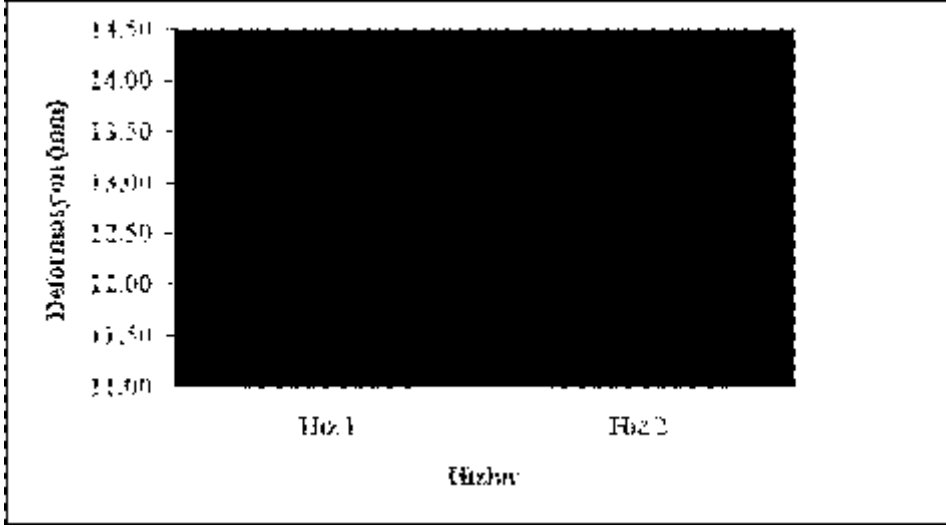
Varyans analizi ile deformasyonun oluşmasında etkili bulunan hızlara ait ortalama grupları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı hızlara ait ortalama grupları ve HKO değerleri.

Hız	Kevlar	Hibrit
Hız 1	13.466±0.909 ^a	14.033±1.171 ^a
Hız 2	12.166±0.704 ^b	12.1333±0.865 ^b
HKO	2.067	2.617

HKO; Hata kareler ortalaması; $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$; Aritmetik ortalama±standart hata.

Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi hız bakımından kevlar ve hibrit kumaşlarda ikişer farklı ortalama grubu oluşmuştur. Kevlar tipi kumaşlarda en düşük ortalama grubunu hız 2 (CZ) (12.166±0.704^b), en yüksek ortalama grubunu ise hız 1 (MP5) (13.466±0.909^a) oluşturmuştur (Çizelge 4.4). Diğer bir ifade ile en fazla deformasyon hız 1 (MP5)’de, en düşük deformasyon ise hız 2 (CZ)’de gerçekleşmiştir. Hibrit tipi kumaşlarda da en düşük ortalama grubunu hız 2 (CZ) (12.1333±0.865^b), en yüksek ortalama grubunu yine hız 1 (MP5) (14.033±1.171^a) oluşturmuştur (Çizelge 4.4). Kevlarda olduğu gibi en fazla deformasyon hız 1 (MP5)’de, en düşük deformasyon ise hız 2 (CZ)’de gerçekleşmiştir.



Şekil 4.2. Farklı kumaş türlerinde hızlara ait deformasyon

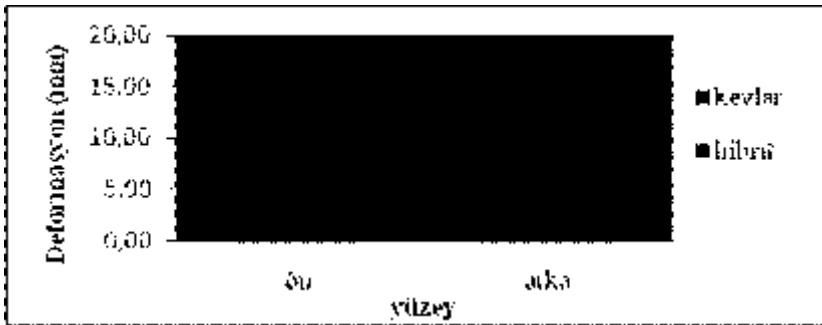
Varyans analizi ile deformasyonun oluşmasında etkili bulunan yüzeylere ait ortalama grupları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı yüzeylere ait ortalama grupları ve HKO değerleri.

Yüzey	Kevlar	Hibrit
Ön	8.8±0.138 ^b	9.866±0.869 ^b
Arka	16.833±0.469 ^a	16.35±0.559 ^a
HKO	2.067	2.617

HKO; Hata kareler ortalaması; $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$; Aritmetik ortalama±standart hata.

Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi yüzey bakımından kevlar ve hibrit kumaşlarda ikişer farklı ortalama grubu oluşmuştur. Kevlar tipi kumaşlarda en düşük ortalama grubunu ön yüzey (8.8±0.138^b), en yüksek ortalama grubunu ise arka yüzey (16.833±0.469^a) oluşturmuştur (Çizelge 4.5). Diğer bir ifade ile en fazla deformasyon arka yüzeyde, en düşük deformasyon ise ön yüzeyde gerçekleşmiştir. Hibrit tipi kumaşlarda da en düşük ortalama grubunu ön yüzey (9.866±0.869^b), en yüksek ortalama grubunu yine arka yüzey (16.35±0.559^a) oluşturmuştur (Çizelge 4.5). Kevlarda olduğu gibi en fazla deformasyon arka yüzeyde, en düşük deformasyon ise ön yüzeyde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.3. Farklı kumaş türlerinde yüzeylerde meydana gelen deformasyon

