

BALİSTİK LİFLER (Bölüm 1)

BALLISTIC FIBERS (Part 1)

Arş. Gör. Ahmet ÇAY

Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

Tekstil Müh. Z. Evrim KANAT
TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi*

Araş. Gör. Gamze SÜPÜREN

Ege Ü. Emel Akın MYO

Dr. Tülay GÜLÜMSER
TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi*

Prof. Dr. Işık TARAĞÇIOĞLU
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Askeri alandaki hızlı gelişmelere bağlı olarak, balistik koruyucu giysiler giderek önem kazanmaktadır. Balistik koruma, askeri tekstiller için başlıca fonksiyonel özelliklerden birisidir. Balistik koruyucu giysiler, mermilerin ve şarapnel parçalarının kinetik enerjilerini absorbe ederek vücudu korumaktadır. Yüksek mukavemetli kumaşlar, vücut zırhları, uçak ve taşıt araçlarının içyapıları gibi balistik darbelerle karşı koruma ile ilgili birçok alanda uygulanmaktadır. Balistik koruyucu giysilerde, enerji absorpsiyonunu etkileyen temel parametreler lif cinsi, kumaş konstrüksiyonu, sıklığı ve gramajı, giyside kullanılan kumaş katlarının sayısıdır. Bu amaçla kullanılacak liflerin yüksek mukavemetli, yüksek modüllü ve düşük elastikiyete sahip olması gerekmektedir. Günümüzde balistik koruyucu giysilerde en çok tercih edilen lifler para-aramid lifleridir. Bunların yanı sıra yüksek molekül ağırlıklı polietilen lifleri de ticari olarak önem kazanmıştır. Ayrıca tam aromatik poliester lifleri, PBO ve PIPD gibi balistik amaçlı kullanılan lifler bulunmaktadır. Bunların yanı sıra, araştırmaların yoğun olarak devam ettiği ve balistik koruma amaçlı olarak da kullanım olanakları üzerinde durulan karbon nanotüpleri ve örümcek ipeği lifleri de, bu alanda gelecek vaat etmektedirler. Bu makalede, tekstil materyallerinin balistik koruma mekanizması, bu kumaşlarda kullanılan lifler ve tekstil ürünlerinin balistik koruma performanslarının karşılaştırılmasında kullanılan yöntem hakkında bilgi verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Balistik koruma, yüksek modül, enerji absorpsiyonu, para-aramid lifleri, yüksek molekül ağırlıklı polietilen lifleri

ABSTRACT

Ballistic protective clothes are of great importance depending on the rapid developments in military area. Ballistic protection is one of the main functional characteristics of military textiles. Ballistic protective clothes protect the body by the absorption of the kinetic energy of the bullets and shrapnel. High strength fabrics are used in many industrial areas in connection with ballistic protection such as body armors, inner parts of plane or vehicles. The main parameters that affect the energy absorption are the fiber type, fabric construction, tightness and mass per unit area of the fabric and the number of the fabric layers used in the clothing material. The fibers used for this purpose should have high tenacity, high modulus and lower elasticity properties. Recently, para-aramid fibers are the most used fibers for ballistic protective clothes. Along with para-aramids, high molecular weight polyethylene fibers also are of importance commercially. Also, there are fibers for ballistic protection such as wholly aromatic polyester fibers, PBO and PIPD. Also, carbon nanotubes and spider silk fibers are thought to have great potential applications for ballistic-resistance materials with their remarkable properties. This article presents information about the ballistic protection mechanism of textile materials, the fibers used in those fabrics and the method, which is used to compare ballistic resistance of textile materials.

