

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AlMg₃/SiCp KOMPOZİT MALZEMELERİN BALİSTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hayri ŞEN

Yüksek Lisans Tezi
Makina Mühendisliği A.B.D.

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN

EDİRNE
2013

AlMg₃/SiCp KOMPOZİT MALZEMELERİN BALİSTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hayri ŞEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ A.B.D.

2013

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Taner TIMARCI
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımda okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Vedat TAŞKIN
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek lisans olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Yrd.Doç.Dr. Vedat TAŞKIN (Danışman)

Prof.Dr. Metin AYDOĞDU

Yrd.Doç.Dr. Altan MESUT

Tarih: 28 / 06 / 2013

T. Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

28/06/2013

Hayri ŞEN

Yüksek Lisans Tezi

AlMg3/SiCp Kompozit Malzemelerin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi

Trakya Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği A.B.D.

ÖZET

Bu çalışmada, Alüminyum matrisli SiCp takviyeli kompozit malzemelerin balistik özellikleri incelenmiştir. Balistik testlerde, yarı katı karıştırma tekniği ve sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilmiş AlMg3/SiCp kompozitler numuneler kullanılmıştır.

Farklı SiC takviye oranlarına sahip kompozit malzemelerden yapılmış numunelerin balistik testleri sonucunda, takviye oranının artması ile birlikte balistik başarımın iyileştiği buna karşılık, %20 SiC takviye oranından sonra gevrekleşen yapı dolayısıyla malzemede balistik test sonrası parça kopması ve kırılma şeklinde hasarlar gözlenmiştir.

Yıl : **2013**

Sayfa Sayısı : **88**

Anahtar Kelimeler : **Balistik, Zırh Malzemeleri, Alüminyum, Metal Matrisli Kompozit, SiC.**

Master Degree Thesis

Investigation of the Ballistic Properties of AlMg3/SiCp Composite Materials

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

In this study, the ballistic properties of SiCp reinforced composite materials with aluminum matrix are investigated. AlMg3/SiCp composite specimens manufactured by semi-solid stirring and squeeze casting are used in ballistic tests.

As a result of ballistic tests, it is observed that the ballistic performance of the specimens made of composite materials with various SiC reinforcement rates improved depending on an increasing reinforcement rate, on the contrary, after %20 SiC reinforcement rate, failures such as breakage and fracture have occurred due to embrittlement.

Year : **2013**

Number of Pages : **88**

Key Words : **Ballistic, Armor Materials, Aluminum, Metal Matrix Composite, SiC.**

ÖNSÖZ

Savunma amaçlı oluşturulan kompozit zırh malzeme üretiminin hedefi düşük ağırlıklı malzemeler ile istenen korumanın sağlanabilmesi ve bu sayede hareket kabiliyetinin arttırılmasının sağlanabilmesidir.

Tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren çok değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN'a ve Yrd. Doç. Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN'a katkılarını benden esirgemedikleri için teşekkürlerimi bir borç bilir, sonsuz şükranlarımı sunarım.

Hayatım boyunca her zaman bana destek olan sevgili ve değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2013

Hayri ŞEN

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTIMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
BÖLÜM 3. BALİSTİK.....	11
3.1. Balistik Yaklaşımlar.....	11
3.1.1. İç Balistik	11
3.1.2. Dış Balistik	12
3.1.3. Terminal Balistik	13
3.2. Balistik Terminolojisi	14
3.2.1. Tabancalar	14
3.2.2. Heckler & Koch MP5	15
3.2.3. M 16	16
3.3. Silah ve Tabanca Mühimmatlarının Yapısı	16
3.3.1. Fişek	16
3.3.2. Çekirdek (Mermi)	17
3.3.3. Barut	17
3.3.4. Kovan	17
3.4. Balistiğe Etki Eden Faktörler	18
3.5. Silah ve Tabanca Mühimmatları	18
3.5.1. 5,56 Mm x 45 (Ss109/M855) Normal Fişek	18
3.6. Balistik Koruma Seviyeleri	19
3.7. Balistik Deney Standartları	20

BÖLÜM 4. KOMPOZİT MALZEMELER	22
4.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	22
4.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler	23
4.3. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Kullanılan Matris Malzemeleri	25
4.4. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Takviye Elemanı Çeşitleri	26
4.5. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	28
4.5.1. Sıkıştırma Döküm Tekniği	29
4.6. Metal Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri	30
4.6.1. Bazı Elementlerin Mekanik Özelliklere Etkisi	30
4.6.2. Takviye Türünün Mekanik Özelliklere Etkisi	32
4.6.3. Süneklik	33
BÖLÜM 5. ZIRH	34
5.1. Zırhın Tarihi Gelişimi	34
5.1.1. Zırh Giysilerinin Tarihi Gelişimi	34
5.1.2. Zırhlı Araçların Tarihi Gelişimi	36
5.1.3. Zırhlı Araçlarda Zırh Koruması	37
5.1.4. Muharebe Araçlarında Zırh Kavramı	38
5.1.4.1. Alüminyum Zırhlar	39
5.2. Zırh Malzemesi İçin Balistik Yaklaşımlar	41
5.2.1. Hasar Mekanizmaları	41
BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMA	45
6.1. AlMg ₃ /SiCp Kompozitlerinin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri	45
6.2. Takviyesiz (%0 SiC) AA5754 Numunelerin Balistik Test Sonuçları	48
6.3. % 5 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları	51
6.4. % 10 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları	54
6.5. % 15 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları	57
6.6. % 20 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları	60
6.7. % 25 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları	63
6.8. % 30 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları	66
6.9. SONUÇ	69
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	74

SİMGE LİSTESİ

Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alümina
B ₄ C	Bor karbür
B ₄ Cp	Bor karbür (parçacıklı)
f	Fiber
Mg	Magnezyum
m	Matris
Ni	Nikel
p	Partikül
Si	Silisyum
SiC	Silisyum Karbür
SiCp	Parçacık Takviyeli Silisyum Karbür
TiC	Titanyum Karbür
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür
TiN	Titanyum Nitrür
v	Hacimsel Oran
w	Whisker
WC	Wolfram Karbür

