



POLİMER KOMPOZİTLERİN SAVUNMA AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLEMESİ İÇİN HAFİF SİLAHLARLA ATIŞ DENEMELERİ

Ergun ATEŞ^{1*}

¹Balıkesir University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 10100, Altıeylül, Balıkesir, Türkiye

Özet: Bu çalışmada, matris yapı malzemesi olarak genel kullanım amaçlı doymamış polyester reçine ile yapı oluşumu için gerekli bileşenler ve takviye malzemesi olarak dokuma E-cam elyaf kullanılmıştır. Kare ve daire kesitli olarak hazırlanan hedef kompozit plakaların üretiminde, elyaf tabaka sayısı ile birlikte kompozit plakaların kalınlıkları değişken olarak kullanılmıştır. Hedef kompozit plakalara, poligonda 10 m mesafeden, sırasıyla 22 kalibre ve 9 mm mermi atan iki farklı silah kullanarak atışlar yapılmıştır. Atışlar sonucunda, dokuma elyaf tabaka sayısının 9, plaka kalınlığının 12 mm'den daha fazla olması halinde, 9 mm mermi'ye karşı hedef kompozitin başarılı olduğu belirlenmiştir. Kompozit plakalar için koruma seviyesinin NIJ Standard-0101.06'ya göre IIA olduğu belirlenmiştir. Silahla atışlarda hedef hayati önem taşımaktadır ve bu çalışmada, merminin geçmesine engel olan hedef kompozit plaka özellikleri, belirlenen üretim çalışma parametrelerine göre sonuçlar vermiştir. Artan mermi kalibreleri için hedef kompozit üretim parametrelerinin dikkatli bir şekilde planlanması ve mutlaka saha atış deneylerinin yapılması gerekir.

Anahtar kelimeler: Savunma sanayi, Balistik, Balistik kompozitler, Zırh malzemeleri, Kompozit malzemeler


Shooting Trials with Light Weapons to Determine the Defensive Usability of Polymer Composites

Abstract: In this study, unsaturated polyester resin for general use and woven E-glass fiber were used as the components required for structure formation and as the reinforcement material. In the production of target composite plates prepared as square and circular sections, the thickness of the composite plates was variable, together with the number of fiber layers. The shots were fired on target composite plates from a distance of 10 m at the range, using two different weapons that fired 22-caliber and 9-mm rounds, respectively. As a result of the shots, it was determined that if the number of woven fiber layers was 9 and the plate thickness was greater than 12 mm, the target composite was successful against 22 caliber and 9 mm bullets. The level of protection for composite plates has been determined to be IIA according to NIJ Standard-0101.06. The target is of vital importance in shooting with a gun, and in this study, the characteristics of the target composite plate that prevent the bullet from passing gave results according to the determined production operating parameters. For increased shell calibers, it is necessary to carefully plan the target composite production parameters and necessarily conduct field shooting experiments.

Keywords: Defense industry, Ballistic, Ballistic composites, Armor materials, Composite materials

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Balıkesir University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 10100, Altıeylül, Balıkesir, Türkiye

E mail: ergunates@gmail.com (E. ATEŞ)

Ergun ATEŞ  <https://orcid.org/0000-0001-7611-4854>

Gönderi: 23 Ocak 2023

Received: January 23, 2023

Kabul: 10 Mart 2023

Accepted: March 10, 2023

Yayınlanma: 01 Nisan 2023

Published: April 01, 2023

Cite as: Ateş E. 2023. Shooting trials with light weapons to determine the defensive usability of polymer composites. BSJ Eng Sci, 6(2): 74-86.

1. Giriş

Balistik tehditlere karşı koruma sağlamak için ultra yüksek moleküler ağırlıklı polimer (UHMWPE) lifleri ile şerit ve bantları, aramid lifler, balistik cam elyafı (E-cam, S-cam), karbon lifleri gibi ürünler kullanılmaktadır. Artan performans ihtiyacında ise yüksek modüllü propilen lifler (HMPP), balistik seramik lifler tercih edilmektedir. Üretilen kompozitler, kişisel esnek veya kalıplanmış vücut zırhı (kasklar, kurşun koruyucu plakalar, patlayıcı mühimmat imha kıyafetleri (EOD), balistik koruyucu kalkanlar) ve araç zırhı (kara, hava, deniz) olarak belirtilmiştir. Yüksek hızlı (tüfek; namlu çıkış hızları sırasıyla 920±15 ve 830±15 m/s olan tipik olarak 5,56 ve 7,62 mm kalibreli mühimmat) mermi koruması genellikle seramik yüzü ve kompozit destekli ürünlerle yapılır.

Koruma seviyeleri ülkelere göre farklılık gösterir, ancak tipik askeri muharebe miğferlerinin 450 ile 600 m/s arasında 1 g çelik mermiye karşı koruma sağlaması istenir. Kompozit içeren araç zırhı tipik olarak küçük ve orta kalibreli silahlardan (12,7 mm) koruma sağlamayı amaçlar, bu tür bir koruma, seramik yüzü kompozit destekli veya seramik yüzü metalik destekli birleşimlerin kullanılmasını gerektirir. Hafif araçlarda 7,62 mm kalibreli mermilerden ve/veya patlamadan koruma sağlamak için % 100 kompozitler kullanılabilir (Tam ve Bhatnagar, 2016; Carr ve Crawford, 2016). Bir çalışmada, dikişli laminatın hasar toleransının, kırılğan epoksi matrisli bir prepreg laminattan çok daha iyi, sertleştirilmiş epoksi matrisli bir laminattan daha iyi ve çok sert bir termoplastik matrise sahip bir laminatinkine eşit olduğu bulunmuştur (Larsson, 1997).



Kompozitlerin hafiflik, korozyon direnci, iyi mukavemet/ağırlık oranı gibi mükemmel özellikleri sebebiyle savunma uygulamalarında kullanımlarında, sinyal işleme uygulamalı tahribatsız muayene yöntemiyle kontrolleri sonucunda hataların önenebileceği açıklanmıştır (Dragan ve Leski, 2012). Polimer kompozitlerin enerji absorpsiyonunu hesaplamak için bir model geliştirilmiştir. Balistik çarpma anında merminin kaybettiği enerjiye katkısı olan üç ana bileşenin, çekme kırılmasında emilen enerji, elastik deformasyonuna dönüştürülen enerji ve kinetik enerjiye dönüştürülen enerji olduğu açıklanmıştır. Kompozitin arka yüzünde kesme deformasyonu yoluyla oluşturulan deforme olmuş bölgenin boyutunun, malzemenin düzlem içi kesme modülü ile doğrudan ilişkili olduğu bulunmuştur (Morye ve ark., 2000). Hafif zırh yapımı için karbon ve organik liflere dayalı hibrit kompozit malzemelerin özellikleri incelenmiştir. Üretilen laminatların incelenmesinden, balistik özelliklerin geliştirilmesi için organik liflerin yararlı olduğu, basınç dayanımının azalması ve balistik özelliklerin artması için elyaf tipleri ve dağılımının optimizasyonunun yapılması gereği açıklanmıştır (Larsson ve Svensson, 2002). Yapısal olmayan kompozitler, otomobil parçaları, havacılık bileşenleri ve balistik malzemeler gibi birçok uygulama için lignoselülozik malzemelerden doğal lifler kullanılarak dokuma bir formda yeşil malzemelerin geliştirilmesine artan bir ilgi vardır. Bu dokuma malzemeler esnekler, özel ihtiyaçlara göre uyarlanabilir ve dokuma yapıları nedeniyle daha iyi mekanik özelliklere sahiptir (Aisyah ve ark., 2021). Aramid elyaf kumaş epoksi ve polipropilen bazlı hazırlanmış kompozit laminatların, balistik darbe performansı 7,62 mm zırh delici mermilerle incelenmiştir. Farklı kalınlıktaki kompozitlerdeki matrisin hasar paterni incelenmiştir. Mermilerin vuruş hızları ve artık hız korelasyonu ilişkisi kurulmuştur. Balistik limitin laminat kalınlığı ile lineer olarak değiştiği bulunmuştur. Polipropilen kompozitler, epoksi kompozitlerin eşdeğer kalınlığına kıyasla daha yüksek balistik limit göstermiştir (Nayak ve ark., 2012). Matris kesme kuvvetinin dinamik tepki üzerindeki etkisini araştırmak için, karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ve UHMWPE laminatların, balistik performansları ölçülmüş ve monolitik 304 paslanmaz çelik plakalarla karşılaştırılmıştır. Kürlenmiş CFRP plakası düşük hızlarda koni çatlağı oluşumuyla ve yüksek hızlarda ise koni oluşumuyla birlikte merminin altındaki katların birleşmesiyle başarısız olmuştur. Düşük kesme mukavemetli UHMWPE levhası en yüksek balistik limite sahip olmuştur. Fiber kompozit plakaların balistik limiti, matris kesme kuvveti azaldıkça artmıştır (Karthikeyan ve ark., 2013). Balistik direncin gerekli olduğu hafif yapılarda fiber kompozitlerin kullanılması öngörülen bir çalışmada, altı tip kompozit incelenmiştir. Düzlem dışı sıkıştırma testleri yapılmıştır. Kompozit yerleşimi 0/90° şeklindedir. Pik dayanımın, artan düzlem içi numune boyutları ile fiber ve matris mukavemetiyle artarken, artan katman kalınlığıyla azalacağı belirtilmiştir

