



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOLLOİDAL SİLİKA DİSPERSYONUNUN
POLİETİLEN KUMAŞLARIN
BALİSTİK PERFORMANSINA ETKİSİ

İdris ÇERKEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2007



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOLLOİDAL SİLİKA DİSPERSYONUNUN
POLİETİLEN KUMAŞLARIN
BALİSTİK PERFORMANSINA ETKİSİ

İdris ÇERKEZ

Prof.Dr. Yusuf ULCAY
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2007

II

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOLLOİDAL SİLİKA DİSPERSYONUNUN
POLİETİLEN KUMAŞLARIN
BALİSTİK PERFORMANSINA ETKİSİ

İdris ÇERKEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez/...../2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy
çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Yusuf ULCAY Prof.Dr.Recep EREN Prof.Dr.Osman KOPMAZ
Danışman

Doç.Dr.Mehmet KANIK Doç.Dr.Reşat ÖZCAN

ÖZET

Bu çalışmada kolloidal silika dispersiyonunun farklı gramajlardaki dokusuz yüzey tela malzemesinin enerji yutumuna olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla; üç farklı gramajdaki (18, 28 ve 45 g/m²) tela malzemeleri beş farklı konsantrasyondaki (0,20, 30, 40 ve 50 g/l) silika dispersiyonu ile emdirilerek gramaja ve konsantrasyona bağlı olarak telanın enerji yutumundaki değişim ölçülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre silika konsantrasyonunun ve tela gramajının artışıyla birlikte enerji yutumu arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Balistik darbe, Kolloidal Silika Dispersiyonu, Enerji Yutumu

ABSTRACT

In this study, the effect of colloidal silica dispersion on the energy absorption of different weight in grams polythene nonwoven interfacing material is investigated. By this aim; three different (18, 28 ve 45 g/m²) weights in grams interfacing materials are padded with five different concentrated (0,20, 30, 40 ve 50 g/l) silica dispersions so the variation of interfacing material's energy absorption is measured. According to research results, interfacing material's energy absorption increases with the increase in silica dispersions concentration and the weight in grams of interfacing material.

Keywords: Ballistic impact, Colloidal Silica Dispersion, Energy Absorption

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAY SAYFASI.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII

GİRİŞ	1
-------------	---

1. KAYNAK ÖZETLERİ	3
1.1. Balistik Darbe Mekanizması.....	3
1.2. Balistik Darbe Esnasında Gerçekleşen Enerji Transfer.....	5
1.3. Balistik Tekstillerde Kullanılan Lifler.....	5
1.3.1. Poliamid Lifleri.....	7
1.3.2. Aramid Lifleri.....	8
1.3.2.1. Kevlar® lifleri.....	9
1.3.2.2. Twaron® lifleri.....	10
1.3.2.3. Technora® lifleri.....	12
1.3.3. Yüksek Performanslı Polietilen Lifleri.....	12
1.3.3.1. Dyneema® lifleri.....	13
1.3.3.2. Spectra® lifleri.....	15
1.3.4. PBO (Zylon) Lifleri.....	16
1.3.5. Karbon Nano Tüpler.....	17
1.3.6. Örümcek İpeği Lifleri.....	18
1.4. Balistik Performansı Etkileyen Mekanizmalar.....	20
1.4.1. Sürtünme.....	20
1.4.2. Malzeme Özellikleri.....	26
1.4.3. Kumaş Özellikleri.....	28
1.4.4. Mermi Geometrisi.....	29
1.4.5. Çarpma Hızı	30
1.4.6. Katman Sayısı.....	30
1.5. Kesme Kalınlaşan Akışkan (Shear Thickening Fluid).....	31
1.6. Balistik Test Yöntemleri.....	36
2. MATERYAL VE YÖNTEM	43
2.1. Materyal.....	43
2.1.1. Tela Malzemesi.....	43
2.1.2. Kolloidal silika dispersiyonu.....	43
2.2. Yöntem.....	44
2.2.1. Numune Üretimi.....	44
2.2.2. Deneyin Yapılışı.....	44
2.2.3. Deneysel Verilerin İstatistiksel Analizi.....	47
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	49
SONUÇ.....	65
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	69
TEŞEKKÜR	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1	Lif cinsine göre balistik performans	6
Çizelge 2	Balistik korumada kullanılan lifler	7
Çizelge 3	Kevlar Liflerinin Fiziksel Özellikleri	10
Çizelge 4	Twaron® ve Kevlar29® liflerinin mekanik özellikleri	11
Çizelge 5	Dyneema® tiplerinin çeşitli özellikleri	14
Çizelge 6	Spectra 2000 liflerinin fiziksel özellikleri	15
Çizelge 7	Zylon AS ve Zylon HM liflerinin özellikleri	17
Çizelge 8	Balistik koruma seviyeleri	41
Çizelge 9	Antisima K Ürün Özellikleri	43
Çizelge 10	Antisima N Ürün Özellikleri	43
Çizelge 11	Flexofix FL Ürün Özellikleri.....	44
Çizelge 12	Antisima K için ölçüm sonuçları	49
Çizelge 13	Antisima N için ölçüm sonuçları	51
Çizelge 14	Flexofix FL için ölçüm sonuçları	52
Çizelge 15	Antisima K için ANOVA çizelgesi	54
Çizelge 16	Antisima K için SNK Çizelgesi	55
Çizelge 17	Antisima N için ANOVA çizelgesi	56
Çizelge 18	Antisima N için SNK Çizelgesi	56
Çizelge 19	Flexofix FL için ANOVA çizelgesi	57
Çizelge 20	Flexofix FL için SNK Çizelgesi	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1	Tek bir lifte gerçekleşen darbe3
Şekil 2	Tek katmanlı bir kumaşa meydana gelen darbenin görünüşü.....4
Şekil 3	Para-aramid(Kevlar®) ve meta-aramidin(Nomex®) kimyasal yapıları.....8
Şekil 4	Kevlar Liflerinin Kimyasal Yapısı.....9
Şekil 5	Twaron® lifleri10
Şekil 6	Çeşitli Twaron® liflerinin kinetik enerji yutumları.....11
Şekil 7	Technora® polimerlerinin kimyasal yapısı.....12
Şekil 8	UHMWPE liflerinin kimyasal yapısı.....13
Şekil 9	Çeşitli liflerin mukavemetleri.....14
Şekil 10	Işık etkisi ile Dyneema SK60 ve Aramid liflerinde meydana gelen mukavemet kaybı.14
Şekil 11	Dyneema® liflerinin mukavemet ve modülünün diğer yüksek performanslı liflerle kıyaslanması.....15
Şekil 12	Spectra koruyucu.....16
Şekil 13	Zylon lifinin kimyasal yapısı.....16
Şekil 14	Karbon nanotüplerin yapısı.....18
Şekil 15	Karbon nano-tüplerin kopma dayanımlarının diğer liflerle kıyaslanması.....18
Şekil 16	Örümcek ipeği.....19
Şekil 17	Farklı türlerin örümcek liflerinin kuvvet/uzama eğrileri.....19
Şekil 18	Sürtünme katsayısının kumaş deformasyonuna olan etkisi.....21
Şekil 19	$\mu=0,5$ için darbe esnasında kumaş ve mermi arasında gerçekleşen enerji transfer...22
Şekil 20	$\mu =0$ için darbe esnasında kumaş ve mermi arasında gerçekleşen enerji transferi...23
Şekil 21	Farklı sürtünme şartları altında gerçekleşen enerji transferlerinin kıyaslanması24
Şekil 22	Zamana bağlı enerji yutumu25
Şekil 23	Zamana bağlı darbe yükü26
Şekil 24	Darbe altında kumaş görünüşü28
Şekil 25	Farklı mermi geometrileri29
Şekil 26	Kesme Kalınlaşması32
Şekil 27	Kolloidal dispersiyon emdirilmiş kevlar kumaşın darbe anındaki davranışı33
Şekil 28	STF aplikasyonun balistik performansa olan etkisi34
Şekil 29	STF aplikasyonu yapılmış Kevlar kumaşın esnekliği35
Şekil 30	Farklı silika konsantrasyonunun balistik limite olan etkisi.....36
Şekil 31	Silika dispersiyonunun delinme direncine olan etkisi.....36
Şekil 32	Balistik test düzeneği38
Şekil 33	Yelek üzerinde test atışlarının yapılacağı noktalar39
Şekil 34	Deney düzeneği.....45
Şekil 35	Bilyenin macun blok üzerinde oluşturduğu çukur.....45
Şekil 36	Bilyenin kil tanığı üzerindeki simülasyonu.....46
Şekil 37	Antisima K için Konsantrasyon - Yutulan Enerji(%) grafiği.....58
Şekil 38	Antisima K&18 g/m ² için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği.....58
Şekil 39	Antisima K&28 g/m ² için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği59
Şekil 40	Antisima K&45 g/m ² için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği59
Şekil 41	Antisima N için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği59
Şekil 42	Antisima N&28 g/m ² için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği60
Şekil 43	Antisima N&45 g/m ² için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği60
Şekil 44	Flexofix FL için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği61
Şekil 45	Flexofix FL&18 g/m ² için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği61
Şekil 46	Flexofix FL&28 g/m ² için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği62
Şekil 47	Flexofix FL&45 g/m ² için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği62
Şekil 48	Antisima K için regresyon eğrisi63
Şekil 49	Antisima N için regresyon eğrisi63
Şekil 50	Flexofix FL için regresyon eğrisi64

GİRİŞ

Geçmişten günümüze insanoğlu, bir yandan daha gelişmiş silah arayışı içindeyken bir yandan da bu silahlara karşı korunma çareleri aramıştır. Bu arayış doğrultusunda her türlü patlayıcı, delici, kesici tehlikelere karşı insanları ve ekipmanları koruma amacı taşıyan giysiler balistik zırh adı altında kullanılmaya başlanmıştır.

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 (http://www.leonuniform.com/BodyArmor_History.htm, 2007).

Yumuşak zırhlara ait ilk kayıtlı örnek, ipekten yapılmış zırh kullanan ortaçağ Japonlarına aittir. 19.yy'ın sonlarına doğru ordu, yumuşak zırhın kullanılabilme olasılığını keşfetmiştir. Bu tür zırhlar düşük hızlı mermilere karşı koruma sağlayabilirken yeni kuşak silahlara karşı güvenli bir koruma sağlayamamaktadırlar.

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.

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.

1971 ve 1976 yılları arasında vücut zırhı gelişimi için NIJ tarafından dört ayrı bölümden oluşan üç milyon dolarlık bir yatırım yapılmıştır. Araştırmanın birinci bölümünü, kevların mermiyi tutup tutamayacağını test edilmesi oluşturmaktadır. İkinci bölüm ise, farklı çap ve hızdaki mermilerin nüfuzunun engellenmesi için gerekli olan katman sayısının analizini kapsamaktadır. Tıbbi 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).

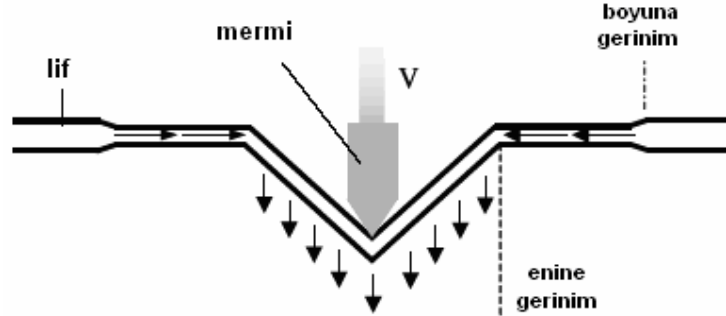
1980'lerde yüksek yoğunluklu polietilen liflerinden geliştirilen lifler ve daha sonraları poli-p-fenilenbenzobisoksazol liflerinden geliştirilen yapılar balistik koruyucu amaçlı giysilerde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise sürekli gelişen silah sanayi ve yenilenen teknoloji nedeniyle balistik koruyuculuğu arttırmaya yönelik Zylon, örümcek ipeği lifleri, karbon nano tüpler gibi yeni liflerin balistik tekstillerde kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Ayrıca, giysinin balistik performansının yanında konforu artırma ve maliyeti düşürmeye yönelik bir takım araştırmalar da mevcuttur.

1.KAYNAK ÖZETLERİ

1.1. Balistik Darbe Mekanizması

Balistik koruyucu malzemeler sert ve yumuşak koruyucular olmak üzere ikiye ayrılmışlardır. Cam, seramik ve metalden yapılan sert koruyucular zırh, koruyucu başlık, kalkan ve plaka olarak kullanılmaktadırlar. Yumuşak koruyucular ise kumaş ve kumaş benzeri yapılardan oluşan polimer esaslı malzemelerdir (Temiz 2005).

Kumaşta meydana gelen darbe olayını analiz edebilmek amacıyla tek bir lifte gerçekleşen darbe olayı incelendiğinde; merminin life çarpmasından sonra enine ve boyuna olmak üzere darbe noktasından yayılan iki tip dalganın oluştuğu görülür. Boyuna çekme dalgası malzemenin ses hızında lif eksenine boyunca hareket etmektedir. Çekme dalgası darbe noktasından yayıldıkça, çarpan merminin hareket doğrultusunda eğilen materyal darbe noktasına doğru akmaktadır. Malzeme hızından daha düşük bir hızda yayılan bu enine yönde olan hareket ise enine dalga olarak adlandırılmaktadır.

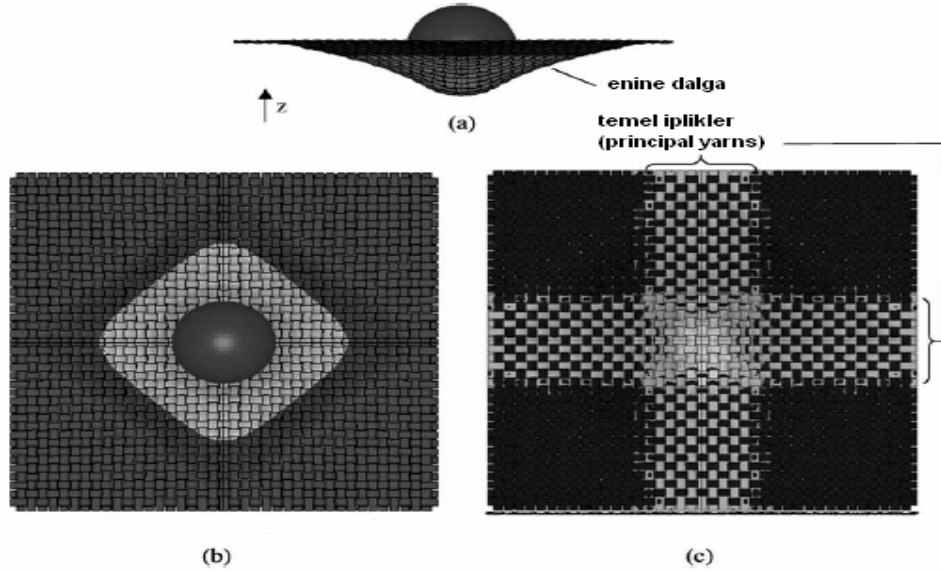


Şekil-1: Tek bir lifte gerçekleşen darbe

KAYNAK: Cheeseman, B.A., Bogetti, T.A. 2003. Ballistic Impact Into Fabric And Compliant Composite Laminates. Composite Structure 61, s:161-173

Tek katmanlı bir kumaşın darbe etkisi altındaki deformasyonun incelenmesi, kumaşın balistik performansını etkileyen fiziksel mekanizmaların ortaya çıkarılmasına ve incelenmesine yardımcı olacaktır. Tek katmanlı bir kumaşın enine darbesi ile tek bir lifin enine darbesi arasındaki benzerliğe dayanarak; bir merminin kumaşa çarptığında,

mermi ile temas eden temel ipliklerde enine yönde bir eğilme meydana gelmekte ve iplik eksenine boyunca malzemenin ses hızında yayılan boyuna gerinim dalgası oluşmaktadır. Bununla birlikte temel ipliklerle kesişen ortogonal iplikler, temel iplikler tarafından orijinal kumaş düzleminde dışarıya doğru çekilmektedirler. Bu ortogonal iplikler deformasyona uğramakta ve temel ipliklerde olduğu gibi gerinim dalgası geliştirmektedirler. 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 gerinimin kopma gerinim değerine ulaşmasına kadar devam etmektedir. Nümerik olarak yapılan analizlerde merminin kinetik enerjisinin büyük bir bölümünün gerinim ve kinetik enerji olarak temel ipliklere transfer edildiği; ortogonal ipliklerin enerji yutumuna olan katkılarının oldukça az olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu durum şekil 2'de; temel ipliklerin oldukça gerilmiş bir halde; ortogonal ipliklerin ise daha gevşek bir durumda durmalarından da anlaşılmaktadır. Ayrıca ortogonal iplikler tek bir lifin darbesinde gözüken V-biçimli enine dalga formunu da daha parabolik bir forma sokmuştur (Cheeseman ve ark. 2003).



Şekil-2: Tek katmanlı bir kumaşta meydana gelen darbenin görünüşü
 KAYNAK: Cheeseman, B.A., Bogetti, T.A. 2003. Ballistic Impact Into Fabric And Compliant Composite Laminates. Composite Structure 61, s:161-173

1.2. Balistik Darbe Esnasında Gerçekleşen Enerji Transferi

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

$$\Delta E_{pk} = E_{ys} + E_{yk} + E_f \quad (1.1)$$

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

1.3. Balistik Tekstillerde Kullanılan Lifler

Balistik koruma, mümkün olduğu kadar kısa mesafede mermiyi tutabilmeyi gerektirmektedir. Vücut zırhı standardı zırhın arkasındaki kil tanığındaki penetrasyon kalınlığının 4,39 cm'i aşmamasını gerektirmektedir. Eğer penetrasyon kalınlığı bu değeri geçerse, kişi çok ciddi travmalara maruz kalabilir. Balistik darbe dirençli vücut zırhı araştırmalarının temel amacı, düşük maliyetli, hafif, konforlu giysi sisteminin oluşturabilmektir. Bu amaç doğrultusunda yüksek mukavemet, yüksek modül ve düşük elastikiyete sahip olan yüksek performanslı lifler balistik korumada yaygın bir kullanım alanı bulmuşlardır.

Balistik koruma amaçlı kullanılan ilk lif poliamid lifleridir. Aramid (kevlar) ve yüksek yoğunluklu polietilen (Spectra) balistik korunmada kullanılan temel

malzemelerdir. Bununla birlikte Vectran lifleri, PBO lifleri, karbon nano tüpler ve örümcek ipeği liflerinin balistik korumada kullanılabilirliği halen araştırılmaktadır. Kompozit panellerde ise karbon, cam ve seramik lifleri kullanılmaktadırlar ve poliamid, polyester ve polipropilen lifleri kompozit panellerin bileşenleri olarak kullanım alanı bulmaktadırlar.

Balistik korumada iki önemli parametre önem kazanmaktadır. Bunlardan birisi liflerin çarpma enerjisini yayma hızlarıdır ve aşağıdaki formülle gösterilmektedir;

$$V(\text{m/s}) = (E / \rho)^{0,5} \quad (1.2)$$

$$V(\text{m/s}) = (F / \mu)^{0,5} \quad (1.3)$$

Bu formülde F değeri darbe kuvvetini(N); μ boyca yoğunluğu(g/m); E modülü; ρ ise özgül ağırlığı(specific gravity) ifade etmektedir(Thomas, 2001).

Balistik koruma kapasitesi (BKK) olarak adlandırılan ikinci özellik ise, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir

$$\text{BKK} = (W \times V_{\text{son}})^{0,5} \quad (1.4)$$

$$W = [\sigma \times \varepsilon] / 2 \quad (1.5)$$

σ : Kopma mukavemeti(N) ε :Kopma Uzaması(%)

Her iki formül de düşük yoğunluğa ve yüksek mekanik özelliklere sahip liflerin en iyi balistik performansı sağladığını göstermektedir. Birinci formül kullanılarak polietilen ve para-aramid lifleri kıyaslanırsa polietilen liflerinin balistik koruma açısından daha iyi olduğu görülmektedir ([http : // tubitaktam .ege. edu. tr / dosyalar / balistik_lifler. pdf](http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf), 2007).

Çizelge-1: Lif cinsine göre balistik performans

Lif Cinsi	Vson (m/s)
Twaron® 1000	6,798
Twaron® 2000	7,88
Polietilen	10,683

KAYNAK:http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf,2007

Aşağıdaki çizelgede balistik tekstillerde kullanılan lif gruplarının çeşitli özellikleri kıyaslanmıştır.

Çizelge-2: Balistik korumada kullanılan lifler

	Mukavemet(GPa)	Modül(GPa)	Kopma Uzaması(%)
Aramid	2.8-3.2	60-115	1.5-4.5
UHMWPE	2.8-4	90-140	2.9-3.8
LCP	2.8	65	3.3
PBO AS	5.5	280	2.5
M5	4	330	1.2
Cam Lifi	4.65	87	5.4

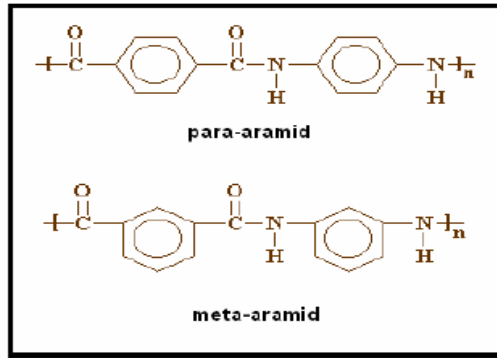
KAYNAK: Jacobs, M. J., N., Van Dingenen, J., L., J. 2001. Balistic Protection Mechanism in personal armour, DSM High Performance Fibers, Eisterweg 3, 6422 PN Heerlen, The Netherlands]

1.3.1. Poliamid Lifleri

Poliamid lifleri düşük hızlı mermi ve fragmanlara karşı koruma amacıyla çok katlı olarak balistik koruma amacıyla kullanılan ilk liflerdir. Bu lifler; 0.9 GPa çekme mukavemetine, %15-28 kopma uzamasına 6 GPa young modülüne ve 1.14 g/cm^3 yoğunluğa sahiptirler. %65-85'i kristalin, diğer kısmı ise amorf yapıdadır. Pürüzsüz bir yüzey ve yüksek aşınma direncine sahiptirler. Poliamid 6, 212–215 °C arasında erime sıcaklığına sahip iken; poliamid 66'nın erime sıcaklığı 250–265 °C arasındadır. Poliamidin 60 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda sürekli hava ile temas durumunda yüzey rengi bozulur ve darbe mukavemeti düşer (Temiz 2005). Yoğunluklarının yüksek olması, ultraviyole ışınlarına maruz kaldıklarında kopma mukavemetlerinin düşmesi ve yüksek performanslı liflere göre çok düşük mukavemet ve modül değerlerine sahip olmalarından dolayı günümüzde bu liflerin balistik koruma amaçlı kullanılmamaktadırlar.