KISALTMA LİSTESİ

Al-MMK	Alüminyum Matrisli Metal Kompozit
Al-Mg	Alüminyum Magnezyum Alaşımı
CETME	Centro de Estudios Técnicos de Materiales Especiales
EDM	Tel Erozyon İşleme (Electrical Discharge Machining)
HK	Heckler & Koch GmbH
MKE	Makine Kimya Endüstrisi
MMK	Metal Matrisli Kompozit
NIJ	National Institute of Justice
SMK	Seramik Matrisli Kompozit Malzeme
TS	Türk Standartları
TSK	Türk Silahlı Kuvvetleri
U.I.T	Uluslararası Atış Birliği

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Hafif Metaller ile Desteklenmiş Zincirli Zırhlar	1
Şekil 3.1. Tabanca	14
Şekil 3.2. MP5 K	15
Şekil 3.3. M16A1	16
Şekil 3.4. Fişegi Oluşturan Parçalar	17
Şekil 3.5. Çekirdek (Mermi)	17
Şekil 3.6. Kovan	18
Şekil 3.7. 5.56x45 (SS109/M855) Normal Fişek	18
Şekil 5.1. Homojen Zırh Çeliklerindeki Ana Delinme Modları	43
Şekil 5.2. Zırh Çeliklerinde Sertlik ile Balistik Performans Değişimi	44
Şekil 6.1 Kompozit Malzemelerin sertlik ile Takviye Oranları Değişimi	46
Şekil 6.2. Takviyesiz Numune Atış Öncesi Kesiti	48
Şekil 6.3. Takviyesiz Numune Atış Sonrası Giriş Deliği	49
Şekil 6.4. Takviyesiz Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği	49
Şekil 6.5. Takviyesiz Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü	50
Şekil 6.6. Takviyesiz Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü	50
Şekil 6.7. %5SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti	51
Şekil 6.8. %5SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği	52
Şekil 6.9. %5SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği	52
Şekil 6.10. %5SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü ...	53
Şekil 6.11. %5SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü ..	53
Şekil 6.12. %10SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti	54
Şekil 6.13. %10SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği	55
Şekil 6.14. %10SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği	55
Şekil 6.15. %10SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü .	56
Şekil 6.16. %10SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü .	56
Şekil 6.17. %15SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti	57
Şekil 6.18. %15SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği	58
Şekil 6.19. %15SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği	58
Şekil 6.20. %15SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü .	59
Şekil 6.21. %15SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü .	59

Şekil 6.22. %20SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti	60
Şekil 6.23. %20SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği	61
Şekil 6.24. %20SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği	61
Şekil 6.25. %20SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü .	62
Şekil 6.26. %20SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü .	62
Şekil 6.27. %25SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti	63
Şekil 6.28. %25SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği	64
Şekil 6.29. %25SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği	64
Şekil 6.30. %25SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü .	65
Şekil 6.31. %25SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü .	65
Şekil 6.32. %30SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti	66
Şekil 6.33. %30SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği	67
Şekil 6.34. %30SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği	67
Şekil 6.35. %30SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü .	68
Şekil 6.36. %30SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü .	68

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. M16 Teknik Özellikleri	16
Tablo 3.2. 5.56x45 (SS109/M855) Normal Fişek Teknik Özellikleri	19
Tablo 3.3. Balistik koruma seviyeleri	20
Tablo 3.4. Bazı ulusal ve uluslar arası balistik koruyucu standartlar	21
Tablo 4.1. Al esaslı bazı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri	26
Tablo 4.2. Biçimlenebilir ve dökme alüminyum alaşımları	31
Tablo 5.1. Değişik tipteki zıhların kütle etkinliği (7.62mm mermilere karşı)	40
Tablo 6.1. AlMg3 alaşımının fiziksel özellikleri	45
Tablo 6.2. AlMg3 alaşımının kimyasal bileşimi (%).....	46
Tablo 6.3. Numunelerinin teorik ve ölçülen özgül ağırlıkları ile gözenek oranları	46
Tablo 6.4. Takviye seramik parçacıkların fiziksel özellikleri	47
Tablo 6.5. Takviye malzemesi olarak kullanılan SiC'nin kimyasal bileşimi	47

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

Türkler, Orta Asya'dan beri savaşlarda vücutlarını korumak için gömlek şeklinde köseleden veya ince metallere örme zırhlar, İslamiyet döneminde de birbirlerine halkalarla bağlanmış ve hafif metallerle destekli zincirler kullanmaktaydılar (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Hafif Metaller ile Desteklenmiş Zincirli Zırhlar [1]

Özellikle 20.Y.Y.'da balistik biliminin önemli gelişmeler göstermesiyle birlikte, korunma çareleri konusunda araştırmalar hızlandı. Kurşun levhalar kullanılarak kurşun geçirmez yelekler yapılmaya başlandı. Bu yelekler büyük sert parçalardan yapılmaları ve ağır olmaları nedeniyle giyen kişilerin hareket kabiliyetlerini azaltmaktaydı. 1960'lı yıllardan sonra hareket kabiliyetini engellemeyen, hafif, elbiselerin altına kolay gizlenebilen koruyucuların yapım çalışmalarını hızlandırmıştır.

Mühendislik malzemeleri olarak kullanılan metallerin, seramiklerin, plastiklerin, kompozitlerin önemi; zırh malzemelerinin oluşturulmasında önemli yere sahiptir. Bu

amaçla daha üstün özelliklere sahip matris ve takviye olmak üzere iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile yeni kompozit malzemeler üretilmektedir.

