

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ESKİTMEYE TABİ TUTULAN KOMPOZİT BAŞLIKLARIN
BALİSTİK TESTLERİNİN YAPILMASI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAŞAR AKMAN

BALIKESİR, TEMMUZ - 2012

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ESKİTMEYE TABİ TUTULAN KOMPOZİT BAŞLIKLARIN
BALİSTİK TESTLERİNİN YAPILMASI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAŞAR AKMAN

BALIKESİR, TEMMUZ - 2012

KABUL VE ONAY SAYFASI

YAŞAR AKMAN tarafından hazırlanan "ESKİTMEMEYE TABİ TUTULAN KOMPOZİT BAŞLIKLARIN BALİSTİK TESTLERİNİN YAPILMASI VE ANALİZİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 18.07.2012 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Davut Akdaş

Eş Danışman
Prof. Dr. İrfan Ay

Üye
Yrd. Doç. Dr. Mehmet İren

Üye
Yrd. Doç. Dr. Altuğ Yavaş

Üye
Yrd. Doç. Dr. Murat Erhan Balcı

Yedek Üye
Yrd. Doç. Dr. Ziya Aksoy

Yedek Üye
Yrd. Doç. Dr. Nuray Gedik

İmza



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Hilmi NAMLI

.....

ÖZET

**ESKİTMEYE TABİ TUTULAN KOMPOZİT BAŞLIKLARIN BALİSTİK
TESTLERİNİN YAPILMASI VE ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAŞAR AKMAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. DAVUT AKDAŞ)
(EŞ DANIŞMAN: PROF. DR. İRFAN AY)
BALIKESİR, TEMMUZ - 2012**

Başlık muharebe sahasının vazgeçilmez kullanım unsurlarından biridir. Öyle ki başlık kullanım açısından insanlığın ilk muharebelerinde nasıl kendine yer bulduysa gelecekteki muharebe sahasında da kendine yer bulacaktır. Günümüz kompozit başlık imalat teknolojisinde organik matrisli kompozit malzemelerin kullanımına başlanılmasıyla birlikte iki ana malzeme ön plana çıkmıştır. Bu malzemeler para-aramid ve UHMW-PE'dir. Söz konusu malzemelerin başlık üretiminde kullanılmasıyla hafiflik, üstün balistik performans, yüksek enerji sönümleme özelliği, düşük ısı iletkenliği, çok düşük iç deformasyon, çatlak yayılmasına, korozyon ve kimyasallara karşı yüksek dayanım özellikleri elde edilmiştir. Bu çalışma, para-aramid malzeme kullanılarak üretilen balistik özellikli kompozit başlığın, hammadde aşamasından nihai mamul haline gelene kadar takip edilen genel üretim aşamalarını ve başlığın üzerinden kademeli olarak kaldırılan talaşın terminal balistik performansta meydana getirdiği değişimin incelenmesini içermektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: kompozit başlık, balistik, balistik performans, para-aramid malzeme.

ABSTRACT

**ANALYSING AND MAKING BALLISTIC TEST OF COMPOSITE
HELMET THAT GETTING OLDER
MASTER THESIS
YAŞAR AKMAN
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. DAVUT AKDAŞ)
(CO-SUPERVISOR: PROF. DR. İRFAN AY)
BALIKESİR, JULY 2012**

Helmet is can not be relinquished usage elements of battle field. Such that in the view of usage such a view of using that how helmet found to use first war of humanity will have on future's combat area. Todays composite helmet manufacturing technology with the using organic arraged materials, two main material have fore grounded. These materials are para-aramid and UHMW-PE. By usage of that materials in the production lightness, advanced balistic performance, high energy damping, low thermal conductance, very low internal deformation, high endurance to corrossion and chemicals has been obtained. This thesis contents, by using para-aramid material producted ballistic featured composite helmet, following general manufacturing levels from the raw material to the final product and researching of shavings that taken upon the surface of helmet level by level which causes changing on the terminal ballistic performance.

KEYWORDS: composite helmet, ballistic, ballistic performance, para-aramid material.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
RESİM LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	viii
1.GİRİŞ	1
2.KOMPOZİT MALZEME	3
2.1 Tanımı ve Teknolojik Gelişimi	3
2.2 Kompozit Malzeme Kullanımının Sağladığı Avantajlar	4
2.2.1 Düşük Yoğunluk	4
2.2.2 Yüksek Esneklik Modülü	4
2.2.3 Yüksek Darbe Mukavemeti	4
2.2.4 Yüksek Yorulma Mukavemeti	4
2.2.5 Titreşim Sönümlenme	5
2.2.6 Yüksek Kimyasal Dayanıklılık	5
2.2.7 Yüksek Balistik Performans	5
2.2.8 Isıya ve Ateşe Dayanıklılık	5
2.2.9 Yalıtkanlık	5
2.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	6
2.3.1 Askeri ve Savunma Sanayi	6
2.3.2 Uzay ve Havacılık Sanayi	6
2.3.3 Otomotiv Sanayi	7
2.3.4 Elektrik ve Elektronik Sanayi	7
2.3.5 İş Makineleri	7
2.4 Zırhın Tanımı ve Teknolojik Gelişimi	8
2.5 Balistik Koruma Amaçlı Zırh Olarak Kul.Komp.Malz	12
2.5.1 Organik Matrisli Kompozitler	12
2.5.2 Metal Matrisli Kompozitler	12
2.5.3 Seramik Matrisli Kompozitler	12
2.6 Para-Aramid	13
2.7 Kompozit Malzeme İmalat Yöntemleri	15
2.7.1 El Yayması Yöntemi	15
2.7.2 Fiber Sargı Yöntemi	15
2.7.3 Kalıba Reçine Transferi Yöntemi	16
2.7.4 Pultrüzyon	16
2.7.5 Püskürtme Yöntemi	17
2.7.6 Yarı Mamul Yöntemi	17
2.7.6.1 Vakum Torbası	18
2.7.6.2 Otoklav	18
2.7.7 Sıcak Presleme	19
3.BALİSTİK	21
3.1 İç Balistik	21
3.2 Dış Balistik	21

3.3 Terminal Balistik	21
3.4 Yaralanma Balistiđi	21
3.5 Adli Balistik	21
4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	22
4.1 Para-Aramid Malzeme	22
4.2 Kompozit Başlık Üretimi	22
4.3 Balistik Modelleme	23
4.4 Talaş Kaldırma	23
4.5 Balistik Test Standartları	29
4.6 Balistik Test Düzenegi	30
4.7 Terminal Balistik Testler ve Test Sonuçları	32
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
6.KAYNAKLAR.....	48

RESİM LİSTESİ

Sayfa

Resim 1.1: Kompozit başlık	1
Resim 1.2: Şovalye başlığı	1
Resim 2.1: Kompozit malzemenin askeri alanda kullanımı	6
Resim 2.2: Kompozit malzemenin uzay sektöründe kullanımı	7
Resim 2.3: Kompozit malzemenin araç gövdesinde kullanımı	7
Resim 2.4: Zırhın teknolojik gelişimi	9
Resim 4.1: Üniversal freze tezgahı	24
Resim 4.2: Üniversal freze tezgahı digital koordinat okuyucu sistemi	24
Resim 4.3: Kompozit başlığın freze tezgahına montajı	25
Resim 4.4: Kompozit başlığın freze tezgahına montajı	25
Resim 4.5: Kompozit başlığın freze tezgahına montajı	26
Resim 4.6: Digital koordinat okuyucu sisteme istenilen değerdeki ölçü girişi ...	26
Resim 4.7: Kompozit başlıktan talaş kaldırma işlemi	27
Resim 4.8: Kompozit başlıktan talaş kaldırma işlemi	27
Resim 4.9: Mermi testinde kullanılan test düzeneği	30
Resim 4.10: Mermi testinde kullanılan test düzeneği	31
Resim 4.11: Kompozit başlık ve tabanca montaj aparatları	31
Resim 4.12: Atışlı testlerde kullanılan mermiler	32
Resim 4.13: Atışlı testlerin gerçekleştirildiği saha	33
Resim 4.14: Atışlı testlerde kullanılan kronograf ve ekipmanı	34
Resim 4.15: Atış sonrası mermi çekirdeği ve başlık kesitinin görünümü	38
Resim 4.16: Atış sonrası merminin isabet ettiği nokta	39
Resim 4.17: Atış sonrası merminin isabet ettiği noktalar	40
Resim 4.18: Atış sonrası merminin isabet ettiği noktalar	40
Resim 4.19: Başlığın iç yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar	41
Resim 4.20: Balistik test sonrası mermi çekirdeklerinin görünümü	41
Resim 4.21: Cam macunu üzerinde oluşan genişliğin ölçümü	41
Resim 4.22: Cam macunu üzerinde oluşan derinliğin ölçümü	42

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: Kevlar 258HPP malzemesinin özellikleri	22
Tablo 4.2: Üniversal freze tezgahının teknik özellikleri.....	23
Tablo 4.3: Talaş kaldırılan miktarlar.....	28
Tablo 4.4: Tabanca ve makineli tabanca için kullanılan NIJ Standartları	29
Tablo 4.5: Kullanılan merminin teknik özellikleri	32
Tablo 4.6: 0,5 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları	34
Tablo 4.7: 1 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları	35
Tablo 4.8: 1,5 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları	35
Tablo 4.9: 2 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları	36
Tablo 4.10: 2,5 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları	36
Tablo 4.11: 3 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları	37
Tablo 4.12: 4 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları	37
Tablo 4.13: Atışların hızlara göre dağılımı	38
Tablo 4.14: Hız sonuçlarının grafiksel gösterimi	39
Tablo 4.15: Cam macununda oluşan deformasyonlar.....	43
Tablo 4.16: Balistik test sonuçları	44
Tablo 4.17: Talaş kaldırılan miktar ve macunda oluşan derinlik	45
Tablo 4.18: Talaş kaldırılan miktar ve macunda oluşan genişlik	45

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Organik matrisli kompozit malzemenin mikro yapısı	2
Şekil 4.1: Kompozit başlık imalat proses şeması.....	22
Şekil 4.2: Mermi testinde kullanılan şematik test düzeneği	30

ÖNSÖZ

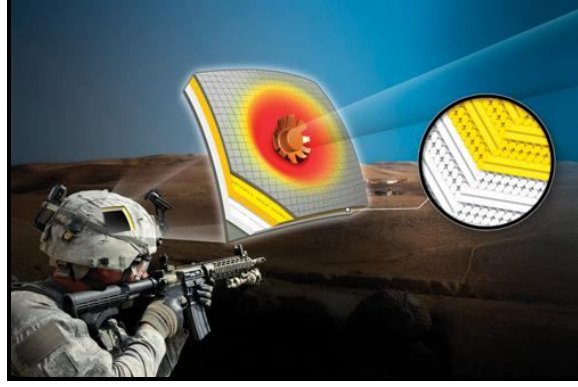
Kompozit başlık, muharebe sahasında baş bölgesine gelebilecek olan tehditlerden korunmak için önemli bir rol oynamaktadır. Ancak kompozit başlığın sürekli olarak kullanılması durumunda yüzeyinde meydana gelen aşınmalar, balistik performansın değişmesine sebep olmaktadır. Bu tez ile, balistik özellikli kompozit başlığın, hammadde aşamasından nihai mamul haline gelene kadar takip edilen genel üretim aşamaları belirtilmiş ve başlığın üzerinden kademeli olarak kaldırılan talaşın terminal balistik performansta meydana getirdiği değişim incelenmiştir.

Bu çalışmanın, üniversite seviyesinde eğitim gören mühendis aday öğrencilere, araştırmacılara ve uygulamacı mühendislere yararlı olabileceği ümit edilmiş olup "Terminal Balistik ve Deformasyon" konusunda deneysel bilincin artırılması amaçlanmıştır.

Tezimi hazırlarken yardımlarını esirgemeyen, bizlere sürekli azim ve kararlılık aşılayan değerli komutanlarım Bkm. Albay A. Mesut ÇUHADAR'a, Dr. Müh. Yb. Can CANDAN'a, Y. Müh. Bnb. S. Şeniz ERDAL'a, saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. İrfan AY'a, Yrd. Doç. Dr. Davut AKDAŞ'a, Arş. Gr. Sabri BIÇAKÇI'ya, Arş. Gr. T. Kerem DEMİRCİOĞLU'na, deneysel çalışmalarında beni yalnız bırakmayan devrem Müh. Ütğm. Ömer PEKDUR'a ve bana sürekli moral veren, hayata sınıksız sarılmamı sağlayan BİRİCİK EŞİM'e teşekkürlerimi borç bilir saygılarımı arz ederim.

