

ARAÇ ZIRHLAMADA KULLANILAN KOMPOZİT MALZEMELERİN BALİSTİK PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

*Baybora BİTLİSLİ**
*Murat YAZICI***

Alınma: 09.12.2018; düzeltme: 08.01.2019; kabul: 15.01.2019

Öz: Kompozit zırh malzemeleri gelişen teknoloji ile beraber araçlarda ağırlık azaltmasından dolayı geleneksel zırh malzemesi olan çeliğe göre günümüzde daha çok kullanım alanı bulmaktadır. Balistik çeliğe göre kompozit zırhlar bitişik atışta dahi çekirdeği durdurur. Bu çalışmada, zırhlı araçlardaki kompozit zırh malzemelerinde; takviye malzemesi olarak kullanılan Çok Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen (UHMWPE), Aramid, Karbon, Hibrit ve Cam Elyafı türleri ile matris malzemesi olarak herhangi bir reçine kullanmadan PE film tabakaları ile kat kat yerleştirildikten sonra pres altında basınç ve sıcaklık etkisiyle birleştirilerek katmanlı bir yapı oluşturulmuştur. Oluşturulan farklı dizilim ve malzeme özelliklerine sahip katmanlı yapı şeklindeki kompozit plakalara, balistik uygulamalarda kullanılan NIJ standartlarına uygun olarak, 5 metre mesafeden 8 gram ağırlığında çekirdeği olan 9x19 Parabellum FMJ fişekler ile atışlar yapılmıştır. Yapılan atış testleri sonrası, plakaların üretiminde oluşan hasar ve deformasyonlar proses farklılıkları, plakaların ağırlığı, plakaların kalınlıkları, kumaşların alansal yoğunlukları, kumaşların dokuma tipleri, katman sayıları, mermi giriş delikleri ve varsa çıkış delikleri göz önüne alınarak incelenmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda, kullanılan malzemeler için üretim yöntemi olarak en uygun proses, kurşun geçirmeyen plakalardan ise en ince ve en hafif olanı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zırhlı araç, Tabakalı Kompozit, Balistik

Investigation of the Ballistic Performances of Composite Materials Used in Armored Vehicles

Abstract: Nowadays, composite armor materials become more attractive comparing to traditional armor materials such as armor steels, with the developing technology, due to weight reduction needs. Unlike the ballistic steels, the composite armors stop the bullet even in repeated shots. In this study, selected composite vehicle armor materials; Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE), Aramid, Carbon, Hybrid, and Glass Fiber fabrics used by layering with PE film plies without using any resin as a matrix material. 9x19 Parabellum FMJ cartridges consisting of the soft lead core with 8 grams at a distance of 5 m were shot with fireworks by the NIJ standards used in ballistic applications. After the fire tests, the damage and deformations in the produced composite armor plates were examined by taking into consideration the process parameters, the composite plate physical and geometrical properties such as weight, thickness, densities, fabric weaving types, number of plies, bullet entry and exit holes. The results were evaluated and concluded to the obtain optimal process parameters and the physical properties such as weight saving and armoring performance.

Keywords: Armored Vehicle, Ballistic, Laminated Composite Materials

1. GİRİŞ

Savaşta veya barışta taşıdığı asker veya sivil sürücü ve yolcuların güvenliğini sağlamak için koruyucu malzeme ile kaplanmış araçlara zırhlı araç denir. Balistik zırh çözümlerinde; zırh ağırlığı ve m^2 'ye düşen ağırlık olarak ifade edilen, alansal yoğunluk kavramı öne çıkmaktadır

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Otomotiv Mühendisliği Anabilim dalı, Görükle-Bursa

** Bursa Uludağ Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Görükle-Bursa

İletişim Yazarı: Murat Yazıcı (myazici@uludag.edu.tr)

(National Research Council, 2011). Balistik malzeme ister çelik, ister cam, ister seramik veya elyaf olsun mutlaka tehdit seviyesine karşılık gelen zırh ağırlığını sağlaması gerekmektedir. Alansal yoğunluk kavramı ise özellikle kumaş takviye malzemelerde karşımıza çıkmaktadır. Tehdit seviyesine göre olması gereken balistik koruma seviyesini sağlamak için olması gereken zırh ağırlıkları bellidir (Sliwinski ve diğ., 2018). Bu ağırlık ile kumaşın alansal yoğunluk değeri kullanılarak, olması gereken katman sayısı hesaplanmaktadır. Gerekli zırh ağırlıkları ise malzeme türüne bağlıdır.