Her geçen gün modern imalat yöntemlerindeki gelişmelerin katkısıyla üretilen kompozit malzemelere yenilerinin eklenmesi ve deney kriterleri göz önünde bulundurularak özelliklerinin artması ile balistik özelliklerinin incelenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bununla birlikte savunma sanayinde ortaya çıkan her yeni olguyu yok edebilecek mekanizmalar üretilmektedir. Milli Savunma ve iç güvenlik ihtiyaçları için uçak, helikopter, gemi, denizaltı, tank, panzer, zırhlı personel taşıyıcılar, roketler, füzeler, bombalar, silahlar, silah malzemeleri, mühimmatlar ve benzeri araçlar kullanılmakta olup bunlara etkisiz hale getirmek için örneğin; tanka karşı anti-tank mayını, uçağa karşı uçak savar mermileri, zırhlı personel taşıma araçlarına karşı zırh delici mermiler, mayınlar olarak her geçen gün yeni mekanizmalar oluşturularak ortaya çıkmaktadır.

Metallere nazaran daha gevrek ve oluşabilecek birden fazla çarpmaya karşı mukavemetlerinin zayıf olmasına rağmen seramikler; düşük yoğunluk, yüksek rijitlik, yüksek sertlik ve yüksek basma mukavemetlerinden dolayı zırh sistemlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Seramiklerden elde edilen kompozit malzemeler tek bir balistik çarpışmayla parçalanır. İkinci çarpışma halinde ise koruma özelliğini büyük oranda kaybeder. Bu da kullanıcı ve kullanıcılar için büyük risk teşkil edebilmektedir. Buna karşılık tanecik takviyeli metal matrisli kompozitler, seramikler ve metallerin balistik performanslarının incelenmesi, önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Metal matrisli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan matris malzemeleri; alüminyum, magnezyum, titanyum, bakır ve intermetalik (aşırı kırılğan metaller) bileşiklerdir. Alüminyum düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, tokluk ve korozyon direncinden dolayı en yaygın kullanılan matris malzemesidir. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan takviye malzemelerinin başlıcaları silisyum karbür (SiC), bor karbür (B₄C) ve alumina (Al₂O₃) olarak bilinir.

Balistik çarpışmalarda; çarpma yüzeyindeki yük, tamamen basma niteliğinde olduğu için, burada yüksek sertlik ve rijitlik içeren malzemelerin kullanılması önemlidir. Aynı zamanda malzeme insan tarafından kullanılıyorsa, çarpışma sonrasında

uygulanan basma kuvvetinin vücuda eşit dağılabilmesi için üretilen malzemenin vücut ergonomiğine uygun şekilde üretilmesi ön plana çıkmaktadır. Eğer zırhlı taşıyıcı sistemler üzerinde kullanılıyorsa, çarpışma sonrasında sistemin bütünlüğünü koruması ve kullanıcılarının zarar görmemesi konuları önem arz etmektedir.

Öyle ki koruyucular hakkında; metal alaşımlarının balistik özellikleri hakkında yayınlanmış çok az sayıda çalışma mevcuttur ve araştırılması gereken pek çok nokta bulunmaktadır. Bunun için de zırh sistemleri; silah teknolojilerindeki ve tehdit ortamlarındaki gelişmelere bağlı olarak sürekli bir değişim ve gelişim içerisinde olmak zorundadır. Bu gelişim birçok bilim dalını kapsayacak biçimde sistematik bir şekilde sağlanmalı ve geleceğin zırh ihtiyaçlarına yönelik malzeme teknolojilerine ağırlık verilmelidir.

Mermi çekirdeğinin insan vücudunda hassas organ bölgelerine isabet etmesi, yaralanmalara ve de ölümlerle neticelenen olaylara sebebiyet vermektedir. Bunu engellemek için balistik koruyucu zırh malzemeleri imal edilmektedir. Bu malzemeler vücutta göğüs bölgesini kaplayacak şekilde yerleştirilmektedir. Zırh malzemeleri özellikle askeri amaçla kullanılmak üzere kurşun geçirmeyen ve şarapnel parçacıklarına karşı dayanıklı yelek ve başlık üretiminde kullanılmaktadır. Sürekli gelişen zırh teknolojisi ile beraber, silah sanayi de çok hızlı olarak gelişmekte, çok değişik yapılarda silahlar ve mermiler tasarlanıp üretilmektedir. Bu silahların ve mermilerin etkilerinin ölçülebilmesi ve bu etkilerden korunmak için, balistik koruyucu malzemeler testlere tabi tutulmakta ve gelişimleri için çalışmalar sürekli devam etmektedir [1].

Zırh tasarımında temel tasarım kriterleri, düşük yoğunluk, yüksek kayma mukavemeti, yüksek akma mukavemeti, yüksek dinamik çekme mukavemetidir. Ancak, hiçbir malzeme yukarıda bahsedilen tüm şartları karşılayamamaktadır.

Seramikler sert çeliklere göre çok daha yüksek basma mukavemetine sahip olmalarından dolayı mermi aşındırma ve parçalamada çok etkin bir işleve sahip olmaktadır ve çeliklere oranla daha düşük yoğunluklara sahip olmalarından dolayı hafif zırh üretimi konusunda oldukça önemli avantaja sahiptirler. Buna karşılık seramiklerin gevrek yapıya sahip olmaları bu malzemelerin tek başına kullanımlarını sınırlandırmaktadır.

Alüminyum matrisli SiC takviyeli metal matrisli kompozit malzemedan yapılmış zırh ağırlığının azaltılması açısından çeliklere göre önemli bir üstünlük sağlamaktadır.

SiC takviyenin görevi mermiyi aşındırma, metal takviyenin görevi ise merminin kinetik enerjisini absorbe etmek ve seramik parçalarına destek görevi vermektir. Bu malzemelerin, tamamen metalik olan zırhlara göre en önemli avantajı, zırh kalınlığının azaltılmasıdır. Bundan dolayı hafif zırh üretiminde seramik takviyeli kompozit malzemeler ön plana çıkmış ve son yıllarda bu konu üzerinde çalışmalar artmıştır.