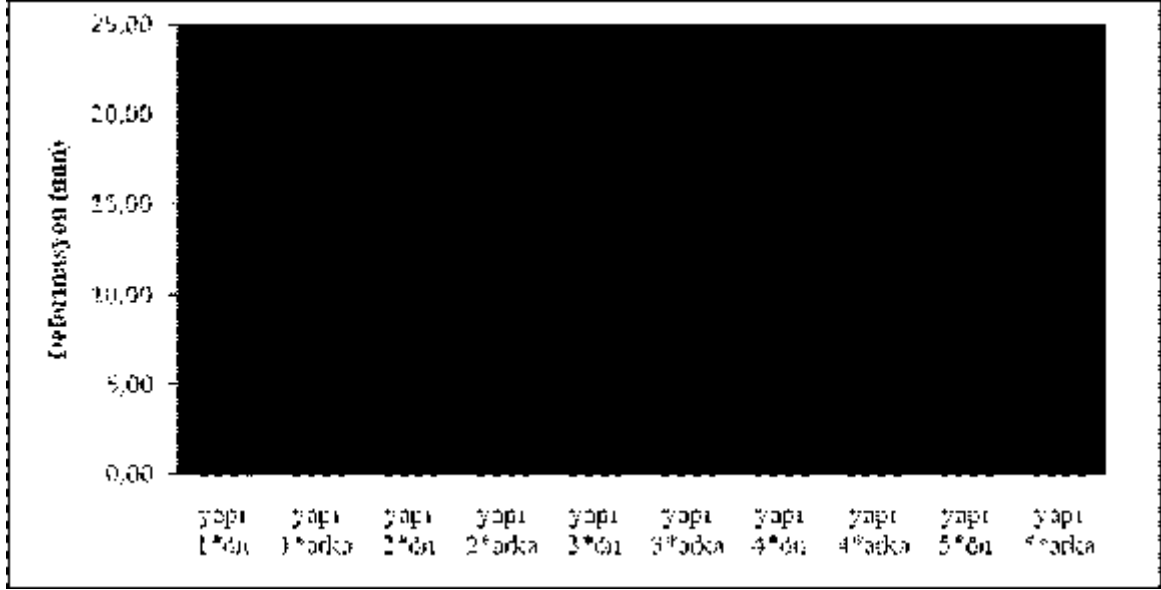
Varyans analizi ile deformasyonun oluşmasında etkili bulunan yapı*üzey interaksyonuna ait çoklu karşılaştırma (Tukey) testi sonuçları ve ortalama grupları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Yapı*Yüzey İnteraksyonuna ait ortalama grupları ve HKO değerleri.

Yapı*Yüzey	Kevlar	Hibrit
Yapı 1*Ön	9.83±0.16 ^c	9.5±0.223 ^d
Yapı 1*Arka	16.16±1.47 ^b	20.66±0.802 ^a
Yapı 2*Ön	8±0.258 ^c	7.5±0.223 ^d
Yapı 2*Arka	15.5±0.5 ^b	14.33±1.605 ^d
Yapı 3*Ön	8.83±0.401 ^c	7.166±0.477 ^d
Yapı 3*Arka	16.33±0.421 ^b	18.33±0.802 ^{ab}
Yapı 4*Ön	8.33±0.258 ^c	8±0.2236 ^d
Yapı 4*Arka	17±0.632 ^{ab}	15.5±0.670 ^{bc}
Yapı 5*Ön	9±0.3073 ^c	8.83±0.223 ^d
Yapı 5*Arka	19.16±1.351 ^a	21±1.788 ^a
HKO	2.067	2.617

HKO; Hata kareler ortalaması; $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$; Aritmetik ortalama±standart hata.

Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre yapı*üzey interaksyonu bakımından kevlar tipi kumaşlarda üç farklı ortalama grubu, hibrit tipi kumaşlarda ise dört farklı ortalama grubu oluşmuştur. Kevlar tipi kumaşlarda en düşük ortalama grubunu yapı1*ön yüzey, yapı2*ön yüzey, yapı3*ön yüzey, yapı4*ön yüzey ve yapı5*ön yüzeyler (9.83±0.16^c, 8±0.258^c, 8.83±0.401^c, 8.33±0.258^c, 9±0.3073^c), en yüksek ortalama grubunu ise yapı4*arka ve yapı5*arka yüzeylerde (17±0.632^{ab}, 19.16±1.351^a) oluşturmuştur (Çizelge 4.6). Diğer bir ifade ile en fazla deformasyon yapı4*arka ve yapı5*arka'da, en düşük deformasyon ise yapı1*ön yüzey, yapı2*ön yüzey, yapı3*ön yüzey, yapı4*ön yüzey ve yapı5*ön yüzey'de gerçekleşmiştir. Hibrit tipi kumaşlarda ise en düşük ortalama grubunu yapı1*ön yüzey, yapı2*ön yüzey, yapı2*arka yüzey, yapı3*ön yüzey, yapı4*ön yüzey ve yapı5*ön yüzeyler (9.5±0.223^d, 7.5±0.223^d, 14.33±1.605^d, 7.166±0.477^d, 8±0.2236^d, 8.83±0.223^d) oluştururken, en yüksek ortalama grubunu ise yapı1*arka, yapı3*arka ve yapı5*arka yüzeylerde (20.66±0.802^a, 18.33±0.802^{ab}, 21±1.788^a) oluşturmuştur (Çizelge 4.6). Burada en fazla deformasyon yapı1*arka, yapı3*arka ve yapı5*arka'da, en düşük deformasyon ise yapı1*ön yüzey, yapı2*ön yüzey, yapı2*arka yüzey, yapı3*ön yüzey, yapı4*ön yüzey ve yapı5*ön yüzey'de gerçekleşmiştir.