(Attwood ve ark., 2014). Bir çalışmada, dokuma kenaf-keklar hibrit kompozitler, hacimsel olarak %5,40 ila %14,99 arasında dokuma kenaf içeriğiyle hazırlanmış ve balistik ölçüm testleri farklı darbe ve kalıntı izlerinde parça simülasyon mermileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, 14 kat keklar ve 2 kat kenaf hibrit kompozitlerin diğerlerine göre üstün balistik performans verdiği açıklanmıştır (Yahaya ve ark., 2016). Grafen nanoplateletlerin (GnP'ler) keklar/cocos nucifera kılıfla güçlendirilmiş epoksi kompozitlerin balistik performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Balistik testler, 8 mm yarı küresel paslanmaz çelik mermi ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, GnP'lerin eklenmesinin enerji emilimini ve balistik sınırı keklar/epoksiye göre sırasıyla 9 kat ve 12 kat iyileştirdiği, ancak diğer lamine kompozitlerde ise GnP'lerin eklenmesinin enerji emilimini ve balistik limiti azalttığı belirlenmiştir (Naveen ve ark., 2019). Yumuşak çelik merminin çeşitli kalınlıklardaki düz dokuma E-cam/epoksi kompozit malzeme üzerindeki balistik etkisinin sayısal simülasyonları yapılmıştır. Kompozit malzemenin artık hızı ve balistik limiti sayısal olarak belirlenmiş ve sonuçların iyi bir uyum içinde olduğu belirlenmiştir. Hedef malzemenin 10 mm'den küçük kalınlıkta bir çukurlaşma, büyüğünde ise önce girinti ardından bir çukurlaşma şeklinde iki aşamalı hasar mekanizması gözlenmiştir (Bodepati ve ark., 2020). Seramik polimer kompozit zırhlar, yüksek enerji absorpsiyon kabiliyeti ile yüksek mukavemeti ve hafifliği nedeniyle önemlidir. Seramiğin işlevi balistik darbe penetrasyonunu geciktirmek iken, polimer panel, yayılan elastik/stres dalgalarından üretilen yüksek enerjiyi emer. Çalışmada, polimer bazlı bir malzeme kullanımıyla enerji absorpsiyonunun önemli ölçüde artırılacağı gösterilmiştir (Varma ve Sarkar, 2021). Cam elyafı, poliamid 6 ve aramid kumaş kullanılarak üretilen kompozit vücut zırhının, balistik etkinliği araştırılmıştır. Ateşli silahlarla balistik ortam testleri yapılmış, üretilen vücut zırhının NIJ-Standard-0101.04'e göre kentsel zırh seviyesi III-A olarak potansiyel kullanımını sağlayan 9 mm'lik bir merminin nüfuziyetini engellendiği belirlenmiştir. Ancak, 9 mm'den büyük kalibreli silahlarla testlerde deformasyon olmuştur. Bu yüzden seviye IV tavsiye edilmemiştir (Farias-Aguilar ve ark., 2021). Çalışmada, şeffaf zırh sistemleri içinde Halloosite (HNT) ile güçlendirilmiş poliüretan bazlı şeffaf nanokompozit ara katmanların potansiyeli araştırılmıştır. Balistik testler, poliüretan ara katmanından nanokompozite geçişle balistik limitte 457'den 491 m/s değerine artış göstermiştir. Dinamik simülasyon sonuçları; nanokompozit ara katmanların balistik performansındaki önemli gelişmenin, basit takviye fazı olarak hareket eden küçük HNT konsantrasyonundan değil, matris polimerinin mikro yapısının oluşumundaki etkilerinden kaynaklandığını göstermektedir (Aguilar ve ark., 2022). Bir çalışmada, zırh uygulamaları için takviyeli fiber kompozit alanında gelecekteki çalışmaların bir değerlendirmesi yapılmıştır. Kevlar elyafıyla

güçlendirilmiş kompozitlerin balistik uygulamalarının araştırılması önemli bir araştırma alanıdır (Deora ve ark., 2022). Bu çalışmanın amacı, grafen bazlı nanomalzemelerin kişisel vücut zırhı uygulamaları için penetrasyon enerjisi, tokluk ve balistik sınır açısından potansiyeli araştırılmıştır. Balistik performansındaki en son araştırmalar teorik, deneysel ve simülasyonlar yoluyla ele alınmıştır (Naveen ve ark., 2021). Nanomalzemeler kullanılarak yapılan modifikasyonlar sayesinde (cam, karbon ve aramid elyaf türleri için) eğilme mukavemeti, çekme mukavemeti veya kayma mukavemeti gibi parametrelerin iyileştirilmesi sağlanabilmektedir. Değerlendirmede, en yüksek enerji emme kapasitelerinin bir kesme kalınlaştırma sıvısı veya kesme kalınlaştırma jeli ve uygun bir fiber takviye yapısı kullanılarak elde edildiği açıklanmıştır (Czech ve ark., 2021). Verdi ve Bulut 2022 yılında yaptıkları bir derleme çalışmasında, NIJ-Standardı Seviye-IV en üst koruma düzeyine sahip plakalar hakkında bilgiler vermişlerdir. Çalışmalarda, kişisel veya araç koruma kapsamında, üst düzey malzemelerin ve elemanların bir araya getirilmesiyle ortaya çıkan ürünler olduğu görülmektedir. Korunma ihtiyacının askeri amaçlı olmasıyla herkes tarafından kabul gören standartların oluştuğu ve bu kapsamda üretilmiş olan ürünlerin kullanımında, önceden belirlenmiş olan güvenlikle ilgili beklentilerin karşılanacağından da emin olunur. Bu standartlara ulaşmak ve üst düzey korumaya sahip olmanın bedeli yüksektir. Bu çalışmada, savunma sanayisinde çalışmakta olan firmalar, bunların yüksek maliyetli ürünleri, patentleri, standartları dışında, piyasada kolaylıkla bulunabilen temininde zorluk olmayan, yapısal olarak bu alanda çalışmaya uygun malzemeler kullanarak hedef kompozitlerin üretimi planlanmıştır. Bu şekilde üretilen hedef kompozitlerin, çalışma kapsamında 22 kalibre ve 9 mm mermi tipleri kullanılarak yapılan silahlı atışlara karşı koruma görevlerini yerine getirebilirliğinin incelenmesi hedeflenmiştir.

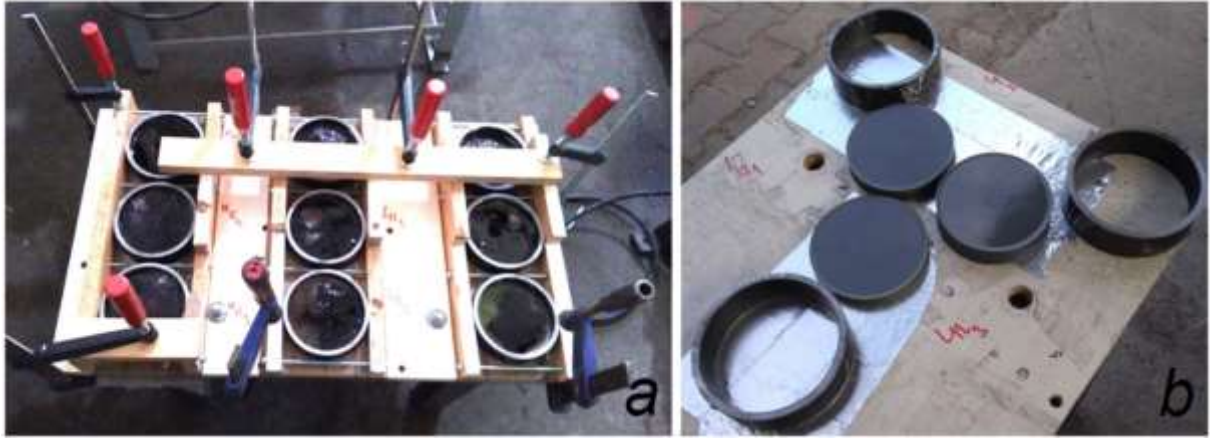
2. Materyal ve Yöntem

Kompozit malzeme matris yapısını oluşturmak için reçine olarak doymamış polyeşter (UHMWPE), sertleştirici olarak Metiletilketon-Peroksit (MEK-P) ve hızlandırıcı olarak Kobalt (%6) kullanılmıştır. Kobalt ve MEK-P kimyasalları bir araya geldiklerinde tehlike oluşturacaklarından, kullanım miktarlarının belirlenme aşamalarında daima ayrı plastik kaplar ve metal olmayan karıştırma elemanları kullanılmıştır. Bu kimyasalların karışıma katılan miktarları düşük olduğundan 0.05 g hassasiyette bir tartı kullanılmıştır. Sigara içilmeyen ve iyi havalandırılmış bir laboratuvarda, eldiven ve koruyucu gözlük kullanılarak işlemler tamamlanmıştır. Takviye malzemesi olarak dokuma tipi E-cam elyaf (500 g/m²) kullanılmıştır. Döküm anında kompozit malzemede hava kabarcıklarının hapsolmesini önlemek amacıyla, kalıpların bağlanabildiği bir tablası olan ve

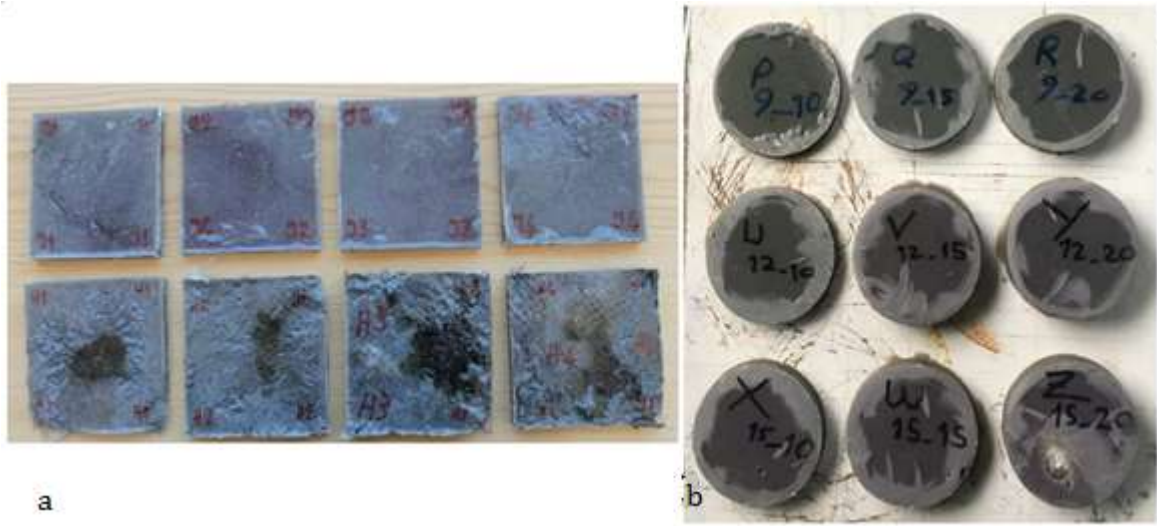
titreşim uygulayabilen, masa tipi bir titreşim makinası kullanılmıştır. Makine 3000 devir/dakika ile tahrik edilmektedir.