Seramikler arasında genellikle Silisyum Karbür (SiC) ve Alumina (Al_2O_3) kolay bulunabilmesinden ve ucuz olmasından dolayı seçilmektedir. SiC karbür seramik tipi olup mekanik özellikleri saflık yüzdesine göre değişmektedir. SiC yoğunluğu yaklaşık 3 g/cm^3 olup, çelik yoğunluğunun yaklaşık yarısı kadardır. Basma mukavemeti 1-5 GPa seviyelerinde olup çeliklerden çok daha yüksektir. Alüminyum ise düşük yoğunluğu (2.7 g/cm^3) ve maliyetinden dolayı matris malzemesi olarak tercih edilmektedir [2].

Bu çalışmada, Alüminyum matrisli SiCp takviyeli kompozit malzemelerin balistik özellikleri incelenmiştir. Balistik testlerde, yarı katı karıştırma tekniği ve sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilmiş AlMg3/SiCp kompozitler numuneler kullanılmıştır. Balistik testler, 25 metre mesafeden M16 tüfeği ile 5.56 mm çaplı mermiler kullanılarak yapılmıştır. Takviyesiz, %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 olmak üzere farklı SiC takviye oranlarına sahip kompozit malzemelerden yapılmış numuneler kullanılmış ve yapılan makro inceleme ile takviye oranı artışı ile balistik başarımlar arasındaki değişim incelenmiştir.

BÖLÜM 2

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Zırh ve koruyucu malzeme olarak kullanılan kompozit malzeme tasarımlarının günümüzde ne kadar önem arz ettiği bilinmektedir. Bu kapsamda, balistik performans ve kompozit malzeme ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda gösterilmiştir;

Yavaş çalışmada; hibrit kompozit zırh numuneler, fiziksel ve balistik dayanımını ölçmek amacıyla, kompozit numuneler üretim prosesleri takip edilerek hazırlanmış ve oda koşullarında şartlandırılmıştır. Kevlar/Polietilen hibrit kompozit numunelerin farklı katmanlarda balistik dayanım analizi yapılmıştır. Koruyucu yapının mermiyi istenilen standartlar içerisinde durdurmasının yanı sıra kat adedi değişiklikleri ile de yapının tam delinme sınırı tespit edilmiştir. Farklı çap ve kalibredeki mermilerle (9 mm Full Metal Jacket (FMJ), 7.62 mm Normal NATO) uluslararası standartlara (NIJ STD 0101-04, STANAG 2920) uygun balistik test laboratuvarında balistik test düzeneği kullanılarak hazırlanan zırh numunelerine atışlar yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar ile hafif silahlara karşı bireysel korumada kullanılan kompozit malzemelerin farklı kat adetlerinde ve kalınlıkta hibrid biçimde gösterdiği tepkiler ve hasar analizleri gözlenmiş ve yorumlanmıştır. Hasar analizlerinin tespiti amacıyla taramalı elektron mikroskobu ile kısmi delme ve tam delmenin gerçekleştiği polyester reçine numune plakalarının görüntüleri yakalanmıştır. Günümüzde kullanılan balistik koruyucu yapıların yanı sıra farklı hibrit kompozit tasarımlarla koruma seviyesi, ağırlık, kullanım kolaylığı ve maliyet analizleri açısından bakış açıları geliştirilmiştir [1].

Eniz çalışmada; Hedef balistik açısından 3 farklı ara kritik ısı işlem sıcaklık değeri kullanılarak farklı martenzit hacim oranlarında elde edilen çift fazlı çelik numunelerin, tek başına ve seramik katmanlı halde 7.62 mm'lik zırh delici mermi

karşısında ki balistik başarımları incelenmiştir. Bu 3 farklı martenzit hacim oranındaki çelik numuneler dışında bir grup çelik numunenin tavlama ısıl işlemi sonrası tek başına ve seramik katmanlı halde aynı balistik test sonucundaki başarımları incelenmiş ve çift fazlı çelik numunelerin balistik başarımları ile karşılaştırılmıştır. Balistik deneyler sonrası en yüksek başarımları seramik katmanlı numune gruplarında görülmüş olup, çift fazlı çelikler içerisinde ise en iyi balistik başarımları, martenzit hacim oranı en yüksek olan numune grubu sağlamıştır [3].

Uslu çalışmasında; Docol 22MnB5 sacına elektrik akısı ile dayanımını arttıran martenzitik ve beynitik bir özellik kazandırılmış ve elde edilen yapıların sertlik, mikroyapı, çekme deneyleri ile incelemeleri yapılmıştır. Bunlara ek olarak mermiyle özel bir poligonda atışlar yapılarak elde edilen balistik sonuçlar kıyaslanmıştır [4].

Cerit çalışmasında; iki farklı tanecik takviye ve fiber takviye kullanmıştır. Partiküller değişik oranlarda takviye edilmiştir. Fiber tabakaları da balistik enerjiyi absorbe etme özelliğine sahip olacak şekilde farklı koruma katmanlarında hazırlamıştır. Bu sistemlerin her ikisinde basınçlı döküm yöntemiyle üretmiştir. Çalışmada balistik testler, alüminyum 5083 destek plakaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testlerde 7.62x39mm ve 7.62x51mm mermiler kullanılmıştır. Çarpma sonrasında kompozitlerde, destek plakalarında meydana gelen hasarlar incelenmiştir. Kompozitler ve destek plakalarında yapraklaşma, radyal çatlama, kavrama, tabakalaşma ve şişme hasarlar tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca tane boyutu ve türünün etkisinde incelenmiştir [5].

Özyılmaz çalışmasında; hafif silah tasarımına etkileyen mühimmat tipinin seçimi, namlu tipi, mekanizmalar ve patlama anında gerçekleşen termodinamik etkiler incelenerek, bu değişkenlerin etkinliği deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler yardımıyla doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, silah tasarımında en önemli değişkenin mühimmat seçimi olduğunu göstermiştir [6].