Key Words: Ballistic protection, high modulus, energy absorption, para-aramid fibers, high molecular weight polyethylene fibres

* 31.12.2006 tarihi itibarıyla faaliyetlerini durdurmuştur

1. GİRİŞ

Balistik koruyucu giysiler, insanları ve ekipmanlarını her türlü patlayıcı, delici, kesici tehlikelere karşı koruma amacını taşımaktadır. Yüksek mukavemetli kumaşlar, vücut zırhları, uçak ve taşıtların iç yapıları gibi balistik darbelerle karşı koruma ile ilgili bir çok alanda uygulanmaktadır. Yüksek mukavemetli liflerin üretilmesi ile birlikte, yüksek mukavemetli kumaş zırh sistemlerinde büyük gelişmeler sağlanmıştır. Özellikle çarpışma enerjisini absorbe eden materyallerin geliştirilmesi ve tanımlanması konusu büyük önem kazanmıştır. Darbe enerjisini absorbe eden

bilen materyaller olarak kumaşlar ve esnek lif takviyeli kompozitler, kurşun geçirmez yeleklerde ve diğer vücut zırhlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu materyallerin kişisel koruma amaçlı olarak uygulanması için ise bu materyallerin ve bunların bileşenlerinin mekaniksel tepkilerinin anlaşılmasına yönelik daha ileri bilimsel yaklaşımların oluşturulması gerekmektedir (1).

Birey için uygun korunma seviyesini sağlamak mümkündür. Korunmayı yönlendiren sınırlayıcı faktörler: ağırlık, hacim, sertlik ve vücut zırhının sebep olduğu fizyolojik rahatsızlıkla ilişkilidir.

Belirlenen bu sınırlamalarla, tekstil yapılarının istenen düşük gramaj, esneklik ve konfor özelliklerini sağlamanın önemli olduğu anlaşılmaktadır. Balistik tekstil koruyucular, düşük hızdaki mermilere karşı koruma sağlayabilmekte, ama özellikle 5,56 mm, 7,62 mm ve hatta 12,7 mm çapındaki yüksek hız mermileri gibi tehlikelere karşı koruma sağlayamamaktadırlar. Tekstil zırhları; savaş başlıkları ve mermi kovanlarının patlamasıyla yüksek hızla fırlatılan küçük, keskin ve iğne şeklinde parçalara karşı da etkili değildir. Bu yüksek hızdaki cisimler için, metal bileşim ve seramiklerle yapılan şekilli levhalar kulla-

nılarak kalp gibi hayati organların üstüne yerleştirilmektedirler (2).

Balistik koruma, mümkün olduğu kadar kısa bir mesafe içinde mermileri tutmayı içermektedir. 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 (2). Balistik kumaşların üretiminde kullanılan yüksek mukavemetli lifler aramid (Kevlar, Twaron, Technora), yüksek-molekül-ağırlıklı polietilen (Spectra, Dyneema) ve PBO (Zylon), PIPD (M5'ler olarak da bilinmektedir) lifleridir (3-7). Bu lifleri içeren kumaşlar, kompozitler ve kaplamalar, metallere ve seramiklere kıyasla daha hafif olduklarından, birim ağırlık başına performansları çok daha yüksektir (6). Düşük ağırlıklı olmalarının en büyük avantajı, kullanıcının hareketlerini sınırlandırmamasıdır. Kompozit panellerde kullanılan lifler ise karbon, cam ve seramik lifleridir. Bunlara ilaveten kompozit malzemelerin bileşenleri olarak poliamid, poliester ve polipropilen lifleri de kullanılabilir.

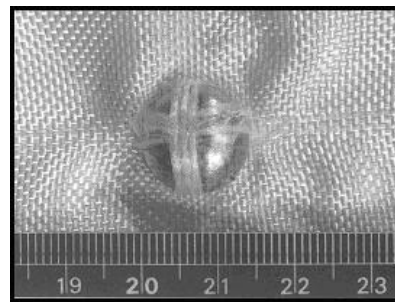
2. TEKSTİL MATERYALLERİNİN BALİSTİK KORUMA MEKANİZMASI

Tekstil materyallerinin kurşun ve diğer balistik malzemeleri durdurma mekanizmaları üzerine bir çok kapsamlı çalışma bulunmaktadır. Bu amaçla kullanılan tekstil materyalleri dokuma kumaşlar, tek yönlü tabakalar, lif takviyeli kompozit paneller ve dokusuz yüzeylerdir. İğneleme yöntemi ile fikse edilmiş dokusuz yüzeylerin balistik enerji absorpsiyon mekanizmaları dokuma kumaşlarından farklıdır. Dokuma kumaşlarda ve tek yönlü tabakalarda, mermi enerjisinin büyük bir kısmı darbe alanında bulunan liflerin fazla gerilim nedeniyle kopması için kullanılmaktadır. Bunun nedeni dokuma kumaşlarda bulunan iplikler ve liflerin kesişme noktalarının fazla olmasıdır ve dolayısıyla balistik darbe altında kalan serbest olmayan lifler maksimum seviyede uzamakta ve kopmaktadırlar. Ayrıca mermi gibi balistik malzemeler kumaş içerisine işleyerek liflerin ve ipliklerin yerini değiştirmektedirler. Dokuma