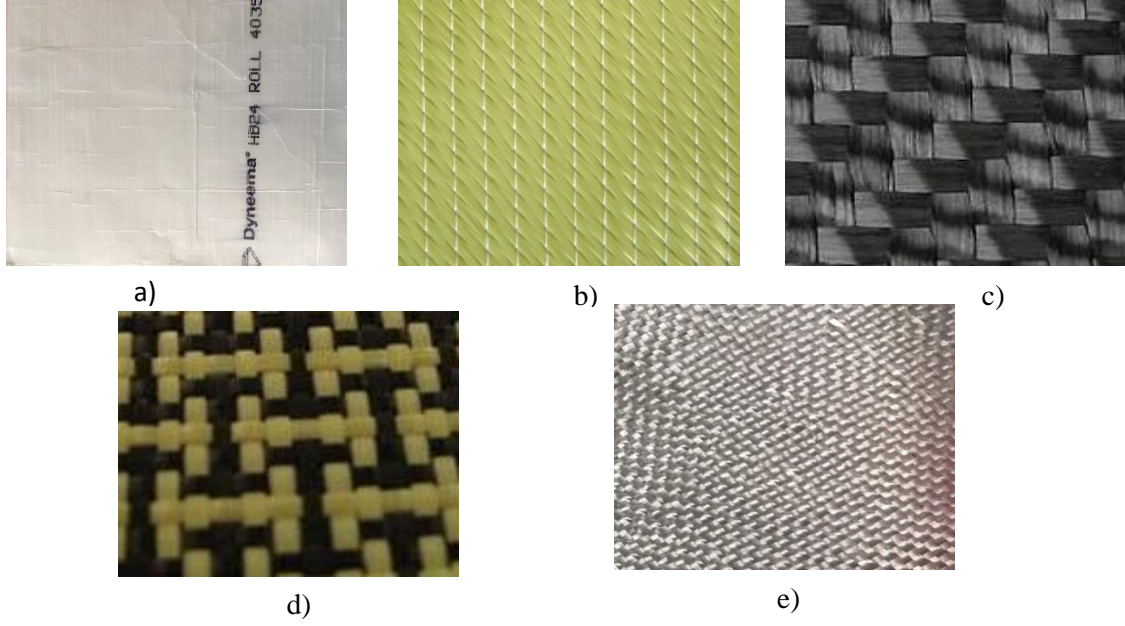
Günümüzde balistik kompozit malzemeler hafif zırhlı araçlarda tek başına kullanılabildiği halde ağır zırhlı araçlarda parçacık tutma ve şok absorbe etme özelliğinden dolayı ikincil zırh olarak kullanılmaktadır. İkincil zırhlar, birincil zırhın arkasında kullanılır (Sockingam ve diğ. 2017). Birincil zırh malzemesi olarak seramik gibi yüksek sertliğe sahip malzemelerden üretilmiş plakalar kullanılır (Braga ve diğ. 2018). Sert malzemelerden üretilmiş birincil zırh, mermi çekirdeğini mümkün olduğu kadar fazla deformasyona uğratarak çekirdek uç geometrisini bozarak çekirdeğin delme gücünü azaltma görevini yerine getirir (Silva ve diğ. 2014). İkincil zırh olarak kullanılan balistik kompozit malzeme kullanılmasındaki amaç ise, mermi çekirdeği kütlesi ve hızı ile oluşturulan kinetik enerjinin, mümkün olduğu kadar hızlı ve mümkün olduğu kadar geniş alana yayılmasını sağlayarak enerjiyi absorbe etmesidir (Pirvu ve Deleanu, 2018). Bu nedenle elyaflardaki özgül enerji yayma hızları önemlidir. Merminin daha fazla mesafeyi koruyucu yapı içerisinde kat etmesi, enerji yayılımı için daha fazla yüzey ile temas etmesine neden olur. Bu nedenle daha yüksek balistik limite çıkılmasını sağlar (Sabet ve diğ. 2009).

Yüksek mukavemetli ipliklerin dokunmasıyla farklı balistik sönümlenme seviyelerine sahip kumaşlar elde edilmektedir. Kumaşın dokuma şekline ve dokuma sıklığına, ipler arasındaki sürtünme ve dokunan iplerin özelliğine bağlı olarak kumaş mukavemeti oluşmaktadır. Ancak ipliklerin dokunmasıyla oluşturulan balistik kumaşın mukavemeti, kumaşı oluşturan ipliklerin toplam mukavemetinden daha yüksek değerlere, hatta özgül mukavemet yönünden çelikten daha yüksek değerlere ulaşır (Işık ve diğ., 2013).

