



Salih Alarçin

Afyon Kocatepe University, salihalarcin28@gmail.com, Afyon-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.3.2A0182
ORCID ID	0000-0002-1985-9961
CORRESPONDING AUTHOR	Salih Alarçin

**ULTRA YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN VE KARBON FİBER HİBRİT
KOMPOZİTLERİN BALİSTİK DAYANIMININ İNCELENMESİ**

ÖZ

Teknolojideki gelişmeler silah sanayi alanında önemli ilerlemelere sebep olmuştur. Silah ve mermi sanayinin gelişimiyle birlikte onlardan korunmak için zırh teknolojisinin gelişimi de önem kazanmıştır. Bu doğrultuda yapılan çalışmada, kişisel koruyucu vücut zırhı olarak kullanılan malzemelerin balistik dayanımlarını artırmak amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, yüksek yoğunluklu polietilen (UHMPW-PE) ve farklı katmanlarda karbon fiber malzemelerin, hidrolik pres kullanılarak, belirli basınç ve sıcaklık altında sıkıştırılması ile hibrit kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen plakaların, fragment (parçacık) tesirine karşı balistik dayanımları, STANAG 2920 standardına göre, dinamik laboratuvar şartlarında incelenmiştir. Sonuç olarak, 25 kat UHMPW-PE kompozite 1 kat, 3 kat veya 6 kat karbon fiber prepeg eklenmesiyle balistik dayanımın %8.06, %14.6 ve %22.6 oranında arttığı saptanmıştır. Hazırlanan hibrit zırhların, ilerleyen dönemlerde ihtiyaca uygun konfigürasyonlar oluşturularak zırh malzemesi olarak kullanılabilceği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Polietilen, Karbon, Fiber, Balistik, Zırh

**INVESTIGATION OF BALLISTIC RESISTANCE OF ULTRA HIGH DENSITY
POLYETHYLENE AND CARBON FIBER HYBRID COMPOSITES**

ABSTRACT

The advances in technology have led to significant advances in the arms industry. The development of the armor technology has also gained importance in order to protect them from developing the weapons and bullets industry. In this study, it was aimed to increase the ballistic resistance of the materials used as personal protective body armor. Within the scope of the study, hybrid composite plates were produced by compressing high density polyethylene (UHMPW-PE) and carbon fiber materials in different layers using hydraulic press under certain pressure and temperature. The ballistic resistance of the produced plates against fragment effect was investigated in dynamic laboratory conditions according to STANAG 2920 standard. As a result, it was found that ballistic resistance of 25 layers of UHMPW-PE composite increased by 8.06%, 14.6% and 22.6% by adding 1 layer, 3 layers or 6 layers of carbon fiber prepeg, respectively. It was envisioned that in the future, the prepared hybrid armors can be used as an armor material by creating suitable configurations.

Keywords: Polyethylene, Carbon, Fiber, Ballistic, Armor

How to Cite:

Alarçin, S., (2020). Ultra Yüksek Yoğunluklu Polietilen ve Karbon Fiber Hibrit Kompozitlerin Balistik Dayanımının İncelenmesi, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 15(3):29-40, DOI:10.12739/NWSA.2020.15.3.2A0182.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Zırh konusunda tarih boyunca birçok gelişme olmuştur. Bu konudaki önemli gelişmelerden biri de, yoğunluğu sudan daha az (suda yüzde özelliği olan) ve çeliğe göre 15 kat daha mukavemetli olan ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMW-PE) ürünün geliştirilmesidir. UHMW-PE malzemeler yoğunluklarının düşük olmasına rağmen yüksek mukavemet değerine sahiptir. Diğer yüksek performanslı ipliklere göre düşük kopma uzaması değerine sahip olmasına rağmen kopma enerji değeri son derece yüksektir [1]. UHMW-PE elyafları, aramid, karbon ve cam elyaflara kıyasla mukavemet/ağırlık oranları çok daha yüksektir [2]. UHMW-PE kompozitlerin balistik özellikleri ile ilgili yapılan bir çalışmada UHMW-PE numunelerin preslenerek ve preslenmeden balistik dayanımları karşılaştırılmıştır. Yapılan mermi testlerinde, preslenerek üretilen zırh plakalarında elde edilen V50 değeri 844 m/s, ortalama çöküntü değeri ise 22.26 mm olarak tespit edilmiştir. Preslenmeden üretilen zırh plakalarında ise elde edilen V50 değeri 660 m/s, ortalama çöküntü değeri ise 36.80 mm olarak ölçülmüştür [3]. UHMW-PE kompozitlerin olumlu özelliklerinin yanı sıra, dezavantajları da mevcuttur. UHMW-PE elyafların özellikleri, basınç ve kayma mukavemeti ile sınırlanmaktadır [4]. Bu nedenle, yapısal olarak zorlu uygulamalarda sadece UHMW-PE malzemenin kullanımında sınırlamalar vardır [5]. Nitekim, Liu ve ark., yaptıkları çalışmada aynı alansal yoğunluğa sahip saf UHMWPE kumaş paneli ile hibrit panelin arka yüz imza (BFS) değerlerini kıyaslamışlar, hibrit panelde BFS değerinin %6-17 oranında azaldığını tespit etmişlerdir [6]. Giray ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada UHMW-PE materyallerin balistik ve parça tehditlerinde mükemmel olduğu, ancak diğer malzemeler ile kıyaslandığında arka planda daha fazla deforme olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, UHMW-PE ve aramid hibrid kompozit başlık geliştirilmesi gibi yaklaşımlar öne çıkmıştır [7].