kumaşların tersine, dokusuz yüzeylerde daha az lif kopuşu gerçekleşmektedir. Daha çok kısa kesikli liflerden üretilen bir dokusuz yüzeyde, liflerin kesişme noktaları daha azdır ve dolayısıyla liflerin serbest hareket etme yeteneklerinin daha yüksek olduğu ifade edilmektedir. Dokusuz yüzeylerde enerji absorpsiyonu, hareket eden lifler nedeniyle sürtünme ile ilişkilidir. Bu nedenle dokusuz yüzeylerde balistik performansa etki eden en önemli lif özelliği, dayanımdan ziyade modüldür çünkü modül, öz kütle ile birlikte lif içerisinde yayılan gerilme dalgasının hızını belirleyen parametrelerden birisidir (6).

3. BALİSTİK KUMAŞ TIPLERİ VE KOMPOZİSYONLARI

Balistik kumaşların büyük çoğunluğu, gevşek bezayağı dokuma kumaşlardan üretilmektedir. Minimum bükümlü multi-filament iplikler en iyi sonucu vermektedir. Gevşek dokuma konstrüksiyonu, balistik giysiler için ideal olan hafif ve esnek bir kumaş sağlar. Ancak, gevşek dokumada merminin iplikler arasından kayma ihtimali vardır. Ayrıca, belli bir oranda hacim de gereklidir çünkü balistik direnç toplam alan yoğunluğuyla artmaktadır. Balistik korumanın iyi bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için balistik plakanın genellikle 5 ile 20 kat arasında birçok kumaş katından imal edilmesi gerekmektedir. Şekil 1, mermi ya da parçanın yakalandığı noktada balistik paketin iç tabakasını göstermektedir. Kurşun geçirmez



Şekil 1. Mermiyi durduran balistik plaka

yelekte, her bir tabaka bağımsız olarak hareket edebilmelidir. Balistik plakaya belirli derecede esneklik sağlamak için, çizgi ya da kare kapitone şeklinde dikilmelidir. Bu giyen kişinin eğilmesine, dönmesine ve kollarını hareket ettirmesine olanak tanımaktadır (2).

Genel olarak bir balistik panel, katlar halinde balistik kumaşlardan ve taşıyıcı olarak görev yapan bir normal kumaştan oluşmaktadır. Bu tip bir kumaş yapısına bir kurşun çarptığında yavaşlatılmakta ve çarpma enerjisi: kumaş kinetik enerjisi, kumaş uzama enerjisi, mermi deformasyon enerjisi ve sürtünme ile açığa çıkan enerjiye dönüşmektedir. Balistik panelin darbe direnci, darbe bölgesinde enerji absorbe edebilme yeteneğine ve bu enerjiyi darbe bölgesinin dışına yayabilme özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler ise; lif yoğunluğu ve modülü, dokuma konstrüksiyonu, kumaşın yüzey alanı, kumaş katlarının sayısı, kurşunun şekli, kütlesi ve materyal özellikleri, darbe hızı ve ara yüzeyel sürtünme özelliklerinden etkilenmektedirler (3). Balistik dayanımın artırılması için kumaş kat sayısı artırılabilir, ancak bu durumda giysinin ağırlığı da artmaktadır (4). Bir balistik tekstilin, balistik direncinin artırılması ve aynı zamanda ağırlığının ve rijitliğinin sabit tutulması ve hatta azaltılması için balistik panelin darbe etkisi altındaki davranışının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bunun anlaşılabilmesi için ise, balistik panelin yapı elemanları olan tek kat kumaşın, ipliğin ve liflerin darbe altındaki davranışlarının anlaşılması büyük önem taşımaktadır (3). Özellikle lifler ve kumaş yapısı, balistik tekstilin darbe direncini belirleyen temel faktörlerdir (6).