1.3.2. Aramid Lifleri

Meta-aramid ve Para- aramid olmak üzere iki tipe sahip olan aramid lifleri aromatik poliamid grubunda yer almaktadırlar. Aromatik grubun zincire dahil olma noktaları açısından iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Bunlardan Para-aramidlerde aromatik grup birinci ve dördüncü karbon atomları üzerinden zincire dahil olmakta iken meta-aramidlerde aromatik grup birinci ve üçüncü karbon atomları üzerinden zincire dahil olmaktadır. Para-aramidler piyasada Kevlar® ve Twaron® lifleri olarak bulunmaktadırlar. Meta-aramidler ise Nomex® ticari isim ile adlandırılmaktadırlar. Meta-aramidler para-aramidlere göre daha düşük oryantasyon derecesine sahiptirler ve dolayısıyla para-aramidlere göre balistik tekstillerde daha az kullanım alanı bulmaktadırlar. Aşağıdaki şekilde para ve meta-aramidlerin kimyasal yapısı sunulmaktadır.



Şekil-3: Para-aramid(Kevlar®) ve meta-aramidin(Nomex®) kimyasal yapıları
KAYNAK:http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf,2007

“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. Bunlardan en önemlisi Teijin tarafından geliştirilen Technora®’dır.

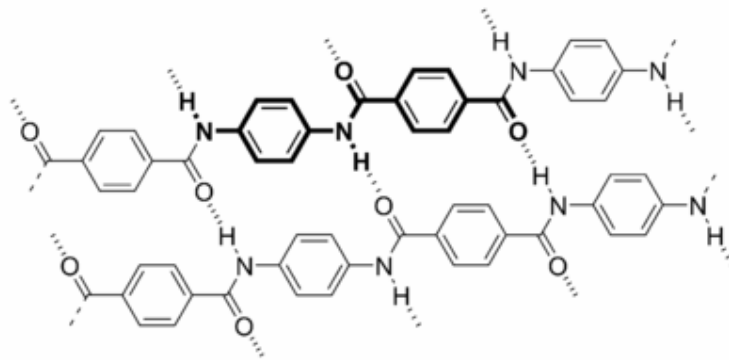
Para-aramid lifleri, yüksek modülleri ve yüksek sıcaklığa dayanıklı olmaları nedeniyle balistik koruma amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Merminin kinetik enerjisinin yutumu, enine ve boyuna dalga yayılması ve sürtünme nedeniyle enerji dönüşümüne bağlıdır. Darbe enerjisinin %50’si kadarının dalga yayılması sayesinde yutulduğu 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” (http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf, 2007).

Aramid liflerinin ışığa karşı direnci genellikle düşüktür. Belirli şartlarda yaklaşık olarak üç ay güneş ışığına maruz kaldığında kuvvetinde yarı yarıya azalma olur. UV ışınlar liflerin rengini saman renginden kahverengiye doğru değiştirir. Bu sebepten dolayı açık yerlerde kullanımları için lif yüzeylerinin başka malzemeler ile kaplanması tavsiye edilir. Nomex, Kevlar ve Twaron lifleri UV ışınları karşısında büyük oranda kuvvet kaybına uğrarlar (Ulcay 2005).

1.3.2.1. 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. Kevlar® liflerinin, Kevlar® 29, 49 ve 149 olmak üzere üç tipi mevcuttur. Kevlar 149'in kristalinitesi diğerleri ile kıyaslandığında daha yüksektir dolayısıyla, dayanımı en yüksek olan Kevlar tipi de budur (http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf,2007).



Şekil-4: Kevlar Liflerinin Kimyasal Yapısı
KAYNAK: <http://en.wikipedia.org/wiki/Kevlar>,2006

Aşağıdaki çizelgede farklı tipteki kevlar liflerinin fiziksel özellikleri verilmiştir;

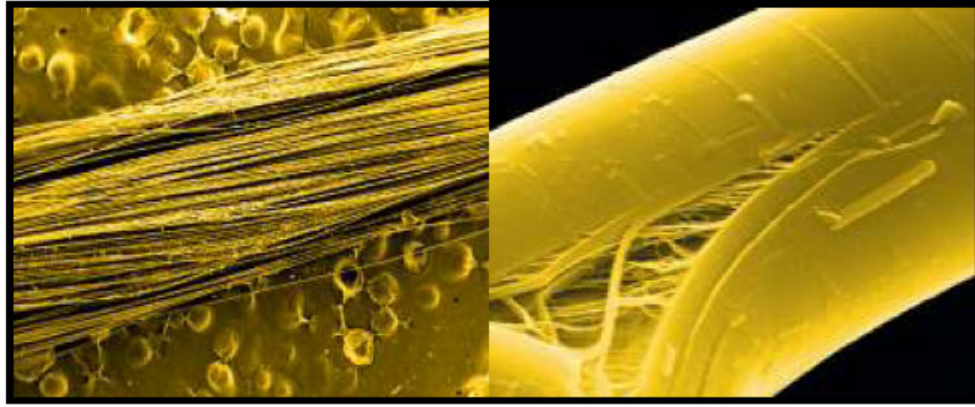
Çizelge-3: Kevlar Liflerinin Fiziksel Özellikleri

Lif tipi	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Modülü (GPa)	Çekme Mukavemeti (GPa)	Çekme Uzaması (%)
Kevlar®29	1.44	83	3.6	4
Kevlar®49	1.44	131	3.6 - 4.1	2.8
Kevlar®149	1.47	186	3.4	2

KAYNAK:http://www.guilford.edu/original/Academic/chemistry/current_courses/chem110/sloan.htm,2006

1.3.2.2.Twaron® lifleri

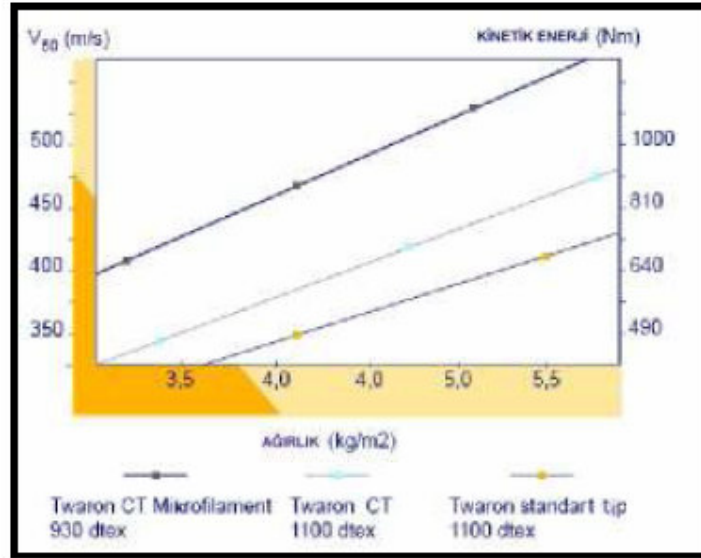
Teijin firması tarafından üretilmekte olan Twaron lifleri, bir aramid lifi olup yüksek enerji yutabilme kabiliyetleri nedeniyle keklar lifleri ile birlikte balistik korumada en yaygın kullanılan liflerden birisidir.



Şekil-5: Twaron® lifleri

KAYNAK:http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf,2007

Twaron® lifleri Twaron standart, Twaron CT ve Twaron CT Mikrofilament olmak üzere üç'e ayrılmaktadırlar. Twaron standart 1100 dtex inceliğe sahip iken; Twaron CT Mikrofilament 930 dtex inceliktedir. Bu üç lifin balistik performanslarının kıyaslanması için yapılan V50 ölçüm sonuçları aşağıdaki şekilde sunulmuştur. Burada bahsedilen V50 değeri 0,5 delinme olasılığının olduğu, yani merminin %50 içine girdiği %50 girmediği hız değerini (m/s) ifade etmektedir.



Sekil-6 : Çeşitli Twaron® liflerinin kinetik enerji yutumları
KAYNAK:http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf, 2006

“Twaron CT mikro filamentlerinden yapılan iplikte, standart Twaron’la üretilen aynı ağırlıkta bir ipliğe göre %50 daha fazla para-aramid lifi olduğu belirtilmektedir. Standart kumaşla kıyasla, aynı enerji absorblama seviyesine sahip Twaron CT Mikrofilament 541 daha hafiftir. Bu nedenle Twaron CT Mikrofilament liflerinin giyilebilirlik ve giyim konforu değerlerinin daha iyi olduğu ifade edilmektedir” (http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf, 2006).

Aşağıdaki çizelgede Twaron ve Kevlar liflerinin mekanik özellikleri kıyaslanmıştır.

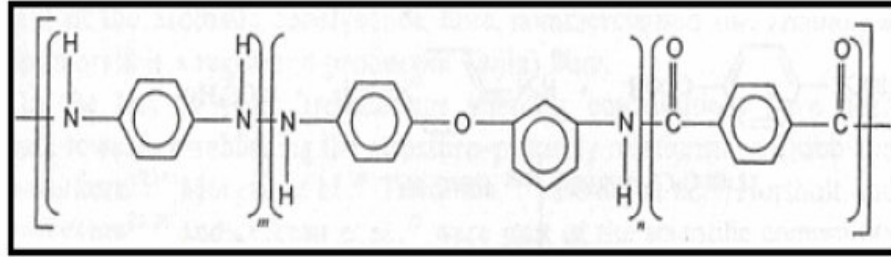
Çizelge-4: Twaron® ve Kevlar29® liflerinin mekanik özellikleri

Lif Cinsi	Çekme Mukavemeti(MPa)	Çekme Modülü(MPa)	Kopma Uzaması(%)	Yoğunluk (g/cm ³)
Twaron®	2800	80000	3.3	1.44
Kevlar®29	2758	62000	4	1.44

KAYNAK: Shim ,V.P.W., Lim C.T., .Foo K.J. 2001. Dynamic mechanical properties of fabric armour. Int.J.Impact Engineering, v:25, p:1-15

1.3.2.3. Technora® lifleri

Technora®, PPD (p-phenylene daimine) ve 3,4'-diaminodifenileter'in tereftaloilklorür ile reaksiyonu sonucu elde edilmektedir. Technora® liflerinin üretimleri komoner ilavesiyle gerçekleştirilmektedir. Diğer aramid liflerine göre daha esnek olmasına rağmen hidrolize karşı dayanımı oldukça fazladır. Kevlar lifleriyle hemen hemen aynı modüle sahip olup iyi aşınma dayanımı gösterirler.



Şekil-7: Technora® polimerlerinin kimyasal yapısı

KAYNAK:http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf, 2007

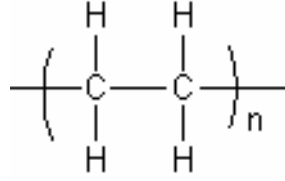
1.3.3. Yüksek Performanslı Polietilen Lifleri

Yüksek molekül ağırlıklı polietilen ya da yüksek modüllü polietilen olarak da adlandırılan yüksek performanslı polietilen lifleri iki – altı milyon arasında değişen oldukça uzun molekül zincirine sahiptirler. Yükseltgen asitler dışında korozif kimyasallara karşı oldukça dayanıklı olup düşük nem yutma, düşük sürtünme katsayısına ve yüksek aşınma dirençlerine sahiptirler (karbon liflerine göre aşınma dayanımları 10 kat daha fazladır). Sürtünme katsayısı nylon ve asetal liflerinden daha düşük teflona ise yakındır, fakat UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polythene) liflerinin aşınma dayanımları teflona göre çok daha yüksektir.

UHMWPE'in polimerizasyonu 1950 yılında Ruhrchemie AG tarafından yapılmıştır, günümüzde ise Ticano tarafından UHMWPE toz malzemeler üretilmektedir. İlk ticari UHMWPE lifleri 1970'in sonlarına doğru DSM tarafından üretilmiştir.

UHMWPE bir poliolefin çeşidi olup moleküller arasında zayıf van der waals bağları vardır. Aynı yönde yönlenmiş uzun zincirli polietilen'den oluşmaktadır. Her bir zincir

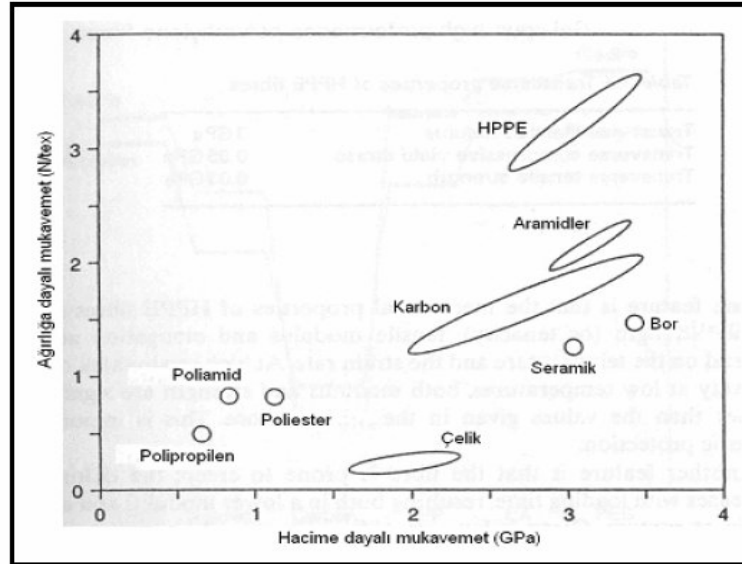
bir çok van der waals bağlarıyla birbirlerine bağlandıkları için yüksek çekme dayanımına sahiptirler. UHMWPE lifleri jel lif çekimi ile elde edilmektedirler.



Şekil-8: UHMWPE liflerinin kimyasal yapısı

KAYNAK:http://en.wikipedia.org/wiki/HMPE#Structure_and_properties,2007

Dyneema® ve Spectra® lifleri yaygın olarak kullanılan UHMWPE liflerindedir. Düşük yoğunluğa ve yüksek mukavemete sahip olmaları balistik tekstillerde kullanımını yaygınlaştırmıştır. Kopma esnasında fazla miktarda enerji yutabilmektedirler ve düşük ağırlıkları nedeniyle özgül enerji yutumu da oldukça yüksektir. Bu nedenle düşük ağırlık ve yüksek dayanım gerektiren balistik koruma ürünlerinde kullanımları uygundur.



Şekil-9: Çeşitli liflerin mukavemetleri

KAYNAK:http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf, 2007

1.3.3.1.Dyneema® lifleri

Dyneema® lifleri DSM firması tarafından üretilmekte olup sudan daha düşük özgül ağırlığa sahiptirler. Yüksek dayanım ve yüksek enerji absorbe edebilme

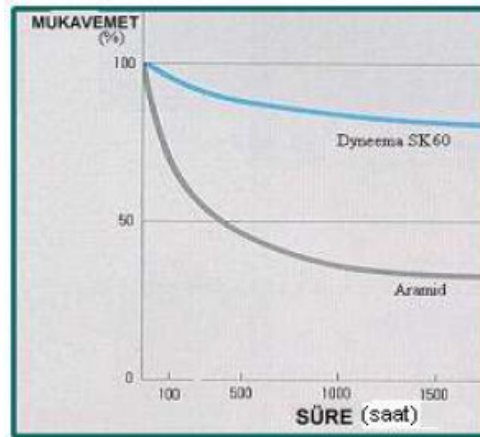
özellikleri nedeniyle özellikle balistik tekstillerde tercih edilmektedir. Farklı ticari isimlerde üretilen Dyneema® liflerinin fiziksel özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge-5: Dyneema® tiplerinin çeşitli özellikleri

	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 Muk.(GPa)	2.7	3	3.4	3.6
Modül (GPa)	89	95	107	116
Kopma Uzaması(%)	3.5	3.6	3.8	3.8

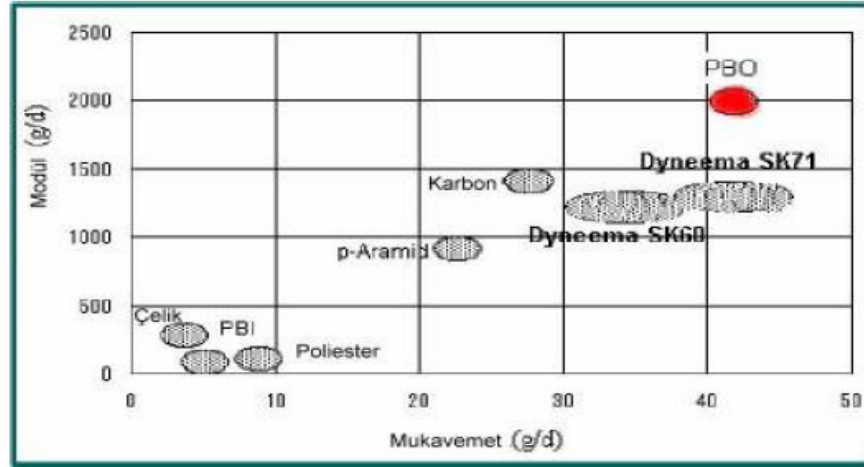
KAYNAK:http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf, 2007

Yukarıdaki lif çeşitlerinin dışında polis yeleklerinde kullanılmak üzere Dyneema® UD geliştirilmiştir. Birbirlerine paralel uzanan iki yönlü bir yapıdan oluşan Dyneema® UD güneş ışığından etkilenmediği için özel bir kaplamaya gerek duymaz. Aşağıdaki şekilde Dyneema® lifleri ile aramid liflerinin ışığa karşı dayanımları karşılaştırılmıştır. Şekilden de anlaşıldığı üzere Dyneema® liflerinin ışığa karşı dayanımları aramidlere göre oldukça yüksektir.



Şekil-10: Işık etkisi ile Dyneema SK60 ve Aramid liflerinde meydana gelen mukavemet kaybı

KAYNAK:http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf, 2007



Sekil-11. Dyneema® liflerinin mukavemet ve modülünün diğer yüksek performanslı liflerle kıyaslanması

KAYNAK: http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf, 2007

1.3.3.2. Spectra® lifleri

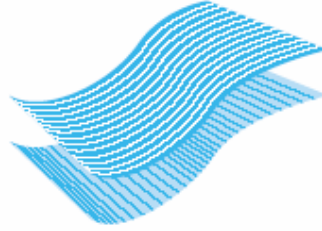
Spectra® lifleri ilk olarak 1985 yılında Allied Signal firması tarafından üretilmişlerdir. İlk olarak Spectra Fiber 900® ismiyle piyasaya sürülen liflerin, Spectra Fiber 1000®, ve 2000® tipleri ile özellikleri iyileştirilip, mukavemetleri artırılmış, daha ince hale getirilmiş ve ağırlıkları azaltılmıştır. 0.97 g/cm^3 yoğunluğa ve 2500 MPa mukavemete sahiptirler.

Çizelge-6: Spectra 2000 liflerinin fiziksel özellikleri

Ağırlık/Birim Uzunluk	75 denye	100 denye	130 denye	180 denye	195 denye
	83 dtex	111 dtex	144 dtex	200 dtex	217 dtex
Kopma Mukavemeti	41 g/denye	39 g/denye	38 g/denye	38 g/denye	37.5 g/denye
	3.51 GPa	3.34 GPa	3.25 GPa	3.25 GPa	3.21 GPa
Modül	1450 g/denye	1450 g/denye	1350 g/denye	1350 g/denye	1320 g/denye
	124GPa	124GPa	113GPa	116GPa	113GPa
Kopma Uzaması	2.90%	3%	2.80%	2.90%	2.90%

KAYNAK: http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf, 2007

Spectra® lifleri hem yumuşak koruyucu olarak hem de sert koruyucu olarak yaygın olarak balistik tekstillerde kullanım alanı bulmaktadır. 1980'in sonlarına doğru Honeywell firması koruyucu teknoloji(shield technology) adı altında Spectra liflerinden elde ettiği dokusuz yüzeyleri geliştirmiştir. Dokusuz yüzey uygulamasından önce lifler yan yana dizilirler, sonra bu lifler tek bir kat, ince tabaka elde etmek için reçine ile bağlanırlar. Bu şekilde elde edilen iki tabaka 0/90° açı yapacak şekilde üst üste konurlar ve aşınma direncini artırmak için bu tabakanın her iki yüzü film ile kaplanır.

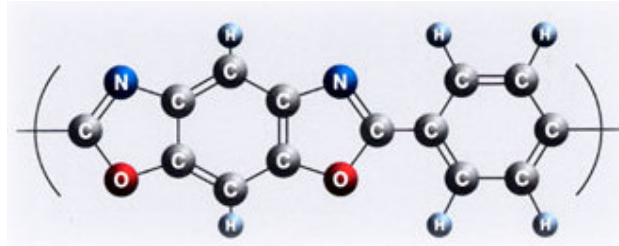


Şekil-12: Spectra Koruyucu

KAYNAK: http://www.honeywell.com/sites/sm/afc/spectra_shield.htm,2006

1.3.4. PBO (Zylon) Lifleri

PBO (poli-p-fenilenbenzobisoksazol), 4,6-diamino-1,3-benzendioldihidroklorür (DABDO) ile tereftalik asidin (TA), polifosforik asit içerisinde (PPA) polikondenzasyonu sonucu elde edilmektedir. Zylon lifleri de Toyobo firmasının ürettiği bir PBO lifidir.



Şekil-13: Zylon lifinin kimyasal yapısı

KAYNAK: http://www.toyobo.co.jp/e/seihin/kc/pbo/menu/fra_menu_en.htm,2007

Zylon lifleri diğer yüksek performanslı liflere göre oldukça yüksek mukavemete ve modüle sahiptirler. Zylon liflerinin AS (as spun) ve HM (high modulus) olmak üzere iki tipi mevcuttur.