Sunulan çalışmada amaç, zırhlı araçlar için kullanılacak balistik kompozit malzeme ile aynı seviye tehdit durumunda daha ince ve daha hafif yeni bir malzeme geliştirmek ve bundan sonra yapılacak çalışmalara hızlı ve uygun maliyetli üretim prosesi geliştirilerek zemin hazırlamaktır. Bu amaç doğrultusunda UHMWPE, Aramid, Karbon, Hibrit ve Cam elyaflarından oluşan kumaş yapılar, ara yüzey malzemesi olarak seçilen PE film tabakaları ile basınç ve sıcaklık kontrolü özelliğine sahip bir pres kullanılarak, sıcaklık ve basıncın etkisiyle katmanlı yapı formunda birleştirilmiştir. Üretilen çok katmanlı kompozit plakalar ile balistik standartlara uygun deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan atış testleri sonrası, plakaların üretimindeki proses farklılıkları, plakaların ağırlığı, her bir plakada oluşan deformasyonlar, plakaların kalınlıkları, kompozit katmanı oluşturan elyafların alansal yoğunlukları, elyafların dokuma tipleri, katman sayıları, mermi giriş delikleri ve varsa çıkış delikleri değerlendirilerek karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Sonuçlar plakaların balistik performansları, kalınlık ve alansal yoğunlukları göz önüne alınarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

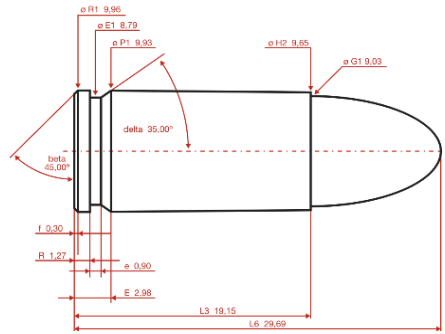
2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada, zırhlı araçlardaki kompozit zırh malzemelerinde takviye malzemesi olarak kullanılan; UHMWPE, Aramid, Karbon, Hibrit (Karbon+Aramid) ve Cam elyafı türleri ile matris malzemesi olarak kullanılan PE film tabakaları laminasyon yapıldıktan sonra pres ile sıcaklık ve basıncın etkisiyle birleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan yüksek mukavemetli elyaflardan dokunmuş kumaşlar Şekil 1'de görülmektedir. Tablo 1'de ise bu kumaşlara ait teknik özellikler verilmiştir. Deneyler, balistik standartlara uygun olarak, 5 m mesafeden 8 g ağırlığında çekirdeği olan 9x19 Parabellum FMJ (Full Metal Jacket) fişekler ile atışlar yapılmıştır (Mukasey ve diğ., 2018).



Şekil 1:

Deney numunelerinde kullanılan takviye kumaşlar: a) UHMWPE Kumaş b) Çok Eksenli Aramid Kumaş c) Karbon elyafı ile dokunmuş kumaş d) Hibrit Karbon/Aramid (Karbomid)kumaş e) Üç boyutlu Cam elyaf kumaş



Şekil 2:

Deneylerde kullanılan fişek Özellikleri(9x19 Parabellum) (Mukasey ve diğ., 2008)

Matris malzemesi için kullanılan polietilen, laminasyon polietileni olarak bilinmektedir. Erime sıcaklığı 130 °C, kalınlığı 60 µm'dir. Esnek balistik koruyucu kumaşlar laminasyon polietilen malzeme ile birleştirilerek katmanlı plakalar üretilmiştir. Şekil 3'de katmanlı yapıların üretilmesi için kullanılan sıcaklık ve basınç kontrollü pres düzeneğine ait detaylar görülmektedir. Laminasyon polietileni çıkılan sıcaklıkta sıvı hale gelse bile yüksek mukavemetli kumaşlar arasında lifleri kaplayarak bir matris yapısı oluşturmak için miktarı yeterli değildir. Bu durum yüksek rijitlik istenen uygulamalar açısından bir dezavantaj oluştursa bile balistik darbe esnasında temas eden rijit cismin enerjisini şekil değiştirmeye, lifler arası sürtünmeye, katmanlar arası PE malzemenin plastik deformasyonuna ve kırılma enerjisine dönüştürerek sönmelenmesini sağlamıştır.