Balistik ürünlerde kullanılan malzemelerden biri de karbon fiberlerdir. Bu malzemeler, yüksek özgül mukavemet, özgül sertlik, korozyon direnci, artan yorulma ömrü gibi mükemmel mekanik özellikleri nedeniyle birçok askeri ve sivil uygulamada artan şekilde kullanılmaktadır [8]. Karbon fiber, UHMW-PE fiber ile hibrit olarak kullanılabilir olduğunda oldukça kullanışlı bir malzemedir. Karbon fiber, UHMW-PE fiberlerin düşük basınç ve kayma mukavemetlerini büyük ölçüde tamamlayabilecek hem gerilim hem de sıkıştırmada yüksek özgül mukavemete ve sertliğe sahiptir [9]. Karbon elyaflar son zamanlarda, kimyasal direnç, sertlik, tokluk, aşınma direnci gibi avantajlarından dolayı polimer matris malzemesi olarak epoksi reçinelerle birlikte kullanılmaktadır [10 ve 11]. Duodu ve ark., çelik metal ve karbon fiber/epoksi kompozit hedef yapılarıdaki hasar mekanizmalarını incelediklerinde; kompozit levhadaki darbe hızının çelik metal levhaya göre çok daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır [12].

Yukarıda belirtilen bilgiler ışığında, yapısal olarak sağlam bir kompozit elde etmek için önemli stratejilerden biri UHMW-PE balistik malzemelerini karbon fiberle hibritlemektir [5 ve 13]. Bu kapsamda, UHMW-PE/epoksi kompozit içine orta miktarda karbon fiber eklenmesi hem sıkıştırma hem de eğilme özelliklerinde büyük bir iyileşmeye yol açmaktadır [14]. Folgar ve ark., askeri kask üzerine yaptıkları çalışmada, UHMW-PE bazlı balistik panellerin düşük miktarda karbon fiber kompozit ile birleştirilmesinin, kaskların BFS performanslarını iyileştirdiğini belirtmişlerdir [13]. UHMW-PE ve karbon fiber, numuneler üzerine yapılan başka bir çalışmada ise karbon elyaf esaslı malzemede katman sayısı UHMW-PE ile aynı seviyede tutulmuştur, ancak ağırlık artmıştır. Deney sonucunda merminin etki ettiği bölgede düşük bir deformasyon gerçekleşmiş, kurşun plakanın içerisinde kalmış ve delinme görülmemiştir [15]. Larsson ve Svensson'un yaptığı bir

çalışmada reçine transfer kaplama ve sıcak presleme yöntemleri kullanılarak karbon fiberlere organik lifler eklenmiştir. Bu çalışma, liflerin ön yüzeyinin karbon fiberlere ayrılmasının, hem balistik hız limiti hem de darbe sonrası sıkıştırma mukavemeti için avantajlı olduğunu göstermiştir [16]. Zulkifli ve ark. yaptıkları çalışmada, karbon fiber ve UHMW-PE kompozitlerin dizilim sırasını değiştirerek hibrit zırhlar üretmiş, balistik özelliklerini incelemiştir. Sadece UHMW-PE içeren plaka ile kıyaslandığında, ön ve arkaya karbon eklenen plakalarda V50 performansında %5'lik bir iyileşme, ortada karbon fiber olan çalışmada %12 azalma, ortada UHMW-PE olan kompozitte ise %10 azalma görmüşlerdir. Aynı çalışmada, mermi testlerinde, ortada karbon kullanılan numune tamamen delinirken dışa karbon eklenen numunelerde ise balistik özelliklerde iyileşmeler görülmüştür [5].

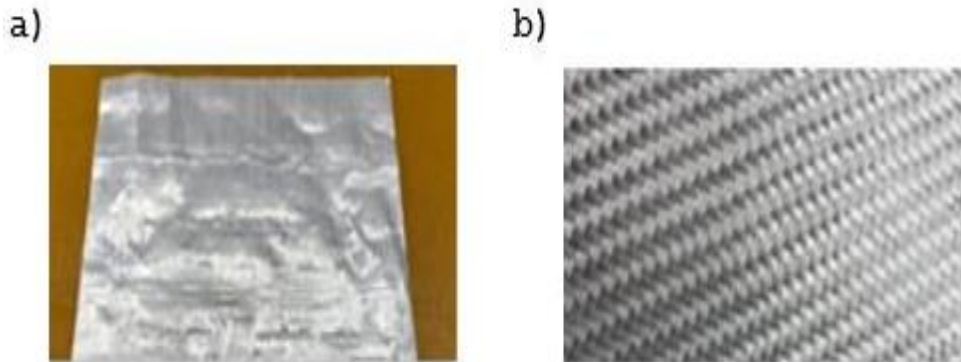
2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu zamana kadar balistik dayanımı yeterli ve ergonomik zırh geliştirmek için çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak, henüz ideal bir zırh geliştirilememiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen bu çalışmada, UHMW-PE kompozitlere karbon fiberler kullanılarak hibrit plakalar üretilmiş ve STANAG 2920 standardına göre balistik testler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda UHMW-PE plakalara, epoksi matrisli karbon fiber eklenmesinin balistik dayanıma katkıları ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Genel olarak, literatürde, UHMW-PE kompozitlerden oluşan zırhlara karbon fiber prepreg eklenerek, balistik performansın değerlendirilmesine dair çok çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca yapılan bu çalışmanın yeni çalışmalara ilham kaynağı olabileceği ve geliştirilen bu malzemenin ilerleyen dönemlerde kullanıma sunulabileceği öngörülmektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