1. GİRİŞ

Başlık muharebe sahasının vazgeçilmez kullanım unsurlarından biridir. Öyle ki başlık kullanım açısından insanlığın ilk muharebelerinde nasıl kendine yer bulduysa gelecekteki muharebe sahasında da kendine yer bulacaktır [1].



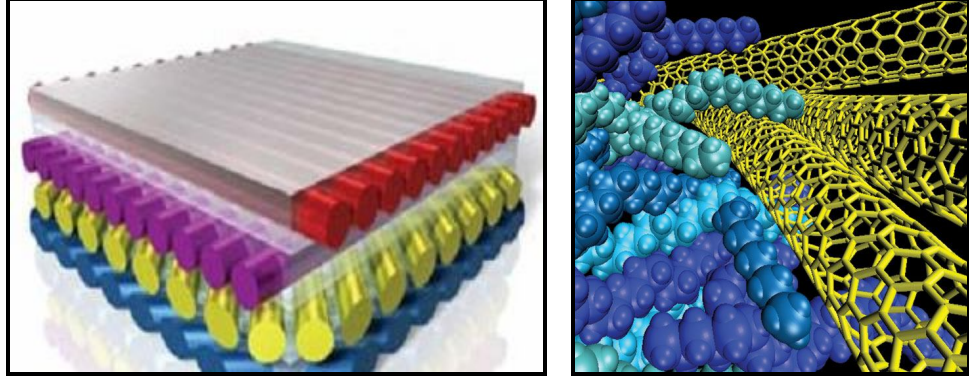
Resim 1.1: Kompozit başlık

Başlık, günümüze kadar uzanan teknolojik gelişmelerin paralelinde ilk defa deri malzeme yapımı olarak ortaya çıkmıştır. 1200'lü yıllardan sonra şövalye başlıklarının kullanımına devam edilmiş ve 1900'lü yıllardan itibaren ise çelik başlıkların gündeme geldiği görülmüştür.



Resim 1.2: Şövalye başlığı

Yakın zamanda gerçekleşen muharebelerin istatistikleri göz önüne alındığında muharebe sahasında meydana gelen ölümlerin % 80'inin baş bölgesine gelen tehditlerden meydana geldiği ispatlanmıştır. Bu gerçekten yola çıkarak başlık imalatında hammadde olarak kullanılan malzemeler tekrar değerlendirilmiş ve teknolojik gelişmeler ışığında bu alanda kompozit malzemelerin kullanımı kaçınılmaz bir hal almıştır.



Şekil 1.1: Organik matrisli kompozit malzemenin mikro yapısı

Günümüz kompozit başlık imalat teknolojisinde organik matrisli kompozit malzemelerin kullanıma başlanmasıyla iki ana malzeme ön plana çıkmıştır. Bu malzemeler para-aramid ve UHMW-PE' dir [2]. Söz konusu malzemelerin başlık üretiminde kullanılmasıyla hafiflik, üstün balistik performans, yüksek enerji sönmüleme özelliği, düşük ısı iletkenliği, çok düşük iç deformasyon, çatlak yayılmasına karşı yüksek dayanım ile korozyon ve kimyasallara karşı yüksek dayanım özellikleri elde edilmiştir [3]. Bu çalışma, para-aramid malzeme kullanılarak üretilen balistik özellikli kompozit başlığın, hammadde aşamasından nihai mamul haline gelene kadar takip edilen genel üretim aşamalarını, başlığın üzerinden kademeli olarak kaldırılan talaşın terminal balistik performansta meydana getirdiği değişimin incelenmesini içermektedir.

2. KOMPOZİT MALZEME

2.1 Tanımı ve Teknolojik Gelişimi

İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere “Kompozit Malzeme” denilmektedir. Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir [4].

Kompozit malzemenin tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Anadolu'da Türkler tarafından saman ile çamur karıştırılmış, kerpiç denilen bir kompozit malzeme yapılmış ve yapı malzemesi olarak kullanılmıştır.

Çinliler tarafından kil ve saman karıştırılarak tuğla elde edilmiştir. Bu karışımda kullanılan balmumu mükemmel bir elyaf takviyeli kompozit bir malzemedir. Kompozit malzemeleri tabiatda da rastlamak mümkün olmuştur. Çam ağacının dokuları buna bir örnektir.

Son yıllarda, günlük hayatımızda özellikle ileri mühendislik uygulamaları gerektiren alanlarda kompozit malzemelerin kullanımı vazgeçilmez bir hal almıştır.

2.2 Kompozit Malzeme Kullanımının Sağladığı Avantajlar

Kompozit malzemelerin kullanımıyla; düşük yoğunluk, yüksek esneklik modülü, yüksek darbe mukavemeti, yüksek yorulma mukavemeti, titreşim sönümlenme, yüksek kimyasal dayanıklılık, yüksek balistik performans, ısıya ve ateşe dayanıklılık ve yalıtkanlık gibi avantajlar elde edilmektedir.

2.2.1 Düşük Yoğunluk

Düşük yoğunluğun bir fonksiyonu olan hafiflik, kompozit malzeme tasarımında her zaman bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Kompozit sistemlerde düşük yoğunluk ve hafiflik, taşınabilirlik için önem arz etmektedir. Arazi şartlarında kompozit başlık takan bir piyade askerinin başındaki yük ne kadar hafif olursa, manevra kabiliyeti de o kadar kolay olur.

2.2.2 Yüksek Esneklik Modülü

Kompozit malzemeler, kuvvet veya çarpmanın etkisinde büyük oranda şekil değiştirebilen, kısmen veya tamamen eski şekil ve konumlarını alabilen elastik yapıdaki malzemelerdir. Bu özellik, yük etkisindeki kompozit malzemeye yüksek seviyede esneklik kazandırmaktadır.

2.2.3 Yüksek Darbe Mukavemeti

Kompozit malzemelerde birim alan başına sönümlenen enerji miktarının çok yüksek olmasından dolayı yüksek darbe mukavemetine sahiptirler. Bu özellik sayesinde savunma sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2.4 Yüksek Yorulma Mukavemeti

Dinamik yükleme altında bulunan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerindeki azalma en küçük seviyede olduğundan yüksek yorulma mukavemetine sahiptirler. Bu sebeple kompozit malzemeler, zırh teknolojileri ve askeri alanlarda mermi, bomba, parçacık vb. tehditlere karşı kullanılmaktadırlar.

2.2.5 Titreşim Sönümlleme

Kompozitler, sünek malzeme yapısına, doğal bir titreşim sönümlleme ve şok yutabilme özelliklerine sahiptirler. Bu sayede patlamalarda infilak etkisini azaltan koruma sistemlerinin vazgeçilmez malzeme yapısını teşkil etmektedir.

2.2.6 Yüksek Kimyasal Dayanıklılık

Kompozitler malzemeler, olumsuz hava şartlarında korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmemektedir. Bu özelliklerden dolayı kompozit malzemeler askeri sanayideki zırhlandırmadan muharebe sahasında görev yapan bir askerin taktığı başlığa kadar birçok teknolojiye güvenle kullanılmaktadır.

2.2.7 Yüksek Balistik Performans

Kompozit malzemeler, belirli hızlardaki parçacık veya mermilerin sahip olduğu momentumu sönümleyerek, ilk çarpma esnasındaki kinetik enerjiyi büyük ölçüde azaltmaktadır [5]. Böylece hasarın en az derecede olması sağlanmaktadır.

2.2.8 Isıya ve Ateşe Dayanıklılık

Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşan kompozitlerin ateşe dayanıklılık özellikleri, yüksek ısı altında kullanabilmesine olanak tanımaktadır. Ateşe dayanıklılık, muharebedeki bir personel için, herhangi bir patlama veya infilak sonucu meydana gelen yangınlarda baş bölgesinin emniyeti ve hasar görmemesi açısından önem arz etmektedir. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozit malzemenin ısıya dayanımı arttırılabilmektedir.

2.2.9 Yalıtkanlık

Uygun malzemelerin seçilmesiyle iyi derecede yalıtkan özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilmektedir. Olumsuz hava şartlarında, güvenlik güçlerine ait bina ve sistemlerin yapılarında kullanılarak yıldırım düşmesine karşı emniyet gerektiren durumlarda ve sistemlerde kullanılmaktadır.

2.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler; askeri ve savunma sanayi, uzay ve havacılık sanayi, otomotiv sanayi, elektrik ve elektronik sanayi, iş makineleri alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.1 Askeri ve Savunma Sanayi

Üstün balistik performans, düşük yoğunluk, hafiflik ve kimyasallara üstün dayanım özelliklerinden dolayı zırh, silah, roket ve mühimmat üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır [6].



Resim 2.1: Kompozit malzemenin askeri alanda kullanımı

2.3.2 Uzay ve Havacılık Sanayi

Birleşik malzemelerin uzay ve havacılık sanayinde kullanımı başta hafiflik ve sağlamlık nitelikleri sayesinde. Amaç daha az yakıt harcamak, daha yüksek hıza ulaşmak ve verimliliği sağlamaktır. Bu kullanımda maddi kazancın yanında stratejik performanslar da dikkate alınmıştır. Özellikle titreşim, yorulma ve ısı dayanımı gibi nitelikler uzay ve havacılık sanayinde birleşik malzemelerin önde gelen avantajlarıdır. Birleşik malzemeler, değerli niteliklerden dolayı uzay ve havacılık araçlarında gittikçe daha fazla kullanılmaktadır [7].



Resim 2.2: Kompozit malzemenin uzay sektöründe kullanımı

2.3.3 Otomotiv Sanayi

Bu alanda kompozitlerden oluşan başlıca ürünler; otomobil kaportası parçaları, iç donanımı, bazı motor parçaları, tamponlar ve oto lastikleridir.



Resim 2.3: Kompozit malzemenin araç gövdesinde kullanımı

2.3.4 Elektrik ve Elektronik Sanayi

Kompozitler, başta elektriksel izolasyon olmak üzere her tür elektrik ve elektronik malzemenin yapımında kullanılmaktadır.

2.3.5 İş Makineleri

İş makinelerinin kapakları ve çalışma kabinleri yapımında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde üretimde kullanılan parça sayısı

azaltılabilmekte, tek parça üretim mümkün olabilmektedir. Ayrıca elektrik izolasyon malzemelerinden de tasarruf sağlanmaktadır.

2.4 Zırhın Tanımı ve Teknolojik Gelişimi

Zırh, bireylerin, duran, hareket eden, yüzen veya uçan platformların tehditlere karşı korunmasını sağlayan malzemeler bütünüdür.

Barut bulunmadan önce savaşların çoğunda askerler göğüs göğüse çarpışmaktaydı. Bu dönemde savaşçıyı düşmanın silahından korumak için zırh, miğfer, kalkan gibi çeşitli araçlardan yararlanılmaktaydı.

İlk zırh, sert hayvan derisinden yapıldı. Daha sonra deri ile desteklenen kemik ya da metal gibi daha sert maddelerden yapılma halkalar ya da parçalar kullanılarak daha sağlam zırhlar üretildi. Tunç ve demirin bulunmasından sonra zırhlar daha dayanıklı hale getirildi. Truva Savaşı'nda, Yunanlılar tarafından tunçtan miğfer, göğüs zırhı ve tozluk kullanıldı. Yaklaşık 1.000 yıl sonra Romalılar tarafından daha sağlam olduğu düşünülen demirden miğferler yapıldı. Yunanlılar ve Romalılar zırhlarının içinde kolaylıkla hareket edebilmekteydiler. Zırhı oluşturan parçalar vücuda hareket olanağı sağlayacak biçimde tasarlanmıştı.

Deri zırhlar ile pamuk ya da bez parçalarıyla beslenmiş kumaş zırhlar oldukça dayanıklıydı, ama en sağlam zırh metal olanıydı. Hem sağlam, hem de savaşçının serbestçe hareket etmesine olanak veren hafif ve esnek zırh yapımı büyük bir beceri istemekteydi.