Döküm için kullanılacak kalıplar 2 şekilde hazırlanmıştır. Bunlardan birincisi; ahşap malzemeden kare yüzeyli 100x100 mm ve 20 mm bir kalınlık geometrisiyle hazırlanan kalıplardır. İkincisi ise; etli çelik boru malzemelerin tornada işlenmesiyle iç çapı 104 mm ve kalınlığı 25 mm ölçülerinde hazırlanmış olan silindirik kalıplardır. Kalıplanan matris yapı malzemesi polyeşter reçinedir ve döküm işlemi sürecinde kalıplanan ürün kompozitte bir hacimsel çekme görülmektedir. Bu yüzden kalıplardan alınan kompozit numuneler birebir kalıp ölçülerinde değil, o anki döküm geometrisi ve ortam şartlarına göre küçük sapmalarla değişken geometrik ölçülerde elde edilmektedir. Bu düşük çekme miktarı silah atışlarında hedef olacak kompozit malzeme yeterli görünürlükte olduğundan, çalışma için bir sorun oluşturmamıştır. Hesaplamalarda ise kompozit ürünün ölçüleri kullanılmıştır. Kalıpların içerisine yerleştirilen E-cam elyaflar, kalıplara uygun geometrielerde hazırlandıktan sonra 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° gibi açılarda yerleştirilmiştir. Açısal yerleşim olarak bahsedilen uygulamada belirli bir başlangıçtan sonra (her bir açı karşılığı bir dokuma elyaf tabaka olacak şekilde) 8-tabaka sonrası yine rutin 45° farklar ile yerleşimdeki dokuma elyaf tabaka sayısı artmaktadır. Dokuma elyaf yerleşiminde daima bir önceki dokuma elyaf tabakaya göre 45° açısına özen gösterilmiştir. Döküm işleminde polyeşter oda sıcaklığında, ağırlığının %0,2'si oranında Kobalt eklenerek, 2 dakika süresince karışım homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır. Devamında karışıma %2 oranında MEK-P ilave edilmiş ve yine homojen hale gelinceye kadar 2 dakika süreyle karıştırılmıştır. Malzeme bu haliyle kullanıma hazırdır. Döküm için hazırlanmış olan karışımın kış mevsiminde 8+2 dakika ve yaz mevsiminde ise 12+2 dakika jelleşme süresine sahip olduğu üretici firma tarafından verilmektedir. Dolayısıyla belirtilen süre dolmadan döküm işleminin ve titreşim uygulamasının tamamlanmış olması zorunludur. Bu doğrultuda, hazırlanmış olan kompozit karışım, masa tipi titreşimli makinanın tablasında bağlı olan kalıpların içerisinde 45° açılı düzene göre yerleştirilmiş olan E cam elyaflar olduğu halde, titreşim uygulanmakta iken, kalıpların içerisine 6 dakika süre içerisinde dökülerek döküm işlemi tamamlanmıştır. Döküm sonrası, titreşimli masa tablasında, sırasıyla silindirik kalıplarda kürlenmeyi bekleyen ve kalıptan alınmış kompozit numuneler Şekil 1, a, b'de verilmiştir.

Doymamış polyeşter reçinenin kürlenme süresi firma tarafından en fazla 30 dakika olarak verilmiş olsa da, döküm sonrası kompozit numunelere 24 saat herhangi bir işlem yapılmamıştır. Bir gün sonra, kompozit numuneler kalıplardan alınmış, geometrik ve ağırlık ölçümleri yapılarak kodlanmışlardır. Kalıplarından alınmış ve yapılarına göre kodlanmış, kare ve silindirik kompozitler Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Döküm sonrası (a) silindirik kalıplarda kürlenene ve (b) kalıptan çıkarılmış kompozitler.



Şekil 2. Kalıplarından alınmış kompozit numunelerin kodlanması ve atışa hazır hale getirilmesi a) kare b) silindirik.



Şekil 3. Atışlarda kullanılan silahlar, a) Sarsılmaz-B6CLR ve 22 kalibre mermi, b) Canik-TP9 Elite S Combat ve 9x19 mm FMJ RN mermi.

Üretilen kompozit malzemelere mermi atış uygulamalarında iki silah kullanılmıştır. Bunlardan birincisi; "Sarsılmaz-B6CLR, 22 kalibre" (Şekil 3a) olup teknik özellikleri olarak 10 mermi kapasiteli, toplam boyu 185 mm, toplam genişliği 28 mm, namlu boyu 107 mm, toplam yüksekliği 128 mm, ağırlığı 580 g, tetik

sistemi çift hareketli, değişebilir arpacık, iğne kilidi, ergonomik horoz ve tetik korkuluğu olan bir silahtır. Mermi çekirdek ağırlığı 2,59 g, namlu hızı 330,7 m/s ve namlu enerjisi 142,4 Joule olarak verilmiştir (Bitlisli, 2019).

İkinci silah ise; "Canik, TP9 Elite-S Combat, 9x19 mm"

(Şekil 3b) olup teknik özellikleri olarak, uzunluğu 185 mm, genişliği 38 mm, yüksekliği 151,5 mm, namlu boyu 106,5 mm, ağırlığı 830 g olan bir silahtır. Silahın tetik korkuluğu üzerinde tetiğin çekilmesini engelleyen bir emniyet mandalı bulunmaktadır. Şarjör 2 seçenekli olup, 1 adet 15 kapasiteli ve 1 adet de alüminyum uzatmalı 18 mermi kapasitelidir. Hem şarjör kilidi hem de arka kabza farklı ebatlarda sunulmuştur. Tabancada polimer gövde, iğne ateşleme mekanizması ve holografik optiklerin silaha montajını sağlayan 4 ayrı tip ara yüz bulunmaktadır. Silahın atış kontrol parçalarının tamamı nikel ile kaplanmıştır. 9x19 mm Parabellum mermisiyle ilgili standartlar STANAG 4090'da belirtilmiştir. STANAG 4090'da 9x19 mm Parabellum fişeginin mermi çekirdeğinin 16. metredeki hızı 370 ± 10 m/s olarak belirlenmiştir (NATO, 2004). Merminin çekirdek ağırlığı 7,45 gram ve namlu enerjisi ise 462,3 Joule olarak verilmiştir (Bitlisli, 2019).

Bu çalışma kapsamında belirtilen tüm silahla atışların yapıldığı yer bir poligondur ve poligonlar, emniyet teşkilatı tarafından denetlenen birimler olduğundan, silahla atışlar ve patlayıcı malzemeler hakkında istenen tüm güvenlikle ilgili tedbirlerin sağlanmasının zorunlu olduğu yerlerdir. Poligonda atış prosedürlerine uygun olarak deneysel çalışmadaki tüm atışlar tamamlanmıştır. Şekil 4a'da, atıcının atış yapacağı yerde hazır mermileri ve silahlarıyla hedef olarak belirlenen kompozit numunenin standart hedef kağıdına tespit edildiği durum görülmektedir. Şekil 4b'de ise hedefin 10 m uzağa (otomatik olarak) gönderilmesi sonrası atıcı tarafından atış anı görülmektedir. Hazırlanan tüm kompozitler 10 m uzakta olacak şekilde atışlar tamamlanmıştır. Atış anında hedef bölgesine girişler tamamen yasaklanmış ve atıcı EN-352 standardına sahip kulaklıklarını her atışta kullanmıştır.