Ündüz çalışmasında; poliüretan esaslı silindirik alümina takviyeli kompozit zırh ile epoksi esaslı silindirik alümina takviyeli kompozit zırhın üretimleri ve balistik özelliklerinin değerlendirilerek bu amaçla kullanılabilirlikleri araştırılmıştır. Poliüretan kompozite balistik test uygulanmış, hasar sonrası makro incelemeler gerçekleştirilmiştir. Bu incelemelere göre poliüretan esaslı kompozitin balistik test sonrası mermiyi geçirmediği gözlenmiştir. Epoksi esaslı kompozit malzeme ise yerinde tamir edilebilirlik özelliğine sahip zırh malzemesi elde etmek için benzer şekilde

hazırlanmış, ancak bu kompozitin mermiyi geçirdiği saptanmıştır. Yapılan çalışmalar poliüretan esaslı silindirik alümina takviyeli kompozitin zırh malzemesi olarak kullanılabilceğini, epoksi esaslı silindirik alümina takviyeli kompozitin ise istenen balistik özellikleri karşılamadığını göstermiştir [7].

Özben çalışmasında; sıkıştırma döküm yöntemiyle farklı hacim oranlarında SiC parçacıkları ile takviye edilmiş Al-Mg esaslı (AA5754) metal matrisli kompozitin aşınma davranışı ve sürtünme katsayısı değişimi farklı yüklerde ileri-geri aşınma testi yapan (reciprocating) aşınma cihazı ile incelenmiştir. Malzemenin yüksek oranda yük uygulandığında takviye oranı düştükçe plastik deformasyona uğradığı ve deformasyon sertleşmesinin etkisiyle sürtünme katsayısının düştüğü görülmüştür [8].

Toprak çalışmasında; üretilmiş Al matrisli SiCp takviyeli kompozit malzemelerin işlenebilirliği araştırılmıştır. Deneylerde %0, %5 ve %25 hacim oranlarında SiCp takviyeli kompozitler kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri freze tezgahında kaplamasız karbür kesici takım kullanarak yapılmıştır. Farklı takviye oranlarına sahip kompozit malzemelerde takviye oranının işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi için deneyler sabit hacimde, sabit kesme derinliğinde, farklı kesme hızlarında ve farklı ilerlemeler kullanılarak yapılmıştır. İşlenebilirliğe etki eden parametrelerin değişimi ile kesme kuvvetlerindeki değişim, yüzey pürüzlülük değerleri ve talaş yapısının değişimi incelenmiştir [9].

Toptan çalışmasında; bor karbür takviyeli alüminyum esaslı kompozitler toz metalürjisi (T/M) yöntemiyle üretilmiştir. Takviye malzemesi olarak bor karbür seçilmesinde, bu konu üzerinde diğer takviyelere nazaran (SiC, Al₂O₃ ve TiC gibi) daha az araştırma yapılması ve Türkiye'nin sahip olduğu yüksek miktarlardaki bor rezervi etkili olmuştur. Yapılan çalışmada, Al-MMK'lerin T/M yönteminde göz önünde bulundurulmuş parametrelerin optimizasyonu amaçlanmıştır. Üretilen numunelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerine takviye oranının, takviye tane boyutunun, tozlara uygulanan kurutmanın, presleme basıncının, sinterleme atmosferinin ve sinterleme sıcaklığının etkisini belirlemek amacıyla mikroyapılar taramalı elektron mikroskopunda incelenmiş, mikrosertlik ve yoğunlukları ölçülmüştür [10].

Gürel çalışmasında; dört farklı martenzit hacim oranına sahip menevişlenmiş çift fazlı bir düşük alaşım çeliğinin 7.62 mm zırh delici mermiler karşısında balistik başarımı incelenmiştir. Numunelerin mekanik özellikleri ve içyapıları belirlenmiştir.

Her bir ısıtım işlem grubundaki numunelere sertlik ve çekme testleri yapılmıştır. Hazırlanan atış numunelerine Kırıkkale Silahsan Silah Fabrikası A.Ş. atış poligonlarında 7.62 mm zırh delici mermilerle beş farklı alan yoğunluğundaki her bir numune için üç atış tekrarlanarak 120 atış yapılmıştır. Deneylerden sonra bütün numunelerin mikro ve makro yapısı incelenerek balistik başarımları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek alan yoğunluğuna sahip numunelerin tamamının başarılı ve en düşük alan yoğunluğuna sahip numunelerin tamamının başarısız olduğu gözlemlenirken, başarılı olan en düşük alan yoğunluğuna sahip numunelerin 900 °C'den su verilmiş ve 200 °C'de menevişlenmiş grubun olduğu belirlenmiştir [11].

Ürkmez çalışmasında; mevcut üretim yöntemlerine göre daha ucuz ve kolay bir yöntem kullanılarak parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretilmiş ve değişik haddeleme oranlarının kompozit malzemelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerine etkilerini incelenmiştir [12].

Jena çalışmasında; zırh tasarımında ağırlık kavramını incelemiştir. Hafif zırhlar, enerji korunum ve hareket kabiliyetinin artırılması için önemlidir. Metalik malzeme olarak, yüksek dayanımlı çelikler, alüminyum alaşımlar ve titanyum alaşımlar zırh yapımında yaygın olarak kullanılmıştır. Çünkü bu malzemeler, yüksek mukavemet, iyi şekillendirilebilme ve buna bağlı yüksek tokluk, kaynak edilebilirlik ve yüksek balistik performans parametrelerinin birleşimine sahiptir. Bunun yanında monolitik metalik malzemeler genel olarak ağır olmaktadır [13].