4. BALİSTİK DİRENCE SAHİP TEKSTİLLERDE KULLANILAN LİFLER

Balistik korumada en yaygın olarak kullanılan sentetik lifler ve bunların ilgili özellikleri Tablo 1'de sunulmaktadır

Tablo 1. Balistik korumada kullanılan lifler

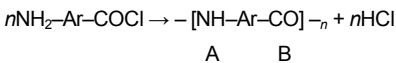
Lif cinsi	Kopma mukavemeti (g/d)	Kopma uzaması (%)	Modül (g/d)	Özgül ağırlık (g/cm ³)
Poliamid (nylon)	5,9-9,8	15-28	21-58	1,14
Para-aramidler	23-28	2,5-3,5	500-900	1,44
Yüksek modüllü polietilen	30-40	2,5-3,6	1400-2400	0,97
Poli-p-fenilen-2,6-benzobisoksazol (PBO)	40,3	2,5-3,5	1254-1875	1,54

(6). Tablo 1'de listelenen 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-parça 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 (6).

Mevcut balistik koruyucu tekstillerin kalınlığı ve yüzey yoğunluğu, kullanıma uygunluk ve nefes alabilirlik açısından bazı kısıtlamalar getirmektedir. Lif özelliklerinin geliştirilmesine devam edilirken, enerji absorpsiyonunun maksimumu edilebilmesi için alternatif kumaş yapılarının geliştirilmesinde fayda görülmektedir (6).

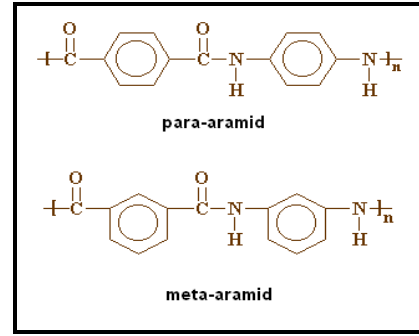
4.1. Aramid Lifleri

Aramid lifleri aromatik poliamid lifleridir. Amid bağlarının (-CO-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 (NH=A, CO=B) aşağıdaki gibi şematize edilmektedir:



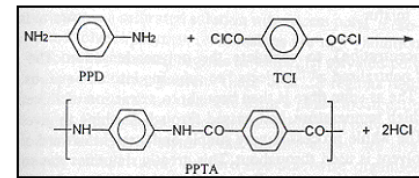
Polimerler daha ziyade ara yüzey polimerizasyonu ve düşük sıcaklık polikondenzasyonu gibi yöntemlerle elde edilmektedirler. Eriyik, ya da buhar fazında polimerizasyon reaksiyonlarından da bahsedilmektedir. AABB aromatik poliamidler çeşitli aromatik diaminler ve diasitler veya diasitklorürlerden üretilmektedirler. 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 bulun-

maktadırlar. Meta-aramidlerde aromatik grup 1. ve 3. karbon atomları üzerinden zincire dahil olmaktadır. *Nomex®* adı altında ticarileştirilen bu lifler, poli-m-fenilenisofotalamid yapısındadırlar. Şekil 2'de para ve meta-aramidlerin kimyasal yapısı sunulmaktadır (8). Meta-aramid lifleri düşük oryantasyon derecesi nedeniyle düşük modüllü olduklarından balistik koruma ürünlerinde tercih edilmemektedirler.