3.1. Kullanılan Kompozit Kumaşlar (Used Composite Fabrics)

Deneysel çalışmalarda polimer matrisli malzemeler kullanılmıştır. Bu kapsamda üretimde kullanılan malzemeler, i) ultra yoğun moleküler yapıya polietilen kumaş (UHMW-PE) ve ii) epoksi reçineli karbon fiber prepregdir. Çalışmada kullanılan UHMW-PE'nin ve epoksi reçineli karbon fiber prepreg'in özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Kullanılan kompozit kumaşların görseli ise Şekil 1 'de yer almaktadır.



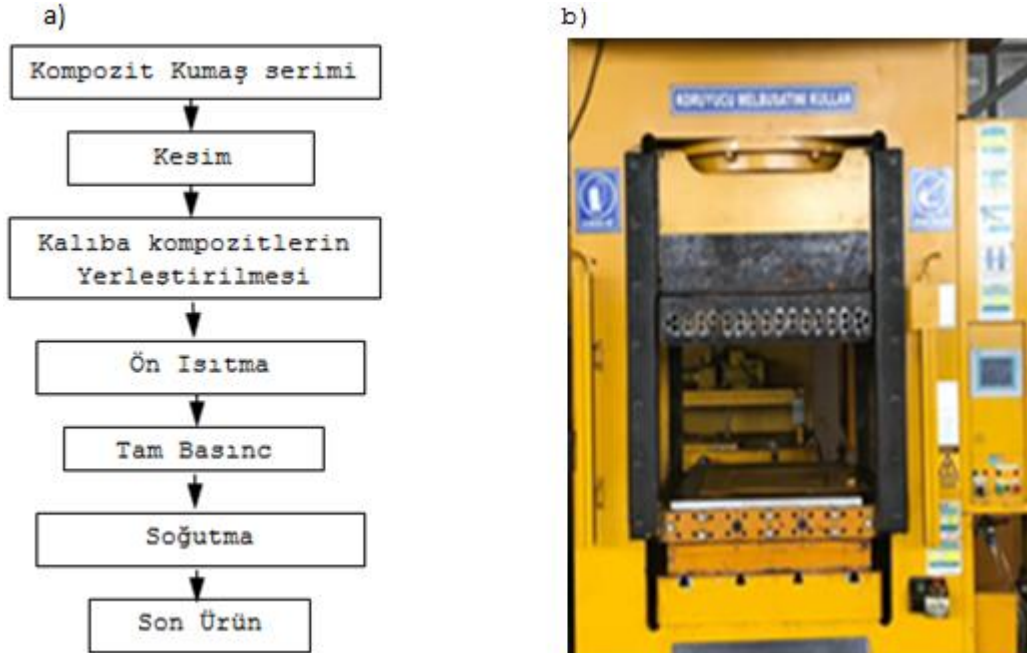
Şekil 1. Kullanılan kumaşlara ait fotoğraflar Ultra yüksek yoğunluklu polietilen, b) Karbon fiber
(Figure 1. Photos of the used fabrics Ultra high molecular weight polyethylene, b) Carbon fiber)

Tablo 1. UHMW-PE ve karbon kumaşın teknik özellikleri
(Table 1. Technical properties of UHMW-PE and carbon fabric)

Özellikler	Ultra Yoğun Moleküler Ağırlıklı Polietilen
Malzeme Cinsi (En az)	En az %99.5 Yüksek Yoğunluklu Moleküler Ağırlıklı Polietilendir.
Doku Tipi	Birbirine Paralel Olarak Yatırılan İpliklerden Oluşan Katmanların Sırasıyla 0° ve 90°'lik Açılarla Üst Üste Yatırılmasıyla Oluşmaktadır.
Kumaşın Metrekare Ağırlığı	145±15 g/m ² dir.
	Karbon Fiber Kumaş
Reçine Sistemi	Epoksi
Uygulama Alanı	Endüstriyel kompozit
Kürlenme Sıcaklığı	90°C-140°C
Fiber	Karbon
Örgü Tipi	Twill, UD
Kuru Kumaş Alansal Yoğunluğu (gsm)	200
% Reçine Yoğunluğu (Ağırlık Olarak)	35

3.2. Üretim Yöntemi (Production Method)

Balistik deneylerde kullanılan kompozit plakaların üretim prosesi Şekil 2a'de sunulmuştur. Buna göre, önce daire kesim motoru kullanılarak eni ve boyu 1m olacak şekilde kompozit kumaşların kesimi yapılmıştır. UHMW-PE kompozitlerin ön yüzeylerine karbon fiber prepregler eklenerek kalıba yerleştirilmiştir.



