

PARA-ARAMİD MALZEME KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ KOMPOZİT ZIRH TABAKASININ ÜZERİNDEN KADEMELİ OLARAK TALAŞ KALDIRMANIN TERMİNAL BALİSTİK PERFORMANSTA MEYDANA GETİRDİĞİ DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ

Yaşar AKMAN¹, Can CANDAN², Davut AKDAŞ³,
Tayfur Kerem DEMİRCİOĞLU⁴, Ömer PEKDUR⁵

¹ 6'ncı Ana Bakım Merkezi Komutanlığı, BALIKESİR, yasar_41_akmann@hotmail.com

² 6'ncı Ana Bakım Merkezi Komutanlığı, BALIKESİR, cancandan12@gmail.com

³ Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, davut_akdas@yahoo.co.uk

⁴ Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, tkerem@balikesir.edu.tr

⁵ 6'ncı Ana Bakım Merkezi Komutanlığı, BALIKESİR, opekdu@gmail.com

ÖZET

Zırh, muharebe sahasının vazgeçilmez kullanım unsurlarından biridir. Öyle ki zırh kullanım açısından insanlığın ilk muharebelerinde nasıl kendine yer bulduysa gelecekteki muharebe sahasında da kendine yer bulacaktır. Günümüz kompozit zırh imalat teknolojisinde organik matrisli kompozit malzemelerin kullanıma başlanmasıyla iki ana malzeme ön plana çıkmıştır. Bu malzemeler para-aramid ve UHMW-PE' dir. Söz konusu malzemelerin zırh üretiminde kullanılmasıyla hafiflik, üstün balistik performans, yüksek enerji sönmeme 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 zırhın, hammadde aşamasından nihai mamul haline gelene kadar takip edilen genel üretim aşamalarını ve zırhın üzerinden kademeli olarak kaldırılan talaşın terminal balistik performansta meydana getirdiği değişimin incelenmesini içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit zırh, balistik, balistik performans, para-aramid malzeme.

1. GİRİŞ

Zırh, muharebe sahasının vazgeçilmez kullanım unsurlarından biridir (Moss, 1995). Öyle ki zırh, kullanım açısından insanlığın ilk muharebelerinde nasıl kendine yer bulduysa gelecekteki muharebe sahasında da kendine yer bulacaktır. Günümüze kadar uzanan teknolojik gelişmelerin paralelinde zırh kullanımının gelişimi incelendiğinde vücudun korunumunu ile başlayıp muharebe araçları, helikopterler ve kullanım mekanlarının zırhlandırılması ile devam eden bir yol izlediğini görürüz (Cunniff, 1992). Yakın zamanda gerçekleşen muharebeler göz önüne alındığında gelişen silah sistemi ve mühimmata, yani gelişen tehdide karşı uygun zırh kullanımının muharebe sahasında istenilen başarının anahtarı olduğu ispatlanmıştır. Bu gerçekten yola çıkarak zırh imalatında hammadde olarak kullanılan malzemeler tekrar değerlendirilmiş ve teknolojik gelişmeler ışığında bu alanda kompozit malzemelerin kullanımı kaçınılmaz bir hal almıştır (Arıcasoy, 2006). Günümüzde hafif silahlara karşı kompozit zırh imalat teknolojisinde organik matrisli kompozit malzemelerin kullanıma başlanmasıyla iki ana malzeme ön plana çıkmıştır (Candan, 1998). Bu malzemeler para-aramid ve UHMW-PE'dir (Lindemulder, 1998). Söz konusu malzemelerin zırh üretiminde kullanılmasıyla hafiflik, üstün balistik performans, yüksek enerji sönmeme özelliği, düşük ısı iletkenliği, çok düşük iç deformasyon, çatlak yayılmasına karşı yüksek dayanım ile korozyon ve kimyasallara karşı yüksek dayanım özellikleri elde edilmiştir (Candan, 2003a), (Abrate, 1998). Söz konusu üstün özellikleri taşıyan zırhın sürekli olarak kullanılması durumunda yüzeyinde meydana gelen aşınmalar, balistik performansın farklılaşmasına neden olmaktadır (Benloulo, 1996). Bu çalışma ile balistik özellikli kompozit zırhın, hammadde aşamasından nihai mamul haline

gelene kadar takip edilen genel üretim aşamaları belirtilmiş ve zırhın üzerinden kademeli olarak kaldırılan talaşın terminal balistik performansta meydana getirdiği değişim incelenmiştir.