Şekil 4.4. Farklı kumaş türlerinde Yapı*Yüzey interaksiyonuna göre defromasyon

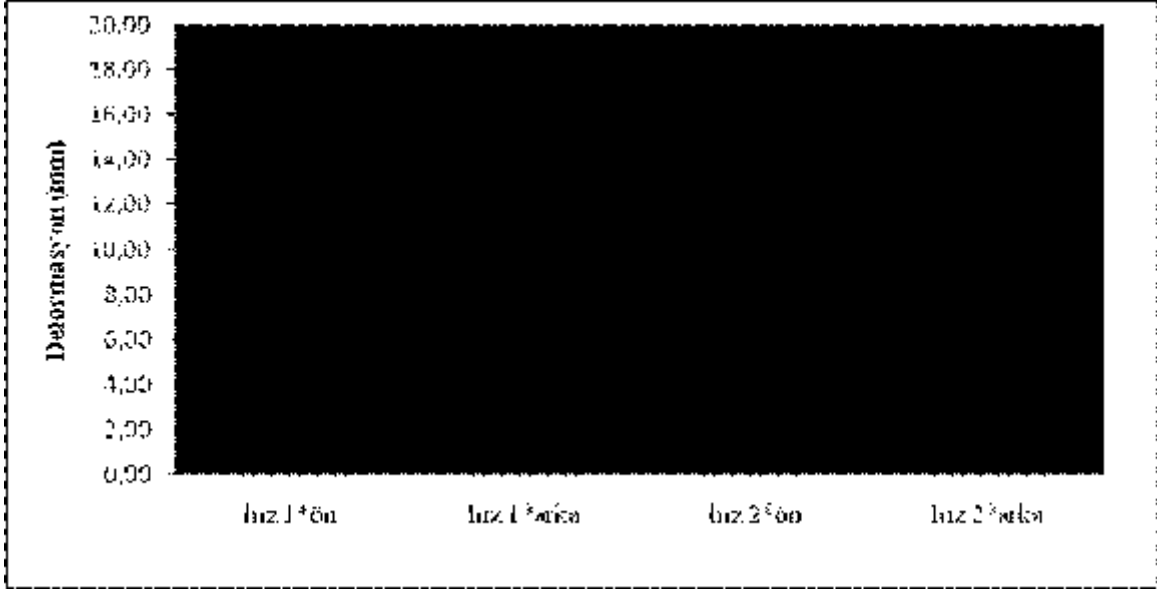
Varyans analizi ile deformasyonun oluşmasında etkili bulunan hız*yüzey interaksiyonuna ait çoklu karşılaştırma (Tukey) testi sonuçları ve ortalama grupları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Hız*Yüzey İnteraksiyonuna ait ortalama grupları ve HKO değerleri.

Hız*Yüzey	Kevlar	Hibrit
Hız 1*Ön	8.93±0.181 ^c	8.2±0.261 ^c
Hız1*Arka	18±0.676 ^a	19.86±0.87 ^a
Hız 2*Ön	8.66±0.21 ^c	8.2±0.261 ^c
Hız 2*Arka	15.66±0.513 ^b	16.06±0.907 ^b
HKO	2.067	2.617

HKO; Hata kareler ortalaması; $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$; Aritmetik ortalama±standart hata.

Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre hızı*yüzey interaksiyonu bakımından kevlar ve hibrit tipi kumaşlarda üçer farklı ortalama grubu oluşmuştur. Kevlar ve hibrit tipi kumaşlarda ortalama grupları aynı elemanlara sahiptir. Yani her ikisinde de en düşük ortalama grubunu hız1*ön yüzey ve hız2*ön yüzey, en yüksek ortalama grubunu ise hız1*arka yüzey oluşturmuştur (Çizelge 4.7). Diğer bir ifade ile en fazla deformasyon hız1*arka yüzey’de, en düşük deformasyon ise hız1*ön yüzey ve hız2*ön yüzey’de gerçekleşmiştir.



Şekil 4.5. Farklı kumaş türlerinde Hız*Yüzey interaksyonuna göre deformasyon

4.2. Bağımsız İki Örnek t Testi

Kevlar ve hibrit kumaşlarda yapı, hız, yüzey yapı*hız, yapı*yüzey, hız*yüzey ve yapı*hız*yüzey interaksyonları dikkate alınmadan her iki kumaş türüne ait deformasyon değerleri bağımsız iki örnek t testi ile karşılaştırıldığında Çizelge 4.8'deki sonuçlar elde edilmiştir.

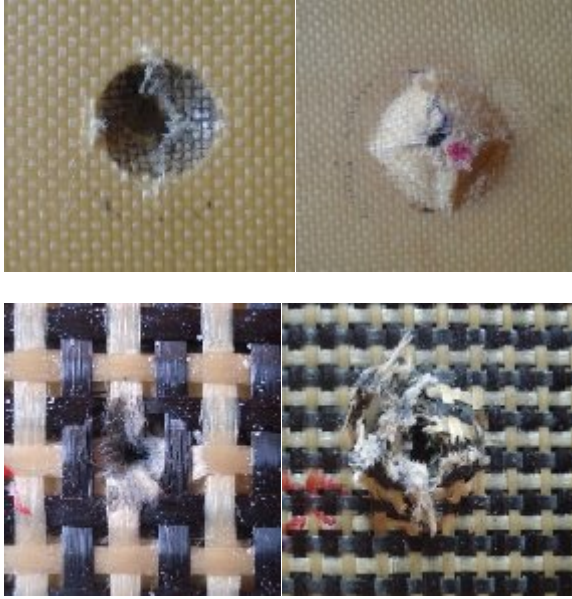
Çizelge 4.8. Kevlar ve Hibrit Kumaşlara Ait Bağımsız İki Örnek t Testi Sonuçları.