Jena ve arkadaşları çalışmalarında; Al-7017 alaşımı ve çelik zırh numunelerinin, 7.62mm'lik deforme olabilen mermi karşısındaki balistik davranışlarını incelemiştir. Yüksek dayanımlı zırh çeliği, iki farklı ısıtım işlemine tabi tutularak, farklı mekanik özelliklerin balistik davranışları gözlemlenmiştir. Zırh çeliği, 910°C'de östenitlemeye ve de devamında yağ soğutmasına maruz bırakılarak tam martenzitik bir yapı elde edilmiştir. Daha sonra plakalar 200 °C'de temperlemeye ve akabinde hava soğutmasına tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda Al-7017 alaşımının 30, 28 ve 27 mm olduğu numuneler, mermiyi tutmuş, 26 mm'de delinme gözlemlenmiştir. 200° C'de temperlenmiş çelik ise 8, 7 ve 6 mm kalınlıklarındaki mermiyi tutmuş, 5 mm kalınlıktaki numunede ise delinme gözlemlenmiştir. Yine aynı çeliğin fabrika şartlarındaki üretiminden elde edilen numunelerde ise aynı mermi için 9 mm'de delinme gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, Al-7017 alaşımı ve çelik numuneleri balistik

davranışları açısından karşılaştırılmış ayrıca çelik numunelerinin ısıtılma tabi tutuldukları zamanki davranış değişiklikleri gözlemlenmiştir [14].

Onga ve arkadaşları; zırh sistemindeki tabakaların dizilişinin önemini incelemiştir. Birinci tabaka olarak mermiyi deforme edecek ve kırarak sert bir tabaka, ikinci olarak şok dalgasını yavaşlatacak ortotropik tabaka, şok dalgasının enerjisini absorbe etmek için gözenekli üçüncü tabaka ve son olarak da gözenekli tabakaya destek olacak bir dördüncü tabaka tasarlamışlardır. Tasarlanan bu tabakalar için de sırasıyla Al₂O₃, Dyneema HB25 ve gözenekli poliüretan köpük kullanılmıştır. Bu çalışma neticesinde kompozit zırh, aynı yoğunluktaki çeliğe göre daha üstün davranış sergilemiştir [15].

Evcı yaptığı çalışmada; kompozit malzemelerin belirli bir düşük ağırlıkta gösterdikleri mekanik özellikleri incelemiştir. Bu özellikler mühendislere, performans kaybı olmadan, ince ve sert yapılar tasarlamada yardımcı olmaktadır. Kompozit malzemelerin birçok faydası olmasına rağmen, çok karmaşık bir çarpma davranışı göstermekte ve artan yük çekme kapasitelerini güçlü bir şekilde etkileyen görünmez darbelere karşı oldukça hassas davranmaktadırlar [16].

Übeyli ve arkadaşları çalışmalarında; alumina/aluminyum tabakalı kompozit zırh malzemesinin düşük hızlı darbe durumunda malzeme yapısındaki makro ve mikro seviyedeki yapısal değişimler ve darbe olayına bağlı gelişen penetrasyon veya perforasyon oluşumunda etkili olan kırılma mekanizmalarını incelenmişlerdir. Yapılan deneyler ön yüzde seramik arka destek tarafında ise yaşlandırılmış aluminyum alaşımlı yapının düşük hızlı darbe için en iyi balistik davranışı sağladığını göstermiştir [17].

Aydinel ve arkadaşları çalışmalarında; 7.62 mm çelik çekirdekli zırh delici mermi tehdidine karşı ön tarafta mermi ucunu kırıp kütleştirmek ve ilk darbe kuvvetini daha geniş bir alana yaymak amacıyla, değişik kalınlıklarda, sert alümina seramik ön plaka malzemesi ile arka tarafta kalan mermi enerjisini sönmölemek üzere destekleyici tabaka olarak 6.5 mm sabit kalınlıkta Cam Elyafı Takviyeli Polyester (CTP) kompozit malzemedan oluşan zırh sisteminin balistik performansını incelemiştir. Seramik kompozit zırh sistemlerinde; seramik kalınlığı ile kompozit arka plaka kalınlığının balistik limite etkisi incelendiğinde her iki malzeme için de, limit durumunda yüksek kalınlıklara ihtiyaç duyulduğu görölmüştür. Çok ince arka takviye plakası için kalın seramik, çok ince seramik ön plaka için de kalın kompozit plaka seçilmesi gerektiği,

balistik limit açısından, seramik plakanın daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Seramik ve kompozit malzemeden yapılacak en hafif zırh sistemi için, belli bir tehdide karşı balistik koruma sağlayacak en iyi konfigürasyonun tespitinde malzeme kalınlığıyla değişen alan yoğunluğunun optimum değerinin bulunmasının önemine vurgu yapılmıştır [18].

Şenel ve arkadaşları çalışmalarında; 7.62 mm. zırh delici mermi tehdidinde karşı %98 saflıkta alumina ve 400-600 HB sertlikte zırh çeliği kullanılarak geliştirilen zırhın tasarımında kullanılan sayısal analiz yöntemleri, gerçekleştirilen analiz ile balistik darbe test sonuçlarını sunmuşlardır [19].

Goncalves ve arkadaşları; seramik/metal zırhlardaki seramik kalınlığının balistik darbe enerjisinin sönmülmesinde en büyük rolü oynadığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca seramik malzemenin tane boyutunun balistik başarımlar üzerindeki etkilerini araştırmışlar. Aynı kimyasal bileşime sahip, aynı mekanik özelliklerde ve aynı kalınlıklarda fakat, farklı tane boyutlarına sahip iki seramiği ele almışlar. Seramiklerde delinme gerçekleşmeden ulaşılabilecek en yüksek hız ölçülmek suretiyle seramiklerin balistik başarımlarını karşılaştırmışlar ve seramik tane boyutunun artması ile zırh veriminin arttığı sonucuna ulaşmışlardır [20].