Kompozit hedef malzemelerin üretilmesinde, farklı ihtimallerin denenebilmesi amacıyla toplam 5 grup olarak yapılan planlama Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'de verilmiştir. Bunlardan A, B, C, D, E, F, G, H, J sembolleriyle tanımlanmış olanların tümü (100x100 mm) kare kesitli numunelerdir. Kalıplar ahşap olup kalınlığı 25 mm'dir. A'dan D'ye her bir sembol için dört

hedef kompozit olmak üzere toplamda 16 adet üretilmiştir. Fakat silahla atış denemelerinde başarısızlığı kesinleşen hedef kompozitler için atışlara devam edilmemiştir. Tablo 1'de yer alan A'dan D'ye sekiz hedef kompozitin tümüne silahla atış yapılmıştır. Tablo 1'de yer alan kompozit hedefler için sütunlarda öncelikle hesaplanmış olan, kalınlık, hacim, ağırlık ve yoğunluk bilgileri verilmiştir. "Elyaf bilgisi" başlığı altında "Düzen_Adet" sütununda kalıp içerisinde yer alan takviye malzemesi elyaf ile ilgili yerleşim ve adet bilgisi yer almaktadır. Buradaki "0/45°_2" bilgisinde; "0/45°" ile dokuma elyaf tabakaların kalıplara yerleşiminde, ilk tabaka pozisyonu 0° kabul edilerek, devamında her bir yerleştirilenin, bir öncesine göre daima aralarında 45° bir açı olması kastedilmektedir. Bilgideki "2" gösterimi kalıp içerisinde 2 tabaka elyaf olduğunu göstermektedir. "Düzen_Adet" sütunundaki "N_1" olarak yazılmış bilgide; "N" sembolü ile dokuma elyaf tabaka tek olduğunda, yerleştirildiği haliyle anlamına gelmektedir. Sembol "1" rakamı ile kompozitte orta bölgede yer alan bir elyaf tabaka olduğu bilgisi kastedilmektedir. "Ağırlık" sütununda ise numunelerin ağırlıkları verilmiştir. "Atış bilgisi" olarak tanımlanmış olan sütunda, atış yapılan "Mermi" bilgisi mm veya kalibre (kal.) olarak, "Başarı" sütunu altındaki gösterimlerde; "B" ve "X" sembolleri sırasıyla, hedef kompozitten merminin geçmemiş ve geçmiş olmasıdır. Tablo 1'de verilmiş olan tüm sütun tanımlamaları, ilerideki Tablolarda da aynı şekilde kullanılmıştır. Hedef kompozitler için yapılan uzunluk ölçümlerinde 0,01 hassasiyette kumpas kullanılmıştır. Tablo 2'de verilen hedef kompozitler; E, F ve G sembolleriyle tanımlanmıştır ve her birinden üçer olmak üzere toplamda 9 adet hedef kompozit üretilmiştir. Hedef kompozitler silahla atışlarda başarısız olduğundan her bir grubun sadece ikisine atışlar gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden, Tablo 2'de sadece silahla atış yapılan kompozitlere yer verilmiştir. Bu hedef kompozitlerin tamamı tek elyaf tabakasından oluşmaktadır. Kalınlık olarak ise küçükten-büyükçe bir ölçüde olup (5,28 mm'den 10,50 mm'ye) hedef kompozitin silahla atışlarda durumunun gözlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4. Poligonda, a) atış öncesi mermiler, silahlar ve kompozit hedef, b) atıcının 10 m uzaktaki kompozit hedefe atış anı.

Tablo 1. A, B, C, D hedef kompozit malzemelerin hesapları ve atış bilgisi

Kompozit sembolü	Alan (mm ²)	Kalınlık (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Elyaf bilgisi		Atış bilgisi	
						Düzen_Adet	Ağırlık (g)	Mermi	Başarı
A1	10198,980	8,46	86,589	102,90	1,118	0/45°_2	9,05	9 mm	X
A2	10170,723	8,66	88,078	105,75	1,201	0/45°_2	9,35	9 mm	X
A3	10304,280	8,32	85,732	101,85	1,188	0/45°_2	9,00	22 kal., 9 mm	X, X
A4	10312,403	9,88	101,887	123,00	1,207	0/45°_2	9,05	22 kal.	B
B	10154,593	10,04	101,952	128,35	1,259	0/45°_2	9,10	22 kal., 22 kal.	X, X
C1	9793,082	9,20	90,096	140,80	1,563	0/45°_2	9,40	22 kal.	X
C2	9747,613	10,38	101,180	151,45	1,497	0/45°_2	9,60	22 kal., 9 mm	X, X
D	9007,908	10,49	94,493	120,35	1,274	N_1	3,35	22 kal., 9 mm	X, X

Tablo 2. E, F, G hedef kompozit malzemelerin hesapları ve atış bilgisi

Kompozit sembolü	Alan (mm ²)	Kalınlık (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Elyaf bilgisi		Atış bilgisi	
						Düzen_Adet	Ağırlık (g)	Mermi	Başarı
E1	9765,392	5,28	51,562	62,55	1,213	N_1	4,50	22 kal., 9 mm	X, X
E2	10489,856	4,61	48,358	60,15	1,244	N_1	4,50	22 kal., 9 mm	X, X
F1	10064,102	7,23	74,956	91,20	1,217	N_1	4,50	22 kal.	X
F2	10893,097	7,26	79,084	98,00	1,239	N_1	4,50	22 kal., 22 kal.	X, X
G1	10395,842	8,77	91,172	114,70	1,258	N_1	4,50	22 kal.	X
G2	10304,280	10,50	108,195	133,45	1,233	N_1	4,50	22 kal., 22 kal.	X, X

Tablo 3. H hedef kompozit malzemelerin hesapları ve atış bilgisi

Kompozit sembolü	Alan (mm ²)	Kalınlık (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Elyaf bilgisi		Atış bilgisi	
						Düzen_Adet	Ağırlık (g)	Mermi	Başarı
H1	10654,368	9,17	97,67	112,00	1,147	0/45°_4	18,10	22 kal., 9 mm	B, X
H2	10594,585	8,37	88,74	112,60	1,269	0/45°_6	26,15	22 kal., 9 mm	B, X
H3	10493,954	10,96	115,0	144,15	1,253	0/45°_8	35,05	22 kal., 9 mm	B, B
H4	10485,760	10,88	114,1	126,05	1,104	0/45°_10	43,15	22 kal., 9 mm, 9 mm	B, X, X

Tablo 4. J hedef kompozit malzemelerin hesapları ve atış bilgisi

Kompozit sembolü	Alan (mm ²)	Kalınlık (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Elyaf-keçe bilgisi		Atış bilgisi	
						Düzen_Adet	Ağırlık (g)	Mermi	Başarı
J1	10102,260	9,82	99,234	115,60	1,165	N_1	4,20	22 kal.	X
J2	10008,002	8,70	87,070	102,40	1,176	N_2	8,00	22 kal.	X
J3	9984,006	9,42	94,070	108,70	1,156	N_3	11,80	22 kal.	X
J4	9938,096	9,32	92,584	107,90	1,165	N_4	16,00	22 kal., 22 kal.	X, X

Tablo 5. P, Q, R, U, V, Y, X, W, Z hedef kompozit malzemelerin hesapları ve atış bilgisi

Kompozit sembolü	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Elyaf bilgisi		Atış bilgisi	
						Düzen_Adet	Ağırlık (g)	Mermi	Başarı
P	102,86	7,03	58,417	78,75	1,348	0/45°_9	37,75	9 mm, 9 mm	X, X
Q	102,40	11,92	98,167	126,80	1,292	0/45°_9	37,75	9 mm, 9 mm	B, B
R	102,61	15,85	131,069	165,60	1,263	0/45°_9	37,75	9 mm, 9 mm	B, B
U	102,99	10,49	87,389	115,90	1,326	0/45°_12	44,65	9 mm, 9 mm	B, B
V	102,25	17,31	142,139	178,25	1,254	0/45°_12	44,65	9 mm, 9 mm	B, B
Y	102,28	19,71	161,941	206,05	1,272	0/45°_12	44,65	9 mm, 9 mm	B, B
X	102,56	13,64	113,723	150,45	1,323	0/45°_15	55,65	9 mm, 9 mm	B, B
W	102,45	16,79	138,409	181,95	1,315	0/45°_15	55,65	9 mm, 9 mm	B, B
Z	102,08	22,08	180,705	227,50	1,259	0/45°_15	55,65	9 mm, 9 mm	B, B

Tablo 3’de verilen hedef kompozitler H sembolüyle tanımlanmıştır. Bunlar 4 adet üretilmiştir. Tablo 3’deki hedef kompozitlerde elyaf tabaka sayısı sırasıyla, H1’de 4, H2’de 6, H3’de 8 ve H4’de ise 10 adet olarak kullanılmıştır. Elyaf dokuma yine kalıp içerisine bir öncesine göre daima 45° açı ile yerleştirilmiştir.

Tablo 4’de verilen hedef kompozitler J sembolüyle tanımlanmıştır. Bunlar 4 adet üretilmiştir. Tablo 4’deki hedef kompozitlerin diğerlerinde en önemli farkı takviye malzemesi olarak elyaf-keçe (450 g/cm²) kullanılmış olmasıdır. Hedef kompozit malzeme içyapısında sırasıyla J1’de 1, J2’de 2, J3’de 3 ve J4’de ise 4 tabaka keçe-elyaf yerleştirilmiştir.

Tablo 5’de verilen hedef kompozitler P, Q, R, U, V, Y, X, W, Z olarak toplam 9 adet üretilmiştir. Bu hedef kompozitler daire kesitlidir. Kompozitler, içyapıda aynı elyaf tabaka sayılı (9, 12 ve 15) üç grup için, küçükten büyüğe artan farklı kalınlıklarda (7,03 mm’den 22,08 mm’ye kadar) hazırlanmışlardır. Ölçülen kalınlıklar “kalınlık” sütununda verilmiştir.

NIJ Standart-0101.06 ateşli silahlara karşı kişisel

zırhlarda balistik dayanım için minimum performans gerekenleri ve deney yöntemleri açıklamıştır. Bu standartta balistik performans parametreleri mermi kalibresi, tipi, hızı ve ağırlığıdır. Standart’da IIA, II, IIIA, III, IV olarak 5 farklı koruma seviyesi, gerekli mermi özellikleri ve deney koşulları tanımlanmıştır. Standarta göre 5 m mesafeden yapılan atışlarda, hedef ve silah arasında, hedeften 2,5 m mesafede bir hız ölçer olması istenir. Atış denemelerinde ölçülen farklı mermi hızlarıyla birlikte oluşan deformasyonun, çöküntü miktarı olarak ölçülmesiyle bir değerlendirme yapılmaktadır (NIJ, 2008). Bu çalışmada atışlarda 22 kalibre ve 9 mm mermiler kullanılmıştır. NIJ Standart-0108.01’de 22 kalibre için “koruma seviyesi I” olarak açıklanmıştır (NIJ, 1985). NIJ Standart-0101.06’da yeralan 9 mm mermilerle ilgili detaylar Tablo 6’da verilmiştir (NIJ, 2008). Bu çalışmada üretilmiş olan hedef kompozitlerin, kullanılan 9 mm mermi tipine de bağlı olarak atışlarında başarılı olması halinde, IIA veya II koruma seviyesine sahip oldukları söylenebilir.