Şekil 2. a) Kompozit plakaların üretim prosesi, b) 600 Tonluk hidrolik prese ait fotoğraf

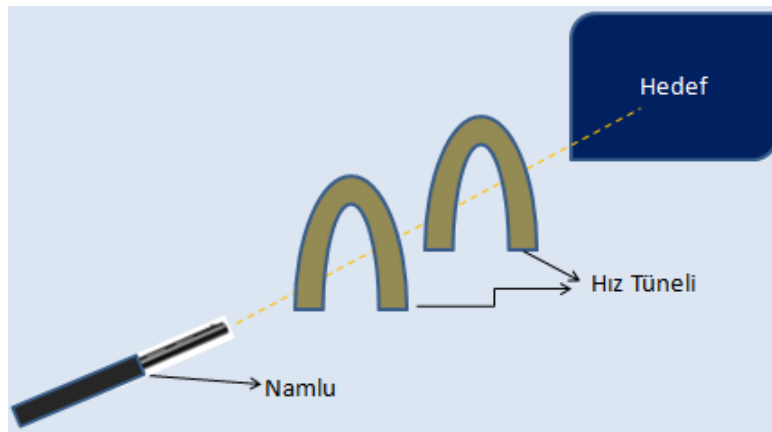
(Figure 2. a) Production process of composite plates, b) Photo of 600 ton hydraulic press)

Malzemeler imal edilirken, ilk olarak kalıplar numune ile birlikte oda sıcaklığından herhangi bir basınç verilmeden kalıp kapatılarak 125°C'ye kadar ön ısıtma yapılmıştır. Sonrasında programlanabilir olan 600 tonluk hidrolik pres ile (Şekil 2b) basınç yüklemesi yapılarak tam basınç altında 25 dakika preslenmiş ve son olarak 50°C'ye kadar soğutulmuştur. Kalıptan alınan 1 m² (Eni ve boyu

1m) olan plakalar 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra, 1600cm² (eni ve boyu 40cm) olacak şekilde şerit testere ile 4 parçaya bölünerek test edilecek son ürünler elde edilmiştir. Belirtilen üretim yöntemi kullanılarak, 25 kat UHMW-PE kompozitlere sırasıyla, 1 kat, 3 kat ve 6 kat karbon fiber prepreg eklenerek üretimler gerçekleştirilmiştir.

3.3. Balistik Testler (Ballistic Tests)

Üretimi tamamlanan numuneler, oda sıcaklığında 24 saat bekletilerek testler yapılmıştır. Tüm testler 1.1 gramlık fragmentlerle STANAG (Standardization Agreement) 2920 standardına göre gerçekleştirilmiştir [17]. Test düzeneği; atış namlusu (ileri-geri hareket sehpalı), mermi hızı ölçme tüneli ve hedef bağlama aparatından oluşan test alanının temsili görüntüsü Şekil 3'de gösterilmiştir. Hedefle, sabit namlunun arasında bulunan Oehler Research Model ORM 55 model hızölçer ile ölçümler yapılmıştır. Aralarında 1 m mesafe bulunan iki ışık perdesi arasından geçiş süresi ölçülerek mermi hızları bulunmuştur. Testlerde mermiler zırha dik isabet ettirilmiştir. Test sonucunda, STANAG 2920'ye göre aralarında en fazla 40 m/sn hız farkı olan, 3 tane delen, 3 tane delmeyen parçacıkların hızının aritmetik ortalaması esas alınarak test yapılmıştır.



Şekil 3. Test laboratuvarının görüntüsü
(Figure 3. A schematic illustration of test laboratory)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

4.1. Üretilen Numuneler (Produced Samples)

Günümüzde hala çeşitli patlayıcıların infilak etmesinden meydana gelen parçacık tesiri gibi nedenlerle birçok güvenlik görevlisi ciddi yaralanma ve uzuv kaybı gibi sorunlar yaşayabilmekte ve hatta şehit olabilmektedir. Bu nedenle, savunma sanayiinde zırhların balistik özelliklerini artırmak amacıyla yapılan çalışmalar bugün hala hayati bir önem taşımaktadır. Bu amaçla, zırhların parçacık tesirine karşı dayanımını artırmak maksadıyla yapılan bu çalışmada sıcak presleme yöntemi ile UHMW-PE ve karbon fiber prepreglerin hibrit olarak üretimleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, Tablo 2'de belirtilen 4 farklı konfigürasyonda numunelerin üretimleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Güvenlik güçleri uzun süreler boyunca bu malzemeleri taşıyacağı için, zırh malzemelerinin geliştirilmesinde malzemenin ağırlığı büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, üretilen malzemelerin ağırlıkları belirlenmiştir ve zırhlara eklenen karbon fiber miktarına bağlı olarak ağırlıklarda anlamlı bir ağırlık artışı ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda 25 kat UHMW-PE plakaya, 1 kat karbon fiber ilavesi ile ağırlığın %6.3, 3 kat karbon fiber ilavesi ile %18.6 ve 6 kat karbon fiber ilavesi ile ise %38.1 artışı belirlenmiştir.

Tablo 2. Farklı konfigürasyonda üretimi yapılan numuneler
(Table 2. Samples produced in different configurations)

Sıra No	UHMW-PE	Karbon Fiber	Ağırlıkları (Gram)
1	25 kat	-	960
2	25 kat	1 kat	1020
3	25 kat	3 kat	1139
4	25 kat	6 kat	1326

a)



b)



c)