Test	T Hesap Değeri	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Arası Fark	P
Bağımsız İki Örnek t Testi	-0.286	118	-0.2667	0.775

Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi yapı, hız, yüzey yapı*hız, yapı*yüzey, hız*yüzey ve yapı*hız*yüzey interaksyonları dikkate alınmadan her iki kumaş türüne ait deformasyon değerleri bağımsız iki örnek t testi ile karşılaştırıldığında, her iki kumaş türüne ait değerler arasında istatistiki açıdan herhangi bir farkın olmadığı görülmektedir ($P>0.05$)

4.3. Yapılara Ait Deformasyonun Şekli

Atışlar sonucunda balistik yapıda oluşan defromasyonun şekli, şekil 1.30'da görülen karbon kumaşta oluşan koni formu ile aynı olup kevlar kumaşta da aynı formda koni formu oluşmakta olduğunu söyleyen Morais ve ark., (2003) desteklenmiştir.



Şekil 4.6. Yapılarda oluşan deformasyonlar

4.4. Yapılara Ait Çekme ve Eğilme Testi

Oluşturulan balistik malzemelerden kevlar kumaşa çekme testi uygulanmıştır. Çenelerin hibrit kumaşı yeterince tutamaması nedeniyle hibrit kumaşa eğilme testi uygulanmıştır. Hibrit kumaşa uygulanan eğilme testi sonuçları daha sonra dönüşüm formülü ile çekme testi sonuçlarına çevrilerek sonuçlar çizelge halinde verilmiştir. Çekme testinin sonuçları, eğilme testinin sonuçları ve genel çizelge sırasıyla çizelge 4.9, çizelge 4.10 ve çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kevlar kumaşa uygulanan çekme testi sonuçları

Laminantlar	Çekme direnci(Mpa)
Epoksi/ kevlar	226,16±0,62
Borik asit+epoksi /kevlar	40,733±2,53
Boraks deka+epoksi/kevlar	68,217±15,35
Borik asit+epoksi/kevlar/bakır	77,406±21,63
Boraks deka +epoksi/kevlar/bakır	34,437±23,19

$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$; Aritmetik ortalama±standart hata

Çizelge 4.10. Hibrit kumaşa uygulanan eğilme testi sonuçları

Laminantlar	Çekme direnci(Mpa)
Epoksi/ hibrit	227,92±29,171
Borik asit+epoksi /hibrit	68,13±33,70
Boraks deka+epoksi/hibrit	106,107±35,172
Borik asit+epoksi/hibrit/bakır	77,58±8,001
Boraks deka +epoksi/hibrit/bakır	97,987±23,274

$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$; Aritmetik ortalama±standart hata.

$\sigma_c=0,6 \sigma_e$ dönüşüm formülü ile eğilme testi sonuçları çekme testi sonuçlarına çevrilmiştir (Onaran, 1995).

Çizelge 4.11. Çekme testi sonuçları

Yapı	Çekme direnci (MPa)	Yapı	Çekme direnci (MPa)
1.Epoksi/ kevlar	226,16±0,62	1.Epoksi/ hibrit	136,75±17,50
2.Borik asit+epoksi /kevlar	40,733±2,53	2.Borik asit+epoksi / hibrit	40,88±20,26
3.Boraks deka+epoksi/kevlar	68,217±15,35	3.Boraks deka+epoksi/ hibrit	63,66±21,10
4.Borik asit+epoksi/kevlar/bakır	77,406±21,63	4.Borik asit+epoksi/hibrit/ bakır	46,55±4,80
5.Boraks deka +epoksi/kevlar/bakır	34,437±23,19	5.Boraks deka +epoksi/hibrit/ hibrit	58,79±13,96

$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$; Aritmetik ortalama±standart hata

Verilere göre çekme direnci en yüksek birinci yapılarda oluşurken en düşük çekme direnci ikinci (borik asitli) yapılarda meydana gelmiştir.

4.5. Yapılara Ait Lamda(λ) Değerleri

Oluşturulan yapılara ait lamda (λ) değerleri çizelge 4.10' da verilmiştir. Verilere göre her iki yapı grubunda da en düşük ısı iletim katsayısına ait yapı, yapı 2 iken, en yüksek ısı iletim katsayısına ait yapı da yapı 5'tir.

Çizelge 4.10. Yapılara ait ısı iletim katsayıları

Yapı	Ortalama (W/mK)	Yapı	Ortalama (W/mK)
1.Epoksi/ kevlar	0,3419±0,015	1.Epoksi/ hibrit	0,4534±0,030
2.Borik asit+epoksi /kevlar	0,1246±0,004	2.Borik asit+epoksi / hibrit	0,1949±0,008
3.Boraks deka+epoksi/kevlar	0,1839±0,009	3.Boraks deka+epoksi/ hibrit	0,2845±0,057
4.Borik asit+epoksi/kevlar/bakır	0,6973±0,088	4.Borik asit+epoksi/hibrit/ bakır	0,4848±0,065
5.Boraks deka +epoksi/kevlar/bakır	0,7023±0,094	5.Boraks deka +epoksi/hibrit/ hibrit	0,8429±0,047

$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$; Aritmetik ortalama±standart hata

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan araştırmalara göre sürtünme katsayısı yüksek olan malzemelerde daha yüksek enerji absorpsiyonun gerçekleştiği belirlenmiştir. Sıcaklık oluşumuna ve sıcaklığın artmasına sürtünmenin sebep olduğunu bilinmektedir. Yapılarda yapıların sürtünme katsayısının artırılması ve ısıya karşı direnç kazanması için borlar kullanılmıştır.