Tablo 1. Deney numunelerinde kullanılan kumaşların teknik özellikleri

	UHMWPE HB 24	ARAMİD AX 340	KARBON CW 600B	HİBRİT CAW 170A	CAM HPT 1230 (3D)
Yoğunluk (g/cm ³)	0,97	1,44	1,8	2,14	2,55
Alansal Yoğunluk (g/m ²)	260	340	600	170	1226
Çekme Modülü (GPa)	87	58	220-240	150	73
Çekme Dayanımı (MPa)	2700	2700	3450-4850	–	2000
Elastisite Modülü (MPa)	700	70500	300000	–	40000
Kopma Uzaması	%3,5	%3,7	%1,6-2,2	%2,3	%2,0

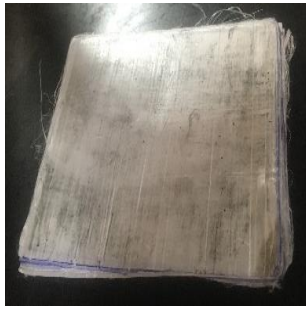
**Şekil 3:**

Deney numunelerinin üretiminde kullanılan sıcaklık ve basınç kontrollü pres.

Üretimi yapılan kompozit plakaların proses özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Cam elyafı için herhangi bir proses ile birleştirme uygulanmamış, sadece üst üste koyulup kalıplanmıştır. Karbon elyafı dışında toplam ağırlık birbirine yakın alınmış, karbon elyafında ise belirli bir kat sayısından gidilmiştir. Bu katsayının belirlenmesinde öz kütlesi en düşük olan UHMWPE malzeme esas alınarak 24 kat seçilmiştir. Şekil 4’de üretilen katmanlı kompozit deney numuneleri görülmektedir. Şekil 4a’da UHMWPE kumaşların PE film arayüzey malzemelerinin kullanımıyla sıcak preste kalıplanması sonucu elde edilmiş kompozit plaka görülmektedir. Şekil 4b’de Aramid+UHMWPE kumaşların katmanlı olarak sıcak preste bir araya getirilerek elde edilmiş plaka numunelerin ön yüz fotoğrafı, Şekil 4c’de ise arka yüzü fotoğrafı verilmiştir. Şekil 4d’de Karbon kumaşların PE filmlerin arayüzeyde katmanları sıcak preste birleştirmek sureti ile üretilmiş çok katmanlı numune plaka görülmektedir. Şekil 4e’de de Karbon ve Aramid elyafların birlikte kullanımı ile dokunmuş hibrit kumaş katmanlarının PE film ile sıcak preste birleştirilmesi ile elde edilen hibrit kompozit plaka numunelere ait bir fotoğraf sunulmuştur.

Tablo 2. Kompozit plakaların proses özellikleri

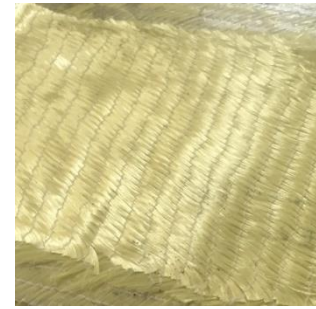
	UHMWPE	ARAMİD+UHMWPE	KARBON	HİBRİT (Karbon+Aramid)	CAM
Basınç (Bar)	80	100	185	185	–
Sıcaklık (°C)	110	120	130	130	–
Süre (dk)	5	20	30	30	–
Boyut (cm)	20x20	20x20	20x20	20x20	20x20



a)



b)



c)



d)



e)

Şekil 4:

Sıcak preste basılarak eriyebilen PE film ile yapıştırılıp, bir araya getirilerek üretilmiş çok katmanlı kumaşlardan oluşan plaka formlu deney numuneleri: a) UHMWPE b) Aramid+UHMWPE ön yüz c) Aramid+UHMWPE arka yüz d) Karbon e) Karbon/Aramid Hibrit

Deneyleerde kullanılan fişekler ve poligon Şekil 5’de görülmektedir. Deneyleerdeki atışlar ise poligonda görevli uzman kişiler tarafından gerçekleştirilmiştir.

NIJ Standartlarına göre kısa namlulu silahlar için atış testi mesafesi 5 m’dir. Şekil 6’da görüldüğü gibi atış mesafesinin ayarlanması için lazer metre kullanılmıştır. Atış mesafesi 5,038 m olarak ölçülmüştür. Sapma %1’in altında olduğu için, mesafe standarda uygun olarak kabul edilmiştir. Atış hızı 363 m/s dir.