2. MALZEME VE METOD

2.1. Para Aramid Malzeme

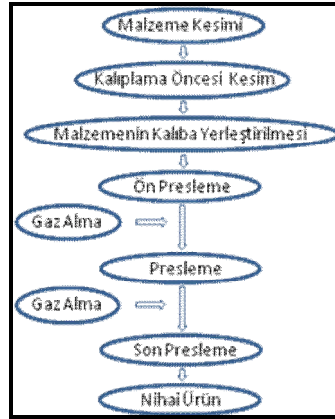
Çalışmalar esnasında Du - Pont firmasının ürünü olan Kevlar 258HPP pre-preg malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin özellikleri Tablo 1' de sunulmuştur.

Tablo 1. Kevlar 258HPP malzemesinin özellikleri

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

2.2. Kompozit Zırh Üretimi

Zırh üretim prosesi Şekil 1' de sunulmuştur (Candan, 2003b). Bu prosese göre 160-180 °C'de, 12 dakikada, 4 bar basınç altında preslenerek nihai ürün haline getirilmiştir (Riewald, 1991).



Şekil 1. Kompozit zırh imalat prosesi şeması

2.3. Balistik Modelleme

Kinetik enerjili bir merminin hedefteki delme etkisi, mermi kütesine, merminin enerjisine, merminin hedefe vuruş açısına, mermi ve zırh malzemesinin metallurjik yapısına bağlıdır (Morye,2000). Merminin kinetik enerjisi (E), merminin kütlesi (m) ve hızı (V) ise merminin kinetik enerjisi;

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

şekindedir (Candan, 2003b).

2.4. Talaş Kaldırma

Kompozit zırh tabakalarının dış yüzeylerinden üniversal freze tezgahı kullanılarak talaş kaldırılmış olup cidarlarında ölçü farklılaşması sağlanmıştır. Kompozit zırh tabakalarının talaşlı olarak işlenmesi için Tablo 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 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

Şekil 2a' da üniversal freze tezgahının genel görünümü, Şekil 2b' de ise üniversal freze tezgahının digital koordinat okuyucu sistemine ait resmi sunulmuştur. Kompozit zırh tabakaları üniversal freze tezgahına monte edilmiş ve dijital koordinat okuyucu sisteme istenilen değerdeki ölçüler girilmiştir.

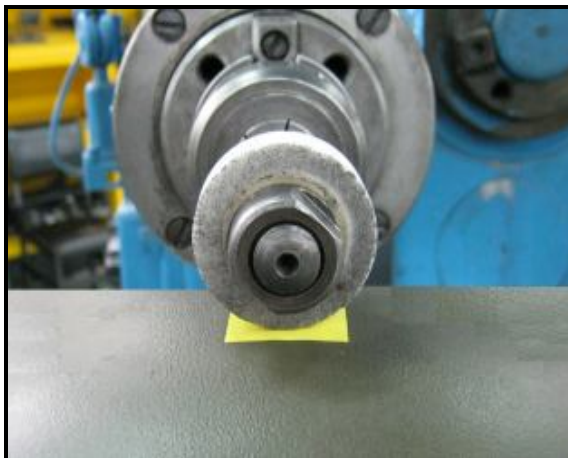


Şekil 2a. Üniversal freze tezgahı



Şekil 2b. Digital koordinat okuyucu sistem


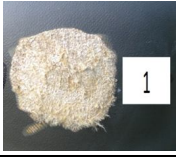
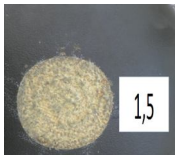
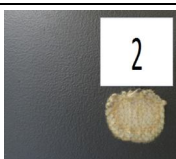



Şekil 3' te kompozit levhalardan talaş kaldırma işlemi sunulmuştur.



Şekil 3: Kompozit levhalardan talaş kaldırma işlemi

Tablo 3' te belirtilen miktarlarda, 7 farklı ölçüde, her ölçüden 2'şer adet olmak üzere toplam 14 yüzeyden bölgesel olarak talaş kaldırılmıştır.