Çizelge-7: Zylon AS ve Zylon HM liflerinin özellikleri

	Dayanım	Modül	Kopma Uzaması	Yoğunluk	Higroskopik Nem %	LOI	Sıcaklık Dayanımı °C
	GPa	GPa	%	g/cm ³			
Zylon AS	5.8	180	3.5	1.54	2	68	650
Zylon HM	5.8	270	2.5	1.56	0.6	68	650

KAYNAK:http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf,2007

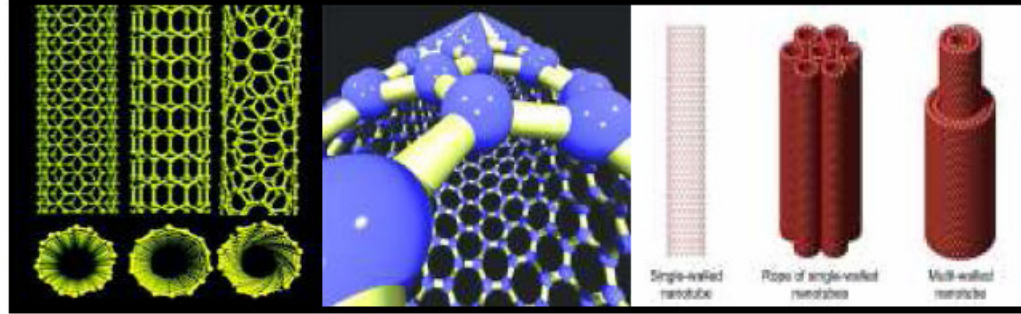
Zylon lifleri oda sıcaklığında ve nemsiz ortamda saklanmalıdır. Zylon lifleri sıcaklık, nem ve güneş ışığına karşı duyarlıdır. 500 °C sıcaklıkta Zylon mukavemetinin %40'ını, altı aylık güneş ışığına maruz kalması sonucunda mukavemetinin %35'ini kaybeder (Temiz 2005). Bu yüzden bu liflerin koruyucu bir yapı ile kaplanması tavsiye edilmektedir.

2.3.5. Karbon Nano Tüpler

Karbon nano tüpler yassı karbon atomu yaprakları yuvarlanıp, silindir şekline getirilerek yapılırlar. Karbon nano tüpler çelikten yüz kat güçlü, altı kat daha hafiftir. İdeal durumda bir karbon nanotüp, bir (tek katmanlı karbon nanotüp) veya birkaç tane (çok katmanlı karbon nanotüp) silindirik grafit tabakasından oluşur. Çok katmanlı karbon nanotüplerde katmanlar arası mesafe 0,34-0,36 nanometredir. Bu boyut grafitin tipik atomik boşluğuna yakındır. Karbon-karbon bağları 0,14 nanometre uzunluğundadır ve bunlar elmastaki bağlardan daha kısadır. Bu da nanotüpün elmastan daha güçlü bir materyal olduğunu göstermektedir.

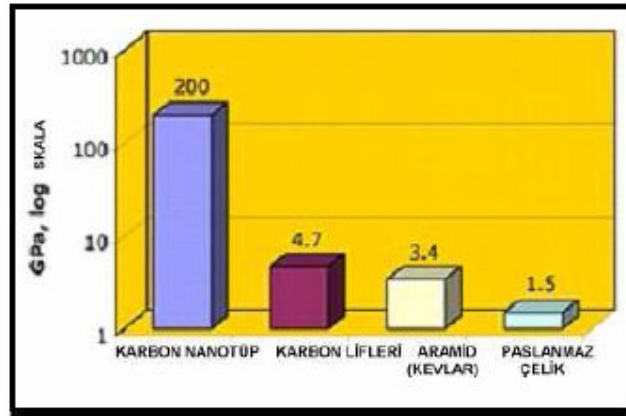
Nanotüp boyu, enine göre çok büyük olduğu için çok esnektir. Bu sebeple bileşenler, potansiyel olarak anizotropik özellik gerektiren kompozit materyal uygulamaları için uygundur ve geleceğin yüksek performanslı liflerini oluşturmak için

kullanılabilirler. Küçük çaplı (yaklaşık 1-2 nanometre) tüplerden oluşturulmuş bir demeti koparabilmek için uygulanan çekme kuvvetinin büyüklüğü yaklaşık 36 GPa'dır. Buna göre, nanotüp lifleri gerilmeye karşı en sağlam malzeme özelliği taşıyan liflerdir.



Şekil-14: Karbon nanotüplerinin yapısı

KAYNAK:http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf,2007

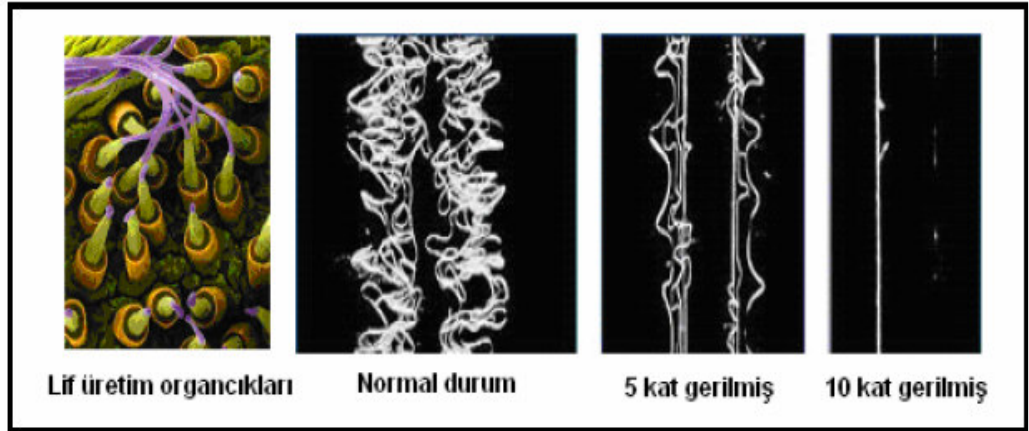


Şekil-15: Karbon nanotüplerinin kopma dayanımlarının diğer liflerle kıyaslanması

KAYNAK:http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf,2007

2.3.6. Örümcek İpeği Lifleri

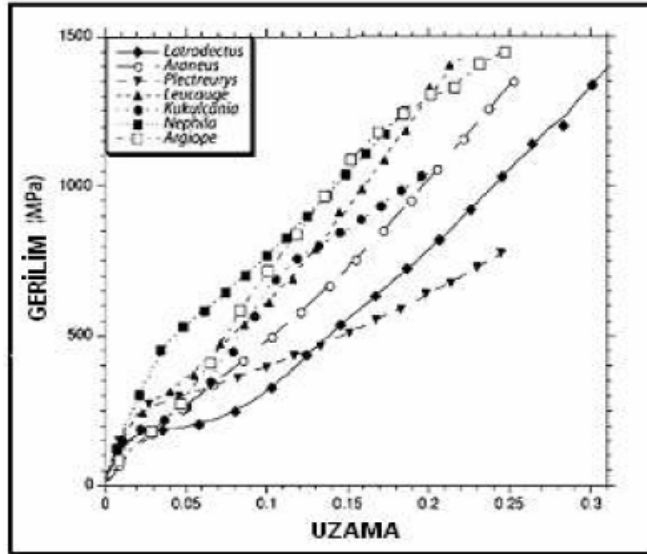
Örümcek ipeği çok sayıda lifin bir araya gelmesiyle oluşan bir protein lifidir. Aşağıdaki şekilde örümceğin sırtı doğru ve karın bölgesinin altında yer alan örümcek lif üretim organları görülmektedir.



Şekil-16: Örümcek ipeği

KAYNAK: http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf,2007

Örümcek ipeğinin balistik koruma ürünlerinde kullanımıyla ilgili araştırmalar devam etmektedir. Bu liflerin en önemli özellikleri doğal bir lif olmalıdır. Oldukça yüksek bir dayanıma sahip olması balistik tekstillerde kullanımı açısından avantaj olsa da yüksek elastikiyeti bu kullanımı sınırlandırmaktadır. Örümcek ipeği lifleri; örümcek türüne bağlı olarak değişen birçok tiplere ayrılmaktadırlar. Aşağıdaki şekilde farklı örümcek ipeği liflerinin kuvvet-uzama eğrileri verilmiştir.



Şekil-17: Farklı türlerin örümcek liflerinin kuvvet/uzama eğrileri,
KAYNAK: http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf,2007

“Geçmişte insanlar çok sayıda örümcek ile örümcek ipeği üretmişlerse de, bu pek de kazançlı olmamıştır. Kanadalı Nexia Biotechnologies şirketi, örümcek ipeği genini

keçilerin salgı bezlerine yerleştirerek, bu liflerin keçiler yoluyla üretilmesi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Keçiden elde edilen sütteki ipek proteini süttten ayrılarak bundan lif çekilmiştir. Bu yolla üretilen lifin gerçeğe oldukça benzer olduğu görülmüştür. Diğer denemeler ise, bu genlerin bakteri ve mayalara aktarımı ile gerçekleştirilmiştir. Bunlardan elde edilen proteini uygun bir çözücüde çözdükten sonra lif çekiminin gerçekleştirilebildiği ifade edilmektedir. Yapay örümcek ipeği liflerinin yapay tendon ve bağların üretiminde, ameliyat ipliklerinde, kursun geçirmez yelekler gibi bir çok alanda kullanım alanı bulacağı düşünülmektedir” (http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf, 2007).

1.4. Balistik Performansı Etkileyen Mekanizmalar

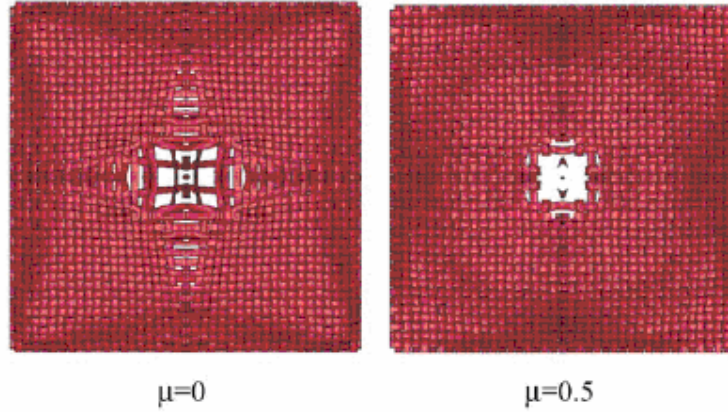
1.4.1. Sürtünme

Sürtünme, balistik kumaşların darbe direncine doğrudan ve dolaylı olarak etki etmektedir. Delinmenin gerçekleşmediği bir sistemde iplik çekmeleri enerji yutumunda doğrudan etkili olmaktadır. Bununla birlikte yutulan enerji miktarında mermi-kumaş ve iplik-iplik sürtünmesi de büyük önem taşımaktadır. Lee ve arkadaşları tarafından ipliklerin yanal hareketi reçine yutumuyla sınırlandırılarak balistik performansın artırılabilineceği deneysel olarak ortaya konulmuştur. Yani mermi ile kumaş arasındaki sürtünmeyi ve iplik-iplik sürtünmesini artırarak ipliklerin hareketi kısıtlanmakta ve dolayısıyla mermi iplikleri koparmaya zorlayacağı için yutulan enerji miktarı artmaktadır. Sürtünme bu yolla enerji yutumuna dolaylı olarak etki etmektedir (Duan ve ark. 2006).

Brisco ve arkadaşları tarafından yüzey aktif madde ilavesiyle farklı lif-iplik sürtünmesine sahip kumaşlar elde edilmiş ve balistik teste tabi tutulmuş, enerji yutumun bir göstergesi olarak merminin kalan hızı ölçülmüş; sürtünmenin artmasıyla birlikte delinme için gerekli olan hızın arttığı ve kalan hız değerinin ise düştüğü ortaya çıkarılmıştır. Sürtünmesi daha fazla olan kumaşta daha yüksek enerji yutumu gerçekleşmektedir. Bazhenov tarafından suyun balistik performansa olan etkisi incelenmiştir. Islak numunelerde delinme meydana gelirken kuru numunelerde herhangi

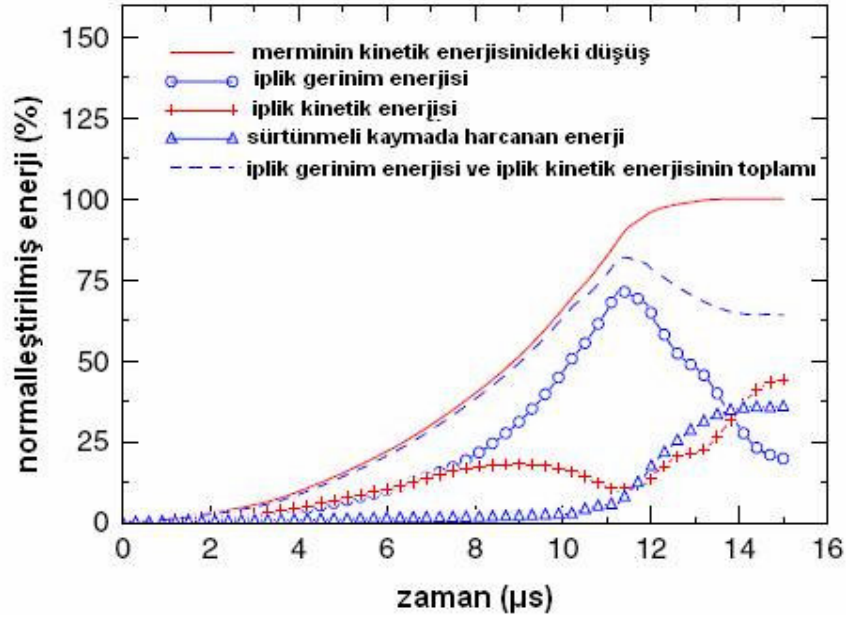
bir delinme meydana gelmemiştir. Islak numunelerde ipliklerde kopma gerçekleşmemiş olmasına ipliklerin yatay hareketi nedeniyle mermi kumaş içinden geçmiştir. Bu çalışmanın ışığı altında suyun mermi ile iplik arasındaki sürtünmeyi azaltan bir yüzey aktif madde gibi davrandığı ortaya konulmuştur(Duan ve ark. 2006).

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



Şekil-18: Sürtünme katsayısının kumaş deformasyonuna olan etkisi
KAYNAK: Duan, Y., Kefe, M., Bogetti, 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, s:1299-1312

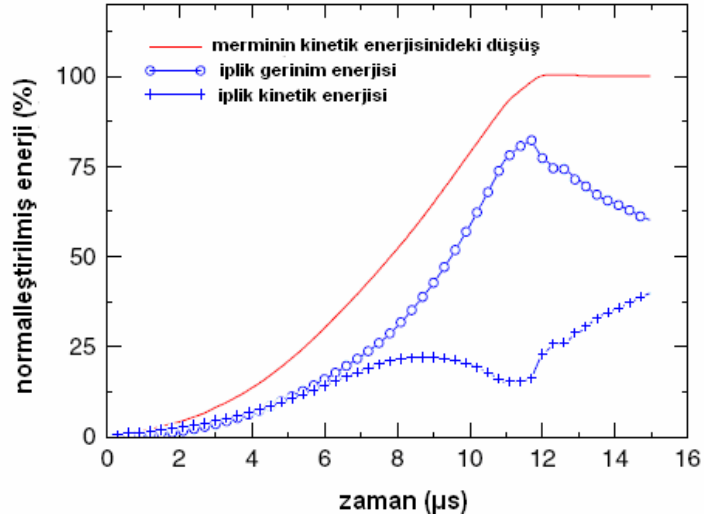
Yine aynı çalışmada balistik darbe sonrasında mermi tarafından kumaşa transfer edilen enerjinin simülasyonu yapılmıştır. Şekil 19'de $\mu=0,5$ için gerçekleşen enerji transferi gösterilmektedir. Bu şekildeki bütün enerjiler merminin maksimum hızındaki düşüşe göre normalize edilmişlerdir. Merminin kinetik enerjisi; iplik gerinim enerjisi, iplik kinetik enerjisi ve sürtünmeli kaymada harcanan enerji olarak yutulmaktadır (Duan ve ark. 2006).



Şekil-19: $\mu=0,5$ için darbe esnasında kumaş ve mermi arasında gerçekleşen enerji transferi

KAYNAK: Duan, Y., Kefe, M., Bogetti, 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, s:1299-1312

Yukarıdaki şekilden de gözüktüğü üzere 7 μs 'ye iplik gerinim enerjisinin ve iplik kinetik enerjisinin enerji yutumuna olan katkıları hemen hemen aynıdır. Bu noktadan itibaren iplik gerinim enerjisi temel enerji yutum mekanizması haline gelmektedir. 11,3 μs 'de çoğu ipliğin koptuğu noktada maksimum değerine ulaşmakta ve toplam enerji yutumunun %72'sini gerçekleştirmektedir. Bu noktada iplik kinetik enerjisi ve sürtünmeli kaymada harcanan enerji toplam yutulan enerjinin sırasıyla %10 ve %7'sini oluşturmaktadırlar. Yani iplik kopuşları gerçekleşmeden önce kumaş toplam enerji yutumunun %89'unu gerçekleştirmektedir. Kalan %11'lik kısım ise 11,0 ve 14 μs 'lik zaman diliminde gerçekleşen delinme esnasında yutulmaktadır. İplik kopuşlarıyla birlikte iplik gerinim enerjisinde ani bir düşüş meydana gelmektedir. İplik gerinim enerjisi; iplik kinetik enerjisine ve sürtünmeli kayma enerjisine dönüşmektedir. Sürtünmeli kaymada harcanan enerjide bir artış meydana gelmekte ve önemli bir enerji yutum mekanizması haline dönüşmektedir. 14 μs 'den sonraki kısımda gerçekleşen enerji yutumunun %35'lik bir kısmı bu mekanizma tarafından gerçekleştirilmektedir.

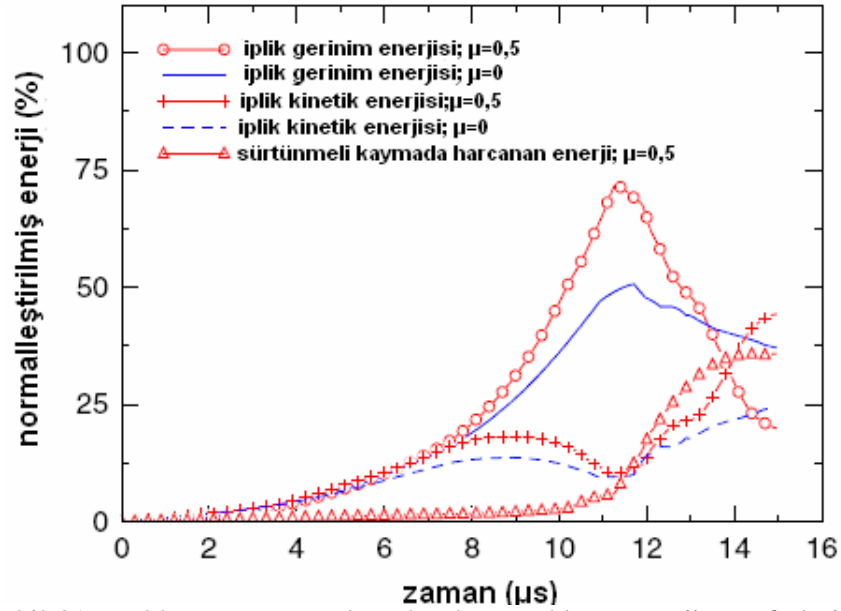


Şeki1-20: $\mu=0$ için darbe esnasında kumaş ve mermi arasında gerçekleşen enerji transferi

KAYNAK: Duan, Y., Kefe, M., Bogetti, 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, s:1299-1312

Yukarıdaki şekil $\mu=0$ için çizilmiş olan enerji yutma mekanizmasını göstermektedir olup; sürtünme olmadığı için mermi kinetik enerjisi iplik uzama enerjisi ve iplik kinetik enerjisi tarafından yutulmaktadır. İplik gerinim enerjisi temel mekanizma olup; 11,8µs'de çoğu lifin koptuğu noktada %82 oranında enerji yutumunu gerçekleştirmektedir. Bu noktada iplik kinetik enerjisinin yuttuğu enerji miktarı %16'dır. Yani iplik kopuşlarından önce enerjinin %98'i yutulmaktadır. Kalan %2'lik kısım delinmenin olduğu 11,7 ile 12,5 µs zaman diliminde gerçekleşmektedir. İplik kopuşlarıyla birlikte iplik gerinim enerjisi düşmekte iken iplik kinetik enerjisinde artış gözlenmektedir.

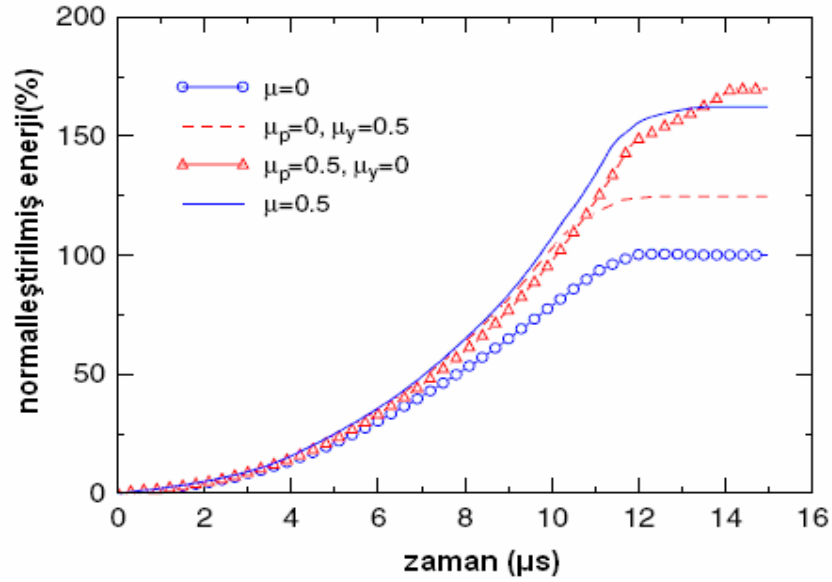
Aşağıdaki şekilde her iki durum için kıyas yapılmıştır. Şekilden de gözüktüğü üzere sürtünmeli kaymada harcanan enerji iplik kopuşlarının olmadığı kısımda toplam enerji yutumuna çok az katkı sağlamaktadır. Fakat bununla birlikte, hem iplik gerinim enerjisi hem de iplik kinetik enerjisi sürtünmenin artışıyla birlikte artış göstermektedir. Bu nedenle sürtünmenin enerji yutumuna olan katkısı sadece sürtünmeli kaymada harcanan enerji olarak değil iplik gerinim enerjisinin ve iplik kinetik enerjisinin artışı olarak da ele alınmalıdır.