Tablo 6. NIJ Standart 0101.06’ya göre 9 mm mermi için balistik test kriterleri (NIJ, 2008)

Zırh tipi	Test atışı	Mermi kalibresi	Mermi ağırlığı (g)	Şartlı mermi hızı (m/s)	Yeni mermi hızı (m/s)	Panel başına 0° açı ile atış	Panel başına 30° veya 45° açı ile atış	Panel başına atış (adet)	Max. arka yüzey def. (mm)
IIA	1	9 mm FMJ RN	8,0 124 grain	355	373	4	2	6	44
II	1	9 mm FMJ RN	8,0 124 grain	379	398	4	2	6	44
Özel				Zırh performansı ve atış gerekenleri zırh tipine bağlı olmalıdır.					

3. Bulgular ve Tartışma

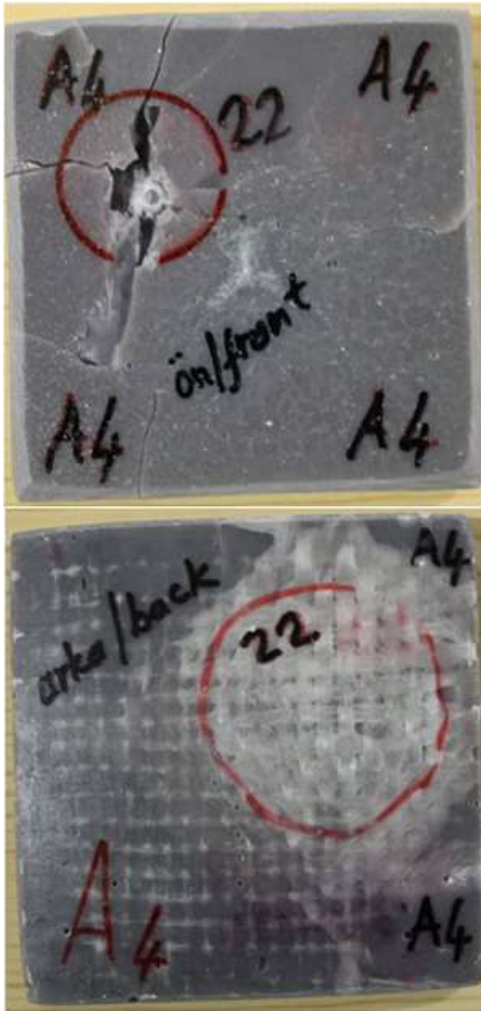
Tablo 1’den Tablo 5’e kadar olan tüm hedef kompozitlerin boyutlarından hacim değerlerinin hesaplanması, devamında hassas tartım ile birlikte yoğunluk hesabının yapılmasıyla fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu bilgiler ve dokuma elyaf tabaka sayısı ile birlikte, kalınlığın da dikkate alınarak, hedef kompozitlerin silahla atışa karşı dayanımının belirlenebilmesi hedeflenmiştir.

İlk silahla atış denemeleri, Tablo 1’de A1, A2, A3, A4, B, C1, C2 ve D olarak verilen hedef kompozitlere yapılmıştır. Bu kompozitlerin içyapıları benzerdir ve dokuma elyaf 2 adet 0/45° olarak yerleştirilmiştir. A1’den C2’ye kadar olan kompozitler de sırasıyla en küçük ve en büyük kalınlık değeri (A3) 8,32 mm ve (C2) 10,38 mm olarak ölçülmüştür ve bunlar arasındaki fark aynı zamanda bu gruptaki tüm kompozitlerin kalınlıkları arasındaki en büyük fark olan 2,06 mm’dir. Kalınlık parametresi kompozitin kalınlığı olup, kompozit yüzeyine dik olarak gelen merminin sahip olduğu enerjiyle, aşmaya çalıştığı uzunluk ölçüsüdür. Merminin hareket doğrultusuna paralel bir düzlem tanımlanırsa, kompozitin kalınlık ölçüsü ve bu ölçü de yapı içerisinde var olan ilave katkı malzemeleri, mermiye direnç gösteren elemanlar

olacaktır. Kalınlık ölçüsü, hacim hesabı ve devamında ağırlık ölçüm değeriyle birlikte yoğunluk hesabında da kullanılmıştır. Yoğunluk hesabı ile birim hacimdeki ağırlık belirlenmiş olacağından, kompozitin mermiyi yakalaması veya merminin kompoziti aşması hallerinde ağırlık parametresiyle de bir değerlendirme yapılması hedeflenmiştir. Tablo 1 ve devamındaki tablolar da dahil, “kalınlık” ve “yoğunluk” parametreleriyle birlikte “Atış bilgisi” kapsamında “mermi-hedef kompozit” olarak atış sonrası durum incelenecektir. Bu gruptaki hedef kompozitlerin yoğunlukları olarak sırasıyla en küçük ve en büyük değerler, (A1) 1,118 g/cm³ ve (C1) 1,563 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. D hedef kompozit ise kalınlığı grubun en büyüğü ve içyapıda ise tek bir dokuma elyaf tabaka haliyle hazırlanmıştır. Yoğunluk değeri olarak Tablo 1’in ortalaması bir değere sahiptir.

Tablo 1’deki tüm hedef kompozitlere, “Atış bilgisi” ile verilen, 7 adet 22 kalibre ve 5 adet 9 mm mermiler kullanılarak silahlı atışlar yapılmıştır. Tabloda verilen 12 atıştan sadece bir tanesi (A4 ve 22 kalibre) başarılı olarak merminin geçmesine izin vermemiş fakat 11 atışta ise mermiler hedefleri aşmış ve hedef kompozitler başarısız olmuştur. Atış sonuçları bu grubun tamamının, mermiyi önleme adına başarısız olduğunu göstermiştir.

D hedef kompozitte kalınlık artsa da tek bir elyaf tabakası mermiyi yakalamak için yeterli olamamıştır. A1'den C2'ye kadar olan hedef kompozitler de, 0/45° yerleşimin ve mevcut kalınlıklarının, mermiyi önlemek için yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Atışlarda sadece 12 atıştan 1'inin, (A4) 22 kalibre için, başarılı demek, hayati önem taşıyan bu tür olaylarda, 12 atışın 11'inin başarısızlığı sebebiyle, kabul edilebilir bir sonuç olarak değerlendirilmemelidir. Şekil 5'de A4 hedef kompozit plakanın atış sonrası ön ve arka yüzü verilmiştir. Ön yüzde, daireyle işaret edilen yer merkezi atışta merminin isabet ettiği noktayı ve darbe etkisiyle kompozitte oluşan hasar görülmektedir. Arka yüzde, daire dışındaki bölge orijinal dokuma elyaf tabakası yapıda belirgin şekilde görünür iken, daire olarak işaretli bölge diğer tarafa göre küçük bir bombe formunu almıştır. Fakat hedef kompozit merminin geçmesine izin vermemiştir.

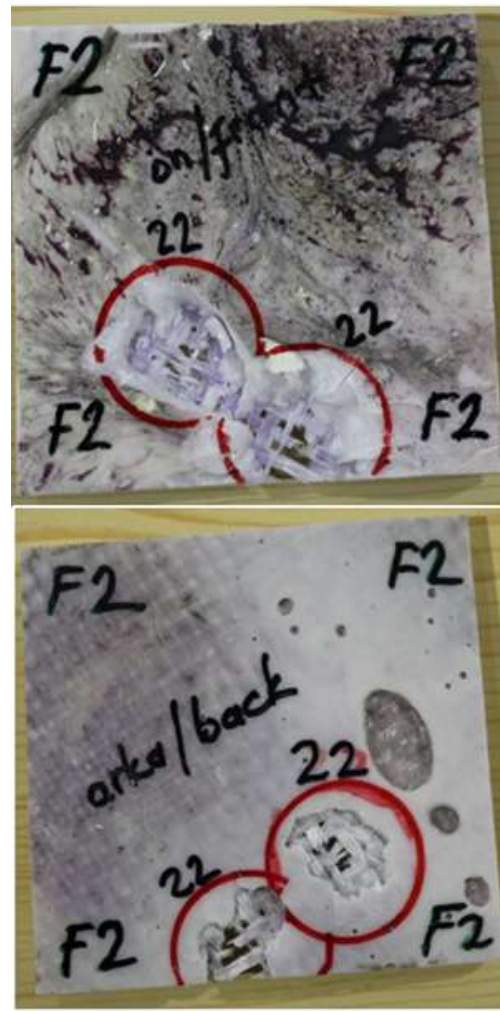


Şekil 5. A4 Kompozitin atış sonrası ön ve arka yüzü.

Tablo 2'de verilen E, F, G hedef kompozitler içyapıda tek bir elyaf tabaka yerleşimiyle, özellikle farklı kalınlıklarda olacak şekilde üretilmiştir. Kompozitlerin kalınlıklarının sırasıyla en küçük ve en büyük değerleri olarak (E2) 4,61 mm ve (G2) 10,50 mm olarak ölçülmüştür. Yoğunluklar sırasıyla en küçük ve en büyük değerler olarak (E1) 1,213 g/cm³ ve (G1) 1,258 g/cm³ olarak hesaplanmıştır.