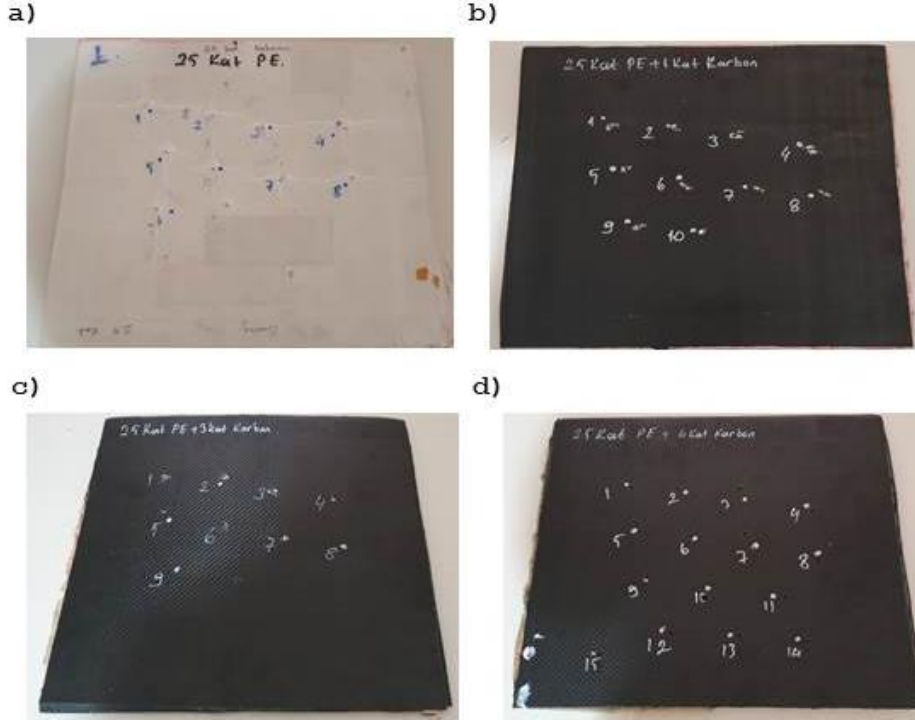


Şekil 4. Karbon fiber ve UHMW-PE hibrid kompozit plakaların;
a) Yandan, b) Arkadan ve c) Önden görüşleri
(Figure 4. Photos of carbon fiber and UHMW-PE hybrid composite
plates; a) Side, b) Behind, and c) Front view)

Yapılan literatür araştırmasına göre, karbon prepreglerin ön veya arka yüzeye eklenmesi balistik dayanım açısından daha dayanıklı malzemeler oluşturmaktadır [5]. Bu nedenle üretimlerde karbonlar UHMW-PE'lerin ön yüzeylerine eklenmiştir. Üretimi yapılan zırh plakalarının ön, arka ve yandan görüşleri Şekil 4'de sunulmuştur.

4.2. Balistik Testler (Ballistic Tests)

Üretilen numuneler, oda sıcaklığında en az 24 saat bekletilerek atışlar yapılmıştır. Tüm atışlar 1.1 gramlık fragmentlerle STANAG 2920 standartlarına göre yapılmıştır. Balistik test sonrası numunelerin görüntüleri Şekil 5'de sunulmuştur. Buna göre, beyaz olan UHMW-PE zırhlara karbon fiber prepreg eklenince siyah renge dönüşmüş, atış yapılan noktalar ise atış sırasına göre gösterilmiştir.



Şekil 5. Zırhların atış sonrası görüntüleri; a) 25 kat UHMW-PE, b) 25 kat UHMW-PE + 1 Kat karbon prepreg, c) 25 kat UHMW-PE + 3 kat karbon prepreg, d) 25 kat UHMW-PE + 6 Kat karbon prepreg
(Figure 5. Images of armors after shooting; a) 25 layers UHMW-PE, b) 25 layers UHMW-PE + 1 layer carbon prepreg, c) 25 layers UHMW-PE + 3 layers carbon prepreg, d) 25 layers UHMW-PE + 6 layers carbon prepreg)

STANAG 2920 kapsamında parça tesirinde, balistik dayanım kriterinin ölçütü V50 hızıdır. V50 hızı parçacığın zırha dik konumda çarpması sonucu hedefi %50 olasılıkla delme ihtimali olan hızdır. Tablo 3-6'da karbon fiber içermeyen ve içeren UHMW-PE plakaların ağırlıkları, kalınlıkları ve boyutlarına göre V50 değerleri verilmiştir. Hesaplamaya katılan değerler, en yükseği ile en düşüğü arasında en fazla 40m/sn olan, 3 adet delinen, 3 adet delinmeyen atışlardır. V50 hızları, bu aritmetik atışların ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Sonuçların özet dağılım grafiği ise şekil 6'da sunulmuştur. Her numunede V50 değerinin bulunması için farklı sayılarda atış yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bunun nedeni testin doğasından kaynaklanmıştır. Çünkü 3 delinen ve 3 delinmeyen numune bulunması gerekmektedir. Buna ilave olarak, bu 6 atış arasında en fazla 40m/sn olması gerekmektedir. Bu kapsamda tahmini bir atış hız değeri ile atışa başlanmakta, sonrasında delindiği takdirde hız azaltılarak, ya da delinmezse hız artırarak bu 6 atış yakalanmaya çalışılmaktadır. Bu atışların aritmetik ortalaması alınarak sonuç hesaplanmaktadır. Bu nedenlerle, 25 kat UHMW-PE ile 6 kat epoksi reçineli karbon fiberin hibrit olarak birleşmesinden oluşan plakaya yapılan test sırasında V50 değeri ancak 15 atışta elde edilmiştir. Balistik çalışmalar sonucunda, sadece 25 kat UHMW-PE plakanın V50 değeri 669.1 m/sn iken, 1 kat karbon eklenmesiyle bu değer 723 m/sn, 3 kat karbon eklenmesiyle 766.6 m/sn ve 6 kat karbon eklenmesiyle ise 820.5 m/sn olarak bulunmuştur (Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6). Elde edilen sonuçlara göre, UHMW-PE kompozitlere karbon fiber prepreg ekledikçe V50 değeri yükselmiştir. Zırh malzemelerinin geliştirilmesinde temel amaçlardan biri en az ağırlık artışı ile en yüksek malzeme dayanımını sağlamaktır. Bu kapsamda, UHMW-PE kullanılan