Karamış ve arkadaşları; 7.62 mm'lik zırh delici mermiler kullanarak SiC parçacık takviyeli farklı iki alüminyum alaşımının (AA5083 ve AA6063) yüksek hızlı darbe (710 m/s) şartlarındaki aşınma davranışlarını araştırmışlardır. Merminin yüzeyinin SiC parçacıkları tarafından çizildiğini göstermişler. Alüminyum içerisindeki SiC parçacık yüzdesinin artırılmasıyla beraber; merminin nüfuzu esnasındaki sürtünmenin artmasından kaynaklı mermi nüfuz derinliğinin azaldığını ortaya koymuşlardır. Sürtünme ile birlikte meydana gelen aşırı ısınmadan dolayı alüminyumun hızlı bir şekilde eriyip katılaşması sonucu delik yüzeyinde çatlaklar meydana geldiğini göstermişlerdir. Ayrıca merminin çarpması sonucu sıkışmaya neden olduğu bölgelerin sertlik dağılımının ana yapıdan farklı olduğunu bulmuşlardır [21].

Hetherington ve Lemieuxde; düz ve eğik olarak yerleştirilen iki bileşenli kompozit zırhların 7.62 mm'lik normal mermi karşısındaki başarımlarını incelemişler ve aynı kalınlıktaki eğik yerleştirilen numunelerin daha iyi bir başarımlar sergilediğini ortaya koymuşlardır [22].

BÖLÜM 3

BALİSTİK

3.1. Balistik Yaklaşımlar

Mermilerin fırlatılması ve hareketi, hedefe girme ve hedefte patlama etkileriyle ilgilenen uygulamalı bilim dalına balistik denir. Balistik konusu genel olarak üçe ayrılır:

1. İç balistik
2. Dış balistik
3. Terminal Balistik

Bazı kaynaklarda “ara balistik” olarak nitelendirilen dördüncü bir balistik dalı olduğu belirtilmektedir. Bu dal, merminin namluyu terk ettiği andaki olayları inceleyen balistik dalı olup, önceleri iç balistiğin uygulama alanına dahil edilirken son zamanlarda ayrı bir dal olarak anılmaya başlanmıştır [23].

3.1.1. İç Balistik

Silahlar çalışma ilkeleriyle içten yanmalı motora benzetilebilir. Motor içerisinde pistonun yakıtı sıkıştırması sonucu patlama meydana gelir ve bir itme kuvveti oluşur. Silah içerisinde de mermiyi harekete geçiren bu itme kuvvetidir. İç balistik, merminin namlu içerisinde harekete geçmesinden itibaren namlu ağzından çıkıncaya kadarki hareketlerini inceleyen balistik dalıdır. Namlu içerisinde gerçekleşen olaylar tam olarak son yarım yüzyıl içerisinde açıklığa kavuşmuştur. İlk kez Benjamin Robins isimli araştırmacı namlu içerisinde ateşlenen barutun oluşturduğu kuvvet hakkında kabul

edilebilir çıkarımlar yapmıştır. Robins'e göre vakumlanmış ortamda ya da hava içerisinde ateşlenen barut ortamda elastik bir akışkan hava oluşturur. Bu akışkan hava ortama basınç uygular ve patlama anından itibaren oluşan ısı akışkanın elastisitesini arttırır. Yüksek basıncın etkisi ile birlikte namlu içerisinde mermi itilir ve ortamın genişlemesiyle birlikte namlu içerisindeki basınç azalmaya başlar. Mermi namluyu terk edene kadar basınç mermiyi ivmelendirmeyi sürdürür.

İç balistik uygulamalarıyla kullanılması gereken barutun cinsi ve miktarı belirlenebilmektedir. Yanma sonucu açığa çıkan basınç öngörülerek namlunun boyu ve kalınlığı hesaplanabilmekte, namlu içerisinde mermiye etkiyen kuvvetler analiz edilerek merminin hızının arttırılması yönünde araştırmalar yapılabilmektedir [24].

3.1.2. Dış Balistik

Dış balistik, merminin namluyu terk ettiği andan hedefe çarpana kadar geçen süredeki davranışını inceleyen bilim dalıdır [23]. Mermi ya da fırlatılan nesneye uçuş esnasında çeşitli kuvvetler etki eder. Dış balistik genel olarak mermiye uçuş esnasında etkiyen kuvvetleri, merminin kararlılığını, öngörülen uçuş güzergahını, uçuş hızı ve süresini, yer ile yaptığı açıyı ve darbenin etkiyeceği bölgeyi inceler. Bunların hesaplanabilmesi için iç balistik bilgilerine ve merminin tasarım bilgilerine ihtiyaç vardır. Merminin çıkış hızı ve açısı, namlu içerisindeki yiv hızı, geometrisi ve ağırlığı bilinmeden dış balistik hesaplarının yapılması mümkün değildir. Bu nedenle dış balistik mermi tasarımcılarına da rehberlik etmektedir.

Dış balistik uygulamalarının tamamen doğru yapılması molekül teorisinin yeteri kadar çözülememesi nedeniyle oldukça zordur. Havada merminin ilerleyebilmesi için hava moleküllerinin mermiye yol açması gerekmektedir. Merminin ağırlığından dolayı oluşan yer çekimi kuvveti ve uçan mermi ile hava arasında oluşan sürtünme kuvveti sonucu hava ile merminin tepkimeye girmesi söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle burada bir takım kabuller yapılarak dış balistik analizleri yapılmaktadır. Dış balistik, mermiye uçuş sırasında etkiyen hava dinamiği kuvvetlerinin yanı sıra, hedefin hangi bölgesine çarpacağını da inceler. Merminin yörüngesi hesaplanırken hava koşullarının bilinmesi gerekmektedir [25].

3.1.3. Terminal Balistik

Hedef balistiği olarak da bilinen terminal balistik, merminin hedefe çarptığı anda gerçekleşen bütün olayları inceler. Merminin hedefe nüfuzu sırasında gerçekleşen mekanik olaylar, merminin ve hedefin çarpışmadan nasıl etkilendiği, varsa sıçrayan parçacıkların davranışı ve atışın öldürücü ya da yaralayıcı etkileri terminal balistik incelemeleri ile ortaya çıkar.