Malzemelerin ısı yayılım katsayısı α , ısı iletkenlik katsayısı λ , yoğunluk ρ ve özgül ısı C_p bağlıdır.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho * C_p}$$

Denklemden de görüldüğü gibi ısı yayılım katsayısı ısı iletkenlik katsayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Belirli sıcaklık aralığında ısı iletim katsayısı λ 'nın sıcaklıkla değişimi lineer sayılabilir (Kakaç, 1976).

Malzemenin ısı iletkenlik katsayısının yüksek oluşu ısıyı daha iyi ve hızlı iletceği buna bağlı olarak da malzemede yukarıda bahsedildiği gibi lif-lif ve lif-mermi sürtünmesi sonucu sıcaklığın hızla yayılacağı anlamına gelmektedir. Bakırlı yapıların ısı iletkenlik katsayısı (λ) en yüksek, borik asitli yapıların ısı iletkenlik katsayısı (λ) nın en düşük olması bunu göstermektedir.

Sıcaklık ile malzeme dayanımı ters orantılı olup malzemede sıcaklığının artmasıyla malzemenin dayanımı düşmektedir. Buna bağlı olarak da deformasyon fazla olmaktadır. Yapılan varyans analizi sonucunda da ısı iletim katsayısı en yüksek olan bakırlı yapılarda deformasyonun en yüksek, ısı iletim katsayısı en düşük olan borik asitli yapılarda deformasyonun en düşük olması bunu desteklemektedir.

Varyans analizi sonucunda hızlar karşılaştırıldığında hız arttıkça deformasyonun arttığı, yüzeyler karşılaştırıldığında ön yüzeyde daha az deformasyonun olduğu ortaya konulmuştur.

Atışlar sonucunda yapılarda merminin içeriye girmesi, liflerde kırılmalar, yüzeyde koni formu oluşması ve delaminasyon gözlemlenmiştir.

Verilere göre çekme direnci en yüksek birinci yapılarda oluşurken en düşük çekme direnci ikinci (borik asitli) yapılarda meydana gelmiştir. Vurmanın katlı yapılara etkisi katı ve esnek tiplerine bağlı olarak değişmekte, katı yapılar için katlar arası açılmanın bozulma modu olduğu ve bunun enerjinin dağıtılması açısından olumlu ancak yapının dayanımı açısından negatif olarak etkilediği iddia edilmiştir. (Bilişik, 1997).

Ülkemiz şu an dünya toplam bor rezervlerinin % 63 ünü topraklarımızda barındırmaktadır. Her geçen gün borun kullanım alanı genişlemektedir. Bu kullanım alanlarına balistik de dahil olmaktadır. Çalışmamızda borik asit % 15 oranında kullanılmıştır ve en iyi sonuçları vermiştir. Bu nedenle borik asit kullanım oranının artırılması durumunda balistik koruyuculuğun da artacağı düşünülmektedir. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda borik asitin artan oranı ile değişik kat sayılarında ve değişik kumaş tipleri ile en ekonomik ve en etkili korumayı sağlayacak çeşitli yapılar geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- AGARWALL, B.D., BROUTMAN L.J. 1980. Analysis and Performance of Fiber Composites. John Wiley & Sons, New York, 355s
- ANONYMOUS, 1982. Dünyada ve Türkiye’de Metal ve Mineral Kaynaklarının Potansiyeli, Ticareti, Beklenen Gelişmeler. MTA Enstitüsü Yayınları, Ankara, No:187,
- AYTEKİN, Y. ve POLAT, M., 1987. Bor Madenciliğinin Türkiye İçin Önemi, Etibank Bülteni, Ankara, No:96-97
- BAŞER, İ.,1992. Elyaf Bilgisi. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul yayın no:7,
- BAYKAL DEMİR, E., GÜLER, H. 2003, “Hidrotermal ve Mikrodalga Enerjiyle, Lityum İçeren Boratlı Fosfatlı Bileşiklerin Sentezlenmesi, Kristal Yapı ve Termokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi “ Yüksek lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- BAZHENOV S. 1997. Dissipation of energy by bulletproof aramid fabric. J Mater Sci;32:4167–73.
- BRISCOE BJ, MOTAMEDİ F. 1992. The ballistic impact characteristics of aramid fabrics: the influence of interface friction. Wear; 158(1–2):229–47.
- BRISCOE BJ, MOTAMEDİ F. 1990. Role of interfacial friction and lubrication in yarn and fabric mechanics. Text Res J;60(12):697– 708.
- BULUT, H. 2003. Balistik Koruyucu Teçhizatın İmalatında Kompozit Malzeme Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- CHENG, M., CHEN, W., WEERASOORIYA T. 2004. Experimental investigation of the transverse mechanical properties of a single Kevlar® KM2 fiber, International Journal of Solids and Structures, 41, , 6215–6232
- CANDAN, C. 1998. Ultra yoğun moleküler yapılı kompozit başlığın imalatı, balistik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- CHEESEMAN, B. A., BOGETTİ, T. A. 2003. Balistic Impact into Fabric and Compliant Composite Laminates, *Composite Structure*, 61, 161-173.
- CHOCRON , I., S., RODRÍQUEZ, J., MARTÍNEZ, M., A. & SANCHEZ GALVEZ, V. 1997. Dynamic tensile testing of aramid and polyethlene fiber composites. *International journal of impact engineering*. Vol.19, No.2, pp. 135-146.
- CUNNİFF PM. 1992. An analysis of the system effects of woven fabrics under ballistic impact. Text Res J;62(9):495–509.