zırhlara 1 kat karbon ilave edilince, V50 değeri %8.06 artış göstermiş ve ağırlıkça sadece 60g (yaklaşık %6.3) artışa sebep olmuştur. 3 kat karbon fiber ilavesi ile V50 değeri %14.6, ağırlık ise sadece 179g (yaklaşık %18.6) artışa sebep olmuştur. Benzer olarak 6 kat karbon eklenen numunede V50 değeri, sadece UHMW-PE kullanılan zırhlara göre %22.6 artmıştır. Bu artış, yaklaşık %38'lik ek ağırlık artışı getirmiştir. Tablo 3'de ilk olarak 672 m/sn ile atışlara başlanmış, sonrasında hız yükseltilerek 673 m/sn hızla atılmış delinmemiş, ardından 705 ve 694m/sn hızlarda delinmiştir. 3 delinmeyen atış olması gerektiği için tekrar hızlar 694 ve 664 m/sn hızlarına düşürülmüş, bu şekilde atışlara devam edilerek, test tamamlanmıştır. Dikkate alınacak değerler arasında en fazla 40 m/sn olması gerektiği için 705, 694, 434m/sn hızları aritmetik ortalama alınırken hesaba katılmamıştır.

Tablo 3. Sadece 25 kat UHMW-PE içeren plakanın V50 değeri
(Table 3. V50 value of the plate containing only 25 layers of UHMW-PE)

Malzeme Cinsi	Mermi Cinsi	Ölçülen Değerler		
		Vuruş Noktası	Çarpma Hızı (m/sn)	Delinme
25 kat UHMW-PE Plaka 40x40cm. Kalınlık: 6mm. Ağırlık: 960 gr.	1.1 gr. Fragment	1	672*	Delindi
		2	673*	Delindi
		3	705	Delindi
		4	694	Delindi
		5	664*	Delinme Yok
		6	667*	Delinme Yok
		7	434	Delinme Yok
		8	675*	Delindi
		9	664*	Delinme Yok
		V50	669.1m/sn	

* Hesaplamada dikkate alınan değerler

UHMW-PE ve 3 adet karbon fiber prepregden oluşan zırh 710 m/sn hızında delinirken, 843 m/sn hızda delinme gözlemlenmemiştir (Tablo 4). Kompozitlerin birleşmesinde örgü tipi, reçine uygulaması, basınç altında şekillenme vs. gibi birçok faktör etkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, oluşan bu sonuç, zırhın her noktasında aynı balistik performansı gösterememesinden kaynaklanmaktadır. 25 kat UHMW-PE ile 6 kat epoksi reçineli karbon fiberin hibrit olarak birleşmesinden oluşan plakaya yapılan test sırasında V50 değeri ancak 15 atışta elde edilmiştir (Tablo 6). Bu durumun nedenlerinden biri yukarıda belirtildiği gibi hesaba katılan değerler arasında en fazla 40 m/sn hız farkı olmasının gerekliliğidir. Testi sonlandırmak için gereken atış sayısının fazla olmasının diğer bir nedeni de, barut miktarlarının elle ayarlanmasıdır. Barutların nem durumu gibi birçok değişken parçacıkların hızlarını doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla atışlarda istenilen hızlar her durumda elde edilememektedir. Örneğin Tablo 6'da ilk atışta 688 m/sn hızla zırh delinmemiş, sonrasında delinmesi maksadıyla hız artırılmak istenmiş, ancak 673 m/sn hız elde edilmiştir. Tablo 3'te ise 7. atışta 434 m/sn gibi bu test için gerekenin çok altında bir hız ortaya çıkmıştır. Bu durum da testin doğasından kaynaklanmıştır.

Tablo 4. 25 Kat UHMW-PE plaka ve 1 kat karbon prepreg hibrit plakanın V50 değeri

(Table 4. V50 value of 25 layers UHMW-PE plate and 1 layer carbon prepreg hybrid plate)

Malzeme Cinsi	Mermi Cinsi	Ölçülen Değerler		
		Vuruş Noktası	Çarpma Hızı (m/sn)	Delinme
25 kat UHMW-PE + 1 Kat karbon 40x40cm Kalınlık: 6.1mm Ağırlık: 1020gr.	1.1 gr. Fragment	1	693	Delindi
		2	644	Delinme Yok
		3	710*	Delindi
		4	715*	Delinme Yok
		5	785	Delinme Yok
		6	843	Delinme Yok
		7	734*	Delinme Yok
		8	727*	Delinme Yok
		9	741*	Delindi
		10	713*	Delindi
* Hesaplamada dikkate alınan değerler		V50	723m/sn	