Yoğunluk değerleri birbirlerine oldukça yakındır ve sadece ondalık kısımda değişkenlik görülmüştür. Silahlı atış sayısı toplam 10 olup, 8'i 22 kalibre ve 2'si 9 mm olarak tamamlanmıştır. Bu grupta yer alan tüm hedef kompozitler silahlı atışlara karşı mermiyi engel olamamıştır.

Şekil 6'da F2 hedef kompozitin silahla atış sonrası durumu görülmektedir. F2 kompozite 22 kalibre silahla 2 atış yapılmıştır. Hedef kompozitin ön yüzeyinde daire içerisinde işaretlenen bölgelere mermi isabetiyle matris ve elyaf yapı deforme olmuş ve mermi arka yüzden çıkmıştır. Arka yüzey görüntüsünde hasar görerek açıklık oluşmuş dokuma elyaf tabakaları görülmektedir. Merminin isabet ettiği noktalarda matris yapı ve elyaf tabakasında büyük hasar oluşmuştur. İçyapıdaki tek elyaf tabakası ve hedef kompozitin kalınlığı mermiyi engellemek için yeterli olmamıştır.



Şekil 6. F2 Kompozitin atış sonrası ön ve arka yüzeyleri.

Tablo 3'de H hedef kompozitlerin içyapısında dokuma elyaflar 0/45° ve sırasıyla 4, 6, 8, 10 adet olarak yerleştirilmiştir. Kalınlık olarak ise sırasıyla en küçük değer ve en büyük değerler olarak (H2) 8,37 mm ve (H3) 10,96 mm olarak ölçülmüştür. Artan dokuma elyaf sayısının ve artan yükseklik ölçülerinin, silahla atış sonucuna etkilerini gözlemek hedeflenmiştir. Üretilen H

hedef kompozitlerin yoğunlukları incelendiğinde sırasıyla en küçük ve en büyük değerler olarak, (H4) 1,104 g/cm³ ve (H2) 1,269 g/cm³ hesaplanmıştır. Yoğunluk değerleri elyaf tabaka sayısındaki artışla azalmıştır.

Şekil 7'de H4 hedef kompozitin silahla atış sonrası ön ve arka yüzeylerinin görüntüsü verilmiştir. H4 kompozitte, ön yüzde, 9 mm iki atış, şekilde üst ve merkezdeki daire işaretleriyle verilmiştir. Hedef bu iki noktada 9 mm merminin geçmesine engel olamamıştır. Ön yüzdeki alta görülen daire işaretli nokta ise 22 kalibre merminin isabet ettiği noktadır. Hedef malzeme 22 kalibre merminin geçmesine engel olmuştur. Şekilde arka yüz görüntüsünde üst ve ortada yer alan daire işaretlerinde, 9 mm'lik iki mermi ile atış sonucu hasar görmüş dokuma elyaflar görülmektedir. Şekilde arka yüzün olduğu görüntüde alt kısımda işaretli dairede ise elyaflar da 22 kalibre'lik atışa rağmen herhangi bir hasar oluşmadığı görülmektedir. H4 kompozit 22 kalibre mermiyi engellemiştir. H4 kompozitin atış sonrası kesilmiş hali Şekil 8'de verilmiştir. Kompozitin kesilmiş yüzeyinin görüntüsü incelendiğinde, 22 kalibre merminin engellendiği alt bölgenin, 9 mm mermilerin geçtiği orta ve üst bölgeye göre üretim sonrası orijinal kalınlığını koruduğu görülmektedir. Mermilerin 9 mm delici hasar oluşturarak geçtiği orta ve üst bölge ise elyaf hasarları etkisiyle büyümüş bir ölçü olarak görülmektedir.



Şekil 7. H4 Kompozitin atış sonrası ön ve arka yüzeyleri.

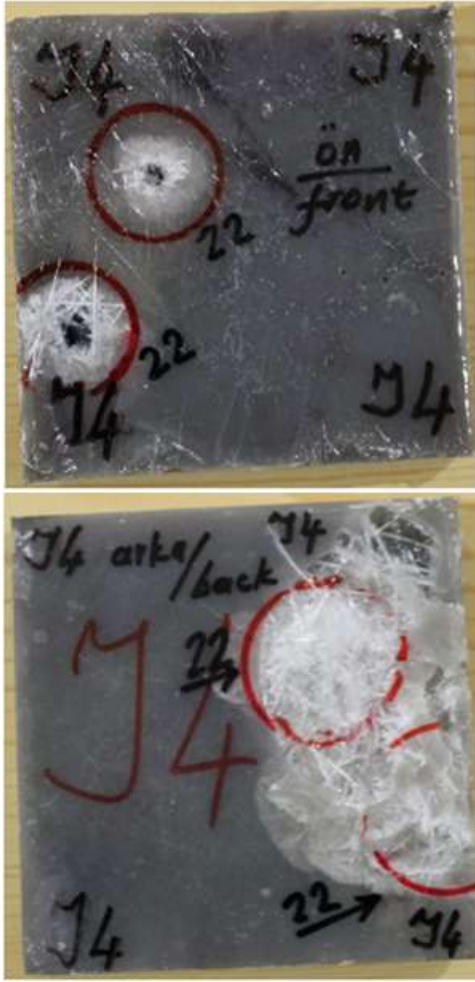


Şekil 8. H4 Kompozitin atış sonrası kesilmiş hali.

H grubunun tümünde, 22 kalibre 4 atış, 9 mm 5 atış ve toplamda 9 atış yapılmış ve bunlardan 22 kalibrelerin tümü hedef kompozit adına başarılı olmuş ve merminin geçmesine engel olmuştur. Hedef kompozitler 9 mm tüm atışlarda başarısız olmuş ve mermiler hedefi delerek geçerken, hedef kompozit hasar görmüştür.

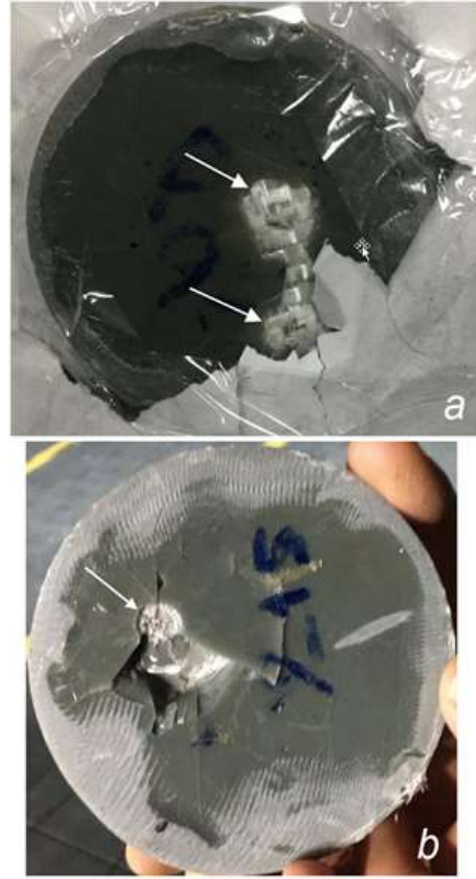
Tablo 4'de J sembolüyle verilen hedef kompozitler içyapısında dokuma-elyaf yerine keçe-elyaf (1, 2, 3 ve 4 tabaka olarak) kullanılmıştır. Burada gözlenmek istenen, dokuma elyaf yerine keçe elyaf olması halinde silahla atışlarda hedef kompozitin durumunu belirlemektir. Kompozitler içerisinde kalınlık olarak sırasıyla en küçük ve en büyük değerler (J2) 8,70 mm ve (J1) 9,82 mm olarak ölçülmüştür. Yoğunluk değerleri sırasıyla en küçük ve en büyük değerleri ise (J3) 1,156 g/cm³ ve (J2) 1,176 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Kompozitlerin kalınlık ve yoğunluklarının birbirlerine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. Keçe elyaf hedef kompozitlere 22 kalibre 5 adet mermi ile atış yapılmış ve atışların tümü başarısız olmuştur. Bu yüzden, çalışmadaki denemeler kapsamında, keçe-elyaf kompozitlerin savunma için yetersiz olduğu belirlenmiştir. Şekil 9'da atış yapılan J4 kompozitin ön ve arka yüzeyleri verilmiştir. Ön yüzeyde belirgin olan 22 kalibre mermi ile 2 atışta arka yüzeyden geçmişlerdir. Atışlarda gözlenen diğer bir konu ise dokuma elyaf hedef kompozitlerin keçe elyaf kompozitlere nazaran daha dirençli olduklarıdır.

Tablo 5'de P'den Z'ye kadar verilen hedef kompozitlerde ortak özellikler, içyapıdaki dokuma elyafların 9, 12, 15 adet (0/45° dizilimde) yerleştirilmesi ve farklı kalınlıklara sahip silindirik disk olarak üretilmeleridir. Kompozitlerden alınan çap, kalınlık ölçüleriyle hacimleri ve ağırlık ölçümleri sonrası da yoğunlukları hesaplanmıştır. Yapılan kalınlık ölçümlerinde sırasıyla en küçük ve en büyük değerler (P) 7,03 mm ve (Z) 22,08 mm'dir. Sırasıyla en küçük ve en büyük yoğunluk değerleri ise (V) 1,254 g/cm³ ve (P) 1,348 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Silahla, tek tip 9 mm mermi kullanılarak, her bir hedefe 2 olmak üzere toplamda 18 atış yapılmıştır.



Şekil 9. J4 Kompozitlerin atış sonrası ön ve arka yüzeyleri.