Şekil 2. Para-aramid (Kevlar®) ve meta-aramid (Nomex®)'in kimyasal yapıları

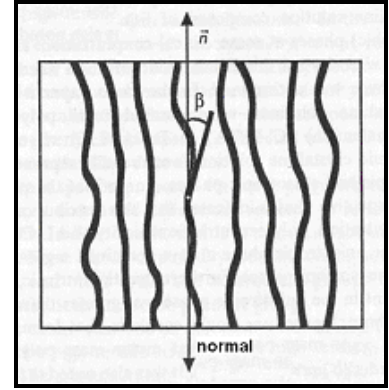
PPTA yapısındaki aramidler genellikle düşük-sıcaklık polikondenzasyon reaksiyonu ile p-fenilendiamin ile (PPD) tereftaloilklorür'den (TCI) elde edilmektedirler. Polikondenzasyon reaksiyonu Şekil 3'de görülmektedir. Ayrıca tereftalik asit ve p-fenilendiamin'in polikondenzasyonu ile de eldesi mümkündür. Normal para-aramid liflerinin yanı sıra, üretimleri esnasında komonomer kullanılan aromatik kopoliamidler de mevcuttur. Tam ya da kısmi aromatik kopoliamidler, alkil grupları veya diğer çiklik ve heteroçiklik gruplar içerebilmektedirler (8). Bunlardan en önemlisi Teijin tarafından geliştiren *Technora®* dir.



Şekil 3. Düşük sıcaklık polikondenzasyonu ile PPTA sentezi

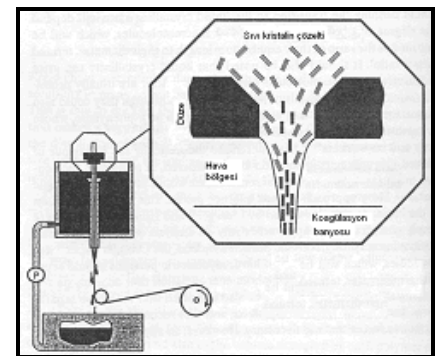
Aramid liflerinin lif çekim çözeltileri sıvı kristalin yapısı göstermektedirler. Lif üretiminin ilk adımı % 100'lük sülfürik asit ile hazırlanan lif çekim çözeltilerinin 80 °C'a ısıtılmasıdır. Bu sıcaklıkta, ağırlıkça %10 civarındaki polimer konsantrasyonunun üzerindeki konsan-

trasyonlarda çözelti sıvı kristalin faza tekabül etmektedir. Çubuk-benzeri polimerler rijit olduklarından, kendilerini birbirlerine göre oryante etmektedirler (Şekil 4). Burada β, normale göre oryantasyon açısıdır (8).



Şekil 4. Sıvı kristalin çözeltinin şematik gösterimi (kalın çizgiler PPTA moleküllerini göstermektedir)

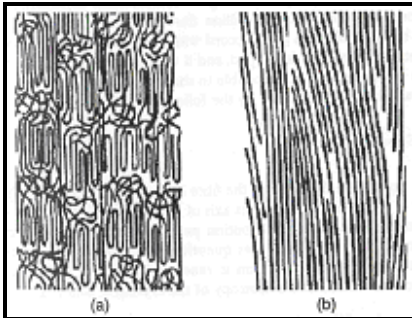
Lif çekim çözeltileri düzeden geçtikten sonra bir hava boşluğundan geçmektedir. Burada koagülasyon banyosuna giriş hızı artmakta ve kristaller kısmen paralel hale gelmektedir. Sadece soğuk sudan oluşan koagülasyon banyosunda katılaşma sağlanmaktadır. Lif çekimi sonunda çok yüksek bir oryantasyon sağlanmaktadır (oryantasyon açısı 12°'den az), ancak daha sonra gerilim altında çok kısa sürelerde bir art-ısı işlem yapılarak kristalizasyon artırılmaktadır. Isıl işlem sonrasında oryantasyon açısı 9°'nin altına düşmektedir (8).



Şekil 5. Kuru jet-yaş lif çekim yönteminde sıvı kristalin çözeltilerinden lif çekiminin şematik gösterimi

Para-aramid lifleri, yüksek modülleri ve yüksek sıcaklığa dayanıklı olmaları nedeniyle balistik koruma amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Merminin kinetik enerjisinin absorpsiyonu, enine ve bo-

yuna 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 kare kökü 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 başına yeterli değildir. Örneğin, karbon liflerinin kırılma katsayısı, balistik kumaşlarda kullanılmalarını 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, mermi 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 (8).