Tablo 5. 25 Kat UHMW-PE plaka ve 3 kat karbon prepreg hibrit plakanın V50 değeri

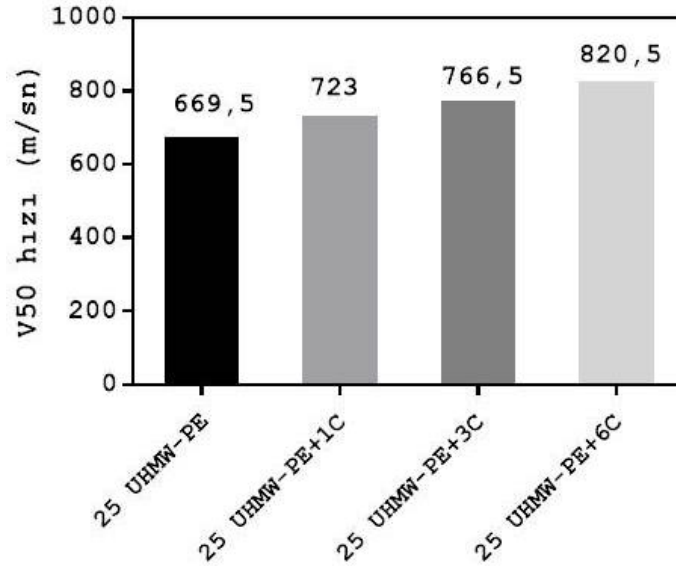
(Table 5. V50 value of 25 layers UHMW-PE plate and 3 layers carbon prepreg hybrid plate)

Malzeme Cinsi	Mermi Cinsi	Ölçülen Değerler		
		Vuruş Noktası	Çarpma Hızı (m/sn)	Delinme
25 kat UHMW-PE + 3 Kat karbon 40x40cm. Kalınlık: 6.3mm. Ağırlık: 1139gr.	1.1 gr. Fragment	1	734	Delinme Yok
		2	738	Delinme Yok
		3	726	Delinme Yok
		4	750*	Delinme Yok
		5	788*	Delindi
		6	761*	Delinme Yok
		7	782*	Delindi
		8	764*	Delindi
		9	755*	Delinme Yok
* Hesaplamada dikkate alınan değerler		V50	766.6m/sn	

Tablo 6. 25 Kat UHMW-PE plaka ve 6 kat karbon prepreg hibrit plakanın V50 değeri

(Table 6. V50 value of 25 layers UHMW-PE plate and 6 layers carbon prepreg hybrid plate)

Malzeme Cinsi	Mermi Cinsi	Ölçülen Değerler		
		Vuruş Noktası	Çarpma Hızı (m/sn)	Delinme
25 kat UHMW-PE Plaka +6 Kat karbon 40x40cm. Kalınlık: 6.5mm. Ağırlık: 1326gr.	1.1 gr. Fragment	1	688	Delinme Yok
		2	673	Delinme Yok
		3	688	Delinme Yok
		4	703	Delinme Yok
		5	736	Delinme Yok
		6	727	Delindi
		7	796	Delinme Yok
		8	779	Delinme Yok
		9	843*	Delinme Yok
		10	814*	Delindi
		11	804*	Delinme Yok
		12	756	Delinme Yok
		13	808*	Delindi
		14	830*	Delinme Yok
		15	824*	Delindi
* Hesaplamada dikkate alınan değerler		V50	820.5m/sn	



Şekil 6. UHMW-PE kompozitlere karbon prepeg eklemenin balistik özelliklere katkısı
(Figure6. Contribution of adding carbon prepreg to UHMW-PE composites to ballistic properties)

Yanen ve ark., karbon elyaf, cam elyaf ve aramid elyaf ile hibrit zırhlar üretimi yapmıştır. Bu kapsamda balistik testlerde başarılı olan numune, en ağır ve en kalın numune [Cam(45°)10/Aramid(Plain)10/Karbon(45°)10] değil, farklı dizilimdeki [Cam(Twill)10/ Aramid(Plain)10/ Karbon (Twill)10] numune olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlarla twill dokuma yapısına sahip kumaşların balistik dayanımının daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır [18]. Benzer olarak yapılan bu çalışmada da kullanılan twill yapıda karbon fiberin balistik özellikleri büyük bir katkı sağladığı görülmüştür. UHMW-PE zırhlara epoksi reçineli karbon fiber prepegler ilave edilmesi ayrıca zırhın stabilitesine de katkı sağlamaktadır. Çünkü UHMW-PE malzemeler balistik dayanımı çok yüksek olmasına rağmen çevresel etkilerden (sıcaklık, soğukluk, suyla temas vb.) daha kolay etkilenmektedir. Uzun süre kullanımda sadece UHMW-PE malzemelerden imal edilen zırhlarda, katlar arasında ayrılmalar gözlemlenmektedir. Bu nedenle, UHMW-PE malzemelere karbon fiber eklenmesi bu sorunları azaltacaktır. V50 değeri, 1.1 gr'lık çelik bir parçacığın belirtilen hızda, zırha isabet ettiğinde %50 ihtimalle delineceğini ifade etmektedir. Bu açıdan V50 değeri önem arz etmektedir. Geçmiş dönemlerde, birçok güvenlik görevlisi mayın ve el yapımı patlayıcıların infilak etmesi sonucu oluşan parçacıklar nedeniyle şehit olmuş, uzuv kaybı yaşamış ya da ciddi şekilde yaralanmışlardır. Bu tehditler her dönemde devam etmektedir. Bu nedenle zırhların V50 dayanımlarının yüksek olması bu tehditlerde zırhın ve dolayısıyla güvenlik güçlerinin daha iyi korunması anlamına gelmektedir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında üretilen zırhların parçacık tesirine karşı belirtilen hızlarda güvenle kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, epoksi reçineli karbon fiber prepeg kompozitler ile UHMW-PE zırhlar uygun şartlarda sıcak presleme yöntemiyle birleştirilerek hibrit zırh üretimleri gerçekleştirilmiştir. UHMW-PE malzemelere, karbon fiber prepeg eklenmesi ile V50 değeri dikkate değer şekilde artmıştır. Sadece UHMW-PE zırhlar ile 6 kat karbon fiber prepeg eklenen zırhlar kıyaslandığında V50 değeri yaklaşık %22.6