- CHİTRANGAD. 1993. Hybrid ballistic fabric. United States Patent No. 5,187,003, 16 February
- CARR DJ. 1999. Failure mechanisms of yarns subjected to ballistic impact. *J Mater Sci Lett*;18:585–8.
- COOK, J.G. 1984. Handbook of Textile Fibers. Redwood Burn Ltd., Trowbridge, Wiltshire, Great Britain.
- DUAN Y. 2002. Personal communication, August
- DİRİCAN, A. 2002. Yeni geliştirilen high-tech lifleri. Bitirme Ödevi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü.
- DUAN, Y., KEFE, M., BOGETTİ, T. A., CHEESEMAN, B. A., POWERS, B. 2006. A Numerical Investigation of the influence of friction on energy by a high-strength fabric subjected to ballistic impact, *Impact Engineering*, 32, 1299-1312.
- DUAN Y, KEEFE M, BOGETTİ TA, CHEESEMAN BA. 2002. Modeling the impact behavior of high-strength fabric structures. Presented at the Fiber Society Annual Technical Conference, Natick, Massachusetts, 16–18 October.
- DUAN Y., KEEFE M., BOGETTİ T.A., POWERS B. 2006. Finite element modeling of transverse impact on a ballistic fabric, *International Journal of Mechanical Sciences*, 48, , 33-43
- ERDOĞAN, Y., ZEYBEK, A. 1996, "Çeşitli Borlu Numunelerin Termal Analizleri" Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü,.
- ERSOY, S. 2005. Lif takviyeli polimerik kompozit Malzeme tarsiımı. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü-İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- EFE, E., BEK, Y., ŞAHİN, M., 2000. SPSS'te Çözümleri ile İstatistik Yöntemler. KSU Rektörlüğü Yayın no:73, K.Maraş,.
- FAUR, G., CSUKAT. 2005. Development of fibre reinforced ballistic composites, Proceeding of the 8th Polymers for Advanced Technologies International Symposium
- GERARD E. SEVERİN, WILMINGTON Del.1980. Body Armor Laminate, United State Patent no: 4,181,768. Jan. 1,
- GU, B. 2003. Analytical modeling for the ballistic perforation of planar plainwoven fabric target by projectile. *Composites Part B* 34, 361-371
- HAREL, H. & MAROM, G. 2002. Delamination controlled ballistic resistance of polyethylene/ polyethylene composite materials. *Applied composite materials*. 9:33-42.

- HEARLE, J.W.S. 2001. High performance Fibers, Woodhead Publishing Limited, England, and CRC Pres LLC, USA in association with The Textile Institute,
- HORROCKS, A.R., ANAND, S.C. 2002. Teknik tekstiller El Kitabı, Türk Tekstil Vakfı, İstanbul,
- HONGU, T &PHİLLİPS, G.O. 1997. New Fibers. (Second Edition).Suffolk:Woodhead Publishing Limited.
- HONGU, T., PHİLLİPS, G.O, TAGİKAMİ, M. 2000. New Millennium Fibers, Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute, England,
- HOSUR, M.V., VAİDYA, U.K., ULUEN, C. & JEELANİ, S. 2004. Performance of stitched/unstitched wopen carbon/epoxy composites under high velocity impact loading. Composite structures. 64, 455-466.
- IREMONGER MJ, WENT AC. 1996. Ballistic impact of fibre composite armours by fragment-simulating projectiles. Composites, Part A;27A:575–81.
- IREMONGER MJ. 1999. Polyethylene composites for protection against high velocity small arms bullets. In: Proceedings of the 18th International Symposium on Ballistics, San Antonio, Texas, 15– 19 November. p. 946–53.
- KİRKLAND KM, TAM TY, WEEDON GC. 1991. Newthird-gene ration protective clothing from high-performance polyethylene fiber. In: Vigo TL, Turbak AF, editors. High-tech Fibrous Materials. Washington DC: American Chemical Society;.
- KIRK ve OTHMER. 1987. Encyclopedia of chemical Technology, Baron Compounds, Third Ed., New York,.
- KARAHAN, M. 1994. Kompozit malzemeler için yüksek performanslı spectra liflerinde arabirim kuvvetinin çeşitli kimyasallar etkisinde incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- LARSSON, F.&SVENSSON, L. 2001. Carbon, polyethylene and PBO fibre composites for structural lightweight armour. Composites:Part A 33, s.221-231.
- LEE BL, WALSH TF, WON ST, PATTS HM, SONG JW, MAYER AH. 2001. Penetration failure mechanisms of armor-grade fiber composites under impact. J Compos Mater;35(18):1605–33.
- LEE BL, SONG JW, WARD JE. 1994. Failure of Spectra polyethylene fiberreinforced composites under ballistic loading. J Compos Mater;28(13):1202–26.
- LEE, E.B. (2003). Technical guide for kevlar aramid fiber.
- LEE, Y.S., WETZEL, E.D., WAGNER, N.J. 2003. The ballistic impact characteristics of Kevlar wopen fabrics impregnated with a colloidal shear thickening fluid. *Journal of material science*. 38, s.2825-2833