Şekil-21: Farklı sürtünme şartları altında gerçekleşen enerji transferlerinin kıyaslanması

KAYNAK: Duan, Y., Kefe, M., Bogetti, 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, s:1299-1312

Mermi-kumaş sürtünmesinin ve iplik-iplik sürtünmesinin enerji yutumuna olan katkıları bireysel olarak değerlendirilmemelidir. Mermi-kumaş sürtünmesinin etkisini inceleyebilmek amacıyla mermi-kumaş sürtünme katsayısını ve iplik-iplik sürtünme katsayısını sırasıyla $\mu_p = 0,5$ ve $\mu_y = 0$ olarak balistik simülasyon yapılmıştır. Aynı mantıkla iplik-iplik sürtünmesini inceleyebilmek amacıyla $\mu_p = 0$ ve $\mu_y = 0,5$ alınmış ve dört farklı sürtünme katsayısı için aşağıdaki eğriler elde edilmiştir.

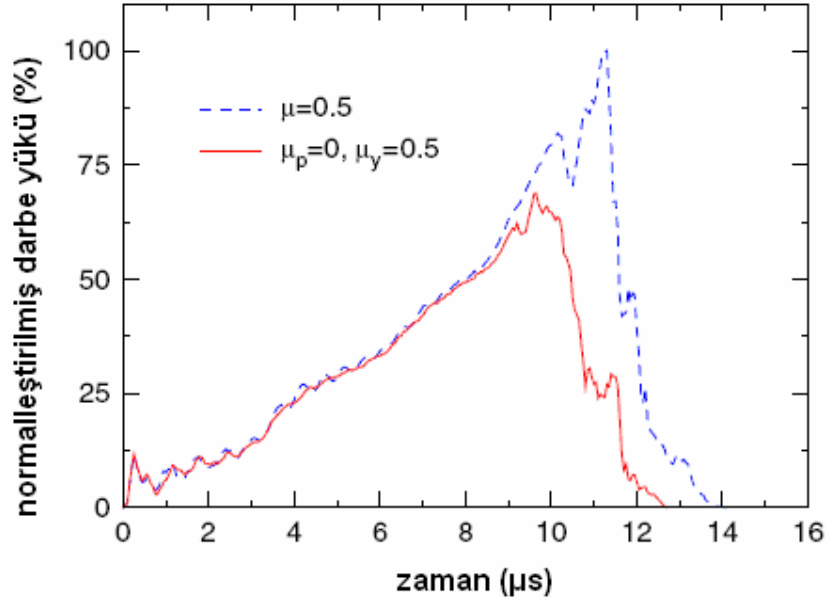


Şekil-22: Zamana bağlı enerji yutumu

KAYNAK: Duan, Y., Kefe, M., Bogetti, 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, s:1299-1312

Bu şekildeki bütün eğriler $\mu=0$ durumundaki enerji yutumuna göre normalize edilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere hem mermi-kumaş sürtünmesi hem de iplik-iplik sürtünmesi enerji yutumunu artırmaktadır. Kumaşın enerji yutabilme kapasitesi sadece mermi-kumaş sürtünmesinin olduğu durumda %70 artarken; sadece iplik-iplik sürtünmesinin olduğu durumda %25 oranında artmaktadır. Her ikisinin de olduğu durumda ise %62 oranında bir artış gözlenmektedir. Dolayısıyla her iki sürtünme mekanizmasının etkisi bireysel etkilerinin toplanması şeklinde basitçe ifade edilememektedir.

Sadece iplik-iplik sürtünmesinin olduğu varsayıldığı durum ile ($\mu_p = 0$ ve $\mu_y = 0,5$); mermi-kumaş sürtünmesinin ve iplik-iplik sürtünmesinin her ikisinin de olduğu varsayıldığı ($\mu=0,5$) durum kıyaslandığında darbe olayının son safhalarına doğru mermi-kumaş sürtünmesinin enerji yutumunu artırdığı görülmektedir. Aşağıdaki şekilde zamana bağlı olarak her iki durum için darbe yükünün değişimi gösterilmektedir.



Şekil-23: Zamana bağlı darbe yükü

KAYNAK: Duan, Y., Kefe, M., Bogetti, 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, s:1299-1312

Şekilden de anlaşıldığı üzere merminin kumaşa sürtünmesi maksimum darbe yükünü artırmakta ve bununla birlikte maksimum darbe yükünün oluşumunu geciktirmektedir. 10 μs 'de $\mu_p = 0$ ve $\mu_y = 0,5$ durumu için 1 adet iplik kopuşu olmasına rağmen 11 μs 'de $\mu = 0,5$ durumunda hiç iplik kopuşu olmamaktadır. Merminin kumaşa sürtünmesi iplik kopuşlarını geciktirmekte ve sonuç olarak maksimum darbe yük değerini artırmakta ve oluşumunu geciktirmektedir (Duan ve ark. 2006).

1.4.2. Malzeme Özellikleri

Darbeyle birlikte, büyük bir kısmı darbe hızına bağlı olarak ipliklerde ani bir gerginlik artışı yaşanmaktadır. Kritik hızın altındaki düşük hızlarda bu başlangıç gerginlik artışı iplikleri koparacak yetkinlikte olmadığı için enine yönde eğilme meydana gelmekte ve iplikler uzayarak enerji yutulmaktadır. Yani yüksek çekme mukavemetine ve yüksek kopma gerinimine sahip olan lif takımları daha fazla enerji yutumu yapabilmektedirler. Lee ve arkadaşları yaptıkları çalışmada enerji yutumuyla kopan lif sayısı arasında bir korelasyon geliştirmişlerdir ki lif gerinimi balistik bir kumaşın enerji yutumundaki temel mekanizmasıdır. Shim ve Cunniff tarafından yapılan

çalışmada %50 balistik hızın (V50) üzerindeki hızlarda kumaşlarda başlangıç gerginlik artışı esnasında delinme gerçekleşmektedir. Çünkü enine eğilmenin yayılması için gerekli olan sürenin yetersizliği nedeniyle lif gerinimi azalmakta ve sonuç olarak kumaşın absorbladığı enerji miktarı daha düşük olmaktadır (Cheeseman ve ark. 2003).

Mermi balistik yapıya vurduğu anda liflerde boyuna ve enine yönde gerilim dalgalarına sebep olur. Boyuna yönde oluşan gerilim dalgalarının hızı:

$$c = (E / \rho)^{0.5} \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu formülde;

c: Boyuna yönde gerilimin dalga hızı

E: Lifin elastisite modülü

ρ : İpliğin yoğunluğu

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 (Temiz 2005).

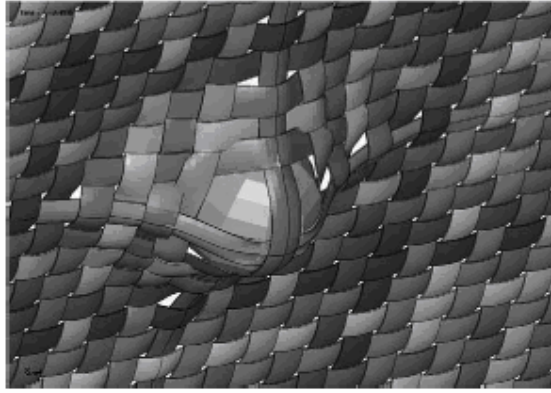
Çekme mukavemetinin, modülün ve kopma gerilmesinin kumaşın balistik performansında etkisini tek başına düşünemeyiz. Eğer balistik performans sadece ipliğin tokluğuna bağlı olsaydı, naylonun kevlarlara göre daha iyi bir performans göstermesi gerekirdi. Cunniff tarafından özgül lif tokluğunu lif gerinim dalga hızıyla çarparak balistik performansı etkileyen bütün lif özelliklerine bağlı olan bir katsayı türetilmiş (u°) ve balistik performansın bütün bu özelliklere bağlı olduğu ancak yalnızca bu özellikler göz önüne alınarak değerlendirilemeyeceği ortaya konmuştur.

$$u^\circ = (\sigma * \varepsilon / 2\rho) * (E / \rho)^{0.5} \quad (1.7)$$

Bu formülde σ lifin maksimum çekme mukavemeti, ε ise lifin maksimum gerinim değeridir (Cheeseman ve ark. 2003).

1.4.3. Kumaş Özellikleri

Balistik uygulamalarda genelde bezayağı ve sepet örgüler kullanılmaktadır. Örtme faktörü olarak tanımlanan doku yoğunluğu çözgü ve atkı ipliklerinin sıklıkları tarafından belirlenmektedir. Balistik uygulamalarda kullanılacak olan kumaşların örtme faktörünün 0,6 ile 0,95 arasında olması gerekmektedir. 0,95'den daha büyük örtme faktörü dokuma prosesiyle elde etmek mümkün olmamakta iken 0,6'dan daha küçük örtme faktöründe kumaş çok gevşek bir yapıya sahip olacağı için mermi iplikleri koparmak yerine onları sağa sola yanal harekete zorlayarak delinme gerçekleştirmektedir (Cheeseman ve ark. 2003). Şekil 24'de gözüktüğü üzere mermi kumaş katmanına çarptığında kumaşta enine yönde eğilme olmakta iplikler arasındaki boşlukların büyümesine yol açan iplik ağı şişmeleri meydana gelmektedir. Eğer mermi çok küçükse ve/veya belli bir açı ile çarparsa ve/veya merminin önündeki ipliklerde kopma meydana gelirse; mermi iplikleri koparmak yerine ittirecek ve oluşan boşluktan geçebilecektir.



Şekil-24: Darbe altında kumaş görünüşü

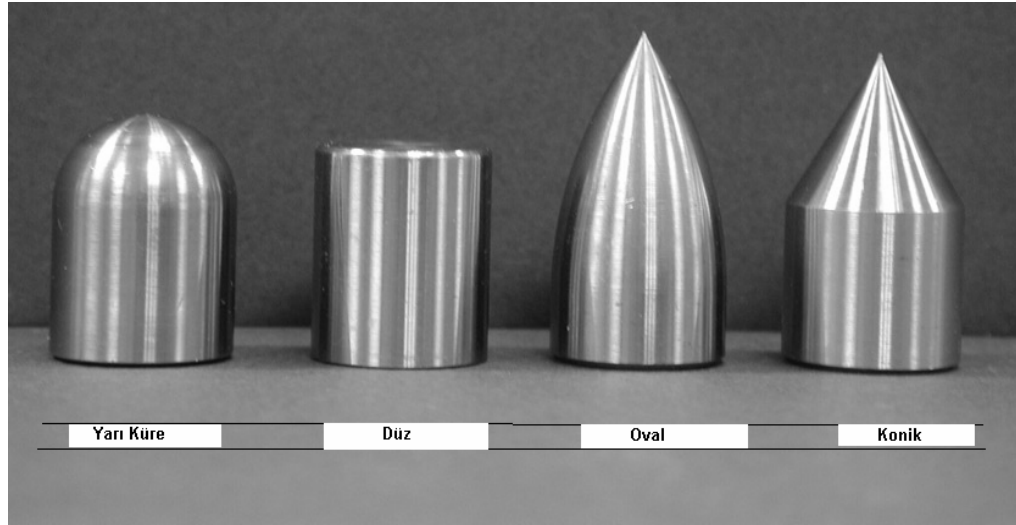
KAYNAK: Cheeseman, B.A., Bogetti, T.A. 2003. Balistic Impact Into Fabric And Compliant Composite Laminates. Composite Structure 61, s:161-173

Balistik performansı etkileyen kumaş özelliklerinden biri de kıvrımdır. Kıvrım; ipliklerin dokunmuş kumaş yapısındaki konumlanmalarından kaynaklanan dalgalanmadır. Bezayağı bir örgüde, kıvrım derecesi dengelenmemiştir (çözgü ipliklerinin kıvrımı atkı ipliklerine göre daha fazladır). Chitragad yüksek kopma uzamasına sahip olan atkı ipliklerini kullanmayı tavsiye etmiştir. Çünkü atkı iplikleri

daha az kıvrıma sahip oldukları için çözgü ipliklerine göre daha önce kopuşa uğramaktadırlar. Çözgü iplikleri sahip oldukları yüksek kıvrımın açılması için zamana ihtiyaç duymaktadırlar. Deneysel olarak yapılan çalışmalarda daha yüksek kopma uzamasına sahip olan atkı ipliklerinin balistik performansının arttığını ispatlamıştır (Cheeseman ve ark. 2003).

1.4.4. Mermi Geometrisi

Mermi geometrisi, kumaş delinmesine etki eden en temel unsurların başında gelmektedir. Tan ve arkadaşlarının bezayağı örgülü Twaron® kumaşı üzerinde düz, yarıküre, oval ve konik uçlu mermi ile yaptıkları deney sonucunda 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.



Şekil-25: Farklı mermi geometrileri

KAYNAK: Tan, V.B.C, LIM, C.T., CHEONG, C.H. 2003. Perforation of high-strength fabric by projectiles of geometry. Int. Journal of Impact Eng., v:28, p:207-222

Keskin uçlu mermilerde veya yüksek hıza sahip mermilerde, kumaş kalınlığı boyunca lifleri keserek kumaşa sapanma gerçekleşmektedir (Cheeseman ve ark. 2003).

1.4.5. Çarpma Hızı

Merminin çarpma hızının balistik performansa etkiyeceği aşikardır. Fakat bununla birlikte farklı hızlarda gerçekleşen mekanizmanın incelenmesi gerekir. Daha önceden de belirtildiği üzere keskin uçlu ve yüksek hıza sahip olan mermiler kumaş kalınlığı boyunca lifleri uzatıp koparmaya zorlamak yerine keserek kopuşa neden olmaktadır (Ani bir şekilde kopmaya yol açan hız değeri kritik hız olarak tanımlanmaktadır). Düşük hız ve yüksek hız çarpmaları üzerine yapılan deneysel çalışmalara göre düşük hızlı çarpmalarda ani gerilim artışında iplikte bir kopuş olmamaktadır. Bu nedenle enine eğilme kenarlara kadar ulaşabilme imkanı bulabilmektedir. Düşük hız çarpmaları enerji dağılımını kolaylaştıran geniş eğilme ve gerilme davranışı ile karakterize edilirler. Yüksek hızlı çarpmalarda ise bölgesel hasar meydana gerçekleşmekte ve belirli enine eğilme oluşmadan iplikte kopuşlar meydana gelmektedir.

Yüksek hızlı çarpmalarda bir takım potansiyel mekanizmalar da gerçekleşmektedir. Tek lif kevlar ve UHMWPE üzerinde yapılan araştırmalara göre yüksek hızlarda liflerde kesilme meydana gelmekte ve üstelik UHMWPE’de erime hasarları oluşmaktadır. Benzer sonuçlar PBO ve Dyneema® liflerinde de elde edilmiştir. Nylon panellerde balistik darbe esnasında filamentlerde yumuşama, erime, dekompoze olma, yanma ve fibrilasyon meydana gelmektedir. Hiermaier ve arkadaşlarının lastikleri yüksek hızlı çarpmalarda korumak amacıyla geliştirilen tampon amaçlı kevlar-epoksi kompozitinde 788 m/s hızında gerçekleşen bir çarpışmada kevlar-epoksi kompozitinde faz değişimine maruz kaldığını, termal bozunmaya uğrayarak bütün epoksinin buharlaştığını ortaya çıkarmışlardır (Cheeseman ve ark. 2003).

1.4.6. Katman Sayısı

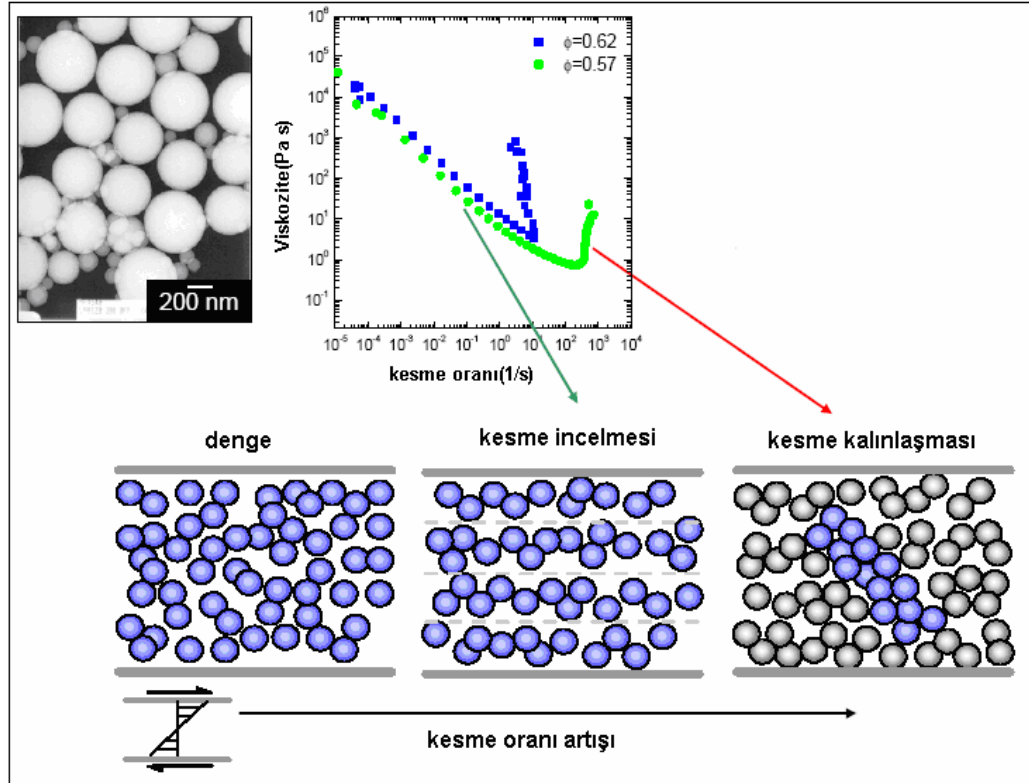
Katlı yapılar ciddi tehlike tipleri için geliştirilmekte ve bu yapıların temelde lif tipi, reçine tipi, doku konstrüksiyonu, kat sayısı, iplik yönü ile kesişmeleri ve iplik setleri ile yoğunluğu gibi parametrelere bağlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Vurmanın katlı yapılara etkisi katı ve esnek 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 gerekir (Temiz, 2005).

1.5. Kesme Kalınlaşan Akışkan(Shear Thickening Fluid)

Bir maddenin kendisi için çözücü olmayan bir ortamda 10^{-4} - 10^{-7} cm boyutlarında dağılmasıyla oluşan çözeltilere kolloidal çözelti denir (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Kolloid>, 2006). Daha basit bir ifadeyle mikron veya nano boyuttaki taneciklerden oluşan heterojen çözeltilere kolloidal çözelti adı verilmektedir. Bu tür çözeltiler gözle veya normal mikroskopla bakıldığı zaman homojen bir çözelti olarak görülmesine rağmen, ultra mikroskopla bakıldığı zaman heterojen olarak görülürler. Kolloidal silika dispersiyonu denildiğinde ise mikro veya nano boyutta silikon dioksitten parçacıklarından oluşmuş heterojen çözeltiler anlaşılmaktadır. Bunlarda çözücü ortam olarak su veya etilen glikol kullanılmaktadır. Nano parçacıklı kolloidal silika dispersiyonu visko-elastik malzeme özelliği göstermektedir. Kesme kalınlaşması newtonyen olmayan akış karakteri olup genellikle kesme kuvvetinin artışıyla birlikte viskozitelerinde ani artışlar meydana gelmektedir. Kolloidal dispersiyonlardaki geri dönüşebilen kesme kalınlaşması, parçalar arasındaki hidrodinamik yağ kuvvetleri sonucunda sıkışan kümelerin oluşmasından kaynaklanmaktadır (Wagner ve ark. 2003). Bir başka ifadeyle, kümecikler arasındaki kısa aralıklı yağ kuvvetleri kümecikleri daha geniş hale getirdiği için kesme kuvvetine bağlı olarak viskozitede de artış meydana gelmektedir (kümeciklerin birbirleri üzerinden kayması zorlaşmaktadır). Kesme kalınlaşması başlamadan önce, düzenli bir halde bulunmayan parçacıklar tabakalar içinde rahatça 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 durumda 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 sağlamaktadır (Hoffman 1997).