Avrupa ve Asyada, metal işçileri tarafından örme zırhlar konusunda gittikçe uzmanlaşıldı. 11. yüzyıla gelindiğinde demir tellerden örülmüş zırhlar giyilmeye başlandı. Bu zırh, üst üste getirilerek birbirine geçirilmiş ya da örülmüş küçük demir halkalardan oluşmaktaydı. Halkalar arasındaki boşlukları kaynak yapılarak ya da perçinlenerek kapatılmaktaydı. Bazı savaşçılar uzun zırhlı giysiler, bazıları ise yalnızca zırh ceketi giymekteydiler. Uzun zırhlar, savaşçının kollarını dirsek altına ya da bileklere kadar örten ve boynundan diz altına kadar ulaşan uzun bir gömleği andırmaktaydı. Zırha bürünmüş savaşçı, ellerine de zincirden örme tek parmaklı eldiven geçirmekte, başını ve boynunu korumak için de omuzlarına kadar sarkan bir başlık giymekteydiler. Bu tür bir zırh, bohça gibi sarılarak eyere bağlanabilmekteydi.

Zırh yapımıcıları tarafından silahlara karşı korunmayı sağlamak için çelik levhalar yapılmaya başlandı. Vücudun en duyarlı bölümleri bu levhalarla, öteki bölümler ise örme zırhla örtüldü. 1400'lü yıllara gelindiğinde atlı savaşçılar ya da şövalyeler tarafından bütün vücutlarını örtmekte olan, üst üste bindirilmiş metal levhalardan oluşan zırhlar giyilmekteydi. Başın ve yüzün korunmasına özel bir önem verilmekteydi. Bazen de istenildiğinde kaldırılabilen siperli miğfer giyilmekteydi.



Resim 2.4: Zırhın teknolojik gelişimi

Zırh yapımıcıları, metal zırh yapacakları şövalyenin ölçüsünü büyük bir dikkatle almak zorundaydı. Örme bir zırh yaklaşık 23 kilogramdı. Levha zırhın ağırlığı ise 27 kilograma kadar ulaşabilmekteydi. Varlıklı savaşçılar bütünüyle metal levhalardan yapılmış bir zırh giysi edinebilmekteydi. Yoksul savaşçılar ise pamukla beslenmiş bir giysi ve metal bir miğferle yetinmek zorundaydı. Savaşın kaderi çoğunlukla önderin tek bir çarpışmada düşman önderi yenip yenemeyeceğine bağlı olduğundan, önderlerin çok iyi korunması gerekmektedir. Atlar da korunmak zorundaydı; ortaçağın sonlarında atlara da zırh giydirildi. At zırhları çoğunlukla, özel olarak biçimlendirilmiş metal parçalarıyla birleştirilen kapitone kumaştan yapılmaktaydı. Hindistan'da savaşta kullanılan fillere de zırh giydirilmekteydi.

Zırh modellerinin değişmesi ile 15. ve 16. yüzyıllarda, yapımcılar tarafından tıpkı bir terzinin elinden çıkmışçasına gösterişli zırhlar yapılmaya başlandı.

Avrupa, Afrika, Arabistan, Hindistan, Çin ve Japonya'da değişik zırhlar giyilmekteydi. Bazı zırhlar deri üzerine tutturulan metal pullar ya da levhalardan oluşmaktaydı. Bazıları metal levhaların birbirine eklenmesiyle yapılmakta, büyük ve ağır levha zırhlar genellikle perçin çivilerle tutturulmaktaydı. Kuzey Amerika Yerlileri tahta zırhlar kuşanmaktaydılar. Hasır, kemik ve hindistan cevizi liflerinden yapılmış zırhlar da giyilmekteydi.

17. yüzyılda artık ateşli silahların icadı ile silahtan çıkan kurşuna karşı zırh üzerinde hiçbir koruma sağlanamamaktaydı. Bu nedenle, bütün vücudu örten zırh giysiler yalnızca turnuvalarda giyilmekteydi. Şövalyelik çağı kapanmıştı. Savaşçı, aniden arkadan saldırıya uğrayabilmekteydi. Böylece vücudu tümüyle örten zırhlar hızla bir kenara atıldı.

17. yüzyılda at sırtındaki bir asker de, kargılı yaya askerler gibi, miğfer, göğüs zırhı, sırt zırhı ve uyluklarını koruyucu bazı giysiler giymekteydiler.

Subayların zırhları da emirlerindeki askerlerden çok az farklıydı. Zırhı tümüyle ilk terk edenler tüfek taşıyan askerler oldu; çünkü taşımaları gereken eşyalar yeterince ağırdı. Sonunda askerlerin hemen tümü tüfek kullanmaya başladı. 18. yüzyıla gelindiğinde artık çok az sayıda asker miğfer giymekteydi. Gene de, 18. ve 19. yüzyıllarda bazı ağır süvariler zırh giydiler.

İnsanlar, ancak 19. yüzyılın ortalarına gelindiğinde gemilerin ve araçların zırhla korunması gerektiği üzerinde düşünmek zorunda kaldılar. Eski ahşap savaş gemilerinin top gülleleriyle batırılması kolay olmamaktaydı. Ne var ki, bu tekneler patlayan mermilere karşı aynı biçimde dayanıklı değildi. Bu mermilere karşı korunmak için demir levhalar kullanılmaya başlandı. İlk buharlı ağır zırhlıların ortaya çıkması deniz savaşlarının da seyrini değiştirdi [8].

Zırhlı gemiler yapılıncaya, silah yapımcıları ile zırh üreticileri arasında üstünlük yarışı başladı. Bir ülke tarafında var olan silahlarla batırılmayan bir gemi yapıldığında, başka bir ülke tarafından da yüzen herhangi bir gemiyi batırabilecek daha güçlü bir silah bulunmaya çalışıldı.

İlk etkin zırlı levha dövme demirden yapıldı, daha sonra çelik üretiminin artmasıyla bireylerin, duran, hareket eden, yüzen veya uçan platformların tehditlere karşı korunmasına yönelik olarak metaller kullanılmaya başlandı. 2. Dünya Savaşını müteakip kompozit malzemelerin kullanımıyla zırh teknolojisinde müthiş bir sıçrama yaşanmıştır. Kompozit malzeme kullanılarak üretilen zırhlar muharebe sahasının vazgeçilmez bir kullanım aracı olmuştur.

2.5 Balistik Koruma Amaçlı Zırh Olarak Kullanılan Kompozit Malzemeler

Balistik koruma amaçlı zırh olarak kullanılan kompozit malzemeler; organik matrisli kompozitler, metal matrisli kompozitler ve seramik matrisli kompozitler olarak adlandırılmaktadır.

2.5.1 Organik Matrisli Kompozitler

Liflerle pekiştirilmiş Organik Matrisli Kompozitler endüstride çok geniş kullanma alanına sahiptir. Pekiştirici olarak cam, karbon, aramid, UHMW-PE ve bor lifleri kullanılmaktadır.

Organik Matrisli Kompozitlerde kullanılan en önemli bağlayıcı malzeme polyeşter ve epoksidir. Pekiştirici liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselmektedir. Organik Matrisli Kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/ özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür [9]. Dolayısıyla bu özelliklerden dolayı diğer malzemelere göre üstün durumdadırlar. Bu üstünlüklerinden dolayı Organik Matrisli Kompozitler özellikle savunma, havacılık ve uzay endüstrisinde tercih edilmektedir.

2.5.2 Metal Matrisli Kompozitler

Metalik bir fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri tekniklerin uygulanmasıyla Metal Matrisli Kompozitler elde edilmektedir [10]. Metal Matrisli Kompozitler daha çok savunma, otomatik, uzay ve havacılık alanlarında kullanılmaktadır.

2.5.3 Seramik Matrisli Kompozitler

Bu amaçla yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıcaları Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN' dir. Bu bileşikler değişik yapıdadır ve amaca göre bir ya da bir kaçının beraber kullanılmasıyla Seramik Matrisli Kompozitler elde edilmektedir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar ve uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir.

2.6 Para-Aramid

Para-aramid, otomobil lastikleri içindeki çelik tellerin yerine kullanılacak bir malzeme arayışı esnasında, 1971 senesinde Dupont tarafından geliştirilmiştir. Aramid ismi "aromatik poliamid"den türetilmiştir. Aramidin kimyevi bileşimi "poli para fenilen terepitemid" olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle malzeme yaygın olarak para-aramid olarak da adlandırılmaktadır. Aramid, naylon ailesinin bir üyesidir. Sıradan naylon türevleri üstün yapısal niteliklere sahip olmamakla birlikte aramidler yüksek mukavemete ve modüle sahip ilk organik liflerdir. Dupont tarafından üretilen ilk para-aramid lifi ise "Kevlar" ticari adıyla tescil edilmiş bir malzemedir.

Farklı uygulamalar için geliştirilmiş muhtelif Kevlar türevleri mevcuttur. En çok bilinenleri;

- Kevlar 29 lifi; yüksek mukavemet (3600 MPa), düşük yoğunluk (1440 kg/m³) ve yüksek kopma uzaması (%4.0) özelliklerine sahiptir. Zırh malzemeleri, halatlar, kablolar ve asbest yerine kullanılmaktadır.
- Kevlar 49 lifi; yüksek modül (131 GPa), yüksek mukavemet (3800 MPa), düşük yoğunluk (1440 kg/m³) ve düşük kopma uzaması (%2.8) özelliklerine sahiptir. Denizcilik ve otomotiv uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Kevlar 149 lifi; çok yüksek modül (186 GPa), yüksek mukavemet (3400 MPa), düşük yoğunluk (1470 kg/m³) ve çok düşük kopma uzaması (%2.0) özelliklerine sahiptir. Havacılık ve uzay uygulamalarında kullanılmaktadır.

Dünya üzerindeki ikinci büyük aramid üreticisi ise Japon Teijin'dir. Para-aramid ailesinden Technora (Kevlar 29 muadili) ve Twaron da (Kevlar 49 muadili) geniş bir kullanıcı yelpazesine ulaşmıştır. Twaron molekül yapısı olarak Kevlar'dan hafifçe farklılık göstermektedir. Bunun yanında Çin'in de üçüncü büyük üretici olarak aramid piyasasına girmesi söz konusudur.

Aramid kullanılan yapılarda en çok tercih edilen matris malzemeleri sırasıyla epoksi, vinilester ve fenolik reçinelerdir.

Para-aramidlerin temel niteliklerinin belirtilmesi gerekirse:

Üstünlük olarak;

- Düşük yoğunluk,
- Yüksek esneklik modülü,
- Yüksek çekme mukavemeti,
- Yüksek darbe mukavemeti,
- Yüksek yorulma mukavemeti,
- Yüksek sürtünme mukavemeti,
- Yüksek kimyasal dayanıklılık,
- Yüksek balistik performans,
- Düşük kopma uzaması,
- Düşük ısı genleşme,
- Ateşe dayanıklılık,
- Yalıtkanlık,

Zafiyet olarak;

• Mor ötesi ışınlar karşı hassasiyet, (Sürekli karanlıkta saklanmaları gereklidir, güneşe maruz kaldığında hızla mukavemet kaybına uğramaya ve parlak sarı olan rengi kahverengiye dönmeye başlar.)

• Lif veya kumaş halindeyken katlama, büzme gibi etkilerle zarar görebilmesi ve ham ürünün depolama zorluğu,

- Kesme ve işleme zorluğu,
- Bünyesine nem almaya meyilli olması,
- Asit ve tuzlara karşı hassasiyet,
- Düşük basma mukavemeti

olarak sayılabilmektedir.

2.7 Kompozit Malzeme İmalat Yöntemleri

Günümüzde kompozit parça imalat yöntemlerinin geliştirilmesi, kompozit teknolojisi alanında uğraş verenlerin en büyük ve birinci hedefi haline gelmiştir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak bugünkü durumda kompozit sanayi, talep edilen son derece iyileştirilmiş mekanik özellikleri sağlamak için çabalarken aynı anda en ekonomik imalat yöntemleri üzerinde de çalışmalarını artan bir ivmeyle sürdürmektedir. Kompozit malzemeler üretim yöntemlerine göre de aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

2.7.1 El Yayması Yöntemi

Bu imalat yöntemi ilk modern kompozit parçaların imalatında kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde fiberler önceden hazırlanmış bir kalıba serilerek üzerlerine fırça ile reçine emdirilmektedir. Böylece hazırlanan ilk katın üzerine parçada istenen kalınlık sağlanacak şekilde diğer katlar serilmekte, reçineler emdirildikten sonra parça sertleştirilmeye bırakılmaktadır. Sertleştirme (cure) işlemi diye adlandırılan bu işlem çoğu zaman oda sıcaklıklarında gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem daha çok cam elyafı ve polyesterden üretilen parçalar için kullanılmaktadır.