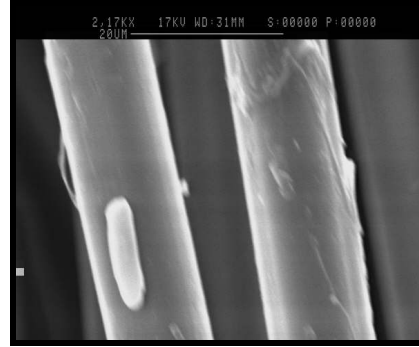
Şekil 6. (a) Poliamid 6 (b) PPTA liflerinin iç yapısının şematik gösterimi

Tablo 2. Aramid Tipleri

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

4.1.1. Kevlar® Lifleri

Kevlar, 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 (9). Kevlar lifleri yukarıda bahsedildiği gibi, kuru jet-yaş lif çekim yöntemine göre elde edilmektedir.



Şekil 7. Kevlar lifleri (10)

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 (9). Bu nedenle Kevlar® lifleri, mayından koruyucu botlar, eldivenler, kurşun geçirmez yelekler ve miğferlerde kullanılan kompozitler başta olmak üzere, balistik koruma ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

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

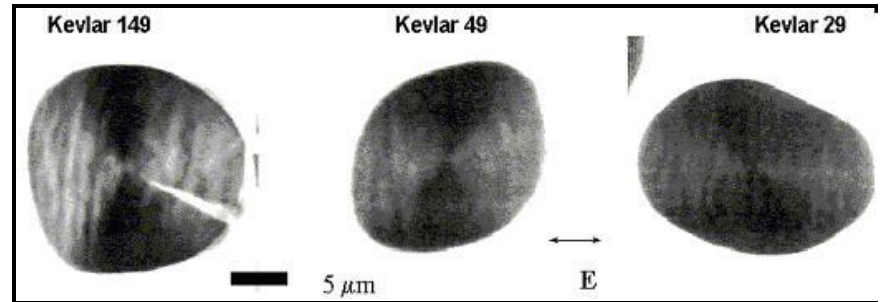
tipi de budur. Kevlar 29 ise en düşük kristaliniteye, dolayısıyla en düşük dayanıma sahiptir. Şekil 8'de liflerin 285 eV'de elde edilen x-ışını mikrografları görülmektedir. Burada kelebek deseninin netliğinin azalması, oryantasyonun azaldığını göstermektedir. Kevlar 29 en az oryantasyon gösteren tiptir. Yapılan araştırmalarda Kevlar 149'un, 49'dan 1,6 kat; 29'dan 2,3 kat daha fazla oryante olduğu ifade edilmektedir (11). Kevlar 29, 49 ve 149 liflerinin fiziksel özellikleri Tablo 2'de gösterilmektedir (8).

Kevlar 29'un dayanımı ve modülü, cam liflerinin (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.

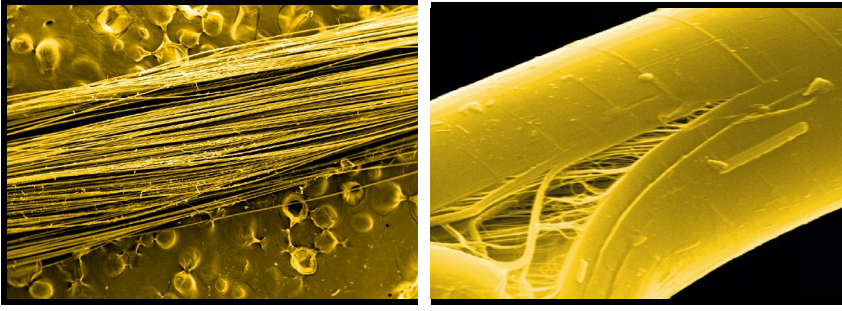
Kevlar® lifleri nem absorbe edebildiklerinden, Kevlar® takviyeli kompozitler, cam liflerinden yapılan kompozitlere göre çevre şartlarına karşı daha hassastırlar. Kopma dayanımı ve modülünün yüksek olmasına rağmen, sıkıştırılabilirlik değerleri nispeten zayıftır. Bunun yanı sıra, Kevlar® kumaşların kesilmesi oldukça zordur (12).