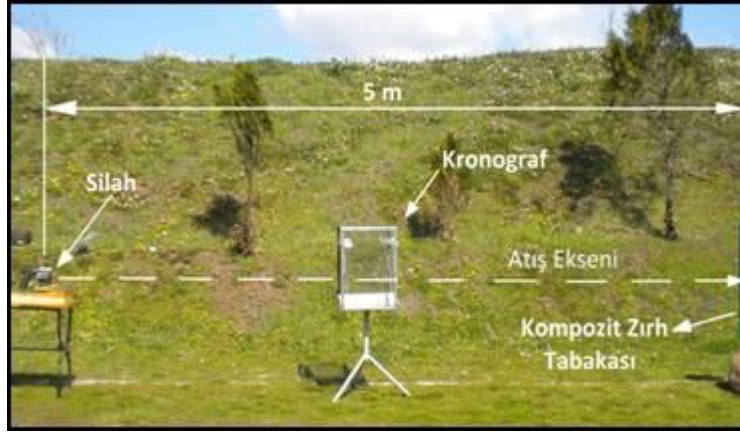
Tablo 3. Talaş kaldırılan miktarlar

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

2.5. Balistik Test Düzenegi

Üretilen kompozit zırh tabakalarının mermiye karşı korumasında ise NIJ (National Institute of Justice) değerleri referans olarak alınmıştır (NIJ 0101.04, 2001). Bu değerlerin referans olarak alınmasındaki en büyük neden günümüzde kullanılmakta olan tabanca ve makinalı tabanca tehditlerinin birbirine çok yakın olmasıdır. Mermiye karşı korumada balistik dayanım kriterinin ölçütü kompozit zırh tabakalarının arkasına yerleştirilen ve insanı simüle eden macunun üzerinde meydana gelen çöküntü miktarının 44 mm.'nin altında olmasıdır.

Balistik test düzenegi; silah, hızölçer, kompozit zırh tabakası ve macundan oluşmaktadır. Mermi testlerinde kullanılan test düzenegi Şekil 4' te gösterilmiştir. Testler esnasında sabit namlular kullanılarak mermilerin kompozit zırh tabakasına dik olarak isabet etmeleri sağlanmıştır (STANAG 2920, 1996).



Şekil 4. Test düzeneği

Kompozit zırh tabakaları ve silah, bağlantı aparatları vasıtasıyla balistik test düzeneğine sabitlenmiştir.

Atışlı testlerde 9 mm çaplı tam metal kaplama (FMJ) mermi kullanılmıştır. Atışlı testlerde kullanılan mermiler Şekil 5' te, mermiye ait teknik özellikler ise Tablo 4' te sunulmuştur.



Şekil 5. Atışlı testlerde kullanılan mermiler



Şekil 6. Kronograf

Tablo 4: 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 kompozit zırh tabakaları ve insan beynini simüle eden cam macunu 24 saat süreyle 23 ± 2 C'de şartlandırılmıştır. Deformasyonun ölçümünün yapılabilmesi için vuruş yerinin arka tarafına gelecek şekilde kompozit zırh tabakalarının arka yüzeyine cam macunu tatbik edilmiştir.

Atışlar 5 m mesafeden kompozit zırh tabakalarının alt kenarlarından en az 50 mm uzakta ve kompozit zırh tabakalarının üzerinde varsa daha önceki bir vuruş noktasından veya bir delikten en az 80 mm uzakta olacak şekilde yapılmıştır (MIL - STD - 662E, 1987). Atışlar kompozit zırh tabakalarının yüzeyine 90 ± 1 derece ile gerçekleştirilmiştir. 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 Şekil 6' da sunulmuştur.