2.7.2 Fiber Sargı Yöntemi

Bu üretim yöntemi ile kompozit parça imalatı, bir silindirik makara yardımıyla fiberlerin reçineden geçirilerek sarılması şeklinde gerçekleştirilmektedir. İstenen kalınlık elde edilinceye dek katlar aynı veya değişik sarma açıları ile silindirik makaraya sarılmaktadır. Fiberlerin silindirik makaraya sarılması ya makaranın dönmesi ya da kafanın dönmesi yoluyla olmaktadır.

Bu üretim yönteminin en önemli özelliği fiberlerin reçineye önceden değil, proses esnasında emdirilmesidir. Fiber sargı yöntemi ile 25 mm'den 6 m'ye kadar değişen çaplarda parçanın üretilmesi mümkündür. Kompozit malzemelerde kullanılan standart reçinelerin (epoksi, polyester, fenoller, silikon ve termoplastikler) hemen hepsi fiber sargı yönteminde kullanılabilir. Diğer yöntemlerde de olduğu gibi reçinenin içerdiği uçucu madde miktarı mümkün olduğunca az olmalıdır. Böylece nihai ürünlerdeki boşluk olma riski azalmaktadır. Reçinenin viskozitesi ise ne çok fazla ne de çok az olmalıdır. Önerilen viskozite ağırlığı 350-1500 MPa-s dir.

Bu proseste reçinenin çalışabilme ömrü (pet life) mümkün olduğunca uzun olmalıdır. Aksi takdirde proses devam ederken katılma başlayacağından hem imalat güçleşir hem de nihai ürünün yapısal özellikleri zayıflar. Fiber sargı yöntemi ile üretilen parçaların sertleştirme (cure) işlemleri nadiren otoklavda yapılmaktadır. Genellikle parça silindirik makaranın üzerindeyken fırına konulup, sertleşmesi sağlanmaktadır. Yalnız bu esnada yerçekimi etkisi ile reçinenin akması için silindirik makara döndürülmeye devam eder.

2.7.3 Kalıba Reçine Transferi Yöntemi

Bu yöntemle kompozit parça imalatında, kalıbın içerisine güçlendiriciler önceden yerleştirilmekte ve kalıp kapatılmaktadır. Daha sonra reçine kalıbın içerisine basılmaktadır. Reçinenin kalıbın içerisine basılması esnasında kalıba aynı zamanda vakum da uygulanmaktadır. Vakum sayesinde hem reçinenin daha hızlı kalıba gelmesini hem de nihai parça üzerinde herhangi bir hava kabarcığının kalmaması sağlanmış olur.

Bu yöntem güçlendirici kullanmayan plastik malzemeler üzerinde kullanılan konvansiyonel yöntemlere çok benzemektedir. Ama kalıba reçine transferi yönteminde uygulanan basınç daha azdır. Kalıba reçine transferi yönteminde kullanılan reçinelerin viskozitesi diğer üretim yöntemlerinde kullanılan reçinelerin viskozitesinden daha düşük olmalıdır. Tipik viskozite değeri 1000 MPa-s civarındadır. Reçine katılmadan güçlendiricileri ıslatabilecek yeterli bir süre mutlaka olmalıdır. Kalıba reçine transferi yöntemiyle kompozit malzeme üretimi her geçen gün daha da artan bir uygulama alanı bulmaktadır.

2.7.4 Pultruzyon

Pultruzyon işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilbildiği düşük maliyetli seri üretim yöntemidir. Pull ve Extrusion kelimelerinden türetilmiştir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120-150 °C' ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçilerek sertleşmesi sağlanmaktadır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli elyaf kullanılmasından dolayı takviye yönünde çok yüksek

mekanik mukavemet elde edilmektedir. Enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar kullanmak gerekmektedir.

2.7.5 Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi, elle yatırma yönteminin aletli şekli olarak kabul edilebilir. Kırpılmış elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülmektedir. Elyafın kırılma işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırpıcı sayesinde yapılmaktadır. Püskürtülme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün hazırlanmış olur.

2.7.6 Yarı Mamul Yöntemi

Diğer yöntemler ile imal edilen kompozit parçalara nazaran çok daha üstün özelliklere sahip kompozit parçaların üretebildiği bu yöntemde önceden reçineye emdirilmiş güçlendiriciler kullanılmaktadır. Reçinenin güçlendiricilere emdirilme işlemleri başka imalatçılar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu imalatçılar fiberleri emdirilmiş bu reçineleri kısmen sertleştirmekte ve rulolara sararak kompozit parça imalatçılarına sevk etmektedirler. Bu şekilde hazırlanan kompozit malzemeler yarı mamul olarak adlandırılmaktadırlar. Yarı mamuller ayrı imalatçılar tarafından hazırlanmaktayken fiberler ya tek bir eksen boyunca reçinelere emdirilip bant halinde kompozit imalatçılarına sunulmakta ya da örgülü bir hale getirilen fiberler reçinelere emdirilerek kısmen de sertleştirildikten sonra rulolar halinde sevk edilebilmektedir.

Yarı mamul metodu ile kompozit parça imalatında son derece büyük özen ve dikkat gösterilmesi, nihai ürünün kalitesini etkileyen en büyük faktördür. Malzemeler imalat öncesi ve sonrası çok sıkı bir şekilde tanımlanıp izlenmelidir. Termoset reçine belirli bir raf ömrüne sahip olduğundan her zaman dondurularak depolanmak zorundadır. Aksi halde reçinenin sertleşmesi (yani polimerizasyonu) oda sıcaklığında bile devam eder. Yarı mamul yöntemi, vakum torbası, otoklav ve sıcak presleme yöntemlerini içermektedir.

2.7.6.1 Vakum Torbası

Parça imalatı esasında vakum uygulamasının iki büyük amacı vardır. Birincisi, uygulanan vakumun yarı mamul katlarının birbirine yapışmasının hızlandırılması, ikincisi ise yarı mamul içindeki uçucu gazlar ile hava kabarcıklarının giderilmesidir.

2.7.6.2 Otoklav

Genel olarak bir otoklav sistemi, basınçlı bir kabın içerisinde, önceden belirlenen bir program çerçevesinde kompleks kimyasal reaksiyonların oluşmasını sağlar. Son yıllarda gerek malzeme gerek proseslerdeki gelişme sonucu 760 °C ve 6900 kPa'a kadar dayanıklı otoklav sistemleri geliştirilmiştir. Bir otoklavın alt üniteleri / yöntemleri; basınca dayanıklı bir kap, basıncı sağlayan akışkanın ısıtılması ve bu gazın homojen olarak otoklavda dağıtılabilmesi için gerekli kaynaklar, akışkanı basınç altında tutulması, vakum torbası içerisindeki parçaya vakum uygulanabilmesi ve operasyon parametrelerini kontrol edebilmek için gerekli alt sistemlerdir.

Otoklavda üretilecek kompozit parçalar için genellikle metal veya kompozit kalıplar kullanılmaktadır. Bu kalıpların otoklav içerisindeki basınç ve sıcaklığa dayanıklı olmaları zorunludur. Otoklav sadece vakum ile sağlanabilecek basıncın çok üzerinde bir basınç sağlamaktadır. Sağlanan basıncın malzeme yüzeyine homojen olarak uygulanması ve malzemenin içerisinde boşluk bırakmaması, otoklav kullanılarak üretilen kompozit malzemenin kalitesinin çok yüksek olmasını sağlamaktadır. Günümüzde 8 m çapında ve 30 m uzunluğunda otoklavlar mevcuttur. Ancak Otoklav sistemi, çok yüksek ekipman ve yatırım maliyeti gerektirmektedir.

Otoklav sisteminin işletmesindeki en önemli parametreler, otoklav içerisindeki ısı akışının çok düşük toleranslar içerisinde her yerde aynı olabilmesi, izolasyonun kalitesi, iyi ve kolay işletilebilir kontrol sistemi ve özellikle yüksek sıcaklık ve basınçta yangın riskini azaltıcı sistemlerin mevcudiyetidir. Otoklavın ısıtılması elektrik, doğal gaz, kızgın madeni yağların sirkülasyonu ve buhar ile gerçekleştirilebilmektedir. Otoklavda pişirilmiş parçalar, basınçsız pişirilen parçalara

nazaran çok daha kaliteli olduklarından, otoklav özellikle havacılık sanayiinde kompozit parça üretiminde, tamamıyla vazgeçilmez bir ekipman durumuna gelmiştir.

2.7.7 Sıcak Presleme

Sıcak presleme, yarı mamul malzemenin soğuk hava deposundan çıkartılarak +4 °C'deki dinlenme odasında bekletildikten sonra kesilip, belli açılarda üst üste konulması ile oluşturulan tabakanın kalıp üzerine yerleştirilmesi ve preslenmesiyle nihai ürün elde edilmesi işlemlerini kapsayan imalat yöntemidir.

Söz konusu uygulamada kalıp çok önemli bir yer tutmaktadır. Kalıbın yarı mamul tabakaya istenilen sıkıştırma kuvvetini, ısıyı ve şekli aktarabilmesi için çeşitli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Günümüzde sıcak presleme ile uygulamalarda kullanılan kalıplar genellikle kızgın yağ ile veya elektrik enerjisi kullanılarak ısıtılmaktadır. Nihai üründen istenilen performansın alınabilmesi için kalıp sıcaklığının ± 2 °C hassasiyetinde olması gerekmektedir. Bunun için ısı kaynağının ve kalıpların sıcaklığını kontrol altında tutacak ısı algılayıcılarıyla donatılması ve bilgisayar kontrollü olması gerekmektedir. Sıcak presleme yöntemi ile kompozit malzeme üretimi uygulamalarında kullanılan preslerin de bilgisayar kontrollü olması nihai ürün performansının istenilen düzeyde olmasını sağlayacaktır.

Sıcak presleme yöntemi ile kompozit malzeme üretimi uygulamalarında karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi ve farklı cidar kalınlıklarının oluşturulabilmesi gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim teknikleriyle yapılması zor olan delik, kavis, bombe gibi komplike şekiller elde edilebilmektedir. Sıcak presleme yönteminin uygulanmasıyla;

- Çok geniş tasarım esnekliği,
- Düzgün yüzey oluşturabilme,
- Kolayca boyanabilme ve kalıp içinde yüzeyin kaplanabilmesi,
- Metal gömme parçaların yerleştirilmesi ile montaj kolaylığı,
- Homojen ısı dağılımı,
- Homojen yapışma gibi avantajlar sağlanmaktadır

Balistik koruma amaçlı zırh olarak kullanılan organik matrisli kompozit malzemelerin üretiminde en çok kullanılan yöntem sıcak presleme yöntemidir. Çok geniş tasarım esnekliği ve homojen bir ısı dağılımı sağlayan bu yöntem organik matrisli kompozit malzemenin tümünün homojen olarak pişirilmesini ve reçinenin homojen olarak dağılımını sağlayan bir üretim yöntemidir.

Söz konusu yöntem ile üretilen zırh plakalarına yapılan balistik testlerin sonucunda ölçülen çöküntü miktarının, diğer yöntemler kullanılarak üretilen zırh plakalarına yapılan balistik testlerin sonucunda ölçülen çöküntü miktarına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısı ile bu yöntem kullanılarak üretilen zırh plakalarında daha yüksek balistik performans değerleri elde edilmiştir.

3. BALİSTİK

Balistik (Yunanca βαλλειν = atmak), mermi ve füzelerin hareketlerini inceleyen bir bilim dalıdır. Uygulamalı mekaniğin bir kolu olarak düşünölebilmektedir. Günümüzde balistik konusu beş alt başlığa ayrılmaktadır. Bu alt başlıklar; iç balistik, dış balistik, terminal balistik, yaralanma balistiğı ve adli balistik olarak adlandırılmaktadır.

3.1 İç Balistik

Ateşli silahın tetiğı çekildikten sonra mermi çekirdeğinin namlu ağzını terk edinceye kadar geçen sürede mermi kovanı ve mermi çekirdeğinin durumunu incelemektedir. Balistiğın bu bölümü, kapsül, kapsül ateşlenmesi, barutlar, yanma hızı, yivler, yivlerin sayısı, hazne, namlu boyutları ve hızla ilgilenir.

3.2 Dış Balistik

Mermi çekirdeğinin namlu ağzından çıktıktan sonra hedefe çarpıncaya kadar geçen zaman içerisinde havanın direnci, mermi çekirdeğinin yer çekimi etkisinde kalması, yere düşüşü, sürüklenişi ve dengesi ile ilgilenir.