4.1.2. Twaron® Lifleri

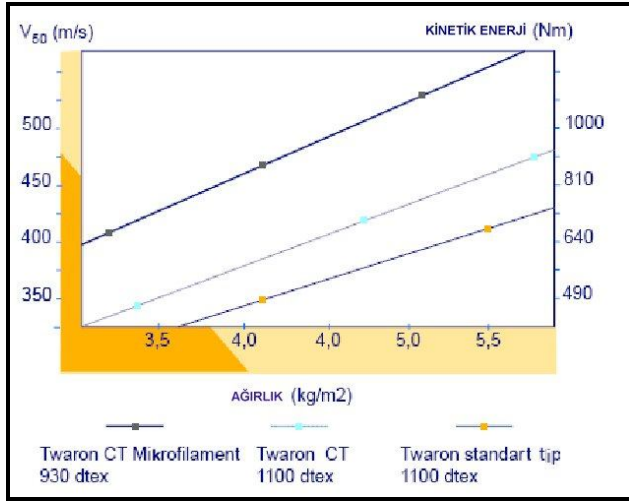
Twaron, Teijin firmasının piyasaya sürdüğü aramid lifidir. Para-aramid yapısındaki polimerlerden oluşan Twaron® lifleri de, yüksek enerji absorblayabilmesi nedeniyle balistik koruma ürünlerinde kullanılmaktadır ve şu anda para-aramid lifleri içerisinde Kevlar®'dan sonra en büyük pazar payına sahip olan lifdir (13). Şekil 9'da Twaron® filamentleri görülmektedir (14).



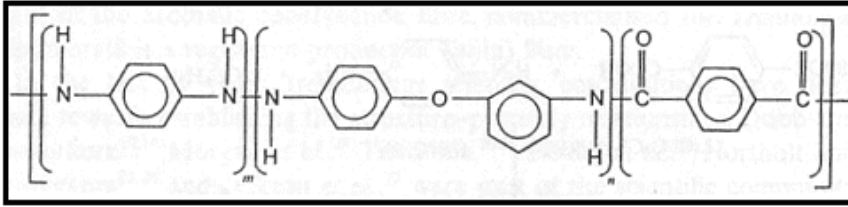
Şekil 8. Kevlar 149, 49 ve 29 liflerinin 285 eV'de elde edilen x-ışını mikrografları



Şekil 9. Twaron® lifleri



Şekil 10. Çeşitli Twaron® liflerinin kinetik enerji absorpsiyonları



Şekil 11. Technora® polimerlerinin kimyasal yapısı

Twaron® liflerinin piyasada, 1100 dtex inceliğinde Twaron standart, daha yüksek dayanımlı Twaron CT ve 930 dtex inceliğindeki Twaron CT Mikrofilament olmak üzere, üç çeşidi bulunmaktadır. Bu liflere ait V_{50} ölçüm değerleri, Şekil 10'da 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 Mikrofilament daha hafiftir. Bu nedenle Twaron CT Mikrofilament liflerinin giyilebilirlik ve giyim konforu değerlerinin daha iyi olduğu ifade edilmektedir (15).

4.1.3 TECHNORA® LİFLERİ

Technora® lifleri Teijin firmasının geliştirdiği yüksek mukavemetli lifdir. Yukarıda da bahsedildiği gibi, diğer aramid liflerinden farklı olarak, bunlarda makromolekül üretiminde komonomer ilavesi yapılmaktadır. Şekil 11'de kimyasal formülü gösterilen Technora®, PPD ve 3,4'-diaminodifeniller'in tereftaloiklorür ile reaksiyonu sonucu elde edilmektedir (8). Technora® liflerinin modülü Kevlar®'a yakın olup, aşınma dayanımı daha iyidir, ancak bu lifler Kevlar®'dan çok daha pahalıdır. Technora®'nın avantajı hidrolize dayanıklı olmasıdır. Technora®'nın yapısında bulunan eter bağları, lifin diğer aramid liflerine göre daha esnek olmasını sağlamaktadır (16). **(Devam edecek)**

DERGİMİZİN WEB ADRESİ

<http://www.tekstilvekonfeksiyon.com>