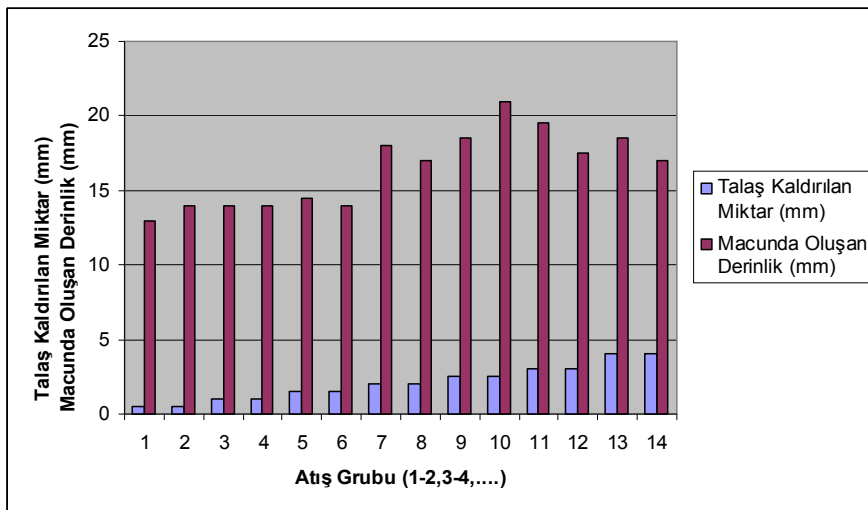
2.6. Terminal Balistik Testler

7 farklı talaş kaldırma derinliğinde yapılan atışlı testlerin ölçümleri tespit edilmiştir. Tablo 5' te talaş kaldırılan miktar, hız, macunda oluşan derinlik ve macunda oluşan genişlik parametreleri tespit edilmiştir. Söz konusu parametlerin grafiksel gösterimi Tablo 6 ve Tablo 7 olarak sunulmuştur. Tablo 8' de talaş kaldırılan miktarlara göre cam macununda oluşan deformasyonlar gösterilmiştir.

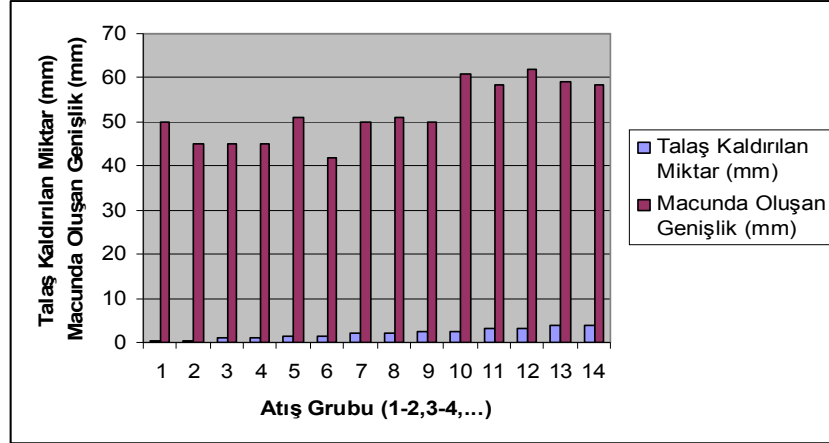
Tablo 5: Balistik test sonuçları

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


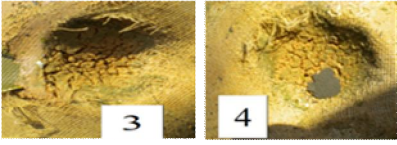
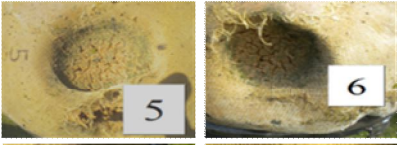

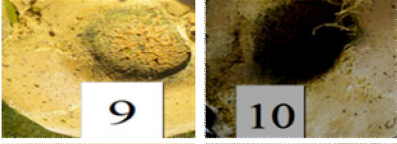


Tablo 6: Talaş kaldırılan miktar ve macunda oluşan derinlik



Tablo 7: Talaş kaldırılan miktar ve macunda oluşan genişlik



Tablo 8: 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	

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

- 3.1. Kompozit zırh tabakalarının üzerinden talaş kaldırmak suretiyle meydana gelen balistik performans kaybı ilk defa çalışılmıştır.
- 3.2. 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 zırh tabakalarına atışlı testler yapılmıştır.
- 3.3. Atışlı testler NIJ (National Institute of Justice) Standartlarına uygun 9 mm.'lik mermi ve hız ölçer kullanılarak 5 m. mesafeden icra edilmiştir.
- 3.4. Atışlı testler neticesinde kompozit zırh tabakalarının üzerinden;
 - ▶ 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,
 - ▶ 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,
 - ▶ 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,
 - ▶ 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,
 - ▶ 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,
 - ▶ 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,
 - ▶ 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.
- 3.5. Atışlı testlerde;
 - ▶ Ortalama hız 374,71 m/s,
 - ▶ Ortalama derinlik 16,46 mm,
 - ▶ Ortalama genişlik 51,98 mm. olarak tespit edilmiştir.
- 3.6. 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.
- 3.7. 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.