Şekil 5:

Atışta kullanılan Fışekler ve atışların gerçekleştirildiği Poligon'dan bir görüntü



Şekil 6:

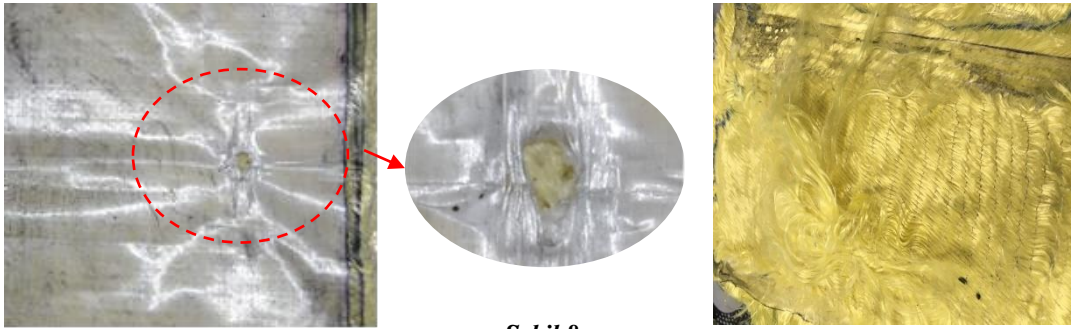
Atış Mesafesinin Ayarlanması

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

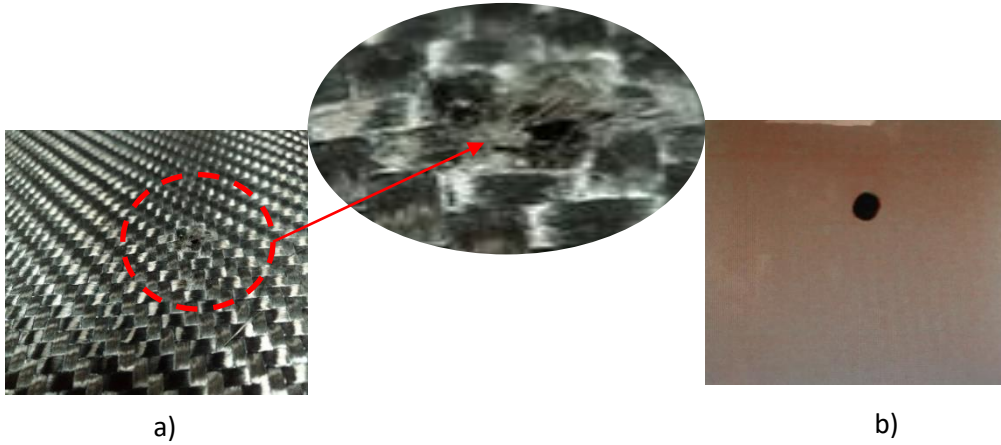
Gerçekleşen atışlar sonrası numuneler üzerinde hasar mekanizmaları incelenerek karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'de esnek yapıdaki UHMWPE deney numunesi görülmektedir. Bu numunede özgül enerji yayılımının yüksek olmasından dolayı herhangi bir delinme gerçekleşmemiştir. Söz konusu deney numunesi yüksek elastik ve plastik şekil değiştirme göstererek, yüzeyine çarpan merminin enerjisini, kumaşı delmesi için gerekli enerji seviyesinin altına düşürmüştü ve yeterli enerjisi kalmayan mermiden dolayı çok katmanlı UHMWPE kompozit yapıda bir delinme gerçekleşmemiştir. UHMWPE 'de oluşan yüksek deformasyon değeri, üretim sırasındaki basınç değerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu basınç eriyen PE filmin UHMWPE kumaşı oluşturan elyaflara nüfus ederek zarar vermesini önlemek amacıyla düşük tutulmuştur. Dolayısı ile katmanlar arası zayıf bir arayüzey oluşturulmuştur. Şekil 8'de ise UHMWPE/Aramid hibrid katmanlı kompozitin atış sonrası aldığı form görülmektedir. UHMWPE/Aramid plakada alansal yoğunluk aynı seviyelerde olmasına rağmen, daha az katmandan oluşturulması nedeni ile kurşun kompozit yapıyı delmiştir. Bu durum, literatürde verilen sonuçlar ile de uyumludur (Sopoznikov ve diğ., 2015; Silva ve diğ., 2018).