3.3 Terminal Balistik

Mermi çekirdeğinin hedefe çarptıktan sonra, duruncaya kadar yaptığı delme gücü, enerjisini çarptığı cisme iletmesi gibi etkilerle ile ilgilidir.

3.4 Yaralanma Balistiğı

Terminal balistiğın bir parçası olup insan ve hayvanlarda meydana gelen yaralarla ilgilidir.

3.5 Adli Balistik

Ateşli silahlarda kullanılmış mermi çekirdekleri ve kovanların incelenmesi sonucunda belli bir silahtan atıldığını tespit ederek, olaya karışmış diğeri silahların ayırımı ile uğraşır. Saçmaların ve barut artıklarının dağılış şeklinden, atış mesafesi tayinini yapar.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Para-Aramid Malzeme

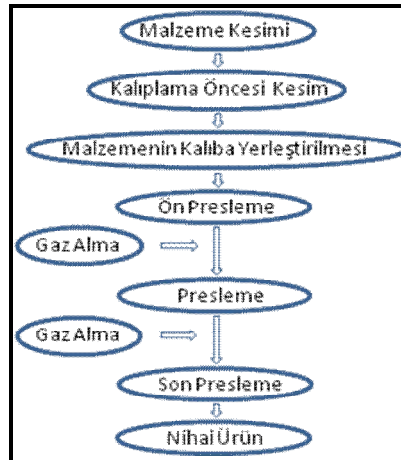
Çalışmalar esnasında Du - Pont firmasının ürünü olan Kevlar 258HPP pre-preg malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin özellikleri Tablo 4.1' de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Kevlar 258HPP malzemesinin özellikleri

Malzeme Adı	Kevlar 258HPP
Reçine	PVB/Fenolik
Reçine Ağırlığı (gr/m²)	55 ± 5
Bez Ayağı	1/1
Toplam Ağırlık (gr/m²)	450 ± 20
Kopma Mukavemeti (cN/tex)	187
Uzama %	2,8
Modülüs (cN/tex)	6561

4.2 Kompozit Başlık Üretimi

Başlık üretim prosesi Şekil 4.1' de sunulmuştur [11]. Bu prosese göre başlık, 160 - 180 °C sıcaklıkta, 12 dakika sürede, 4 bar basınç altında preslenerek nihai ürün haline getirilmiştir [12].



Şekil 4.1: Kompozit başlık imalat prosesi şeması

4.3 Balistik Modelleme

Kinetik enerjili bir merminin hedefteki delme etkisi, mermi kütlesine, merminin enerjisine, merminin hedefe vuruş açısına, mermi ve zırh malzemesinin metalurjik yapısına bağlıdır [13]. Merminin kinetik enerjisi (E), kütlesi (m) ve hızı (V) ise merminin kinetik enerjisi;

$$E_{mk} = 1/2 \times m_m \times (V_m)^2$$

şeklindedir [14].

4.4 Talaş Kaldırma

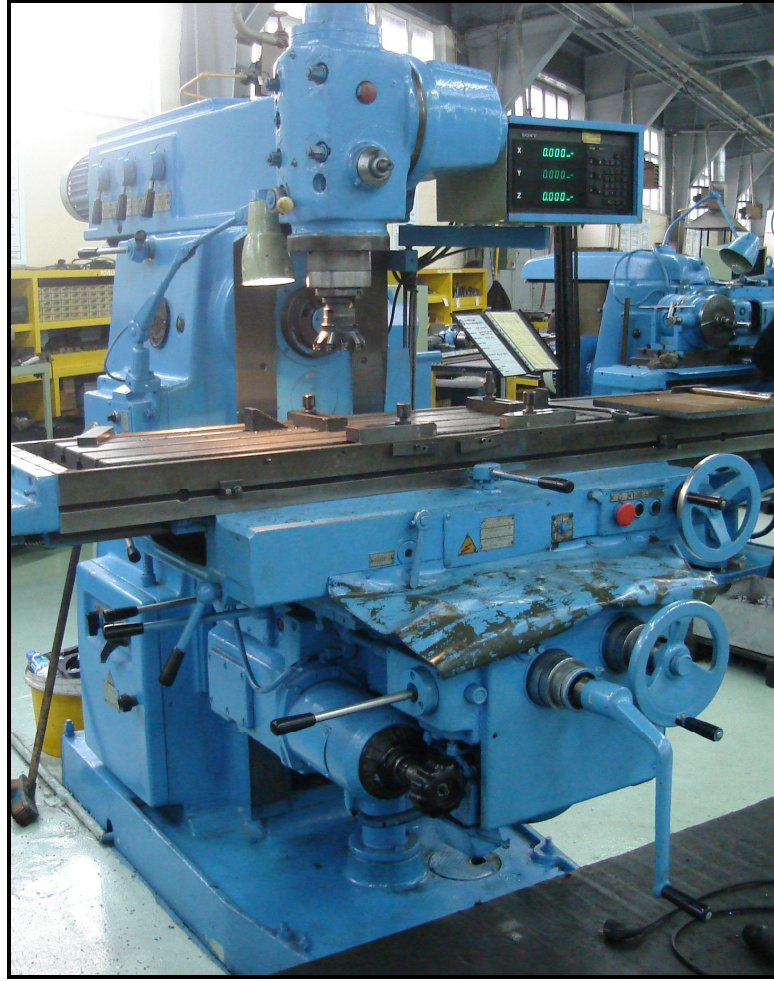
Kompozit başlıkların dış yüzeylerinden üniversal freze tezgahı kullanılarak talaş kaldırılmış olup cidarlarında ölçü farklılaşması sağlanmıştır.

Kompozit başlıkların talaşlı olarak işlenmesi için Tablo 4.2' deki teknik özelliklere sahip üniversal freze tezgahı kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda üniversal freze tezgahının kesici başlığına 60 mm x 25 mm boyutlarında silindirik taş monte edilmiştir. Devir sayısı 400 dev/dak ve ilerleme hızı 315 mm/dak olarak seçilmiştir.

Tablo 4.2: Üniversal freze tezgahının teknik özellikleri

S.No	Teknik Özellik Adı	Değeri ve Birimi
1	Max. Devir Sayısı	1200 dev/dak
2	Min. Devir Sayısı	60 dev/dak
3	Max. İlerleme Hızı	800 mm/dak
4	Min. İlerleme Hızı	25 mm/dak

Resim 4.1' de üniversal freze tezgahının genel görünümü, Resim 4.2' de ise üniversal freze tezgahının digital koordinat okuyucu sistemine ait resmi sunulmuştur.

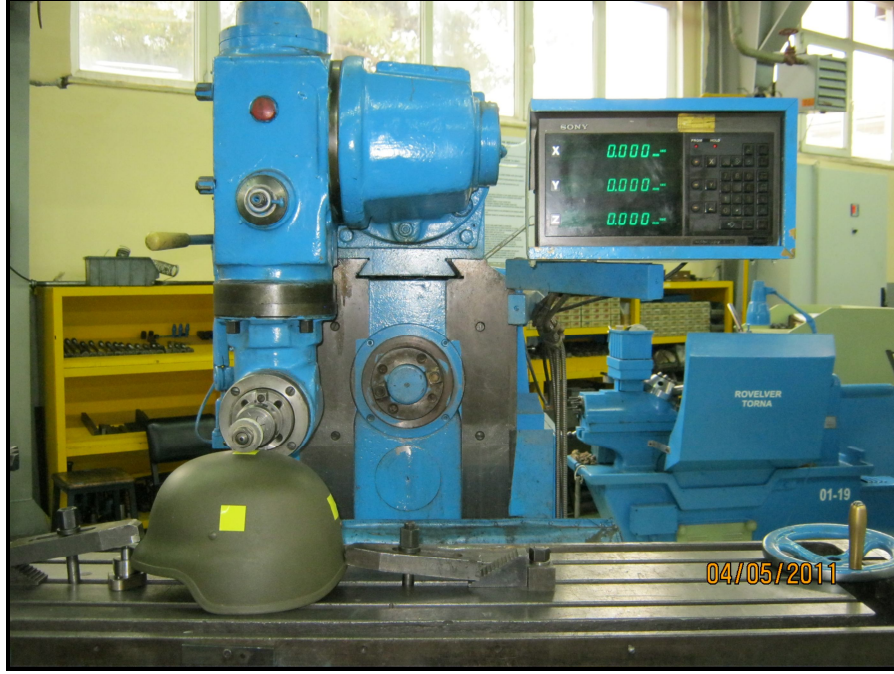


Resim 4.1: Üiversal freze tezgahı



Resim 4.2: Üiversal freze tezgahı digital koordinat okuyucu sistemi

Resim 4.3, Resim 4.4 ve Resim 4.5' te gösterilen biçimde kompozit başlıklar üniversal freze tezgahına monte edilmiş ve Resim 4.6' da digital koordinat okuyucu sisteme istenilen değerdeki ölçüler girilmiştir.



Resim 4.3: Kompozit başlığın freze tezgahına montajı



Resim 4.4: Kompozit başlığın freze tezgahına montajı



Resim 4.5: Kompozit başlığın freze tezgahına montajı



Resim 4.6: Digital koordinat okuyucu sisteme istenilen değerdeki ölçü girişi

Resim 4.7 ve Resim 4.8' de kompozit başlıktan talaş kaldırma işlemi sunulmuştur.



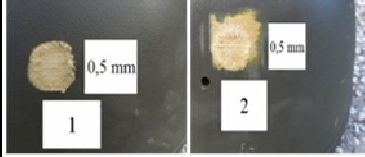
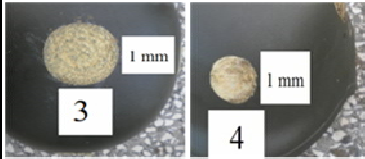
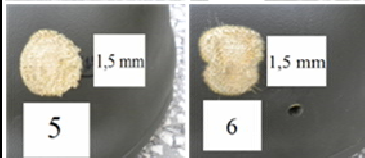


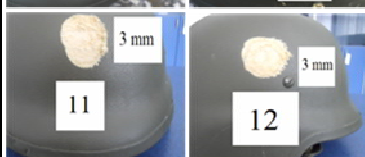

Resim 4.7: Kompozit başlıktan talaş kaldırma işlemi



Resim 4.8: Kompozit başlıktan talaş kaldırma işlemi

Tablo 4.3' te belirtilen miktarlarda, 7 farklı ölçüde, her ölçüden 2'şer adet olmak üzere toplam 14 yüzeyden bölgesel olarak talaş kaldırılmıştır.

Tablo 4.3: Talaş kaldırılan miktarlar

S.No	Talaş Kaldırılan Miktar (mm)	Resimler
1	0,5	
2	1	
3	1,5	
4	2	
5	2,5	
6	3	
7	4	

4.5 Balistik Test Standartları

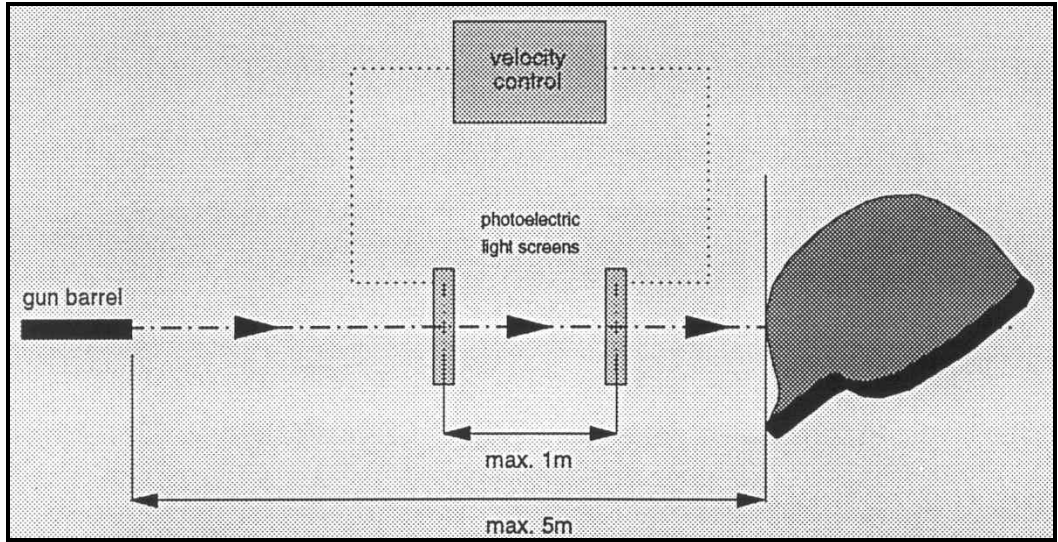
Başlığın mermiye karşı korumasında ise NIJ (National Institute of Justice) değerleri referans olarak alınmıştır [15]. Bu değerlerin referans olarak alınmasındaki en büyük neden günümüzde kullanılmakta olan tabanca ve makineli tabanca tehditlerinin birbirine çok yakın olmasıdır. Tablo 4.4' te tabanca ve makineli tabanca için kullanılan NIJ Standartları gösterilmiştir. Günümüz modern ordularında başlığın mermiye karşı korumasında, seviye III-A kullanılmaktadır. Mermiye karşı korumada balistik dayanım kriterinin ölçütü başlığın içerisine yerleştirilen ve insanı simüle eden macunun üzerinde meydana gelen çöküntü miktarının 44 mm.' nin altında olmasıdır.