- LİM CT, TAN VBC, CHEONG CH. 2002. Perforation of high-strength double-ply fabric system by vary shaped projectiles. *Int J Impact Eng*;27:577–91.
- MUSZYNSKI, S. 2004. *Body Armor*, Eastern Michigan University.
- MAZUMDAR, S.K. 2002. *Composites Manufacturing: Material, Product and Process Engineering*. CRC Pres, Boca Raton London New York Washington, D.C.
- MALLICK, P.K. 1988. *Fiber Reinforced Composites*. Marcel Dekker, INC., New York and Basel, 469s.
- MONTGOMERY TG, GRADY PL, TOMASINO C. 1982. The effects of projectile geometry on the performance of ballistics fabrics. *Text Res J*;52(7):442–50
- MARTÍNEZ MA, NAVARRO C, CORTES R, RODRÍGUEZ J, SANCHEZ- GALVEZ V. 1993. Friction and wear behaviour of Kevlar fabrics. *J MaterSci*;28:1305–11.
- MORAIS, W.A., ALMEIDA, J.R.M, GODEFROID,L.B. 2003. Effect of the Fiber Reinforcement on the Low Energy Impact Behavior of Fabric Reinforced Resin Matrix Composite Materials. *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng. Vol. 25, No. 4 / 325*
- MORYE, S.S., HİNE, P.J., DUCKETT, R.A., CARR, D.J. &WARD, I.M. 1998. A comparison of the properties of hot compacted gel-spun polyethylene fibre composites with conventional gel-spun polyethylene fibre composites *Composites*. Part A 30, 649-660
- MORYE SS, HİNE PJ, DUCKETT RA, CARR DJ, WARD IM. 2000. Modelling of the energy absorption by polymer composites upon ballistic impact. *Compos Sci Technol*;60:2631–42.
- MİTCHELL CA, CARR DJ. 1999. Post failure examination of a newbody armour textile by the use of an environmental scanning electron microscope. *Electron Microsc Anal*;161(3):103–6.
- MUTLU İ, ÇEVİK İ, ÖNER C. 2002. Fren Balatalarında Boraks ve Borik Asitin Etkilerinin Deneysel İncelenmesi1. *Uluslar Arası Bor Sempozyumu, Dumlupınar Üniversitesi* , 160-165,
- NRC, NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES .2005. *High-Performance Structural Fibers for Advanced Polymer Matrix Composites*, The National Academies Press, Washington, D.C., 2005
- NAİK, N.K. & SHRİRAO, P. 2004. Composite structures under ballistic impact *Composite structures*. 66, 579-590
- NIJ Standart-0101.04. Ballistic resistance of personal body armor.
- ONARAN K. 1995. *Malzeme Bilimi*, Bilim Teknik Yayınevi, 5. Baskı, İstanbul

- PHILIPS, L.N. 1989. Design with Advanced Composite Materials. Biddles Ltd., Guilford and Kings Lynn, Great Britain.
- PİŞKİN, E. 1999. Polimerler II Mühendislik Polimerleri. Pagyay Yayıncılık, İstanbul, 145s.
- PHOENIX, S.L., PORWAL, P.K. 2003. A new membrane model for the ballistic impact response and V50 performance of multi-ply fibrous systems, International Journal of Solids and Structures, 40, ,6723–6765
- POLAT, M. 1997. Türkiye ve Dünyada Bor ve Bor teknolojisi Uygulamalarının Araştırılması, No:FB/MAD-87.ARD37, İzmir,.
- PROSSER RA, COHEN SH, SEGARS RA. 2000, Heat as a factor in the penetration of cloth ballistic panels by 0.22 caliber projectiles. Text Res J;70(8):709–22.
- PREVORSEK DC, KWON YD, CHİN HB. 1994. Analysis of the temperature rise in the projectile and extended chain polyethylene fiber composite armor during ballistic impact and penetration. Polym Eng Sci;34(2):141–52.
- RUSSELL, S.J., POURMOHAMMADI, A., EZRA, I., JACOBS, M. 2005. Formation and properties of fluid jet entangled HMPE impact resistant fabrics, Composites Science and Technology, 65, , 899–907
- ROSATO V.R. 1997. Designing with Reinforced Composites. Carl Hanser Verlag, New York,
- ROYLANCE D. 1980. Stress wave-propagation in fibers-effects of crossovers. Fiber Sci Technol ;13(5):385–95.
- ROYLANCE D, WANG SS.1980. Penetration mechanics of textile structures. In: Laible RC, editor. Ballistic Materials and Penetration Mechanics. NewYork: Elsevier Scientific Publishing Co.
- SAMOWICH J. Joseph. 1985. Bullet-Proof Rotective Shielding and Garments And Methods of Making The Same and Use Thereof, United State Patent no: 4,510,000. April 9.
- SHEFFER, E., DOTAN, A. & YOSEF, M., B. 2005. Impact resistance of knitted reinforced composite materials. 5 th International Textile Conference.
- SHOCKEY DA, ERLICH DC, SIMONS JW. 2001. Improved barriers to turbine engine fragments: interim report III. US Department of Transportation Federal Aviation Administration Report, DOT/FAA/ER-99/8,III, May,
- SMITH, W.C.1998. High-Performance Fibers Protect, Improve Lives, Textile World, 148/10, 53-56