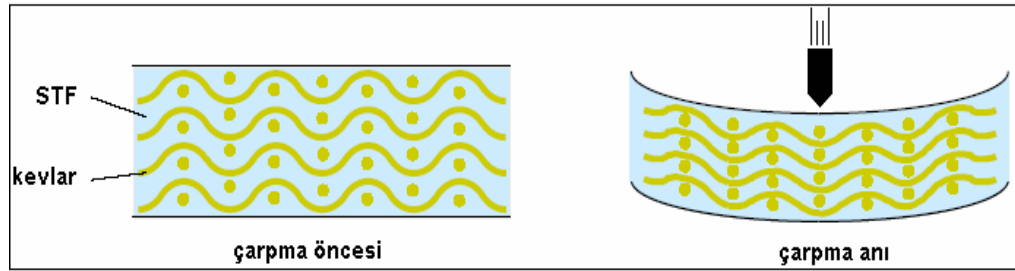


Şekil-26: Kesme Kalınlaşması

KAYNAK: http://www.ccm.udel.edu/STF/PubLinks2/AdvancedBodyArmor_Pres.pdf, 2007

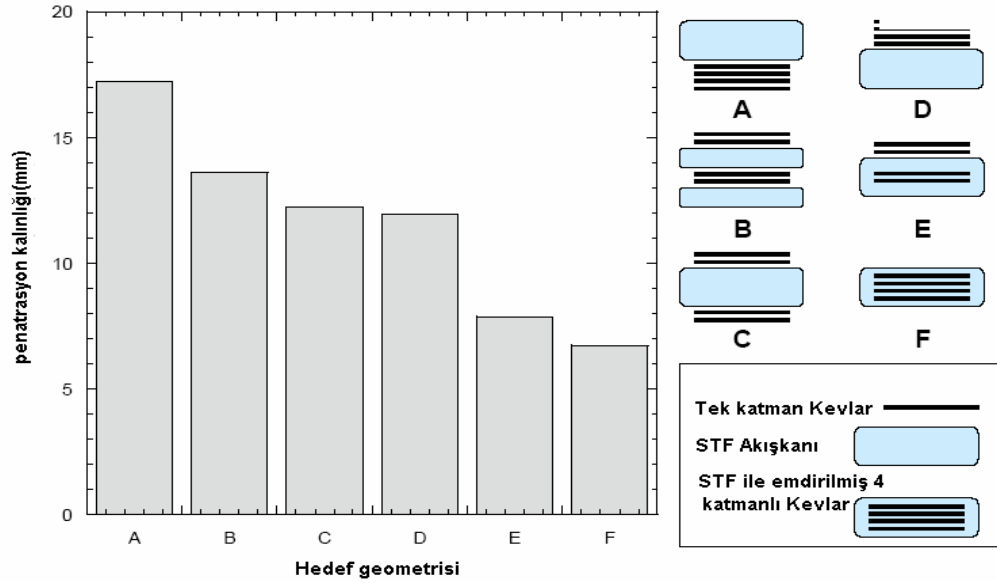
Yukarıdaki şekilde gözüktüğü üzere kesme oranı artışıyla birlikte akışkanın viskozitesinde düşüş meydana gelmektedir. Fakat belli bir kesme oranı değerinden sonra viskozitede ani bir artış meydana gelmekte, yani kesme kalınlaşması başlamaktadır. Akışkanın bu özelliği kullanım alanına bağlı olarak bir avantaj veya dezavantaj olarak değerlendirilebilir. Örneğin kaplama işlemi yapan bir proses mühendisi verimliliği artırmak amacıyla silindir hızını artırdığında, akışkanda kesme kalınlaşmasının meydana gelmesi arzu edilmeyen bir durumdur. Diğer taraftan kolloidal dispersiyonların bu özelliği balistik tekstillerde anlamlı hale gelmektedir. 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; balistik bir olay esnasında ise kesme kalınlaşması meydana geleceği için akışkan, viskoz bir malzeme haline gelecek ve dolayısıyla balistik koruma gerçekleştirecektir. Bu amaç doğrultusunda koloidal silika dispersiyonu akışkan olarak kullanıp balistik performansı inceleyen bir takım araştırmalar yapılmıştır.



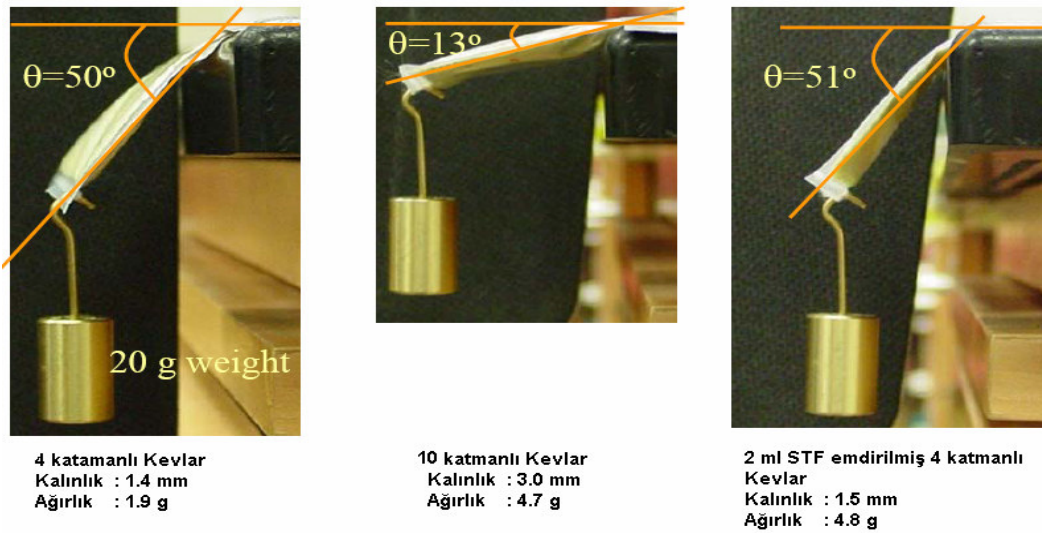
Şekil-27: Koloidal dispersiyon emdirilmiş kevlar kumaşın darbe anındaki davranışı
 KAYNAK:[http://www.ccm.udel.edu/STF/PubLinks2/ProtectiveFabricsUtilizingSTF
 Pres.pdf](http://www.ccm.udel.edu/STF/PubLinks2/ProtectiveFabricsUtilizingSTFPres.pdf),2007

Lee ve arkadaşları tarafından etilen glikol içinde disperse olmuş koloidal silika dispersiyonu ile emdirilmiş kevlar® kumaşın balistik direncinde artış olduğu belirlenmiştir. 47.6 x 47.6 (mm x mm) boyutlarındaki 2, 4 ve 8 ml'lik silika dispersiyonu emdirilmiş kevlar® kumaşa 244 m/s hızla atış yapılmış ve şahit numune vasıtasıyla penetrasyon derinliği ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda 8 ml silika dispersiyonu ile emdirilmiş dört katmanlı kevlar kumaşın, işlem görmemiş ondört kat kevlar kumaşla aynı balistik dirence sahip olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Balistik performanstaki bu artışta silika dispersiyonunun yüksek gerilim altında meydana gelen ani viskozite artış özelliğine sahip olması etkili olmuştur (Wetzel ve ark. 2004).



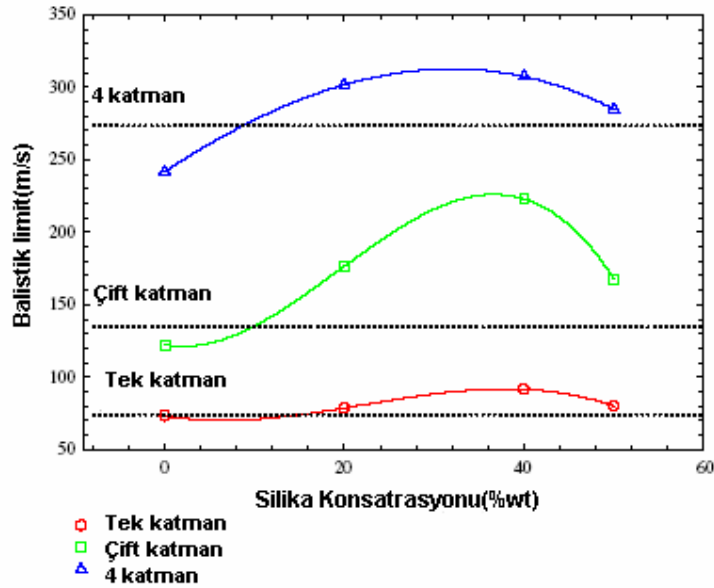
Şekil-28: STF aplikasyonun balistik performansa olan etkisi
 KAYNAK:http://www.ccm.udel.edu/STF/PubLinks2/AdvancedBodyArmor_Pres.pdf,2007

Aynı çalışmada STF(Shear Thickening Fluid) ile uygulama yapılmış Kevlar® kumaşların esnekliğini incelemek amacıyla iki boyutlu esneklik testi uygulanmış; eğilme açısı ve hedef kalınlığı test sonuç göstergesi olarak incelenmiştir. Buna göre silika dispersiyonu applike edilmiş Kevlar® kumaşlar işlem görmemiş kevlar® kumaşlara göre balistik performans açısından çok daha esnek ve ince olduğu ortaya koyulmuştur



Şekil-29: STF aplikasyonu yapılmış Kevlar kumaşın esnekliği
 (http://www.ccm.udel.edu/STF/PubLinks2/AdvancedBodyArmor_Pres.pdf,2007)

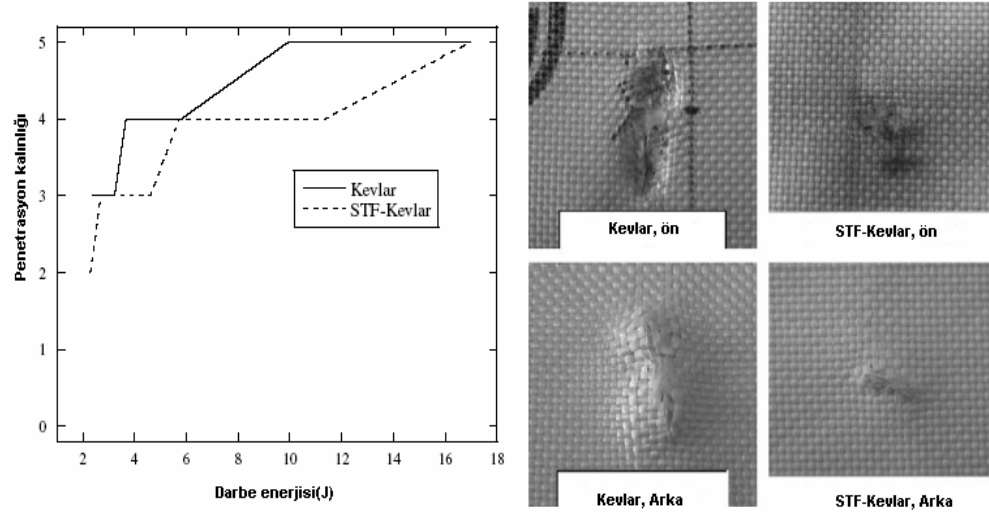
Tan ve arkadaşları tarafından farklı konsantrasyondaki su bazlı silika dispersiyonun Twaron® CT615 bezayağı dokuma kumaşın balistik performansına olan etkisi incelenmiştir. %20, 40 ve 50 konsantrasyondaki silika dispersiyonu tek, çift, dört ve altı katmanlı kumaş yapılarında incelenmiştir. Çift katmanlı yapıda en yüksek balistik direnç göstermekle birlikte, %40 konsantrasyon oranının tek katmanlı, çift katmanlı ve 4 katmanlı yapılarda en iyi balistik performansa sahip orantı olduğu görülmüştür. %40 konsantrasyondaki silika dispersiyonuyla emdirilmiş çift katmanlı yapı işlem görmemiş kumaşa göre %70 oranında daha iyi bir balistik performansa sahip olmaktadır. Balistik performanstaki bu artış mermi-kumaş sürtünmesindeki ve iplik içi sürtünmedeki artıştan kaynaklanmaktadır (Tan ve ark. 2005).



Şekil-30: Farklı silika konsantrasyonunun balistik limite olan etkisi
KAYNAK: Tan, V. B.C, Tay, T. E, Teo, W. K. 2005. Strengthening fabric armour with silica colloidal suspensions. International journal of solid and structures, p:1561-157

Decker ve arkadaşları tarafından kolloidal silika dispersiyonu aplike edilmiş kevlar® ve nylon kumaşın saplanma dirençleri incelenmiş ve işlem görmemiş numunelere göre silika aplikasyonunun kumaşın saplanma direncini büyük ölçüde artırdığı bulunmuştur. Hem yüksek hem de düşük hız yüklemelerinde kumaşın delinme direncinde yüksek bir artış; kesme korunmasında ise daha az bir artışın olduğu görülmüştür. Silika dispersiyonunun etkisi kumaşın sıklığının artırılması ile benzer bir etkiye sahip olduğu

vurgulanmış ve silika aplikasyonunun darbe bölgesindeki filament ve ipliklerin hareketliliğini sınırlandırıldığı savunulmuştur (Decker ve ark. 2006).



Şekil-31: Silika dispersiyonunun delinme direncine olan etkisi

KAYNAK: Decker, M. J., Halbach, C. J., Nam, C. H., Wagner, N. J., Wetzell, E. D. 2006. Stab resistance of shear thickening fluid (STF)-treated fabrics. Composites science and technology

1.6. Balistik Test Yöntemleri

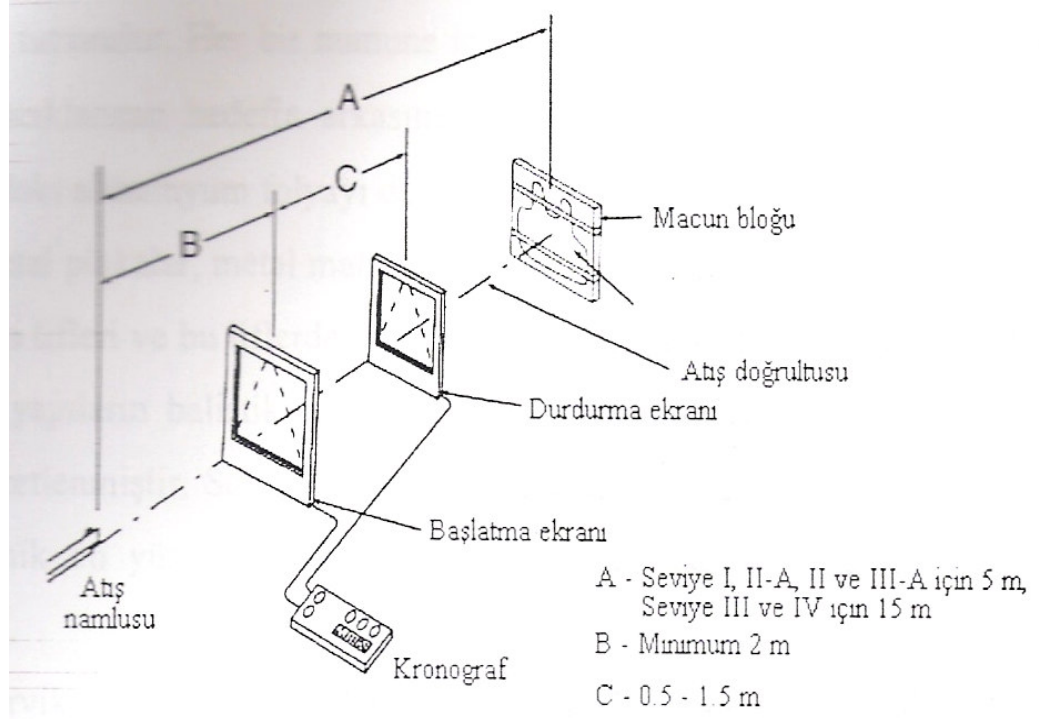
Balistik malzeme plakaları farklı ateş menzillerinde denenmektedir. Standart ağırlık ve büyüklükteki mermilerle farklı hızlarda ateş etmek gereklidir. Bu atış denemeleri, denenecek her bir malzeme plakası ve her mermi için V50 denilen bir ölçümü sağlar. Bu kalite kontrol ölçüsü olarak kullanılabilir. Delip geçmenin olmadığı en yüksek hız olan V_0 'ın da bilinmesi gerekmektedir. Bazen buna V_c , veya kritik hız da denmektedir. V_c daha pratik bir ölçüm şekli olarak da görülmektedir, çünkü balistik koruyucunun amacı insan vücuduna gelen bütün mermileri durdurmaaktır.

Balistik testler, deneysel, sayısal ve analitik olmak üzere 3 yöntemle yapılabilir. Deneysel yöntemler; malzeme özellikleri, mermi hız ve geometrisi gibi mermi ve zırh etkileşimine etki eden parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için yapılan testlerdir. Penetrasyon derinliği, balistik limit (V50) gibi parametreler deneysel olarak ölçülerek bulunur. Bu metod daha çok korelasyonu yapılacak az sayıda faktörün bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Sayısal yöntemler, sonlu elemanlar veya sonlu farklar kodu temeline dayandırılmaktadırlar. Genelde, katı bir cismin darbesi esnasında oluşan eşitlikler gayri-lineer olduklarından penetrasyonun sayısal yöntemlerle analiz edilmesi daha doğru ve kesin bir malzeme simülasyon prosesi oluşturmaktadır. Bu metodun dezavantajı ise yüksek bilgisayar hızı gerektirmesidir ve ayrıca mermi ve hedefin geometrik ve malzeme özelliklerinin yanı sıra darbe anında gelişen mekanizmaların tam olarak simülasyonlara katılabilmesi başarılıymış değildir.

Analitik metot ise, genel kontinum mekanik eşitliklerin vasıtasıyla penetrasyon mekaniğinin incelenmesi temeline dayanmaktadır. Burada amaç, malzeme davranışına en yakın modelin geliştirilmesidir. Bu durumda en doğru parametreleri seçebilmek için penetrasyon esnasında gerçekleşen fiziksel hadisenin bilinmesi gerekmektedir. Çünkü bu parametreler darbe esnasında katı cismin etkileşimini belirleyecek olan eşitliklerde kullanılacaktır. Çok sayıda kabul yapılarak geliştirilen analitik çözümler deneysel ve simülasyon sonuçları ile karşılaştırmalar yapılarak geliştirilmişlerdir (Parga-Landa ve ark. 1995).

Bir merminin hedefe çarpması sırasında mermi ve hedefteki gerilme ve deformasyonlarla ile hedef malzemesinin balistik performansının belirlenmesinde en güvenilir sonuçlar deneysel olarak elde edilir. Deneysel çalışmalarda kullanılan test düzeneğinin şematik görünüşü aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Deney düzeneği; atış namlusu ve mekanizmasının bağlı olduğu atış sehпасı, mermi hız ölçümü için kullanılan iki adet ekranlı kronograf, test numunesinin arkasına yerleştirilen macun yardımıyla travma derinliğinin ölçüldüğü arka kısım malzemesinden oluşur. Arka kısım malzemesi test numunesi formunda biçimlendirilir ve elastik bantlarla numune bağlanır. Atış sonrası test materyali arka kısım malzemesinden fiziksel formunu bozmayacak şekilde ayrılır ve herhangi bir delinmenin olup olmadığına bakılır. Delinme meydana gelmemişse arka kısım malzemesindeki çöküntü mesafesi (travma derinliği) ölçülür. Travma derinliği NIJ 0101,03 standardına göre 4,4 cm'den daha fazla olmamalıdır.



Şekil-32: Balistik test düzeneği

KAYNAK: NIJ Law Enforcement And Corrections standarts And Testing Progam.Ballistic Resistance of personal body armor. NIJ Standard-0101.04

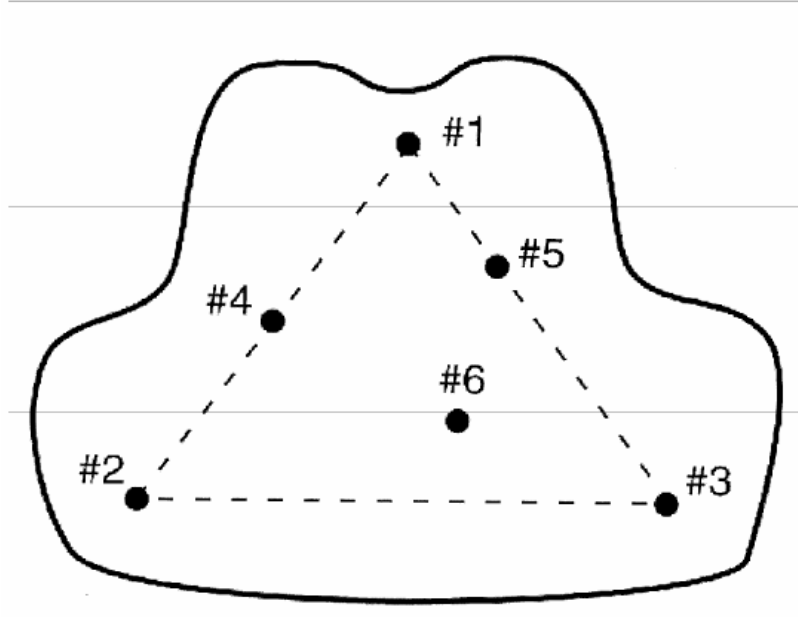
NIJ standardına göre kişisel vücut zırhının balistik koruyucu direnci ölçüldüğü için test malzemesi olarak balistik koruyucu yelek ele alınmıştır. Yelekler ön ve arka olmak üzere iki parça şeklinde ve ıslak-kuru olarak test edilirler.

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. 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, $63,5 \pm 0,05$ mm çapında çelik bilye ile 2 m yükseklikten, kenarlardan 6 ± 3 mm içeriden ve merkezler arası 203 ± 25 mm olacak şekilde 5 adet serbest düşüş hareketi yapılır. Çelik bilyenin yaptığı çukur derinlikleri ölçülerek aritmetik ortalaması alınır. Aritmetik ortalama 20 ± 3 mm olduğu zaman destek malzemesi teste hazır demektir.

Yelekler ve destek malzemesi test düzeneğine sıkıca yerleştirilir. Destek malzemesi yeleklere tam temas edecek, arada boşluklar, çukurluklar kalmayacaktır.

İstenilen koruma seviyesine göre aşağıdaki çizelgedeki mermiler ve silahlarla yelek üzerindeki işaretli yerlere atışlar yapılır. Aşağıdaki şekilde yelek üzerinde atış yapılacak noktalar görülmektedir.



Şekil-33: Yelek üzerinde test atışlarının yapılacağı noktalar
KAYNAK: NIJ Law Enforcement And Corrections standarts And Testing
Progam. Ballistic Resistance of personal bady armor. NIJ Standard-0101.04

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 standardına göre balistik koruma seviyesi toplam altı sınıfa ayrılmıştır, her bir sınıfın gerektirdiği nitelikler şunlardır;

Seviye I: Seviye I zırhlar, kütlesi 2.6 g (124 gain) 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 gain) 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.

Seviye IIA: Seviye IIA zırhlar, kütlesi 8.0 g (124 gain) 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 gain) 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.

Seviye II: Seviye II zırhlar, kütlesi 8.0 g (124 gain) 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 gain) olan ve 427 m/s (1400 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 357 Magnum Yumuşak Nokta Kaplama Mermilere (JSP) karşı korur.

Seviye IIIA: Seviye IIIA zırhlar, kütlesi 8.0 g (124 gain) 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 (240gain) olan ve 427 m/s (1400 ft/s) veya daha düşük hızla etki eden 44 Magnum Kaplama Çukur Nokta Mermilere (JHP) karşı korur.

Seviye III: Seviye III zırhlar, kütlesi 9.6 g (148 gain) 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.

Seviye IV: Seviye IV zırhlar, kütlesi 10.8 g (166 gain) 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.