Tablo 4.4: Tabanca ve makineli tabanca için kullanılan NIJ Standartları

BALLISTIC DATA					
BALLISTIC BODY ARMOR RESISTANCE CHART NIJ 0101.03 STD.					
CALIBER	PROJECTILE	WEIGHT, GRAINS	VELOCITY, FT/SEC	VELOCITY, M/SEC	NIJ LEVEL
38 SPECIAL	RN LEAD	158	850	260	I
38 SPECIAL+P	SWC LEAD	158	950	290	I
22 LRHV	LEAD	40	1050	320	I
22 LRHV	LEAD	40	1200	365	II-A
9 MM	FMJ	124	1090	335	II-A
357 MAG.	JSP	158	1250	381	II-A
357 MAG.	JSP	158	1300	395	II-A
.22 LRHV(R)	COPPER-PLATED LEAD	40	1450	440	II-A
9 MM	FMJ	124	1175	358	II
.357 MAG.	JSP	158	1395	425	II
.357 MAG.	SJHP	125	1450	440	II
12 GAUGE	00 (BUCKSHOT)	9(Pellet)	1350	410	II
14 MAG.	LEAD	210	1300	397	II
.44 MAG.	SJSP	240	1180	360	II
9 MM LAPUA	FMJ	123	1200	366	III-A
9 MM NORMA	FMJ	116	1150	351	III-A
9 MM GECO		123	1200	366	III-A
9 MM CANADIAN	FMJ	116	1250	381	III-A
9 MM ISRAEL	LEAD SWC-GC		1200	366	III-A
9 MM CAVIM	FMJ		1100	339	III-A
.44 MAG	LEAD SWC-GC	240	1400	425	III-A
9 MM	FMJ	124	1400	425	III-A
9 MM SMG	SILVERTIP HP	115	1400	425	III-A
7.62 MM NATO (R)	USM BALL M80	150	2750	838	III
5.56 MM NATO (R)	USM BALL M855	62	3050	925	III
5.56 MM NATO(R)	USM BALL M193	55	3050	925	III
30.6 (R)	USM APM-2 ARMOR PIERCING	166	2850	868	IV

4.6 Balistik Test Düzenegi

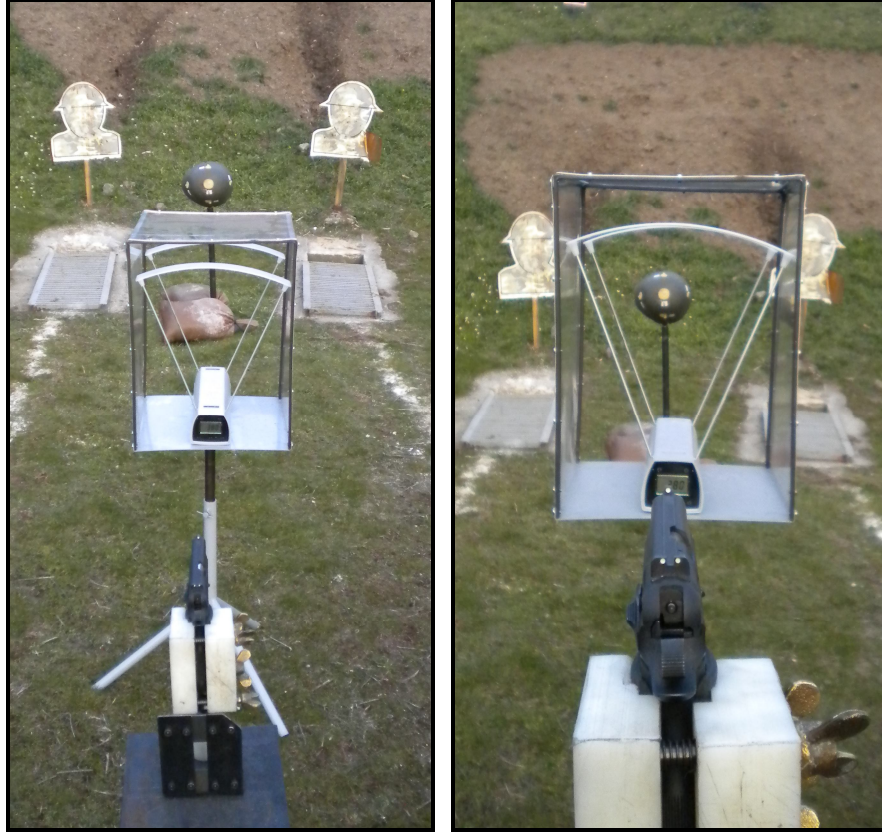
Balistik test düzenegi; silah, hız ölçer ve kompozit başlıktan oluşmaktadır. Mermi testlerinde kullanılan test düzenegi ise Şekil 4.2, Resim 4.9 ve Resim 4.10 ' da gösterilmiştir. Testler esnasında sabit namlular kullanılarak mermilerin başlığa dik olarak isabet etmeleri sağlanmıştır [16].



Şekil 4.2: Mermi testinde kullanılan şematik test düzenegi



Resim 4.9: Mermi testinde kullanılan test düzenegi



Resim 4.10: Mermi testinde kullanılan test düzeneği

Kompozit başlık ve silah, Resim 4.11' de gösterilen aparatlar vasıtasıyla balistik test düzeneğine sabitlenmiştir.



Resim 4.11: Kompozit başlık ve tabanca montaj aparatları

4.7 Terminal Balistik Testler ve Test Sonuçları

Kompozit başlıkların yüzeylerinde toplam 14 noktadan talaş kaldırılmış, NIJ standartlarına göre balistik test düzeneği teşkil edilmiş ve atışlar yapılmıştır.

Atışlı testlerde 9 mm çaplı tam metal kaplama (FMJ) mermi kullanılmıştır. Atışlı testlerde kullanılan mermiler Resim 4.12' de, mermiye ait teknik özellikler ise Tablo 4.5' te sunulmuştur.



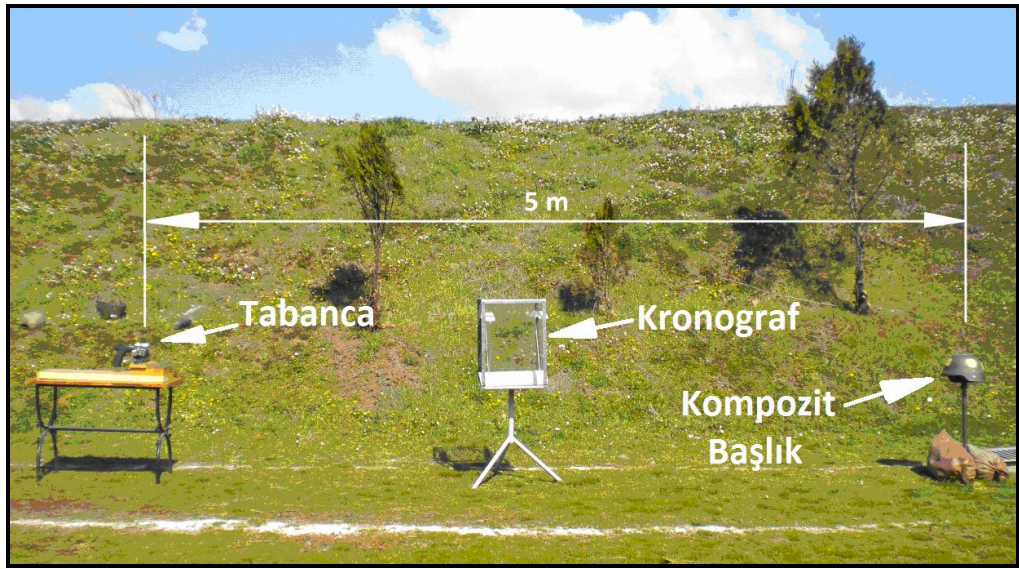
Resim 4.12: Atışlı testlerde kullanılan mermiler

Tablo 4.5: Kullanılan merminin teknik özellikleri

Atış Mesafesi (m)	Mermi Çekirdek Çapı (mm)	Mermi Çekirdek Ağırlığı (gr)	Mermi Kovan Ağırlığı (gr)	Mermi Uzunluğu (mm)	Barut Miktarı (gr)
5	9,08	7,43	3,8	15	0,41±0,005

NIJ Standartlarına göre teste tabi tutulacak başlık ve insan beynini simüle eden cam macunu 24 saat süreyle 23 ± 2 °C' de şartlandırılmıştır. Deformasyonun ölçümünün yapılabilmesi için vuruş yerinin iç tarafına gelecek şekilde başlık iç yüzeyine cam macunu tatbik edilmiştir.

Atışlar 5 m mesafeden başlığın alt kenarlarından en az 50 mm uzakta ve başlık üzerinde varsa daha önceki bir vuruş noktasından veya bir delikten en az 80 mm uzakta olacak şekilde yapılmıştır. Atışlar başlık yüzeyine 90 ± 1 derece ile gerçekleştirilmiştir. Atışlı testlerin gerçekleştirildiği saha Resim 4.13' te sunulmuştur.



Resim 4.13: Atışlı testlerin gerçekleştirildiği saha

Yapılan testlerin sonucunda, her atış için cam macunu üzerinde meydana gelen derinlik ve genişlik değerleri ölçülmüştür.

Yapılan atışlarda mermi hızını ölçmek için hız ölçer olarak, % ± 1 doğrulukla çalışan A.B.D. üretimi Pro Chrono Digital Kronograf kullanılmıştır. Atışlı testlerde kullanılan kronograf ve ekipmanı Resim 4.14' te sunulmuştur.



Resim 4.14: Atışlı testlerde kullanılan kronograf ve ekipmanı

0,5 mm'den 4 mm'ye kadar 7 farklı talaş kaldırma derinliğinde yapılan atışlı testlerin ölçümleri tespit edilmiştir.