- SMİTH, A.P., ADE, H. 1996. Quantitative orientational analysis of a polymeric material (Kevlar® fibers) with x-ray microspectroscopy, *Appl. Phys. Lett.* 69 (25), 1996, 3833-3835
- SONG, J.W. 2003. Thermoplastic composites for ballistic application. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of engineering, University of Massachusetts Lowell Plastic Engineering.
- SHİM VPW, TAN VBC, TAY TE. 1995. Modelling deformation and damage characteristics of woven fabric under small projectile impact. *Int J Impact Eng* 1995;16(4):585–605.
- SHASTRİ, L., RAMKUMAR, S.S., SHELLY, D.C., TOCK, R.W. & SARKAR, A.K. 2005. Frictional studies of novel antiballistic chest shield components.
- STARRATT D, PAGEAU G, VAZİRİ R, POURSARTİP A. 1999. An instrumented experimental study of the ballistic impact response of Kevlar fabric. In: *Proceedings of the 18th International Symposium on Ballistics*, San Antonio, Texas, 15–19 November , p. 1208–15.
- SUSİCH G, DOGLİOTTİ LM, WRİGLEY AS. 1958. Microscopic study of multilayer nylon body armor panel after impact. *Text Res J* 1958;28:361.
- STANAG 2920 standardı.
- TEMİZ, S. 2005. Balistik Kumaş ve Test Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- TARAKÇIOĞLU, I., GÜLÜMSER, T., KANAT, Z.E., SÜPÜREN, G., ÇAY, A. 2007. Balistik Lifler. *Tekstil Ve Konfeksiyon Dergisi*, Ekim-Aralık, Yıl:17 Sayı:14
- TAN V.B.C., SHİM V.P.W., ZENG X. 2005. Modelling crimp in woven fabrics subjected to ballistic impact, *International Journal of Impact Engineering*, 32, 561-574
- TAN, V.B.C., TAY, T.E., TEO, W.K. 2005. Strengthening fabric armour with silica colloidal suspensions. *International Journal of Solids and Structures*. Volume 42, Issue 5-6, s.1561-1576.
- TAN VBC, LİM CT, CHEONG CH. 2003. Perforation of high-strength fabric by projectiles of different geometry. *Int J Impact Eng*, 28(2):207–22.
- TAN VCB, KHOO K.J.L. 2005. *Int J Impact Eng* 31:793-810
- TUTAK, M. 1996. Yüksek performanslı polietilen liflerinden üretilen kurşun geçirmez kumaşların performansının lif performansı ile ilişkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TURHAN, Y. 1999. Balistik kumaşların dizaynı ve bilgisayar uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- ÖZER, S. 2004. Balistik koruma amacıyla kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin balistik deformasyonuna etki eden faktörler. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÖZAYDIN, M.B. 1999. Kompozit malzemelerin balistik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÖZBAY, M. 2003. Kompozit Malzemeler Mekaniği ders notları, Gazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
- ULCAY, Y ve ÇEKEZ, İ. 2007. Kolloidal Silika Dispersiyonunun Polietilen Dokusuz Yüzeyin Enerji Absorbsiyonuna Olan Etkisi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt12, sayı 2, 2007.
- ULCAY, Y. 1991. Lif Takviyeli Kompozit Malzemeler. U.Ü.F.B.E. Ders Notları, Bursa.
- TAN V.B.C., V.P.W. SHİM, X. ZENG. 2005. Modelling crimp in woven fabrics subjected to ballistic impact. Int J Impact Eng 32 (2005) 561–574
- YAZICI, M. 1993. Kompozit Malzemelerde Gerilme Dağılımının İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Bursa
- WAGNER, N. J., WETZEL E. D., LEE Y. S. 2003. The Ballistic Impact Characteristic of Kevlar Woven Fabrics Impregnated with a Collaidal Sehar Thickening Fluid, Journal of Materials Science, 285-283.
- ZHU G, GOLDSMİTH W, DHARAN CK. 1992. Penetration of laminated Kevlar by projectiles—II. Analytical model. Int J Solids Struct 29:421–36.
- Kevlar aramid fiber (b.t.). <http://recguns.com/Sources/XJ4.html>
- Pro Fiber Zylon, 2005. Technical Information, Toyobo CO LTD,
http://www.krc.su.se/web/undervisn/OHbild/PDF_filer/216_PDF_2.pdf
<http://www.twaron.com/pdf/filament.pdf>
<http://www.ssgloves.com/khtml/techinfo-no04.html>
<http://www.midasglove.com/english/viewforum.php?f=47&sid=958f4eba776f8198eb930922d3d3dea8>
http://www.honeywell.com/sites/sm/afc/spectra_fiber.htm
http://www.pearson-intl.com/high_strength_yarn.html
<http://www.vectranfiber.com>
www.toyobo.co.jp/seihin/kc/pbo/technical pdf).
www.armorholdings.com

http://www.m5fiber.com/magellan/m5_fiber.htm

<http://www.m5fiber.com/magellan/>

<http://www.dupont.com/kevlar>

<http://www.eng.ysu.edu/~mtegr/semlab.htm>

<http://composite.about.com/od/aboutcompositesplastics/l/aa050597.htm>

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Ordu'nun Kumru ilçesinde doğdu. İlkokulu Ordu'nun Kumru ilçesinde Mehmet Akif Ersoy İlköğretim okulunda tamamladı. Ortaokul ve lise eğitimini Fatsa Anadolu İmam-Hatip Lisesi'nde tamamladı. 5.00/5.00 ortalamayla lise birincisi oldu. 2002 K.S.Ü. Müh. ve Mim. Fak. Tekstil Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 2006 yılında 3.48/4.00 not ortalamasıyla fakülte birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl K.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği A.B.D.'nda yüksek lisansa başladı. 2007-2008 eğitim öğretim yılında öğrenci değişim programı ile Viyana Teknik Üniversitesi'nde misafir öğrenci olarak bulundu.