Özel Tip: Yukarıda bahsedilen standart tiplerden ve tehdit düzeylerinden başka bir koruma seviyesi için özel bir ihtiyacı olan alıcı tam test atışları ve kullanılacak asgari referans etki hızlarını belirtmeli ve bu standardın bütün diğer cephelerde etkili olacağını bildirmelidir (NIJ Standard-0101.04).

Çizelge-8: Balistik koruma seviyeleri

Test Değişkenleri					Performans Değerleri			
Zırh Tipi	Test Raundu	Test Mermisi	Mermi ağırlığı	Referans Hız(mt/sn)	0° isabet açısıyla zırhlı başına isabet	Maksimum Travma Derinliği	30° isabet açısıyla zırhlı başına isabet	Toplam Atış Sayısı
I	1	.22 kalibre LR LRN	2.6 g	329	4	44 mm	2	48
	2	.380 ACP FMJ RN	40 g	322	4	44 mm	2	
IIA	1	9 mm FMJ RN	8.0 g	341	4	44 mm	2	48
	2	40 S&W FMJ	124 g	322	4	44 mm	2	
II	1	9 mm FMJ RN	8 g	367	4	44 mm	2	48
	2	357 Mag JSP	10.2 g	436	4	44 mm	2	
IIIA	1	9 mm FMJ RN	8.2 g	436	4	44 mm	2	48
	2	44 Mag SJHP	124 g	436	4	44 mm	2	
III	1	7.62 mm NATO FMJ	9.6 g	847	6	44 mm	0	12
IV	1	.30 caliber M2 AP	10.8 g	878	1	44 mm	0	2
Özel	*	*	*	*	*	44 mm	*	*

KAYNAK: NIJ Law Enforcement And Corrections standarts And Testing Progam.Ballistic Resistance of personal bady armor. NIJ Standard-0101.04

Yukarıdaki çizelgede .22 LR 133 Jul; .357 Mag 903 Jul; .44 Mag 1416 Jul; 7.62 mm 3406 Jul ve .30-06 4068 jul'luk bir enerjiyi ifade etmektedir (Thomas, 2001).

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 (Temiz 2005).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Tela Malzemesi

Bu çalışmada 18 g/m^2 , 28 g/m^2 ve 45 g/m^2 olmak üzere farklı gramajlardaki polietilen dokusuz yüzey tela malzemesi kullanılmıştır.

2.1.2. Kolloidal silika dispersiyonu

Ticari olarak Antisima K, Antisima N ve Flexofix FL olarak bilinen ve atkı çözgü ipliklerinin kaymalarını önlemek için apre malzemesi olarak kullanılan, silikon dioksit mikro parçacıklarından oluşan kolloidal silika dispersiyonları kullanılmıştır.

Çizelge-9: Antisima K Ürün Özellikleri

İşlevi	Atkı ve Çözgü ipliklerinin kaymalarını önlemek için apre malzemesi
Kimyasal yapısı	Silikon dioksit mikro parçacıklarından oluşan kolloidal reaktif silika dispersiyonu
İyonik Karakteri	Hafif katyonik
pH değeri(%10'luk çözelti)	9.1 – 10.9
Özgül Ağırlığı(20 °C'de)	1.09 g/cm ³
Görünümü	Bulanık sıvı

KAYNAK: Lamberti Ürün Katoloğu

Çizelge-10: Antisima N Ürün Özellikleri

İşlevi	Atkı ve Çözgü ipliklerinin kaymalarını önlemek için apre malzemesi
Kimyasal yapısı	Silikon dioksit mikro parçacıklarından oluşan kolloidal non-reaktif silika dispersiyonu
İyonik Karakteri	Anyonik-Nanyonik
pH değeri(%10'luk çözelti)	9.5 – 10.5
Özgül Ağırlığı(20 °C'de)	1.11 g/cm ³
Görünümü	Bulanık sıvı

KAYNAK: Lamberti Ürün Katoloğu

Çizlege-11: Flexofix FL Ürün Özellikleri

İşlevi	Kayma önleyici apre malzemesi
Kimyasal yapısı	Modifiye polisilik asit bileşimi
İyonik Karakteri	Katyonik
pH değeri(%10'luk çözelti)	4 – 5
Özgül Ağırlığı(20 °C'de)	1.17 g/cm ³
Görünümü	Opak sıvı

KAYNAK: CHT Ürün Katoloğu

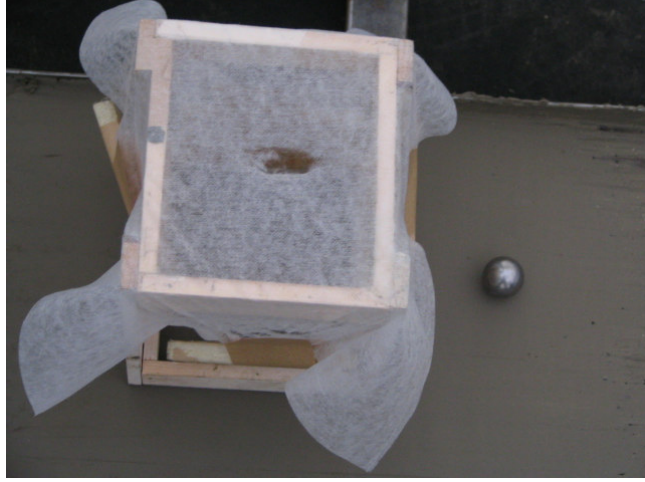
2.2. Yöntem

2.2.1. Numune Üretimi

Öncelikle 20, 30, 40 ve 50 g/l konsantrasyonlarında silika dispersiyonları hazırlanmıştır. Ardından 4 m/d hız ile 3 bar basınç altında pad-batch (emdirme+soğuk bekletme) yöntemiyle %70 alınan flotte (silika çözeltisi) oranıyla, malzeme 30cm x 30cm boyutlarında kesilen telalara aktarılmış ve ardından 125 °C'de 3 d süreyle kuru havayla fiske (bağlama) işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada her bir silika dispersiyonu ve her bir konsantrasyon için dörder adet numune hazırlanmış ve test edilmiştir.

2.2.2. Deneyin Yapılışı

Silika dispersiyonunun tela malzemesinin enerji yutumuna olan etkisini ölçmek amacıyla enerjinin korunumu prensibinden faydalanılmıştır. Bu amaçla 30cm x 30cm boyutlarında oluşturulan tela malzemeleri 13cm x 13cm boyutlarındaki kare bir çerçeve üzerine tam ortalanacak şekilde her bir kenarına 300 g'lık ağırlıklar takılarak gerili bir halde yerleştirilmiştir.



Şekil-34: Deney düzeneği

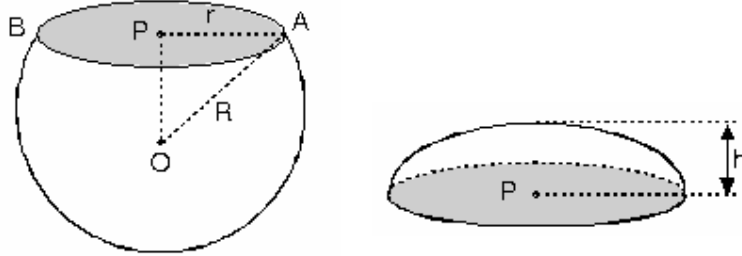
Şekilde gözüktüğü üzere, kare çerçevenin arkasına yapılan enerji yutumunu belirlemek amacıyla şahit numune (macun tabaka) yerleştirilmiştir. Ardından belirli bir yükseklikten 23.6 mm çapa ve 55.1 g ağırlığa sahip olan küresel bir bilye ile tela malzemesinin tam orta noktasına isabet edecek şekilde her bir konsantrasyon ve gramaj için dört adet olmak üzere serbest atışlar yapılmıştır. Telayı delip geçen küresel bilyenin arka kısımda bulunan şahit numuneye yapmış olduğu çukurun çapı ölçülmüş ve buna bağlı olarak çukurun derinliği hesaplanmıştır (travma derinliği).



Şekil-35: Bilyenin şahit numune üzerinde oluşturduğu çukur

Şahit numunede bilyenin oluşturduğu çukurun çapının veya yüksekliğinin ne kadar düşük çıkması yapılan enerji yutumunun o oranda arttığına bir göstergesi olarak ele alınmıştır. Antisima K ve Antisima N ile kaplanmış numunelere 96 cm yükseklikten, Flexofix FL ile kaplanmış numunelere ise 60 cm yükseklikten serbest atış gerçekleştirilmiştir. Burada iki farklı yükseklik değerinin seçilmesinin nedeni; farklı

bilye hızlarında tela malzemesinin enerji yutumundaki değişimin gözlenebilmesi amaçlıdır.



Şekil-36: Bilyenin kil tanığı üzerindeki simülasyonu
KAYNAK: <http://www.matematikci.org/oss/geometri/17.htm>, 2007

Yukarıdaki şekilde h; bilyenin kil tanığına batan kısmının yani derinliği, r; bilyenin şahit numuneye batan kısmının yarıçapını, R ise bilyenin yarıçapını ifade etmektedir. r değeri kumpasla ölçülmüş, h değeri ise Pisagor bağıntısından faydalanılarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır;

$$h = R - [(R-r)*(R+r)]^{0.5} \quad (2.1)$$

Yapılan ölçümlerin hiçbirinde bilyenin çapına eşit bir çap değeri elde edilmediği için yukarıdaki denklem geçerliliğini korumuştur. Yukarıdaki şekilde gözüktüğü üzere serbest atış yaptırılan bilye, şahit numune üzerinde kesik küre şeklinde bir çukur alan oluşturmaktadır. Oluşan bu kesik kürenin alanı ve hacmi aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Küre Kapağının Alanı} = 2\pi R h \quad (2.2)$$

$$\text{Küre Parçasının Hacmi} = 2\pi R^2 h / 3 \quad (2.3)$$

96 cm yükseklikten bilye tela malzemesi olmaksızın şahit numune üzerine atıldığında şahit numune üzerinde 9.75mm (r) yarıçapında ve 5.15 mm (h)

yükseklğinde küresel bir alan oluşturmuştur. 2.3 numaralı formül kullanılarak oluşan bu çukurun hacmi $1501 \times 10^{-9} \text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. 96 cm yüksekliğindeki bilye mgh formülünden göre $52896 \times 10^{-6} \text{J}$ 'lük bir potansiyel enerjiye sahiptir. Dolayısıyla 96 cm yüksekliğinden macun şahit numunede 1m^3 bir hacim oluşturabilmek için gerekli olan enerji miktarı $52896 \times 10^{-6} / 1501 \times 10^{-9} = 35240 \text{ J/m}^3$ olarak bulunmuştur. 60 cm yüksekliğinden yapılan atışta ise şahit numunede 9.15mm(r) yarıçapında ve 4.35 mm(h) yüksekliğinde küresel bir alan oluşmuştur. Bu yükseklikten şahit numune üzerinde 1m^3 bir hacim oluşturabilmek için gerekli olan enerji miktarı $33060 \times 10^{-6} / 1268 \times 10^{-9} = 26072 \text{ J/m}^3$ olarak bulunmuştur. Atış yüksekliğinin artmasıyla birlikte bilyenin şahit numune içine saplanan kısmı arttığı için sürtünme yüzeyi artmış ve dolayısıyla 1m^3 hacim oluşturabilmek için gerekli olan enerji miktarı daha yüksek olmuştur.

Yapılan bütün deneylerin her biri için şahit numune üzerinde oluşan çukurun hacmi hesaplanmış ve yukarıda hesaplanan birim hacim başına düşen enerji miktarından bilyenin şahit numuneye temas ettiği andaki enerjisi bulunmuştur. Hava sürtünmesi ihmal edilerek, bilyenin başlangıçtaki potansiyel enerjisinden bu kalan enerji miktarı çıkarıldığında, tela malzemesinin absorbladığı enerji miktarı bulunmuştur.

2.2.3. Deneysel Verilerin İstatistiksel Analizi

Silika dispersiyonun enerji yutumuna olan etkisini inceleyebilmek ve sonuçları nesnel bir biçimde yorumlayabilmek için ölçümlerden elde edilen deneysel verinin istatistiksel analizi zorunludur. Burada analiz maksadıyla tek değişkenli ANOVA (Analysis of Variance) tekniği kullanılmıştır. Her bir kimyasal için silika dispersiyonunun konsantrasyonu ve tela malzemesinin gramajı değişken olarak ele alınmış ve dolayısıyla iki faktörlü varyans analizi yapılarak deneylerin istatistiksel analizi gerçekleştirilmiştir. Matematiksel model aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur;

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + M_j + TM_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2.4)$$

Modelde,

- Y: Denejde gözlemlenen veri (Bağımlı Değişken)
- μ : Denejden gözlemlenen verilerden yola çıkarak tahmin edilen yığın ortalaması
- T_i : Konsantrasyonun i.inci seviyesindeki etkisi
- M_j : Tela gramajının j.inci seviyesindeki etkisi
- TM_{ij} : Konsantrasyonun i.nci seviyesi ile tela gramajının j.inci seviyesinin etkileşimli etkisi
- ε : Kuramsal olarak açıklanamayan hata

Yapılan bu modele göre şu hipotezler ortaya atılmıştır;

$H_{01} : T_i = 0$ (Orişinal hipotez kabul; konsantrasyonun etkisi yoktur)

$H_{A1} : T_i \neq 0$ (Orişinal hipotez ret; konsantrasyonun etkisi vardır)

$H_{02} : M_j = 0$ (Orişinal hipotez kabul; tela gramajının etkisi yoktur)

$H_{A2} : M_j \neq 0$ (Orişinal hipotez ret; tela gramajının etkisi vardır)

$H_{03} : TM_{ii} = 0$ (Orişinal hipotez kabul; konsantrasyon ile gramajın kesişiminin etkisi vardır)

$H_{A3} : TM_{ii} \neq 0$ (Orişinal hipotez ret; konsantrasyon ile gramajın kesişiminin etkisi yoktur)

3.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Aşağıdaki çizelgelerde Antisima K, Antisima N ve Flexofix FL için elde edilen test değerleri verilmiştir.

Çizelge-12: Antisima K için ölçüm sonuçları

Antisima K							
Kons. (g/l)	Gramaj (g/m ²)	Çap (mm)	Derinlik (mm)	Hacim (mm ³)	Kalan Enerji(J)	Yutulan Enerji(J)	Yutulan Enerji(%)
0	18	18.60	4.54	1322.45	0.04660	0.00629	11.90
0	18	18.5	4.47	1303.92	0.04595	0.00695	13.13
0	18	18.7	4.60	1341.24	0.04727	0.00563	10.64
0	18	18.5	4.47	1303.92	0.04595	0.00695	13.13
0	28	18.6	4.54	1322.45	0.04660	0.00629	11.90
0	28	18.3	4.35	1267.63	0.04467	0.00822	15.55
0	28	18.4	4.41	1285.65	0.04531	0.00759	14.35
0	28	18.3	4.35	1267.63	0.04467	0.00822	15.55
0	45	18.3	4.35	1267.63	0.04467	0.00822	15.55
0	45	18.1	4.23	1232.31	0.04343	0.00947	17.90
0	45	18.1	4.23	1232.31	0.04343	0.00947	17.90
0	45	18.1	4.23	1232.31	0.04343	0.00947	17.90
20	18	18.7	4.60	1341.24	0.04727	0.00563	10.64
20	18	18.2	4.29	1249.85	0.04404	0.00885	16.73
20	18	18.4	4.41	1285.65	0.04531	0.00759	14.35
20	18	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
20	28	17	3.62	1053.76	0.03713	0.01576	29.80
20	28	17.5	3.88	1131.83	0.03989	0.01301	24.60
20	28	17.5	3.88	1131.83	0.03989	0.01301	24.60
20	28	17.4	3.83	1115.82	0.03932	0.01357	25.66
20	45	16.7	3.46	1009.17	0.03556	0.01733	32.77
20	45	16.5	3.36	980.33	0.03455	0.01835	34.69
20	45	16.4	3.31	966.16	0.03405	0.01885	35.63
20	45	16.6	3.41	994.66	0.03505	0.01784	33.73
30	18	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
30	18	17.7	4.00	1164.46	0.04104	0.01186	22.42
30	18	17.3	3.77	1100.01	0.03876	0.01413	26.72

Kons. (g/l)	Gramaj (g/m ²)	Çap (mm)	Derinlik (mm)	Hacim (mm ³)	Kalan Enerji(J)	Yutulan Enerji(J)	Yutulan Enerji(%)
30	18	17.1	3.67	1068.99	0.03767	0.01522	28.78
30	28	17.2	3.72	1084.41	0.03821	0.01468	27.76
30	28	16.7	3.46	1009.17	0.03556	0.01733	32.77
30	28	16.5	3.36	980.33	0.03455	0.01835	34.69
30	28	16.3	3.27	952.16	0.03355	0.01934	36.57
30	45	16.4	3.31	966.16	0.03405	0.01885	35.63
30	45	16.2	3.22	938.32	0.03307	0.01983	37.49
30	45	16.3	3.27	952.16	0.03355	0.01934	36.57
30	45	16.4	3.31	966.16	0.03405	0.01885	35.63
40	18	17.2	3.72	1084.41	0.03821	0.01468	27.76
40	18	17.2	3.72	1084.41	0.03821	0.01468	27.76
40	18	17.1	3.67	1068.99	0.03767	0.01522	28.78
40	18	17.3	3.77	1100.01	0.03876	0.01413	26.72
40	28	16.8	3.51	1023.86	0.03608	0.01682	31.79
40	28	16.7	3.46	1009.17	0.03556	0.01733	32.77
40	28	16.5	3.36	980.33	0.03455	0.01835	34.69
40	28	16.4	3.31	966.16	0.03405	0.01885	35.63
40	45	16.6	3.41	994.66	0.03505	0.01784	33.73
40	45	15.6	2.95	858.58	0.03026	0.02264	42.80
40	45	16.7	3.46	1009.17	0.03556	0.01733	32.77
40	45	16.2	3.22	938.32	0.03307	0.01983	37.49
50	18	17.4	3.83	1115.82	0.03932	0.01357	25.66
50	18	17.3	3.77	1100.01	0.03876	0.01413	26.72
50	18	17	3.62	1053.76	0.03713	0.01576	29.80
50	18	17	3.62	1053.76	0.03713	0.01576	29.80
50	28	17.3	3.77	1100.01	0.03876	0.01413	26.72
50	28	17	3.62	1053.76	0.03713	0.01576	29.80
50	28	16.7	3.46	1009.17	0.03556	0.01733	32.77
50	28	16.5	3.36	980.33	0.03455	0.01835	34.69
50	45	15.4	2.86	833.19	0.02936	0.02353	44.49
50	45	16.5	3.36	980.33	0.03455	0.01835	34.69
50	45	16.5	3.36	980.33	0.03455	0.01835	34.69
50	45	16.3	3.27	952.16	0.03355	0.01934	36.57

Çizleđe-13: Antisima N için ölçüm sonuçları

Antisima N							
Kons. (g/l)	Gramaj (g/m ²)	Çap (mm)	Derinlik (mm)	Hacim (mm ³)	Kalan Enerji(J)	Yutulmuş Enerji(J)	Yutulmuş Enerji(%)
0	18	18.6	4.54	1322.45	0.04660	0.00629	11.90
0	18	18.5	4.47	1303.92	0.04595	0.00695	13.13
0	18	18.7	4.60	1341.24	0.04727	0.00563	10.64
0	18	18.5	4.47	1303.92	0.04595	0.00695	13.13
0	28	18.6	4.54	1322.45	0.04660	0.00629	11.90
0	28	18.3	4.35	1267.63	0.04467	0.00822	15.55
0	28	18.4	4.41	1285.65	0.04531	0.00759	14.35
0	28	18.3	4.35	1267.63	0.04467	0.00822	15.55
0	45	18.3	4.35	1267.63	0.04467	0.00822	15.55
0	45	18.1	4.23	1232.31	0.04343	0.00947	17.90
0	45	18.1	4.23	1232.31	0.04343	0.00947	17.90
0	45	18.1	4.23	1232.31	0.04343	0.00947	17.90
20	18	18.2	4.29	1249.85	0.04404	0.00885	16.73
20	18	18.4	4.41	1285.65	0.04531	0.00759	14.35
20	18	17.9	4.11	1197.94	0.04222	0.01068	20.19
20	18	18.6	4.54	1322.45	0.04660	0.00629	11.90
20	28	18.1	4.23	1232.31	0.04343	0.00947	17.90
20	28	18.4	4.41	1285.65	0.04531	0.00759	14.35
20	28	18.1	4.23	1232.31	0.04343	0.00947	17.90
20	28	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
20	45	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
20	45	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
20	45	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
20	45	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
30	18	18.9	4.73	1379.66	0.04862	0.00428	8.09
30	18	18.3	4.35	1267.63	0.04467	0.00822	15.55
30	18	18.7	4.60	1341.24	0.04727	0.00563	10.64
30	18	18.2	4.29	1249.85	0.04404	0.00885	16.73
30	28	18.1	4.23	1232.31	0.04343	0.00947	17.90
30	28	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
30	28	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
30	28	18.1	4.23	1232.31	0.04343	0.00947	17.90
30	45	17.7	4.00	1164.46	0.04104	0.01186	22.42
30	45	17.5	3.88	1131.83	0.03989	0.01301	24.60