Şekil 7:
Atış sonrası UHMWPE katmanlı kompozit yapı

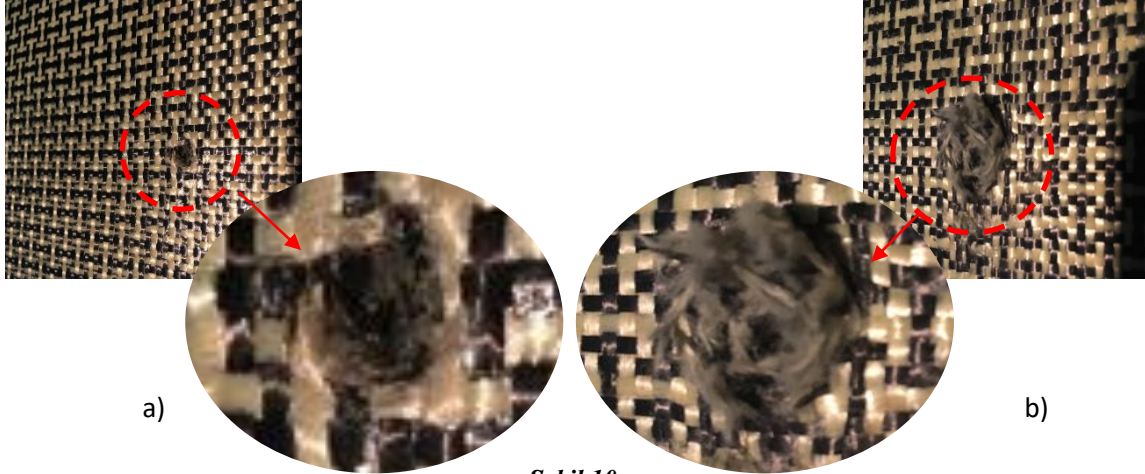


Şekil 8:
Atış sonrası UHMWPE/Aramid katmanlı kompozit yapı: a) Ön yüz b) Arka yüz



Şekil 9:
a) Atış sonrası Karbon kompozit numune üzerinde mermi giriş deliği b) Katmanlı karbon kumaş yapı içerisinde kalan merminin X-Ray görüntüsü

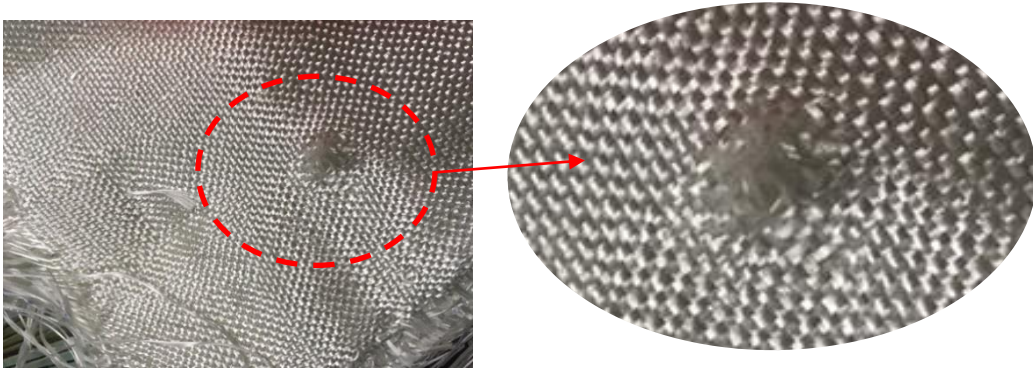
Karbon kumaşlardan oluşturulmuş katmanlı kompozit yapının balistik deney sonrası formu Şekil 9a'da verilmiştir. Karbon elyaf esaslı katmanlı yapıda katman sayısı UHMWPE ile aynı seviyede tutulmuştur. Ancak ağırlık artmıştır. Deney sonucunda merminin etki ettiği bölgede delinme görülmemiştir. Düşük bir deformasyon gerçekleşmiş ve kurşun plakanın içerisinde kalmıştır. Plaka içerisinde kalan kurşunun konumu X-Ray tarayıcı ile görüntülenmiş olup Şekil 9b'de görülmektedir.



Şekil 10:

Atış sonrası Karbon/Aramid (Karbomid) kumaş esaslı katmanlı kompozit malzemede merminin etki ettiği bölgede lokal hasar oluşumu: a) mermi giriş deliği b) mermi çıkış deliği

Karbomid, yani hibrit dokuma kumaşlardan oluşan kompozit deney numunesinde katman sayısı UHMWPE ile aynı seviyede, 24 kat olarak uygulanmıştır. Ancak, alansal yoğunluk az geldiği için kurşun Karbomid kumaş esaslı kompozit levhayı delmiştir. Çekirdek Şekil 10b’de görülen çıkış deliğinin ucunda ezilmiş şekilde bulunmuştur. Karbomid takviyeli katmanlı kompozitin eğilme rijitliğinin yüksekliğinden dolayı gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu durum literatürde verilen sonuçlar ile de uyumludur (Purnomo ve diğ., 2018).