artmıştır. UHMW-PE malzemeler balistik dayanımı çok yüksek olmasına rağmen çevresel etmenlerden (sıcaklık, soğukluk, suyla temas vb.) daha kolay etkilenmektedir. V50 artış katkısının yanında epoksi reçineli karbon fiber prepregler zırhın stabilitesinde katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak bu çalışmada, hibrit zırhlar geliştirilmiş ve çeşitli tehdit seviyesine göre optimize edilmiştir. Bu malzemelerin ilerleyen dönemde ihtiyaca göre istenen şekilde kullanılabilceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yavaş, M.O., (2009). Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Balistik Dayanımı. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] Hearle J., (2001). High-Performance Fibres. Boca Raton: CRC Press.
- [3] Candan C., (2007). Hafif Silahlara Karşı Preslenerek ve Preslenmeden Üretilen Yüksek Yoğunluklu Polietilen (Uhmw-Pe) Zırh Plakalarının Terminal Balistik Özelliklerinin İncelenmesi. 8. Uluslararası Kırılma Konferansı. İstanbul, Bildiriler Kitabı, ss:176-185
- [4] Peijs, A.A.J.M., Catsman, P., Govaer, L.E., and Lemstra, P.J., (1990). Hybrid Composites Based on Polyethylene and Carbon Fibres Part 2: Influence of Composition and Adhesion Level of Polyethylene Fibres on Mechanical Properties. Composites. Cilt:21, Sayı:6, ss: 513-521
- [5] Zulkifli, F., Stolk, J., Heisserer, U., Tuck-Mun, Y.,A., Zhiyi, L., and Matthew, H.X., (2019). Strategic Positioning of Carbon Fiber Layers in An Uhmwpe Ballistic Hybrid Composite Panel. International Journal of Impact Engineering. Cilt:129, ss:119-127
- [6] Liu, X., Li, M., Li, X., Deng, X., Zhang, X., Yan, Y., Liu, Y., and Chen, X. (2018). Ballistic Performance of UHMWPE fabrics/EAMS Hybrid Panel, Composites. Cilt:53, ss:7357-7371.
- [7] Giray, M. and Bailey, S., (2019). Developments in Lightweight Composite Ballistic Helmet Manufacture. Güvenlik Bilimleri Dergisi. IDEF Özel Sayı, ss:79-94.
- [8] Lo'pez-Puente, J., Zaera, R., and Navarro, C., (2008). Experimental and Numerical Analysis of Normal and Oblique Ballistic Impacts on Thin Carbon/Epoxy Woven Laminates, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. Cilt:39, Sayı:2, ss:374-387.
- [9] Marrisén, R., Smit, L., and Snijder, C., (2005). Dyneema Fibers in Composites, The Addition of Special Mechanical Functionalities. Proceedings of The Advancing with Composites, International Meeting on Composite Materials, Napel, Basılı.
- [10] Rouchan, J., (1987), Materiaux Composites Pour d'aeronefs. Ecole Nationale Supérieure d'Ingenieurs de Constructions. Aeronautiques, ss:95.
- [11] Korkmaz, N., Çakmak, E. ve Dayık, M., (2016). Dokuma Karbon Elyaf Takviyeli Karbon Nano Tüp-Epoksi Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Karakterizasyonu, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. Cilt:20, Sayı:2, ss:338-353.
- [12] Duodu, E.A., Gu, J., and Ding, W., (2018). Comparison of Ballistic Impact Behavior of Carbon Fiber/Epoxy Composite and Steel Metal Structures. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering. Cilt:42, ss:13-22.



-
- [13] Folgar, F., (2016). Thermoplastic Matrix Combat Helmet With Carbon Epoxy Skin For Ballistic Performance. Advanced Fibrous Composite Materials For Ballistic Protection. Editör: Chen, X. İngiltere: Woodhead Publishing. Ss:437-56.
- [14] Lia, Y., Xiana, X.J., Choya, C.L., Guob, M., and Zhangb, Z., (1999). Compressive and Flexural Behavior of Ultrahigh-Modulus Polyethylene Fiber and Carbon Fiber Hybrid Composite. Composites Science and Technology. Cilt:59, Sayı:1, ss:13-8.
- [15] Bitlisli, B. ve Yazıcı, M., (2019). Araç Zırhlamada Kullanılan Kompozit Malzemelerin Balistik Performanslarının İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi. Cilt:24, Sayı:1, ss:25-34.
- [16] Larsson, F. and Svensson, L., (2002). Carbon, Polyethylene and PBO Hybrid Fibre Composites For Structural Lightweight Armour. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. Cilt:33, Sayı:2, ss:221-231.
- [17] STANAG 2920, (2003). Balistic Test Method for Personel Armor, Personel Korumasında Kullanılan Malzemelerin Balistik Test Metotları Dokümanı.
- [18] Yanen, C. ve Solmaz, M.Y., (2016). Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Üretimi ve Balistik Performanslarının İncelenmesi, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi. Cilt:3, Sayı:2, ss:351-362.