4. KAYNAKLAR

Abrate, S., "Impact On Composite Structures", S.Illinois University at Carbondale, 215-227, 1998.

Arıcasoy, O., "Kompozit Sektör Raporu", 02 Şubat 2012.

Benloulou, 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.

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.

Candan, C. and Akdemir, A., “Para-Aramid Malzemeden İmal Edilen Balistik Özellikli Kompozit Başlık”, Malzeme Bilimi ve Üretim Yöntemleri Sempozyumu, İzmir, 2003a.

Candan, C. and Akdemir, A., “The Properties of The Para-aramid Composite Armour Material Manufacture Against The Light weapons”, 6th International Fracture Conference, Konya, 2003b.

Cunniff, P.M., “An Analysis Of System Effects In Woven Fabrics Under Ballistic Impact”, Natick, Massachusetts, 1992.

Lindemulder, J.L., “Development of a Dyneema UD Helmet”, Personal Armour Symposium, Colchester United Kingdom, 1998.

MIL - STD - 662E, “Zırhlar İçin Balistik Testlerde Kullanılan V₅₀ Standardı” Dokümanı, 1987

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.

Moss, G.M., Leeming, D.W. and Farrar, C.L., “Military Ballistics”, Brassey’s, London, 1995.

NIJ Standard - 0101.04 “Personel Korumasında Kullanılan Malzemelerin Balistik Dayanımları” Dokümanı, 2001.

Riewald, P.G., Folgar, F., Yang, H.H. and Shaughnessy, W.F., “Lightweight Helmet From a New Aramid Fiber”, Wilmington, DE, 1991.

STANAG 2920 “Personel Korumasında Kullanılan Malzemelerin Balistik Test Metotları” Dokümanı, 1996

ÖZGEÇMİŞLER

Yaşar AKMAN – 1982 İzmit doğumludur. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamış olup 2005 yılında mezun olmuştur. 2007 yılında TSK’da mühendis subay olarak çalışmaya başlamıştır. 2010 yılı Ağustos ayında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Halen Balıkesir 6’ncı Ana Bakım Merkezi Komutanlığında mühendis subay olarak çalışmaktadır.

Can CANDAN – 1968 yılında Konya’da doğmuştur. 1992 yılında Makine Mühendisliği lisans eğitimini, 1997 yılında yüksek lisans eğitimini, 2005 yılında doktora çalışmasını tamamlamıştır. Kompozit zırhlar ve terminal balistik üzerine yurt içi ve yurt dışında yayınlanmış makaleleri bulunmaktadır. Halen Balıkesir 6’ncı Ana Bakım Merkezi Komutanlığında mühendis subay olarak çalışmaktadır.

Davut AKDAŞ – 1972 Bolu doğumludur. 1989 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamış olup 1993 yılında mezun olmuştur. 1995 yılında Salford Üniversitesi Elektronik Kontrol Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 1997 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı sene Salford Üniversitesinde doktora çalışmasına başlamış olup 2001 yılında tamamlamıştır. Halen Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesinde Yrd. Doç. Dr. ünvanıyla Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak çalışmaktadır.

Tayfur Kerem DEMİRCİOĞLU – 1980 Bursa doğumludur. 1999 yılında Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamış olup 2003 yılında mezun olmuştur. 2004 yılında yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2007 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamayı müteakip Balıkesir Üniversitesinde doktora eğitimine başlamıştır. Halen Balıkesir Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

Ömer PEKDUR – 1980 Diyarbakır doğumludur. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir’de tamamladıktan sonra 1999 yılında İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamıştır. 2003 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra yine aynı sene İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2006 yılında yüksek lisans eğitimini bitirdikten sonra 2007 yılında TSK’da mühendis subay olarak çalışmaya başlamıştır. 2010 yılı Şubat ayında Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde doktora eğitimine başlamıştır. Halen Balıkesir 6’ncı Ana Bakım Merkezi Komutanlığında mühendis subay olarak çalışmaktadır.