0,5 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgeye yapılan atışlı testlerin sonuçları Tablo 4.6' da,

Tablo 4.6: 0,5 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları

S.No	Talaş Kaldırılan Miktar (mm)	Hız (m/s)	Macunda Oluşan Derinlik (mm)	Macunda Oluşan Genişlik (mm)
1	0,5	373	13	50
2	0,5	384	14	45
ORTALAMA		378,50	13,50	47,50

1 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgeye yapılan atışlı testlerin sonuçları Tablo 4.7' de,

Tablo 4.7: 1 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları

S.No	Talaş Kaldırılan Miktar (mm)	Hız (m/s)	Macunda Oluşan Derinlik (mm)	Macunda Oluşan Genişlik (mm)
3	1	379	14	45
4	1	384	14	45
ORTALAMA		381,50	14	45

1,5 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgeye yapılan atışlı testlerin sonuçları Tablo 4.8' de,

Tablo 4.8: 1,5 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları

S.No	Talaş Kaldırılan Miktar (mm)	Hız (m/s)	Macunda Oluşan Derinlik (mm)	Macunda Oluşan Genişlik (mm)
5	1,5	380	14,50	51
6	1,5	375	14	41,75
ORTALAMA		377,50	14,25	48,38

2 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgeye yapılan atışlı testlerin sonuçları Tablo 4.9' da,

Tablo 4.9: 2 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları

S.No	Talaş Kaldırılan Miktar (mm)	Hız (m/s)	Macunda Oluşan Derinlik (mm)	Macunda Oluşan Genişlik (mm)
7	2	363	18	50
8	2	376	17	51
ORTALAMA		369,50	17,50	50,50

2,5 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgeye yapılan atışlı testlerin sonuçları Tablo 4.10' da,

Tablo 4.10: 2,5 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları

S.No	Talaş Kaldırılan Miktar (mm)	Hız (m/s)	Macunda Oluşan Derinlik (mm)	Macunda Oluşan Genişlik (mm)
9	2,5	363	18,50	50
10	2,5	381	21	61
ORTALAMA		372	19,75	55,50

3 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgeye yapılan atışlı testlerin sonuçları Tablo 4.11' de,

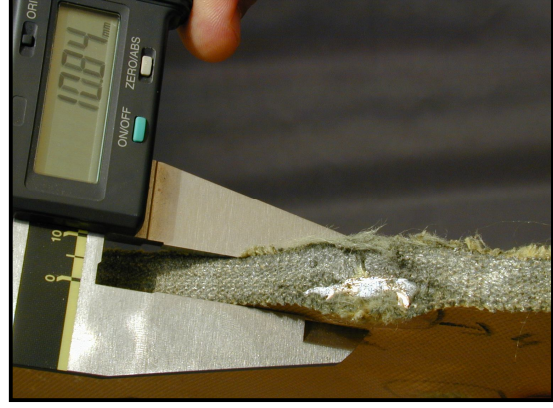
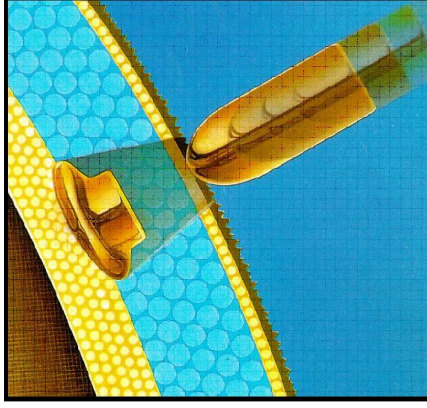
Tablo 4.11: 3 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları

S.No	Talaş Kaldırılan Miktar (mm)	Hız (m/s)	Macunda Oluşan Derinlik (mm)	Macunda Oluşan Genişlik (mm)
11	3	372	19,50	58,50
12	3	377	17,50	62
ORTALAMA		374,50	18,50	60,25

4 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgeye yapılan atışlı testlerin sonuçları Tablo 4.12' de sunulmuştur.

Tablo 4.12: 4 mm kalınlığında talaş kaldırılan bölgedeki test sonuçları

S.No	Talaş Kaldırılan Miktar (mm)	Hız (m/s)	Macunda Oluşan Derinlik (mm)	Macunda Oluşan Genişlik (mm)
13	4	369	18,50	59
14	4	370	17	58,50
ORTALAMA		369,50	17,75	58,75



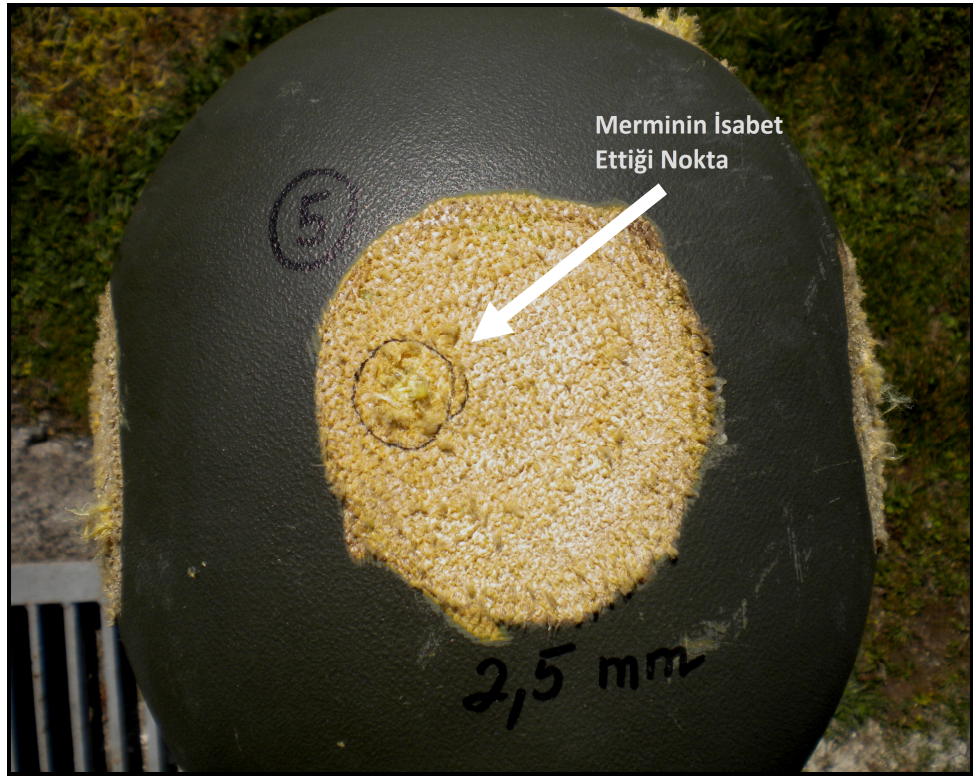
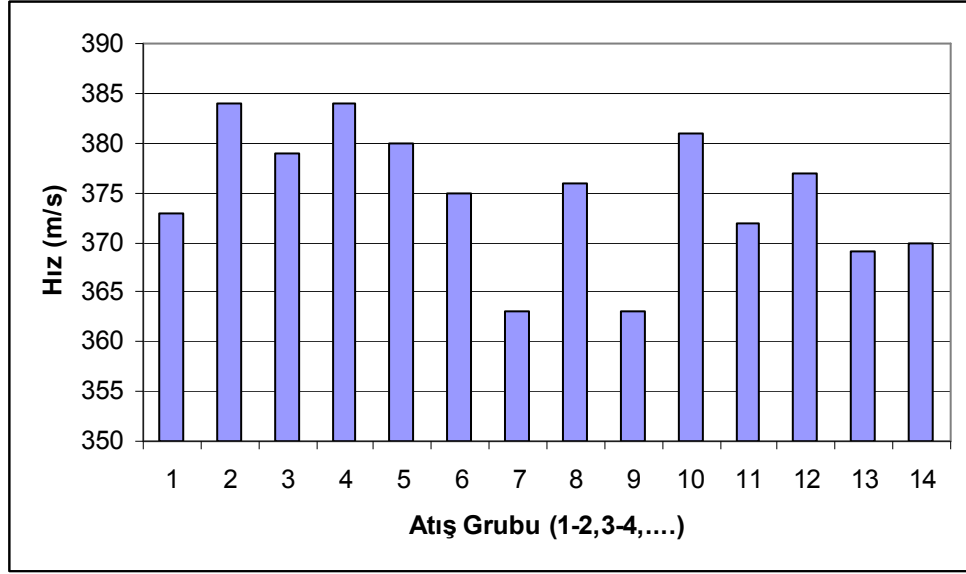
Resim 4.15: Atış sonrası mermi çekirdeği ve başlık kesitinin görünümü

Yapılan atışlarda hızölçerler (Pro Chrono Digital Kronograf) ile yapılan ölçüm sonuçları Tablo 4.13' te, ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi Tablo 4.14' te sunulmuştur.

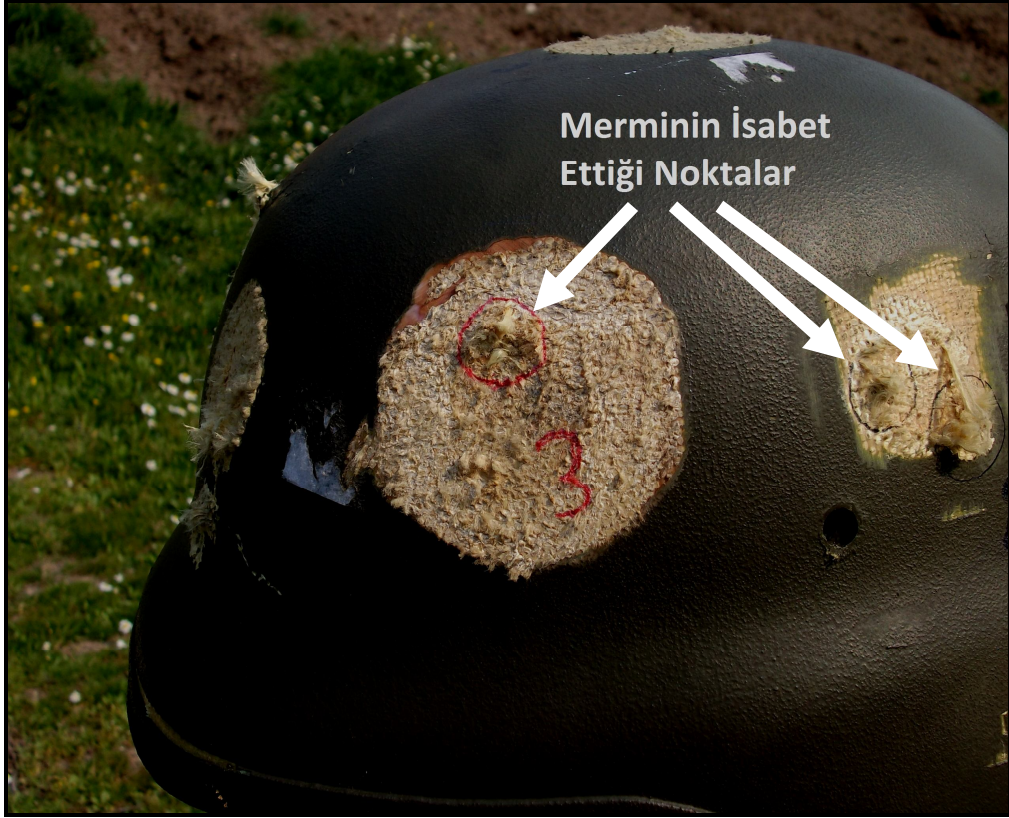
Tablo 4.13: Atışların hızlara göre dağılımı

Atış No	Ölçüm Yapılan Hız (m/s)
1	373
2	384
3	379
4	384
5	380
6	375
7	363
8	376
9	363
10	381
11	372
12	377
13	369
14	370
Vort	374,71

Tablo 4.14: Hız sonuçlarının grafiksel gösterimi



Resim 4.16: Atış sonrası merminin isabet ettiği nokta



Resim 4.17: Atış sonrası merminin isabet ettiği noktalar



Resim 4.18: Atış sonrası merminin isabet ettiği noktalar



Resim 4.19: Başlığın iç yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar



Resim 4.20: Balistik test sonrası mermi çekirdeklerinin görünümü

Yapılan testlerin sonucunda, her atış için cam macunu üzerinde meydana gelen derinlik ve genişlik değerleri ölçülmüştür.




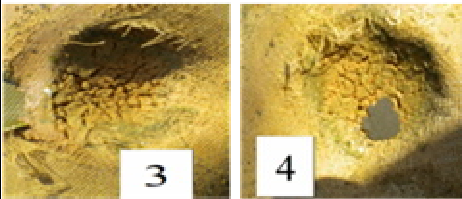
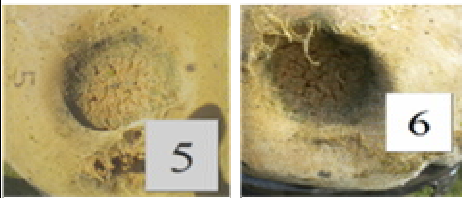

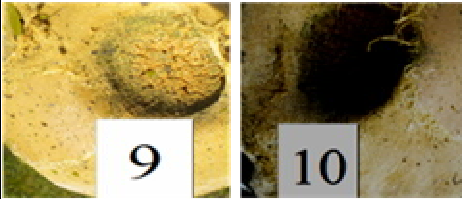

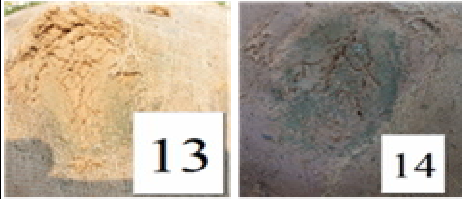
Resim 4.21: Cam macunu üzerinde oluşan genişliğin ölçümü



Resim 4.22: Cam macunu üzerinde oluşan derinliğin ölçümü

Tablo 4.15'de talaş kaldırılan miktarlara göre cam macununda oluşan deformasyonlar gösterilmiştir.