Şekil 11:

Atış Sonrası Cam Elyaf da mermi Giriş Deliği

Cam elyaf esaslı kumaşlardan üretilen katmanlı kompozit plakanın atış sonrası hasar durumu Şekil 11’de görülmektedir. Cam kumaş esaslı plaka numunede ağırlık diğer elyaflar ile aynı tutulmuş, fakat alansal yoğunluk cam elyaf esaslı kumaşın yüksek olması nedeni ile alansal yoğunluğu aynı tutmak amacı ile katman sayısı 4 olarak belirlenmiştir.

Balistik deneyleri yapılan tüm kompozit levhalar ve bu levhaları oluşturan kumaş tipleri, gözlemlenen deney sonuçları Tablo 3’de toplu olarak sunulmuştur. Tablo 3’den anlaşıldığı üzere birçok katmanlı kompozit malzemenin balistik özelliğini, malzemenin alansal yoğunluğu ve katman sayısı önemli ölçüde etkilemektedir. Optimizasyon için belirli bir fişek türü ve hız değerini istenilen deformasyon değeri için durdurabilen minimum katman sayısı ve minimum alansal yoğunluk değeri seçilmelidir. Prosesde kullanılan basınç değerlerinin artması ile malzemenin rijitliği de artmakta ve oluşan deformasyon azalmaktadır. Mermi giriş deliğinin UHMWPE de büyük olması ilk katta merminin önemli ölçüde deformasyona uğradığını

göstermektedir. Aramid+UHMWPE diziliminde de aynı durumu gözlemlenmiştir. İlk katın UHMWPE olması uç geometrisini önemli ölçüde bozmuş ve giriş delik çapı yüksek çıkmıştır. Cam kumaş halinde ise katmanlar arasında birleştirme olmadığı için lifler çok esnemiş ve merminin giriş ve çıkış deliği büyük olmuştur. yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, kullanılan üretim yöntemi için en uygun proses şartları olarak basıncın 185 bar, sıcaklığın 130 °C sıcaklık ve baskı süresinin 30 dk olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. Üretilen balistik kompozit plakaların karşılaştırılması

	UHMWP E	ARAMİD+PE	KARBON	HİBRİT (Karbomi d)	CAM
Kalınlık (mm)	3,96	4,08	14,24	5,25	23,29
Ağırlık (g)	312,3	286,9	1274	449,6	547,3
Katman Sayısı	24	8+1	24	24	4
Dokuma Tipi	Tek yönlü (UD)	Çok yönlü/ (Multiaxial/UD)	Kabartmalı (Twill)	Düz (Plain)	3B
Mermi Giriş Delik Çapı (mm)	7,18	6,84	6,20	6,10	16,56
Mermi Çıkış Delik Çapı	Delinmedi	9,28	Delinmedi	6,41	13,58
Deformasyon (mm)	33,47	21,14	9,2	6,27	---

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada 5 farklı tipte kumaş takviyeli katmanlı kompozit plakaların balistik performansları, deneysel olarak ölçülmüş ve karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Üretim yöntemi olarak kumaş takviyeler ince bir polietilen film ile sıcaklık ve basınç altında istenen kompozit plaklar üretilmiştir. Bu yöntem çok hızlı olması ve termoplastik bağlayıcı malzemenin (PE film) plastik şekil değiştirme kabiliyeti nedeni ile tercih edilmiştir. Termoplastik PE malzeme ince film şeklinde kumaş katmanları arasına konmuş, yüksek basınç ve sıcaklık altında eriyik haline gelerek kumaş dokuların içerisine nüfuz etmesi sonucu kumaş katmanlarını birleştiren bir ara yüzey oluşmuştur. Basınç düşürülmeden soğutulmuş kompozit plakalar elde edilmiştir. Üretilen kompozit plakalar balistik deney numuneleri olarak kullanılmıştır.