Şekil 10a'da, atış sonrası P kompozit görülmektedir. Kompozitin oklarla işaretlenmiş noktalarına (9 mm) mermi isabet ettiğinde, ikinci mermi sonrası ikiye ayrılmış ve her iki atışta da mermiler kompozitten geçmiş ve hedef başarısız olmuştur. Tablo 5'de, verilen disk P kompozitin kalınlığı 7,03 mm'dir ve bu kalınlık 9 mm merminin geçmesi için 9 tabaka dokuma elyafa rağmen yeterli olamamıştır. Kalınlığında önemli bir parametre olduğu ve bu ölçüye dikkat edilmesi gereği açıktır. Şekil 10b'de, ok ile işaretlenmiş noktaya mermi isabet etmiş fakat olduğu yerden ileriye gidemeyerek geriye sekmıştır. Q kompozit kalınlığı 11,92 mm'dir ve bu kalınlık ve buradaki 9 kat dokuma elyaf ile oluşan yapı merminin geçmesine izin vermeyerek başarılı olmuştur. Şekil 11a'da, R kompozitin durumu görülmektedir. Şekilde ok ile işaretlenmiş noktaya mermi isabet ettiği halde yapı merminin geçmesine engel olmuş ve başarılı olmuştur. Şekil 11b'de, ilk atışlar sonrası (Şekil 2b'de görülen dizilimle aynı) kompozitler verilmiştir. Kompozitlerin üzerinde oklarla işaretlenmiş noktalarda, kompozite isabet ettiği halde, geçmesine engel olunmuş (saplanmış) mermiler görülmektedir. P numunesi hariç geri kalan tüm hedef kompozitler Tablo 5'de görüldüğü gibi 9 mm merminin geçmesine engel olarak başarılı olmuştur.



Şekil 10. Atış sonrası P (a) ve Q (b) kompozitler.



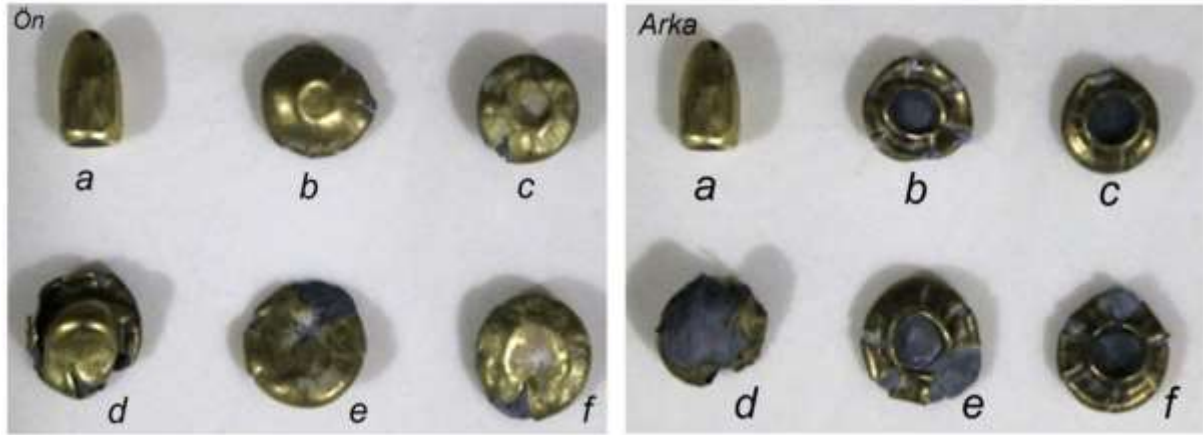
Şekil 11. Atışlar sonrası numuneler a)R silindirik kompozit b)Tüm silindirik kompozitler.

Şekil 12’de “ön” ve “arka” olarak verilenler, atışlar sonrası mermi çekirdeklerinin sırasıyla ön ve arka yüzeyinden görünüşleri olup, Şekil üzerinde b’den f’ye kadar harf sembolleriyle tanımlanmıştır. Bu mermi çekirdekleri, Şekil 11b’de başarılı olmuş kompozitlerin üzerinde oklarla işaretlenmiş olan mermi çekirdekleridir. Şekil 12.ön.a ve Şekil 12.arka.a’da verilmiş olan mermi çekirdeği, hasara uğramamış, hedefi bulamayan veya hedefi geçen mermilerden biri olup orijinal boyutlara en yakın haldedir. Şekil 12.ön ve arka görünüşlerdeki b’den f’ye kadar olan mermi çekirdekleri incelendiğinde, mermi çekirdeklerinin tümüne bir basma deneyi uygulanmış gibi görünmektedir. Hedef kompozitleri geçememiş mermi çekirdekleriyle ilgili ağırlık, çap ve uzunluk ölçümleri yapılmış ve bunlar Tablo 7’de verilmiştir. Atış sonrası namludan çıkıp deformasyona uğramamış mermi çekirdeğinin ağırlık, çap ve uzunluk parametreleri referans olarak alınmıştır. Deformasyona uğrayan mermi çekirdeklerinde (ağırlık, çap ve uzunlukta) değişkenlikler olsa da en büyük ölçüm değerleri dikkate alınmıştır. Tablo 7’de, b’den f’ye kadar olan mermi çekirdekleri için ağırlık değişimi, çapta büyüme ve uzunlukta küçülme değerleri (oran olarak) verilmiştir.

Ağırlıklar olarak hasara uğramamış mermi çekirdeği 8,00 g iken, atış sonrası tüm mermi çekirdekleri bu değer in altında değerler olarak oran olarak sırasıyla en küçük ve en büyük değerler 1,08 ve 1,10 olmuştur. Hesaplama sonuçlarına göre mermi çekirdeğinin “çapta büyüme” değerleri oran olarak sırasıyla en az ve en çok olarak 1,64

ve 1,96 olmuştur. Hesaplama sonuçlarına göre mermi çekirdeğinin “uzunlukta küçülme” değerleri oran olarak sırasıyla en az ve en çok olarak 1,48 ve 2,35 olmuştur. Atış sonrası mermi çekirdeğinin hedef kompozite temasında, mermi çekirdeği hedefi aşamadığında, çarpışma gerçekleşerek, oluşan darbe etkisiyle hedef kompozite itme kuvveti uygularken mermi çekirdeği form değişikliğine uğramış ve deformasyon özellikle çap ve uzunlukta belirginleşmiştir.

Çalışmada öncelikle kare şeklinde hedefler hazırlanmasının sebebi, özellikle kişisel korunma kapsamında bir güvenlik yeleğinde hazırlanmış olan küçük ceplere yerleştirilebilecek plakalar olarak düşünülmesindedir. Uygulamada NIJ Standart-0101.06’da öngörülen 5 m atışlara göre mesafenin 10 m veya daha uzun mesafelere artması, atışı uzman atıcının yapıyor olmasına rağmen hedefe isabet zorlaşabilmektedir. “Uluslararası Atıcılık Sporları Federasyonu (ISSF)”, “kurallar ve genel mevzuat” yayınında hedeflerle ilgili açıklamasında; ISSF şampiyonalarında kullanılan hedefler; tüfek ve tabanca yarışmaları için elektronik puanlama hedefleri veya kâğıt hedef, yivsiz tüfek yarışmaları için plaklar olarak verilmiştir. Tüm hedefler, bu kurallarda verilen puanlama halkası boyutları veya diğer özelliklerle uyumlu olmalıdır şeklinde açıklanmıştır (ISSF 2017). Silah tipleri ve atış mesafesine göre hedefler de değişiklik göstermektedir.



Şekil 12. Atışlar sonrası (a hariç) başarılı kompozit hedefleri geçemeyen mermi çekirdeklerinin ön ve arka yüzeyleri.

Tablo 7. Atış sonrası hedef kompozit malzemelerden geçememiş mermi çekirdeklerinin ağırlık, çap ve uzunluk değişimi

Mermi sembolü	Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi	Çap (mm)	Çapta büyüme	Uzunluk (mm)	Uzunlukta küçülme
a	8,00	1	9	1	15,72	1
b	7,40	1,08	15,64	1,74	6,77	2,32
c	7,35	1,09	14,80	1,64	8,04	1,95
d	7,25	1,10	17,35	1,93	10,61	1,48
e	7,35	1,09	17,65	1,96	8,09	1,94
f	7,30	1,10	16,54	1,84	6,68	2,35

Çalışmanın devamında dairesel geometri hedefler üretilmesinin nedeni ise genellikle hedeflerde var olan bir halka formu ve kare numunelere göre daha büyük ölçüdeki daire geometrisinin isabet alma kolaylığı da etkili olmuştur.

4. Sonuç

Bu çalışmada, bu alana uygun özel geliştirilmiş malzemeler dışında, temininde zorluk olmayan, kolay bulunabilir ve kompozit matris yapı oluşturabilen bileşenler kullanılarak, farklı katmanlara sahip dokuma cam elyaf takviyeli, düşük ağırlıklı, hedef kompozitler üretilmiştir. Üretilmiş kompozitlerden belirli bir yapıya, 22 kalibre ve 9 mm mermi kullanarak atış poligonunda silahla atışlar yapıldığında, koruma seviyesinin IIA olarak tanımlanabileceği belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında belirlenen önemli parametrelerden birincisi, mermi hareket yönündeki düzlemde plaka hedef kompozitin kalınlık ölçüsü, ikincisi ise, yapı içerisinde bulunan dokuma elyaf tabakalarının sayısı olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, yapılan silahla atışların sonuçlarına göre plaka hedef kompozitin kalınlık ölçüsünün 12 mm'den büyük ve içyapıda yerleştirilecek dokuma elyaf tabaka sayısının 9'dan büyük olması gerekmektedir. Elyaf tabakalar ağırlık olarak düşük değerlerdedir ve matris yapıyı oluşturacak malzeme kullanımıyla karşılaştırıldığında ihmal edilebilecek miktarlardadır. Buna karşılık oluşan malzemenin mermiye karşı dayanımı açısından büyük katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla daha büyük kalibreli mermilere karşı koruma istenen kompozitler için yerleşimi (0°/45° gibi) önemseyerek elyaf tabaka sayısı daha da artırılmalıdır.