Tablo 4.15: Cam macununda oluşan deformasyonlar

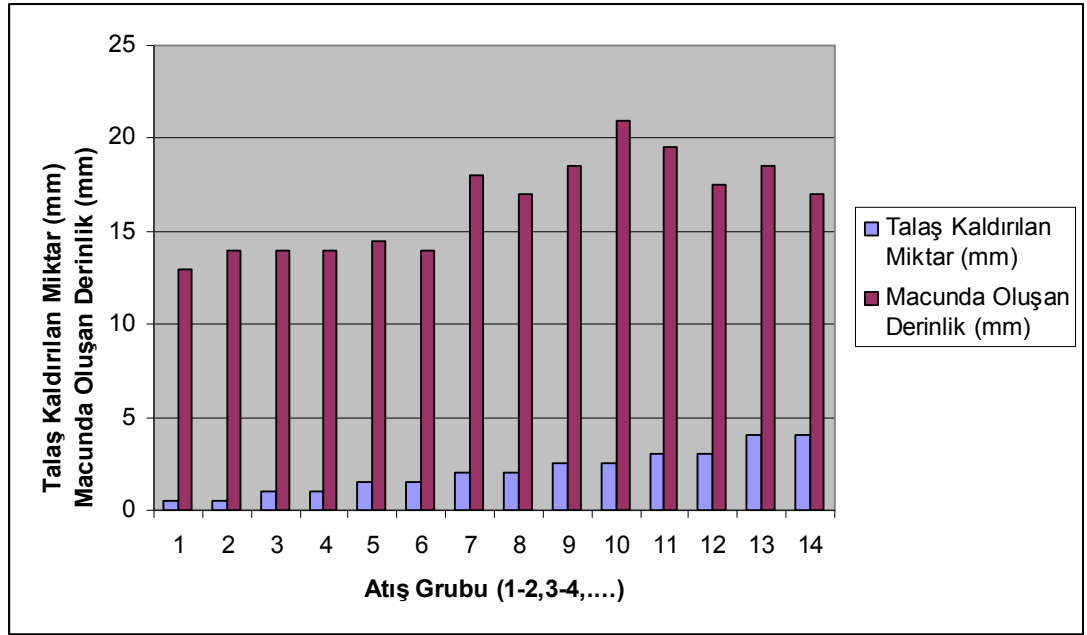
S.No	Talaş Kaldırılan Miktar (mm)	Deformasyon Resimleri
1	0,5	
2	1	
3	1,5	
4	2	
5	2,5	
6	3	
7	4	

Tablo 4.16'de talaş kaldırılan miktar, hız, macunda oluşan derinlik ve macunda oluşan genişlik parametreleri tespit edilmiştir.

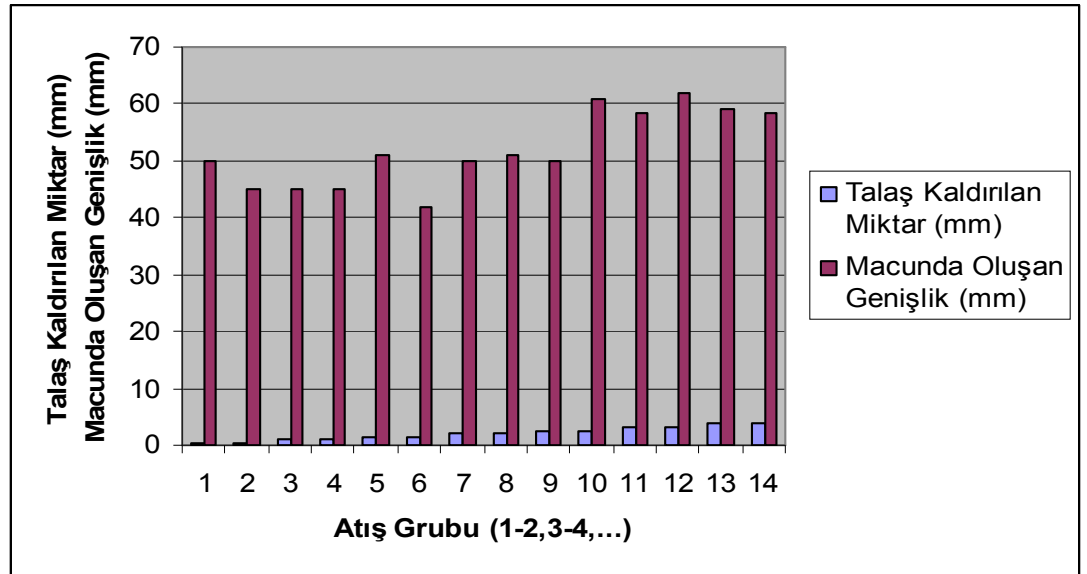
Tablo 4.16: Balistik test sonuçları

S.No	Talaş Kaldırılan Miktar (mm)	Hız (m/s)	Macunda Oluşan Derinlik (mm)	Macunda Oluşan Genişlik (mm)
1	0,5	373	13	50
2	0,5	384	14	45
3	1	379	14	45
4	1	384	14	45
5	1,5	380	14,50	51
6	1,5	375	14	41,75
7	2	363	18	50
8	2	376	17	51
9	2,5	363	18,50	50
10	2,5	381	21	61
11	3	372	19,50	58,50
12	3	377	17,50	62
13	4	369	18,50	59
14	4	370	17	58,50
ORTALAMA		374,71	16,46	51,98

Tablo 4.17: Talaş kaldırılan miktar ve macunda oluşan derinlik



Tablo 4.18: Talaş kaldırılan miktar ve macunda oluşan genişlik



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

a. Kompozit başlıkların üzerinden talaş kaldırmak suretiyle meydana gelen balistik performans kaybı ilk defa çalışılmıştır.

b. 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm, 3mm. ve 4 mm. olmak üzere toplam 7 farklı ölçüde talaş kaldırılan kompozit başlıklara atışlı testler yapılmıştır.

c. Atışlı testler NIJ (National Institute of Justice) Standartlarına uygun 9 mm.'lik mermi ve hız ölçer kullanılarak 5 m. mesafeden icra edilmiştir.

d. Atışlı testler neticesinde kompozit başlıkların üzerinden;

(1) 0,5 mm. talaş kaldırılarak elde edilen yüzeylere ortalama 378,50 m/s hızla atışlar yapılmış olup sonucunda 13,5 mm. değerinde ortalama derinlik ve 47,50 mm. değerinde ortalama genişlik,

(2) 1 mm. talaş kaldırılarak elde edilen yüzeylere ortalama 381,50 m/s hızla atışlar yapılmış olup sonucunda 14 mm. değerinde ortalama derinlik ve 45 mm. değerinde ortalama genişlik,

(3) 1,5 mm. talaş kaldırılarak elde edilen yüzeylere ortalama 377,50 m/s hızla atışlar yapılmış olup sonucunda 14,25 mm. değerinde ortalama derinlik ve 48,38 mm. değerinde ortalama genişlik,

(4) 2 mm. talaş kaldırılarak elde edilen yüzeylere ortalama 369,50 m/s hızla atışlar yapılmış olup sonucunda 17,50 mm. değerinde ortalama derinlik ve 50,50 mm. değerinde ortalama genişlik,

(5) 2,5 mm. talaş kaldırılarak elde edilen yüzeylere ortalama 372 m/s hızla atışlar yapılmış olup sonucunda 19,75 mm. değerinde ortalama derinlik ve 55,50 mm. değerinde ortalama genişlik,

(6) 3 mm. talaş kaldırılarak elde edilen yüzeylere ortalama 374,50 m/s hızla atışlar yapılmış olup sonucunda 18,50 mm. değerinde ortalama derinlik ve 60,25 mm. değerinde ortalama genişlik,

(7) 4 mm. talaş kaldırılarak elde edilen yüzeylere ortalama 369,50 m/s hızla atışlar yapılmış olup sonucunda ortalama 17,75 mm. değerinde derinlik ve ortalama 58,75 mm. değerinde genişlik elde edilmiştir.

e. Atışlı testlerde;

- (1) Ortalama hız 374,71 m/s,
- (2) Ortalama derinlik 16,46 mm,
- (3) Ortalama genişlik 51,98 mm. olarak tespit edilmiştir.

f. Yapılan atışlı testler sonucunda yukarıda belirtilen değerler kapsamında, mermiye karşı korumada başlığın içerisine yerleştirilen ve insanı simüle eden cam macunu üzerinde meydana gelen ortalama derinlik miktarının (16,46 mm), NIJ Standartları balistik dayanım kriteri ölçütünün (44 mm) altında olduğu tespit edilmiştir. Eskitmeye tabi tutulan kompozit başlıkların, terminal balistik performanslarının değerlendirilmesi sonucunda ilgili personel tarafından uzun süre güvenli bir şekilde kullanılabileceği görülmektedir.

g. Atışlı testlerde kullanılan mermi ve düzenek sabit olduğundan talaş kaldırma derinliğinin artması ile doğru orantılı olarak elde edilen ve insan beynini simüle eden cam macunu üzerinden alınan derinlik ve genişlik değerleri de artmıştır.

h. Atışlı testler, kullanılan kompozit başlıkların yüksek maliyetli olmasından dolayı kaynakların izin verdiği ölçüde yapılmıştır. Atışlı testlerin daha fazla sayıda icra edilmesi durumunda daha fazla sayıda performans değeri elde edileceğinden oluşan sonucun daha reel olacağı kıymetlendirilmektedir.

i. Bu çalışmanın, tez içerisinde sunulan terminal balistik performans değerler ve deneysel veriler kapsamında kompozit başlıkların ömür devri hesaplamaları konusunda, araştırmacı ve uygulamacı mühendis arkadaşlar tarafından kullanılabileceği tavsiye edilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Candan, C. and Akdemir, A., “The Properties of The Para-aramid Composite Armour Material Manufacture Against The Light weapons”, *6th International Fracture Conferance*, Konya, (2003)
- [2] Lindemulder, J.L., “Development of a Dyneema UD Helmet”, *Personal Armour Symposium*, Colchester United Kingtom, (1998).
- [3] Candan, C., “UHMW - PE Kompozit Başlık Tasarımı ve Balistik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Konya, (1998).
- [4] Wikipedia ansiklopedi, “Kompozit Malzemenin Tanımı ve Tarihçesi [online]”,(18 Şubat 2012), http://tr.wikipedia.org/wiki/Kompozit_malzemeler.
- [5] Cunniff, P.M., “An Analysis Of System Effects In Woven Fabrics Under Ballistic Impact”, *Natick, Massachusetts*, (1992).
- [6] “Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları [online]”, (02 Şubat 2012), <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-57.pdf>.
- [7] “The Science and Tecnology of Composite Materials [online]”, (08 Ocak 2012), www.science.org.au/nova/059/059key.htm.
- [8] Moss, G.M., Leeming, D.W. and Farrar, C.L., “Military Ballistics”, *Brassey's*, London, (1995).
- [9] Benloulo, I.S.C., Rodriguez, J., Martinez, M.A. and Galvez, S., “Dynamic Tensile Testing of Aramid and Polyethylene Fiber Composites”, *International Journal of Impact Engineering*, Elsevier Science Ltd., (1996).
- [10] Abrate, S., “Impact On Composite Structures”, *S.Illinois University at Carbondale*, 215-227, (1998).
- [11] Candan, C. and Akdemir, A., “Para-Aramid Malzemeden İmal Edilen Balistik Özellikli Kompozit Başlık”, *Malzeme Bilimi ve Üretim Yöntemleri Sempozyumu*, İzmir, (2003).
- [12] Riewald, P.G., Folgar, F., Yang, H.H. and Shaughnessy, W.F., “Lightweight Helmet From a New Aramid Fiber”, *Wilmington, DE*, (1991).

- [13]Morye, S.S., Hine, P.J., Duckett, R.A., Carr, D.J. and Ward, I.M., “Modelling Of The Energy Absorption By Polymer Composites Upon Ballistic Impact”, *Elsevier Science and Technology* 60, 2631-2642, (2000).
- [14]Demircioğlu, T.K., Candan, C., ve Ay, İ., “Organik Matrisli Kompozit Malzeme Kullanılarak Oluşturulan Hibrit Zırh Plakasının Terminal Balistik Özelliklerinin İncelenmesi [online]”, (05 Aralık 2011), I. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu 17–19 Kasım, <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/communiques/bildiri16.pdf>, (2011).
- [15]NIJ Standard - 0101.04 “*Personel Korumasında Kullanılan Malzemelerin Balistik Dayanımları*” Dokümanı.
- [16]STANAG 2920 “*Personel Korumasında Kullanılan Malzemelerin Balistik Test Metotları*” Dokümanı.