Kons. (g/l)	Gramaj (g/m ²)	Çap (mm)	Derinlik (mm)	Hacim (mm ³)	Kalan Enerji(J)	Yutulan Enerji(J)	Yutulan Enerji(%)
30	45	17.7	4.00	1164.46	0.04104	0.01186	22.42
30	45	17.4	3.83	1115.82	0.03932	0.01357	25.66
40	18	18.8	4.67	1360.31	0.04794	0.00496	9.37
40	18	18.4	4.41	1285.65	0.04531	0.00759	14.35
40	18	18.3	4.35	1267.63	0.04467	0.00822	15.55
40	18	18.5	4.47	1303.92	0.04595	0.00695	13.13
40	28	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
40	28	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
40	28	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
40	28	18	4.17	1215.01	0.04282	0.01008	19.05
40	45	17.5	3.88	1131.83	0.03989	0.01301	24.60
40	45	17.1	3.67	1068.99	0.03767	0.01522	28.78
40	45	17.3	3.77	1100.01	0.03876	0.01413	26.72
40	45	17.4	3.83	1115.82	0.03932	0.01357	25.66
50	18	18.8	4.67	1360.31	0.04794	0.00496	9.37
50	18	18.9	4.73	1379.66	0.04862	0.00428	8.09
50	18	18.6	4.54	1322.45	0.04660	0.00629	11.90
50	18	17.6	3.94	1148.04	0.04046	0.01244	23.52
50	28	17.7	4.00	1164.46	0.04104	0.01186	22.42
50	28	17.8	4.05	1181.09	0.04162	0.01127	21.31
50	28	17.1	3.67	1068.99	0.03767	0.01522	28.78
50	28	17.5	3.88	1131.83	0.03989	0.01301	24.60
50	45	16.8	3.51	1023.86	0.03608	0.01682	31.79
50	45	16.9	3.56	1038.72	0.03660	0.01629	30.80
50	45	16.7	3.46	1009.17	0.03556	0.01733	32.77
50	45	16.3	3.27	952.16	0.03355	0.01934	36.57

Çizelge-14: Flexofix FL için ölçüm sonuçları

Flexofix FL							
Kons. (g/l)	Gramaj (g/m ²)	Çap (mm)	Derinlik (mm)	Hacim (mm ³)	Kalan Enerji(J)	Yutulan Enerji(J)	Yutulan Enerji(%)
0	18	17.8	4.05	1181.09	0.03079	0.00227	6.86
0	18	17.6	3.94	1148.04	0.02993	0.00313	9.46
0	18	17.5	3.88	1131.83	0.02951	0.00355	10.74
0	18	17.7	4.00	1164.46	0.03036	0.00270	8.17

Kons. (g/l)	Gramaj (g/m ²)	Çap (mm)	Derinlik (mm)	Hacim (mm ³)	Kalan Enerji(J)	Yutulan Enerji(J)	Yutulan Enerji(%)
0	28	17.4	3.83	1115.82	0.02909	0.00397	12.00
0	28	16.9	3.56	1038.72	0.02708	0.00598	18.08
0	28	16.8	3.51	1023.86	0.02669	0.00637	19.26
0	28	17	3.62	1053.76	0.02747	0.00559	16.90
0	45	16.3	3.27	952.16	0.02482	0.00824	24.91
0	45	16.5	3.36	980.33	0.02556	0.00750	22.69
0	45	16	3.13	911.12	0.02375	0.00931	28.15
0	45	16.4	3.31	966.16	0.02519	0.00787	23.81
20	18	17.2	3.72	1084.41	0.02827	0.00479	14.48
20	18	17.2	3.72	1084.41	0.02827	0.00479	14.48
20	18	17.1	3.67	1068.99	0.02787	0.00519	15.70
20	18	17.1	3.67	1068.99	0.02787	0.00519	15.70
20	28	16.4	3.31	966.16	0.02519	0.00787	23.81
20	28	16.4	3.31	966.16	0.02519	0.00787	23.81
20	28	16.3	3.27	952.16	0.02482	0.00824	24.91
20	28	16.3	3.27	952.16	0.02482	0.00824	24.91
20	45	15.7	2.99	871.49	0.02272	0.01034	31.27
20	45	15.9	3.08	897.76	0.02341	0.00965	29.20
20	45	16.2	3.22	938.32	0.02446	0.00860	26.00
20	45	16	3.13	911.12	0.02375	0.00931	28.15
30	18	16.6	3.41	994.66	0.02593	0.00713	21.56
30	18	17	3.62	1053.76	0.02747	0.00559	16.90
30	18	17	3.62	1053.76	0.02747	0.00559	16.90
30	18	17.1	3.67	1068.99	0.02787	0.00519	15.70
30	28	16.3	3.27	952.16	0.02482	0.00824	24.91
30	28	16.2	3.22	938.32	0.02446	0.00860	26.00
30	28	16.4	3.31	966.16	0.02519	0.00787	23.81
30	28	16.4	3.31	966.16	0.02519	0.00787	23.81
30	45	15.7	2.99	871.49	0.02272	0.01034	31.27
30	45	15.9	3.08	897.76	0.02341	0.00965	29.20
30	45	15.9	3.08	897.76	0.02341	0.00965	29.20
30	45	15.7	2.99	871.49	0.02272	0.01034	31.27
40	18	16.4	3.31	966.16	0.02519	0.00787	23.81
40	18	16.4	3.31	966.16	0.02519	0.00787	23.81
40	18	16.5	3.36	980.33	0.02556	0.00750	22.69

Kons. (g/l)	Gramaj (g/m ²)	Çap (mm)	Derinlik (mm)	Hacim (mm ³)	Kalan Enerji(J)	Yutulan Enerji(J)	Yutulan Enerji(%)
40	18	16.8	3.51	1023.86	0.02669	0.00637	19.26
40	28	16.1	3.17	924.64	0.02411	0.00895	27.08
40	28	16	3.13	911.12	0.02375	0.00931	28.15
40	28	16.3	3.27	952.16	0.02482	0.00824	24.91
40	28	16	3.13	911.12	0.02375	0.00931	28.15
40	45	15.1	2.73	796.17	0.02076	0.01230	37.21
40	45	15.5	2.90	845.81	0.02205	0.01101	33.30
40	45	15	2.69	784.10	0.02044	0.01262	38.16
40	45	15.2	2.77	808.37	0.02108	0.01198	36.25
50	18	16	3.13	911.12	0.02375	0.00931	28.15
50	18	15.9	3.08	897.76	0.02341	0.00965	29.20
50	18	15.7	2.99	871.49	0.02272	0.01034	31.27
50	18	15.8	3.03	884.55	0.02306	0.01000	30.24
50	28	15.5	2.90	845.81	0.02205	0.01101	33.30
50	28	15.1	2.73	796.17	0.02076	0.01230	37.21
50	28	15.4	2.86	833.19	0.02172	0.01134	34.29
50	28	15.3	2.82	820.71	0.02140	0.01166	35.28
50	45	15	2.69	784.10	0.02044	0.01262	38.16
50	45	14.5	2.49	725.75	0.01892	0.01414	42.77
50	45	14	2.30	670.55	0.01748	0.01558	47.12
50	45	14.2	2.38	692.26	0.01805	0.01501	45.41

Yapılan istatistiksel analiz sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge-15: Antisima K için ANOVA çizelgesi
Bağımlı Değişken: Yutulan Enerji(%)

Varyans Kaynağı	SS	Df	MS	F İstatistik	P
GRAMAJ	1206.12	2	603.06	73.28	.0000 ***
KONSANTRASYON	2804.36	4	701.09	85.19	.0000 ***
GRAMAJ * KONS.	245.96	8	30.74	3,74	.0020 **
Hata	370.31	45	8.23		
Toplam	4626.76	59			

Çizelge-16: Antisima K için SNK (Student Newman Keuls Test) Çizelgesi

Faktör: Gramaj				
Ortalama Hata Kareleri: 8.23				
Serbestlik derecesi:45				
Anlamlılık seviyesi:.05				
LSD.0,5=1.83				
Sınıf	Trt	Ortalama	N	ns aralığı
18 g/m ²	45 g/m ²	32.43	20	A
28 g/m ²	28 g/m ²	27.63	20	B
45 g/m ²	18 g/m ²	21.48	20	C
Faktör: Konsantrasyon				
Ortalama Hata Kareleri: 8.23				
Serbestlik derecesi:45				
Anlamlılık seviyesi:.05				
LSD.0,5=2.36				
Sınıf	Trt	Ortalama	N	ns aralığı
0 g/l	50 g/l	32.72	12	A
20 g/l	40 g/l	32.2	12	A
30 g/l	30 g/l	31.17	12	A
40 g/l	20 g/l	25.18	12	B
50 g/l	0 g/l	14.61	12	C

Antisima K için yapılan analizlere göre hem tela gramajının, hem konsantrasyonun ve bu ikisinin kesişiminin yutulan enerji miktarı üzerine etkisi bulunmaktadır. Yani başlangıçta kurulan üç hipotez de reddedilmiştir. SNK testi sonuçlarına göre % 5 anlamlılık seviyesinde istatistiksel olarak aplikasyon yapılmamış ham telanın enerji yutabilme kabiliyeti diğer bütün konsantrasyonlardan farklıdır. Öte yandan, 50, 40 ve 30 g/l konsantrasyonlardaki tela malzemelerinin absorbladığı enerji miktarları arasında fark yoktur. Her farklı gramajdaki tela malzemesinin absorbladığı enerji miktarları farklı olup; tela gramajının artmasıyla birlikte yutulan enerji miktarında da artış gerçekleşmiştir.

Çizelge-17: Antisima N için ANOVA çizelgesi
Bağımlı Değişken: Yutulan Enerji(%)

Varyans Kaynağı	SS	Df	MS	F İstatistik	P
GRAMAJ	1102.3	2	551.15	69.28	.0000 ***
KONSANTRASYON	506.5	4	126.62	15.91	.0000 ***
GRAMAJ * KONS.	356.91	8	44.61	5.60	.0001 ***
Hata	358	45	7.95		
Toplam	2323.73	59			

Çizelge-18: Antisima N için SNK Çizelgesi

Faktör: Gramaj				
Ortalama Hata Kareleri: 7.95				
Serbestlik derecesi:45				
Anlamlılık seviyesi:.05				
LSD.0,5=1.8				
Sınıf	Trt	Ortalama	N	ns aralığı
18 g/m ²	45 g/m ²	23.91	20	a
28 g/m ²	28 g/m ²	18.68	20	b
45 g/m ²	18 g/m ²	13.41	20	c
Faktör: Konsantrasyon				
Ortalama Hata Kareleri: 7.95				
Serbestlik derecesi:45				
Anlamlılık seviyesi:.05				
LSD.0,5=2.32				
Sınıf	Trt	Ortalama	N	ns aralığı
0 g/l	50 g/l	23.49	12	a
20 g/l	40 g/l	19.53	12	b
30 g/l	30 g/l	18.33	12	b
40 g/l	20 g/l	17.38	12	b
50 g/l	0 g/l	14.61	12	c

Antisima N için kurulan hipotezler de reddedilmiştir; yani tela gramajının, konsantrasyonun ve bu ikisinin kesişiminin enerji yutumuna etkisi bulunmaktadır. 20, 30 ve 40 g/l konsantrasyonlarda yapılan enerji yutumlarının aynı olduğu görülmektedir. Diğer taraftan her bir tela gramajı için farklı enerji yutumu yapılmıştır.

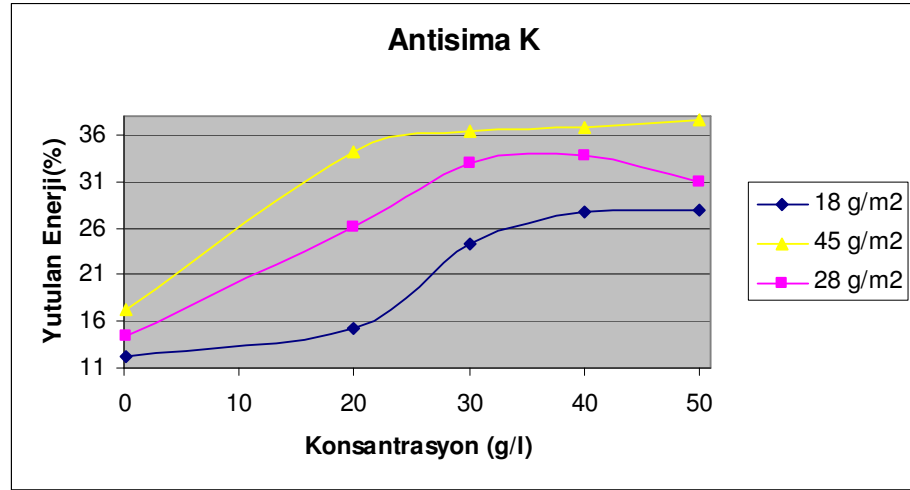
Çizelge-19: Flexofix FL için ANOVA çizelgesi
Bağımlı Değişken: Yutulan Enerji(%)

Varyans Kaynağı	SS	Df	MS	F İstatistik	P
GRAMAJ	1938.4	2	969.2	224.73	.0000 ***
KONSANTRASYON	2474.88	4	618.72	143.46	.0000 ***
GRAMAJ * KONS.	50.826	8	6.35	1.473	.1939 ns
Hata	194.06	45	4.31		
Toplam	4658.18	59			

Çizelge-20: Flexofix FL için SNK Çizelgesi

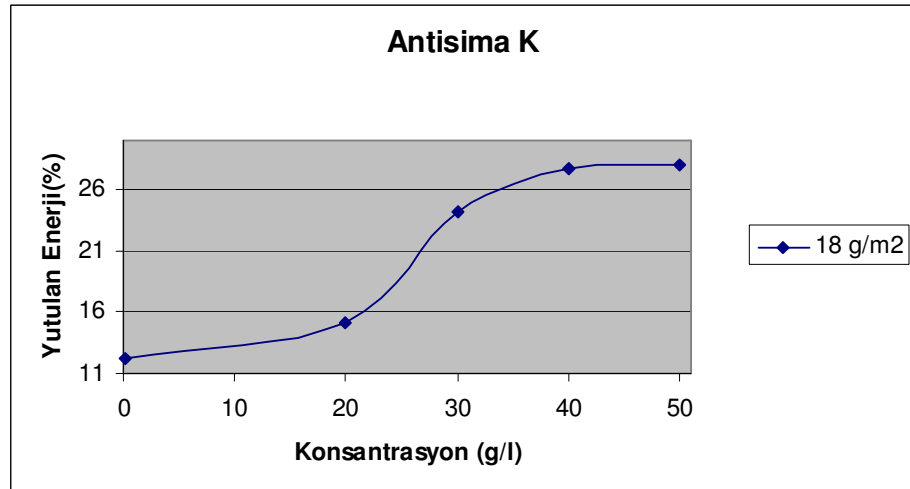
Faktör: Gramaj				
Ortalama Hata Kareleri: 4.31				
Serbestlik derecesi:45				
Anlamlılık seviyesi:.05				
LSD.0,5=1.33				
Sınıf	Trt	Ortalama	N	ns aralığı
18 g/m ²	45 g/m ²	32.67	20	a
28 g/m ²	28 g/m ²	25.52	20	b
45 g/m ²	18 g/m ²	18.75	20	c
Faktör: Konsantrasyon				
Ortalama Hata Kareleri: 4.31				
Serbestlik derecesi:45				
Anlamlılık seviyesi:.05				
LSD.0,5=1.70				
Sınıf	Trt	Ortalama	N	ns aralığı
0 g/l	50 g/l	36.03	12	a
20 g/l	40 g/l	28.56	12	b
30 g/l	30 g/l	24.21	12	c
40 g/l	20 g/l	22.7	12	c
50 g/l	0 g/l	16.75	12	d

Flexofix FL için yapılan analizlere bakıldığında ise gramajın ve konsantrasyonun enerji yutumuna etkisi olduğu; bu ikisinin kesişiminin ise yapılan yutumda bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Burada 30 ve 40 g/l konsantrasyonlarda yapılan enerji yutumu aynı olmakla birlikte bunun dışındaki diğer konsantrasyonlarda yapılan enerji yutumunun farklı olduğu görülmüştür.

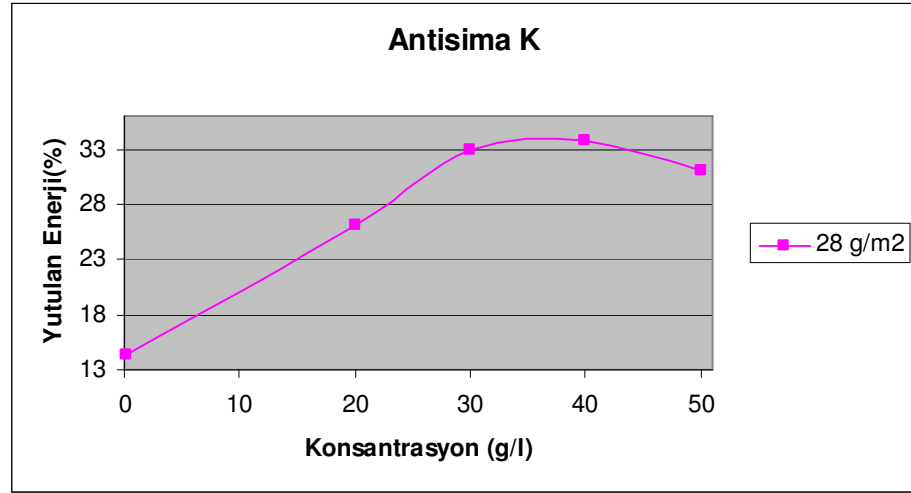


Şekil -37: Antisima K için Konsantrasyon - Yutulmuş Enerji(%) grafiği

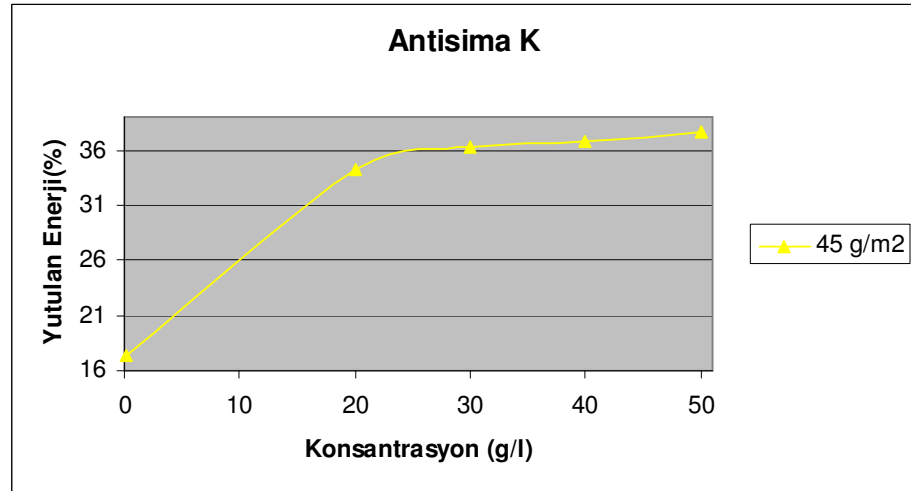
Yukarıdaki grafik incelendiğinde Antisima K için tela gramajının artışıyla birlikte enerji yutumunda artışın gerçekleştiği görülmektedir. Benzer şekilde silika konsantrasyonuna bağlı olarak yutulmuş enerji miktarındaki artış net bir şekilde gözükmemektedir. Her üç gramaj için çizilen eğrilerde genel karakterin başlangıçta konsantrasyona bağlı olarak doğrusal bir artış; belli bir kritik konsantrasyon değerinden sonra ise doygunluğa ulaşan bir eğilim izlediği görülmektedir. Bu eğri karakterinin daha net bir şekilde görülebilmesi için aşağıdaki bireysel gramaj eğrileri çizilmiştir.



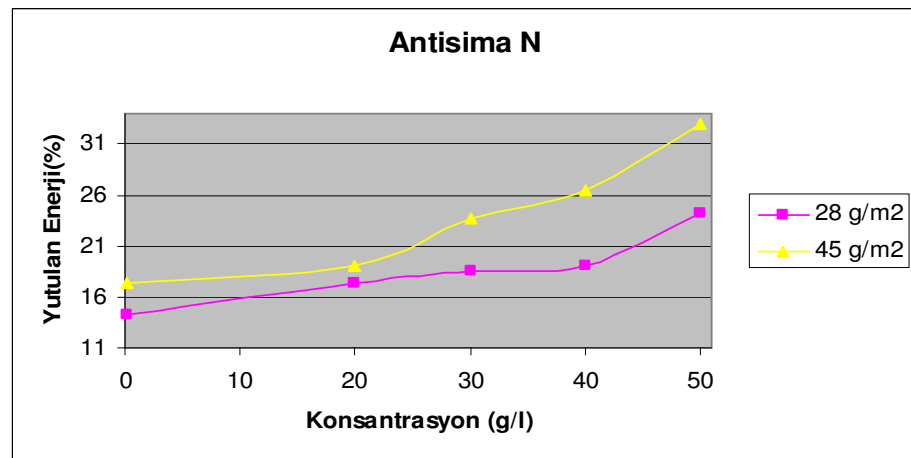
Şekil-38: Antisima K & 18 g/m² için Konsantrasyon -Yutulmuş Enerji grafiği



Şekil-39: Antisima K & 28 g/m² için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği

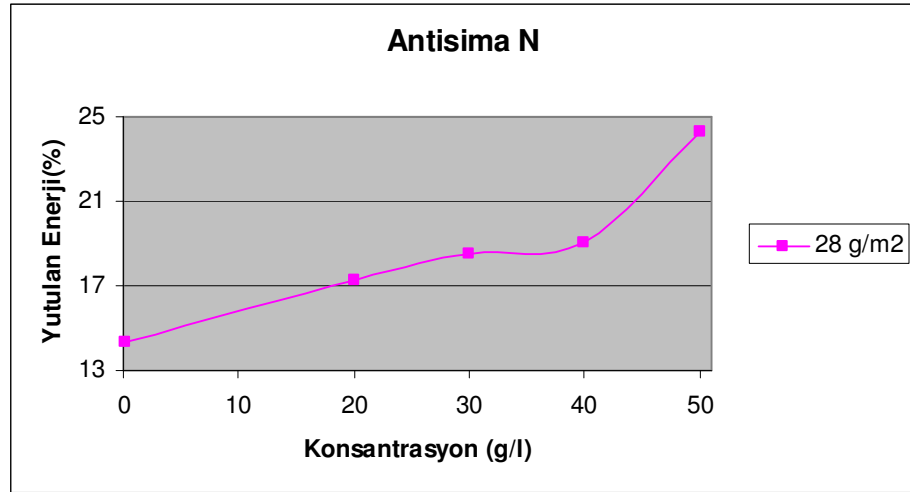


Şekil-40: Antisima K & 45 g/m² için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği

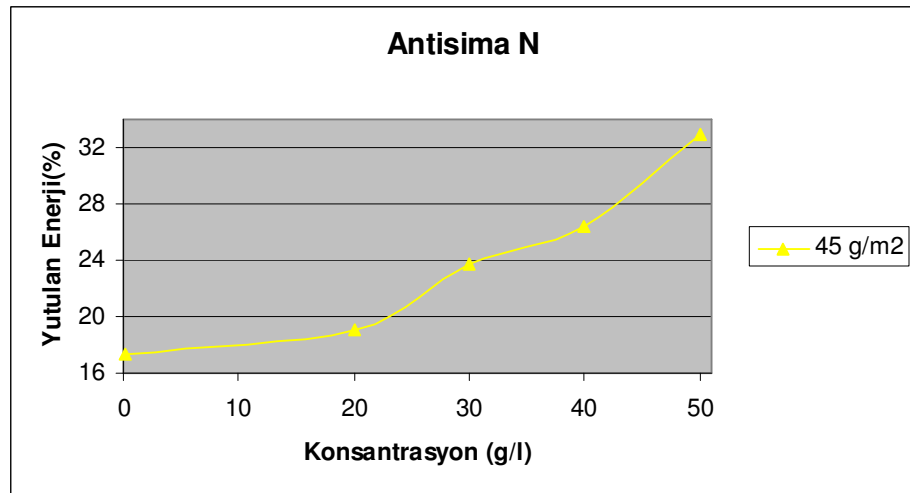


Şekil-41: Antisima N için Konsantrasyon -Yutulan Enerji Grafiği

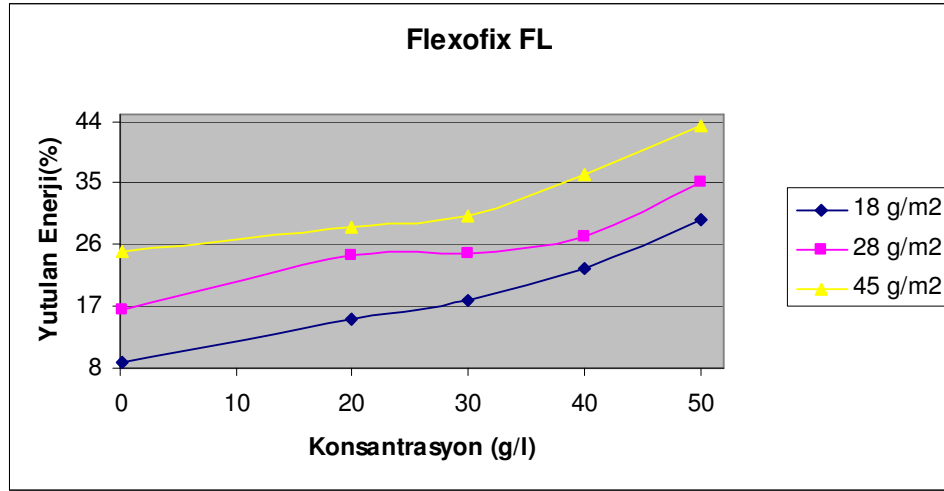
Antisima N için çizilen grafik incelendiğinde ise 45 ve 28 g/m²'lik numunelerde applike edilen silika dispersiyonu konsantrasyonuna bağlı olarak yapılan enerji yutumunda artışın meydana geldiği görülmektedir. 18 g/m²'lik numunelerde ise önce konsantrasyondaki artışla birlikte enerji yutumunda bir artış meydana gelmişken; konsantrasyon daha da artırıldığında yapılan enerji yutumunun ani bir düşüş ve sonrasında da sabitleşen bir karakter çizmektedir. Böyle bir eğrinin elde edilmesinde test yönteminden kaynaklanan bir hatanın meydana gelmiş olması etkili olabileceği gibi gramajın düşüşüyle birlikte lif dağılım homojenliğinin azalması da etkili olmuştur.



Şekil-42: Antisima N&28 g/m² için Konsantrasyon -Yutulmuş Enerji grafiği

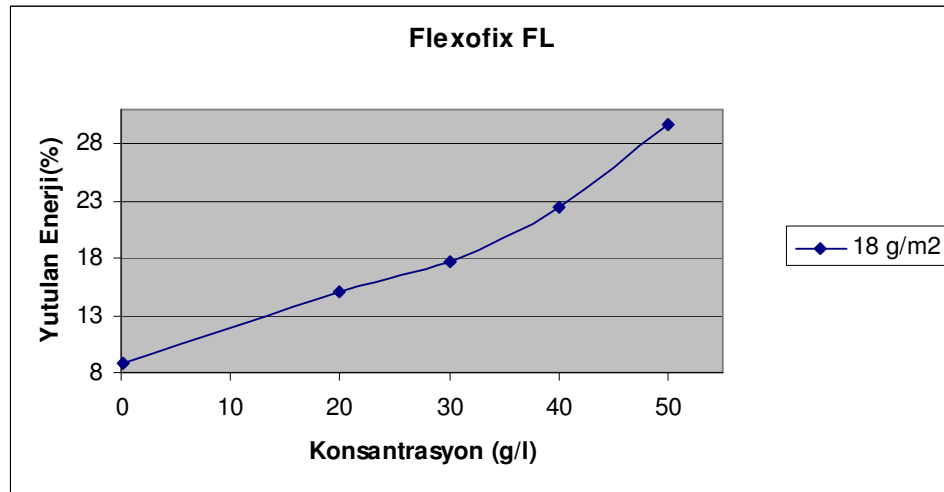


Şekil-43: Antisima N&45 g/m² için Konsantrasyon -Yutulmuş Enerji grafiği

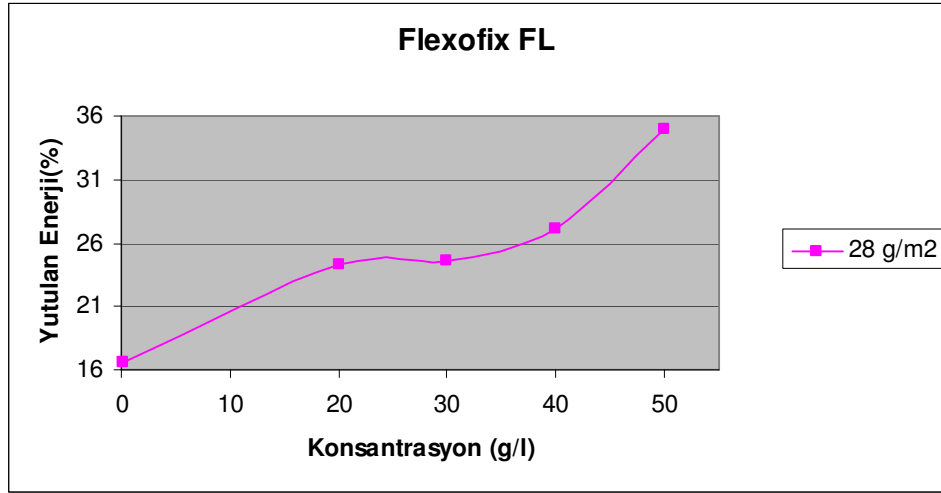


Şekil-44: Flexofix FL için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği

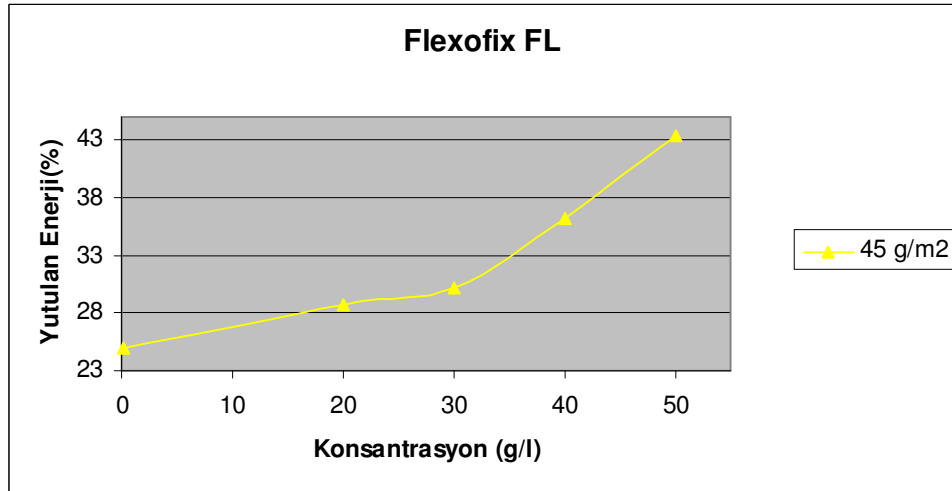
Flexofix FL için çizilen grafik incelendiğinde tela gramajının ve silika konsantrasyonunun artışıyla birlikte yapılan enerji yutusunda da artışın meydana geldiği net bir şekilde görülmektedir. En yüksek enerji yutumu 50 g/l-45 g/m² numunelerde meydana gelmişken en düşük enerji yutumu ise 120 g/m² aplikasyon yapılmamış ham numunelerde gerçekleşmiştir.



Şekil-45: Flexofix FL&18 g/m² için Konsantrasyon -Yutulan Enerji grafiği

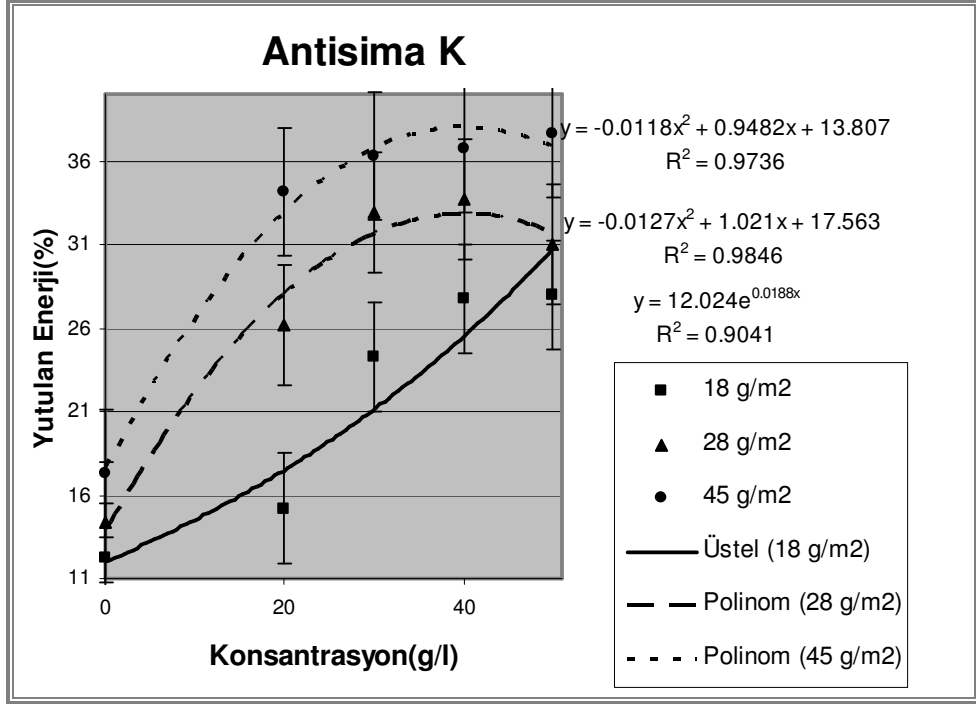


Şekil-46: Flexofix FL&28 g/m² için Konsantrasyon - Yutulan Enerji grafiği

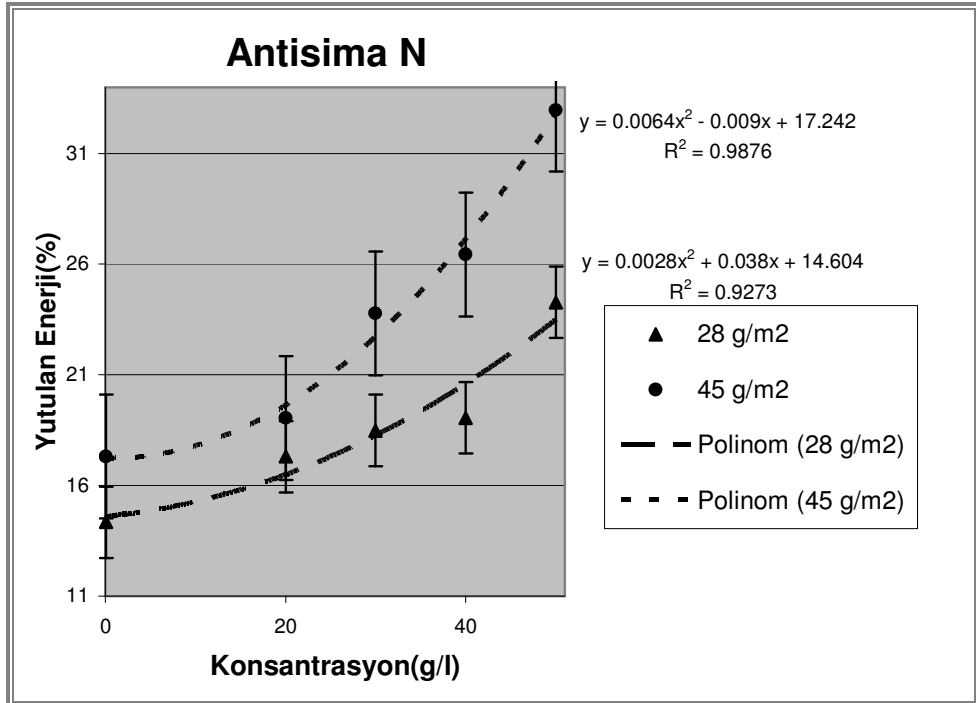


Şekil-47: Flexofix FL&45 g/m² için Konsantrasyon - Yutulan Enerji grafiği

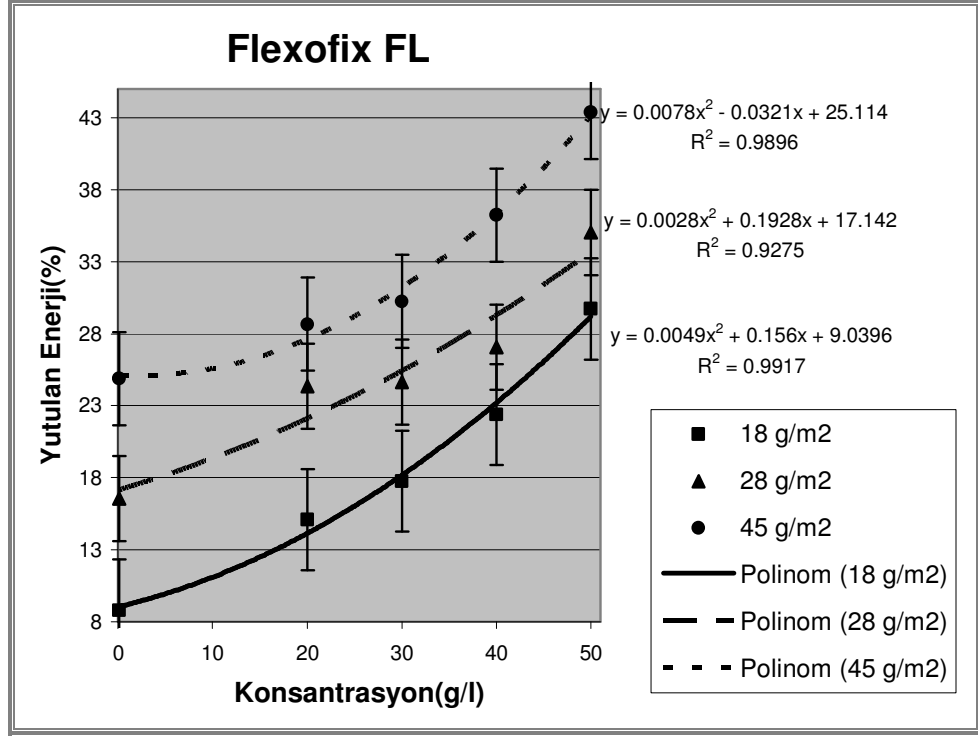
Aşağıdaki şekillerde her bir silika dispersiyonu için konsantrasyona bağlı olarak enerji yutumunda meydana gelen değişimin denklemi yani regresyon eğrileri verilmiştir.



Şekil-48:Antisima K için regresyon eğrisi



Şekil-49:Antisima N için regresyon eğrisi



Şekil-50: Flexofix FL için regresyon eğrisi

SONUÇ

Nano parçacıklı kolloidal silika dispersiyonun Kevlar® ve Twaron® dokuma kumaşların balistik performansına olan etkisi inceleyen birçok araştırma yapılmışken (Tan ve ark.,2005; Wagner ve ark.,2003) silika dispersiyonunun dokusuz yüzey malzemelerde olan etkisini incelen çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada mikro parçacıklı kolloidal silika dispersiyonunun polietilen dokusuz yüzey tela malzemesinin enerji yutumunda meydana getirdiği değişim ele alınmıştır. Bu amaçla tekstil sektöründe açmazlık apre malzemesi olarak kullanılan silika dispersiyonu farklı gramajlardaki polietilen dokusuz yüzey tela malzemesine applike edilerek yapılan enerji yutumu incelenmiş ve konsantrasyona ve tela gramajına bağlı olarak telanın absorbladığı enerji miktarının arttığı görülmüştür. Bu artışta silika dispersiyonunun kürecik ve tela arasındaki ve tela içi lif-life sürtünmeyi arttırması etkili olmuştur. 28 ve 45 g/m²'lik numunelerde aplikasyon yapılmamış ham telaya göre 50g/l konsantrasyonda enerji yutumu hemen hemen iki katına çıkmıştır. Konsantrasyona bağlı olarak enerji yutumundaki artış yüksek gramajlı numunelerde daha net bir şekilde gözükmektedir. Bunun nedeni yüksek gramajlı numunelerin düşük gramajlı numunelere göre daha homojen bir lif dağılımı göstermesidir.

Bundan sonraki adımda yapılması gereken çalışma, nano boyutta silika dispersiyonunun tela malzemesinin enerji yutumuna olan etkisinin incelenmesi olmalıdır. Boyut küçüldükçe sürtünen yüzey alanı artacağı için konsantrasyona bağlı olarak tela malzemesinin enerji yutumundaki artışın çok daha fazla olacağı beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- B. Parga-Landa, F.H.Olivares.1995. An Analytical model to predict impact behavior of soft armours. *Int.J.Impact Engng*, v:16, No:3, p:455-466
- Cheeseman,B.A., Bogetti, T.A. 2003. Balistic Impact Into Fabric And Compliant Composite Laminates. *Composite Structure* 61,s:161-173
- CHT Ürün Katoloğu
- Decker, M. J., Halbach, C. J.,Nam, C. H.,Wagner,N.J.,Wetzel,E. D. 2006. Stab resistance of shear thickening flued(STF)-treated fabrics. *Composites science and technology*
- Duan,Y., Kefe, M., Bogetti, T.A.,Cheeseman, B.A., Powers,B. 2006. A Numerical Investigation of the influence of friction on energy by a high-strenght fabric subjected to balistic impact. *Impact Engineering* 32, s:1299-1312
- Hoffman R.,L.1997. Explanations for the cause of shear thickening in concentrated collaidal suspensions. *The Society of Rheology*
- Jacobs, M. J., N.,Van Dingenen,J., L., J. 2001. Balistic Protection Mechanism in personal armour, DSM High Performance Fibers, Eisterweg 3, 6422 PN Heerlen, The Netherlands]
- Lamberti Ürün Katoloğu
- Muszynski, S. 2004. Body Armor. Eastern Michigan University
- NIJ Law Enforcement And Corrections standarts And Testing Progam.Balistic Resistance of personal bady armor. NIJ Standard-0101.04

- Shim ,V.P.W., Lim C.T., .Foo K.J. 2001. Dynamic mechanical properties of fabric armour. Int.J.Impact Engineering, v:25, p:1-15
- Tan,V.B.C, LIM,C.T., CHEONG, C.H. 2003. Perforation of high-strength fabric by projectiles of geometry. Int. Journal of Impact Eng., v:28, p:207-222
- Tan, V. B.C,Tay, T. E, Teo,W. K. 2005. Strengghening fabric armour with silica colloidal suspensions. International journal of solid and structures, p:1561-157
- Temiz, S. 2005. Balistic kumaş ve test yöntemleri üzerine bir araştırma. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü
- Thomas, H.L. 2001.An Overview of Industrial Fabric Ballistic Protection For Police and Military Personel. Auburn University
- Ulcay,Y. 2005. Yüksek Performanslı Lifler ders notları. Uludağ Üniversitesi
- 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, p:285-283
- Wetzel, E. D., Lee Y.,S, Eges, R.G.,Kirkwood, K.M., Kirkwood, J.D., Wagner, N. J. The effect of Rheological Paramaters on the Ballistic Properties Shear Thickening Fluid –Kevlar Composites. Numiform, Columbus. OH.
- http://www.ccm.udel.edu/STF/PubLinks2/ProtectiveFabricsUtilizingSTF_Pres.pdf,2007
- http://www.ccm.udel.edu/STF/PubLinks2/AdvancedBodyArmor_Pres.pdf,2007
- http://www.guilford.edu/original/Academic/chemistry/current_courses/chem110/sloan.html,2006

- http://www.honeywell.com/sites/sm/afc/spectra_shield.htm,2006
- http://www.leonuniform.com/BodyArmor_History.htm, 2007
- <http://www.matematikci.org/oss/geometri/17.htm>,2007
- http://www.toyobo.co.jp/e/seihin/kc/pbo/menu/fra_menu_en.htm,2007
- http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/balistik_lifler.pdf,2007
- http://en.wikipedia.org/wiki/HMPE/Structure_and_properties,2007
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Kevlar>,2006
- <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kolloid>,2006

ÖZGEÇMİŞ

Ordu'nun Korgan İlçesinde 26.10.1983 tarihinde doğan yazar, sırasıyla Korgan İlköğretim Okulunu, Samsun Karşiyaka Müfredat Laboratuar Lisesini ve Tülay Başaran Anadolu Lisesini bitirmiştir. Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölümünden 2005 yılında mezun olan yazar, 2006 yılında aynı bölümde yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

TEŞEKKÜR

Öncelikle beni büyütüp bu güne getiren anneme ve babama, Tekstil Mühendisliği bölümüne girmemi sağlayan ağabeyime ve ablama sonsuz teőekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca sevgili hocam Sn.Prof.Dr.Yusuf ULCA Y'a bana kendisiyle çalışma fırsatı verdiği ve çalıőmalarım boyunca esirgemediği maddi ve manevi destekleri için teşekkür ediyorum.