Deneylerde elde edilen en önemli sonuçlardan biri kompozit plakaların eğilme rijitlikleri yükseldikçe delinme ihtimalinin artmasının gözlemlenmesidir. Elde edilen bir başka sonuç ise, Alansal yoğunluk katmanlı kompozit yapının performansına etki eden en önemli parametre olduğudur. Deney sonuçlarına göre UHMWPE esaslı katmanlı kompozit yapının en düşük alansal yoğunluk ve en düşük kalınlığa sahip olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlarda eğilme rijitliğinin yüksekliğinden dolayı, merminin Karbomid esaslı numunede plakayı ön yüzünden delmeye başlayarak bölgesel hasara uğrattığı görülmüştür. Ancak mermi yüksek deformasyona uğramış olarak çıkış deliğinin ucunda kalmıştır. Karbomid kompozit plakada delinme görülmüş olmasına rağmen, mermi enerjisi tamamen plaka üzerinde sönmüştür. Bu nedenle Karbomid kompozitlerin özellikle araç zırhlamada araç ağırlığında çok yüksek bir artışa neden olmayacağı ve UHMWPE'ye de iyi bir alternatif olacağı anlaşılmaktadır. Karbon elyaf esaslı kumaşlardan oluşturulan katmanlı kompozit yapıda delinme görülmemiştir. Ancak buna rağmen Alansal yoğunluğun çok yüksek olması nedeni ile araç zırhlamada tercih edilmesi anlamlı görülmemektedir.

Kullanılan üretim yöntemi için en uygun proses şartlarının 185 bar basınç, 130 °C sıcaklık ve 30 dk baskı süresi olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesine imkân oluşturan, malzeme desteğinde bulunarak katkıda bulunan; Telateks A.Ş.'ye, CES İleri Kompozit ve Savunma Teknolojileri A.Ş.'ye ve Poliner Plastik Ambalaj A.Ş.'ye teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

1. Braga F.O., Luz F.S., Monteiro S.N. and Lima E.P. (2018) Effect of the impact geometry in the ballistic trauma absorption of a ceramic multilayered armor system. *Journal of Materials Research and Technology*, 7(4), 554-560. doi:10.1016/j.jmrt.2018.06.019
2. Işık, H., Değirmenci, E. ve Evci, C. (2013) Örgülü Kumaşların Balistik Darbe Enerji Sönümleme Mekanizmalarının İncelenmesi, *Savunma Bilimleri Dergisi*,12 (2), 145-162.
3. Mukasey M.B., Sedgwick J. L. and Hagy D.W. (2008) Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06, Washington, DC, USA.
4. National Research Council (2011) Opportunities in Protection Materials Science and Technology for Future Army Applications, The National Academies Press, Washington DC, USA, 978-0-309-21285-4
5. Pirvu, C. and Deleanu, L. (2018) Ballistic Testing of Armor Panels Based on Aramid. *IntechOpen Pub.*
6. Purnomo H., Widananto H., and Sulistio J. (2018) The optimization of soft body armor materials made from carbon-aramid fiber using the Taguchi method. *AIP Conference Proceedings* 1977, 020003-1. doi:10.1063/1.5042859
7. Sabet A.R., Beheshty M.H. and Rahimi H. (2009) Experimental Study of Sharp-Tipped Projectile Perforation of GFRP Plates Containing Sand Filler Under High Velocity Impact and Quasi-Static Loadings, *Polymer Composites*,30 (10),1497-1509. doi: 10.1002/pc.20720.
8. Sapozhnikov S.B., Kudryavtsev O.A. and Zhikharev M.V. (2015) Fragment ballistic performance of homogenous and hybrid thermoplastic composites. *International Journal of Impact Engineering* 81, 8–16. doi:10.1016/j.ijimpeng.2015.03.004.
9. Silva L.F, Lavoratti A., Pereira I.M., Dias R. R., Amico S.C and Zattera A. J. (2018). Development of multilaminar composites for vehicular ballistic protection using ultra-high molecular weight polyethylene laminates and aramid fabrics, *Journal of Composite Materials*, 0(0) 1–10. doi: 10.1177/0021998318815959.
10. Silva M.V., Stainer D., Al-Qureshi H.A. and Hotza D. (2014) Ceramic armors for ballistic applications: a review, *Cerâmica* 60, 323-331. doi:10.1590/S0366-69132014000300003.
11. Sliwinski M., Kucharczyk W. and Guminski R. (2018) Overview of polymer laminates applicable to elements of light-weight ballistic shields of special purpose transport means. *Scientific Journal of the Military University of Land Forces*,50(3), 228-243. doi:10.5604/01.3001.0012.6240
12. Sockalingam S., Chowdhury S.C., Gillespie J.W and Keefe M. (2017) Recent advances in modeling and experiments of Kevlar ballistic fibrils, fibers, yarns and flexible woven textile fabrics – a review. *Textile Research Journal*, 87(8), 984–1010. doi: 10.1177/0040517516646039