Çalışmada hedef kompozitin başarılı olduğu ve mermi çekirdeğinin geçmesine izin vermediği durumlarda, mermi çekirdeğinin atış öncesi ve atış sonrası ağırlığında azalma, çapında büyüme ve uzunluğunda küçülme tespit edilmiştir. Mermi çekirdeğinin atış öncesi ve sonrası özellikleri oranlanarak durum değişiklikleri açıklanmıştır. Buna göre; ağırlıktaki azalmanın değişimler ortalaması 1,09 g olarak hesaplanmıştır. Ağırlıktaki bu değişimin sebebi olarak mermi çekirdeğinin hedef kompozit ile temasında oluşan darbe sonrası yapısal kayıplar olması şeklinde değerlendirilmiştir. Mermi çekirdeğinin çapında ise bir büyüme belirlenmiştir. Çaptaki büyümenin değişimler ortalaması 1,82 mm olarak hesaplanmıştır. Mermi çekirdeğinin uzunluğunda ise bir küçülme olduğu belirlenmiştir. Uzunluktaki küçülmenin değişimler ortalaması ise 2,01 mm olarak hesaplanmıştır. Mermi çekirdeğinin çapının büyümesi ve uzunluğunun kısalması merminin kütlesi ve büyük hızı sebebiyle kendisinden daha büyük bir kütle ile esnek olmayan bir çarpışma sonrası, yapısal olarak çarptığı yüzeye yığılmasıyla gerçekleştiği düşünülmektedir.

Çalışmada belirlenmiş olan sınır değerlerin üzerinde bir kompozit plaka üretimi ile 22 kalibre ve 9 mm mermilerin, hedefe dik geldikleri halde

engellenebilecekleri belirlenmiştir. Hayati önemi olan koruma isteği için bu çalışmada belirlenmiş olan değerlerin üzerinde değerler dikkate alınması yerinde olacaktır. Çünkü koruma sistemiyle ilgili üretim tekniği, kullanılan mermiler ve silahlar, ortam şartları gibi etkenler ürünün hedeflenen balistik özellikleri adına etkili olmaktadır. Tasarlanacak ve üretimi yapılacak koruma sistemlerinin, hedeflenen koruma seviyelerini yakalayabilmesi için, mutlaka saha deneylerinin % 100 başarıyla yapılması çok önemlidir.

Çalışmada üretilen plaka hedef kompozitler, sadece çalışma kapsamındaki mermi kalibrelerine karşı bir kişisel koruma amaçlı yelek olarak değerlendirilebilir. Fakat saldırı daha büyük kalibreli silahlarla yapılırsa, bu durumda korumanın geçersiz kalacağı bir gerçektir. Tasarım şartları önemli olduğundan, ancak kesin bilinen bir tehdide karşı koruma önlemi yeterli olabilir. Kişisel korunma dışında bir araç uygulaması olarak, belirlenecek kalibreler için plaka hedef kompozitlerin koruyuculuğu çalışmaları yapılabilir.

Çalışmada doymamış polyester reçine tek tip olarak çokça kullanılan ve kolay bulunabilirliğe göre seçilmiştir. Çalışma kapsamı farklı reçine tipleriyle genişletilebilir. Farklı yapı oluşturabilecek yapı bileşenleri yanında takviye malzemeleri de değiştirilebilir. Çalışmada silahla atışlarda tek bir mesafeye (10 m) ait denemeler yapılmıştır. Atış mesafeleri değiştirilerek, merminin daha yakın veya daha uzak mesafelerden atılması sonucu, plaka hedef kompozitler üzerindeki etkileri incelenebilir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.A.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışmada, silahla tüm atışlar Balıkesir Poligon'da, Uzman Atıcı Ayhan Baştürk tarafından yapılmış ve çalışma süresince desteğini esirgememiştir, bunun için

kendisine ve tüm gülyüzlü poligon çalışanlarına teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Aguiar R, Petel OE, Miller RE. 2022. Effect of a Halloysite-polyurethane nanocomposite interlayer on the ballistic performance of laminate transparent armour. *Composites Part C*, 7: 100231.
- Aisyah HA, Paridah MT, Sapuan SM. 2021. A Comprehensive review on advanced sustainable woven natural fibre polymer composites. *Polymers*, 13: 471.
- Attwood JP, Khaderi SN, Karthikeyan K. 2014. The out-of-plane compressive response of Dyneemas composites. *J Mechan Physics Solids*, 70: 200-226.
- Bitlisli B. 2019. Zırlı araçlarda kullanılan kompozit zırh malzemelerinin balistik performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği ABD, Bursa, Türkiye, pp: 89.
- Bodepati VR, Reddy CJ, Vemuri M. 2020. Numerical prediction of damage mechanisms of E-Glass/epoxy composite material against ballistic impact of 7.62 MS projectile. *Int J Protective Struct*, 12(2): 206-225.
- Carr DJ, Crawford C. 2016. High performance fabrics and 3D materials, Cranfield University at The Defence Academy of the UK, Shrivenham, United Kingdom. *Lightweight Ballistic Composites*, 2nd Ed., Military and Law-Enforcement Applications. Woodhead Publishing, London, UK, pp: 41-53.
- Czech K, Oliwa R, Krajewski D. 2021. Hybrid polymer composites used in the arms industry: A review. *Materials*, 14: 3047.
- Deora PS, Khurana M, Priya Muhal RA. 2022. A review on fibrous materials for body armor application. *Materials Today*, 60: 2230-2235.
- Dragan K, Leski A. 2012. Failure of polymer matrix composites in defence applications. In: Robinson P, Greenhalgh E, Pinho S, editors. *Failure mechanisms in polymer matrix composites: Criteria, testing and industrial applications*. Woodhead Publishing, London, UK, pp: 272-299.
- Farias-Aguilar JC, Ramırez-Moreno MJ, Gonzalez-Garcı'a DM. 2021. Evaluation of the ballistic protection level of (glass-fiber reinforced polyamide 6)-aramid fabric sandwich composite panels. *J Mater Technol*, 12: 1606-1614.
- ISSF. 2017. International Shooting Sport Federation, ISSF Headquarters, Bavariaring 21, D-80336 München-Germany. Kurallar ve Genel Mevzuat. URL: <https://www.issf-sports.org/> (erişim tarihi: 12 Ekim 2022).
- Karthikeyan K, Russell BP, Fleck NA. 2013. The effect of shear strength on the ballistic response of laminated composite plates. *European J Mechanics A/Solids*, 42: 35-53.
- Larsson F. 1997. Damage tolerance of a stitched carbon/epoxy laminate. *Composites Part A, App Sci Manufact*, 28(11): 923-934.
- Larsson F, Svensson L. 2002. Carbon, polyethylene and PBO hybrid fibre composites for structural lightweight armour. *Composites Part A, Applied Sci Manufact*, 33(2): 221-231.
- Morye SS, Hine PJ, Duckett RA. 2000. Modelling of the energy absorption by polymer composites upon ballistic impact. *Composites Sci Technol*, 60: 2631-2642.
- NATO. 2004. NATO Standard. AEP-97. Multi Calibre Manual of Proof and Inspection (M-CMOPI) for NATO Small Arms Ammunition. URL: <https://diweb.hq.nato.int/naag/Public%20Release%20Documents/AEP-97%20EDA%20V1%20E.pdf> (erişim tarihi: 01 Aralık 2022).
- Naveen J, Jawaid M, Goh KL, Reddy DM, Muthukumar C, Loganathan TM, Reshwanth KNGL. 2021. Advancement in graphene-based materials and their nacre inspired composites for armour applications-A review. *Nanomaterials*, 11: 1239.
- Naveen J, Jawaid M, Zainudin ES, Yahaya R. 2019. Effect of graphene nanoplatelets on the ballistic performance of hybrid Kevlar/Cocos nucifera sheath-reinforced epoxy composites. *Textile Res J*, 89 (21-22): 4349-4362.
- Nayak N, Sivaraman P, Banerjee A. 2012. Effect of matrix on the ballistic impact of aramid fabric composite laminates by armor piercing projectiles. *Polymer Composit*, 33(3): 443-450.
- NIJ. 2008. NIJ Standard-0101.06. Ballistic Resistance of Body Armor. July.
- NIJ. 1985. NIJ Standard-0108.01. Ballistic Resistant Protective Materials. September.
- Tam T, Bhatnagar A. 2016. High-performance ballistic fibers and tapes. Honeywell International Inc., U. S. *Lightweight Ballistic Composites, Military and Law-Enforcement Applications*, 2nd Ed. Woodhead Publishing, London, UK, pp: 1-39.
- Varma TV, Sarkar S. 2021. Designing polymer metamaterial for protective armor: A coarse-grained formulation. *Meccanica*, 56: 383-392.
- Verdi A, Bulut MO. 2022. NIJ Standardı Seviye-IV korumalı zırh bileşenlerinin incelenmesi ve balistik koruma standartları. *Teknik Bil Derg*, 12(1): 69-81.
- Yahaya R, Sapuan SM, Jawaid M, Leman Z, Zainudin ES. 2016. Measurement of ballistic impact properties of woven kenaf-aramid hybrid composites. *Measurement*, 77: 335-343.