Son zamanlarda merminin yaralayıcı etkileri konusu dünyada büyük önem kazandığından merminin dokulara etkisini inceleyen “yara balistiği” dalı türemiştir. Mermi ile hedefin çarpışması sonucu oluşabilecek durumlar merminin hedefe çarpma hızına, açısına, mermi malzeme ve geometrisine ve hedef malzemenin mekanik özelliklerine bağlıdır. Merminin hedefi delip geçmesi, hedefe saplanıp kalması ya da hedeften sekmesi gibi çarpışma mekanizmaları gerçekleşebilir [26].

Zırh malzemesi olarak en çok metaller kullanılmaktadır. Mermiler zırhlara çok geniş aralıkta farklı hızlarda çarptığından her durumu ayrı ayrı değerlendirmek gerekir. Çok düşük çarpma hızlarında (<250 m/s) merminin enerjisinin bütün zırh tarafından sönmülenir ve cevap süresi yaklaşık 1 ms'dir. Artan çarpma hızlarında ise (500-2000 m/s) merminin enerjisi darbe merkezinin yaklaşık 2-3 mermi çapı kadar alanı tarafından karşılanır. Bu nedenle çarpma hızı arttıkça hedefin darbeye karşı tam koruma sağlaması için kalınlaştırılması gerekir. Mermi hedefe çarptığı zaman hem mermi üzerinde hem de hedef üzerinde basma kuvveti dalgaları oluşmaktadır. Bu dalgalar hedefin dış serbest sınırına ulaştığında çekme kuvveti olarak geri döner ve kırılma durumlarında numune bu anda kırılır. Eğer atış tamamen hedefe dik doğrultuda ise yalnızca iki-boyutlu dalgalardan söz edilebilir.

Eğik atışlarda ise bu kuvvetlerle birlikte eğilme gerilmeleri oluşmaktadır. Tam koruma sağlayamayan numunelerde ise hedef malzemenin türüne göre çeşitli hasarlar oluşur. Merminin açtığı deliği tıkaması, delip geçmesi, hedefte taç yaprağı oluşturarak delmesi, çarptığı bölgeyi kabuk şeklinde kırması ve çarptığı bölgeden parçacıklar fırlatması oluşabilecek hasar mekanizmalarıdır [23].

3.2. Balistik Terminolojisi

Barut gaz basıncının etkisi ile mermi veya mermi çekirdeği adı verilen özel şekil ve nitelikteki maddeleri uzak mesafelere atan büyük toplardan, tüfek, av tüfeği ve tabancaya kadar çeşitli tür ve boyutta silahları kapsar. Bir başka deyişle, mekanik bir kuvvetle, içerisinde bulunan sert cisimleri belirli mesafelere ulaştırarak ve orada bu sert cisme bir iş gördüren aletlere ateşli silah denir [27].

3.2.1. Tabancalar

Tam otomatik olmamak şartıyla, namlu uzunluğu fişek yatağı hariç otuz santimetreyi ve tüm uzunluğu elli santimetreyi geçmeyen, dumanlı veya dumansız barut veya bu türden bir patlayıcı ve itici güç ile gülle, mermi, veya füze ile gaz ya da diğer nesnelere atabilen, belli bir çapta namluya uygun imal edilmiş ateşli silahlardır [27].



Şekil 3.1. Tabanca [28]

3.2.2. Heckler & Koch MP5

Heckler&Koch MP5, Alman Heckler&Koch firmasının 1964'te üretmeye başladığı hafif makineli silahtır. 1966'da hizmete giren MP5'ler geniş kullanım seçenekleri, özel operasyonlar için birçok ek donanıma ve farklı çeşitlemelere sahip olmasından ötürü özel kuvvetler, güvenlik güçleri, istihbarat elemanları ile kolluk görevlileri tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır.

MP5'lerde tekli, çiftli, üçlü ve tam otomatik atış modları bulunur. Kullandığı mermi 9x19mm Parabellum'dur. Ancak 40 S&W (MP5/40) ve 10mm Auto (MP5/10) mermilerini kullanan versiyonları da vardır. Kızaklı seyyar (MP5, MP5A3, MP5A5, MP5 Navy), kırma veya sabit dipçik (MP5A2, MP5A4) kullanılır. Ayrıca kendinden susturuculu (sabit dipçikli MP5SD2, MP5SD4 ve kırma dipçikli MP5SD3, MP5SD5) ve kompakt versiyonu (MP5K) da vardır. Bu MP5K'ları Türk Polis Teşkilatı da kullanır. MP5K'ların etkili menzili ise 150 metredir. MP5'ler neredeyse dünyadaki bütün özel kuvvetler tarafından kullanılmaktadır. Silah özellikle en az 200 metre mesafe içerisinde oldukça isabetlidir. Tekli atış ve 3'lü atış modlarında oldukça isabetli olduğu söylenebilir. MP5 Emniyet Genel Müdürlüğü'nde kullanılmasının yanı sıra Türk Silahlı Kuvvetlerinde Subay, Astsubay ve Uzman Jandarmaların kadro silahıdır [29].



Şekil 3.2. MP5 K [29]

3.2.3. M 16

Günümüzde 15 NATO ülkesinin kullandığı, ABD yapımı 5.56mm'lik bir otomatik savaş/piyade tüfeği grubudur. M16 5.56mm'lik hava soğutmalı, gaz işlemeli ve şarjör beslemeli hafif bir tüfektir. Gazın ani tepme esasına göre çalışır. Tüfek çelik, 7075 alüminyum alaşım, kompozit plastik ve polimer malzemeden yapılmıştır. M16A1, M16A2, M16A3, M16A4 versiyonları mevcuttur [30].



Şekil 3.3. M16A1 [30]

Tablo 3.1. M16 Teknik Özellikleri [30]

ÇAP	: 5.56.x45 mm.
UZUNLUĞU	: 100 cm.
NAMLU UZUNLUĞU	: 51 cm.
AĞIRLIĞI(BOŞ)	: 3390 gr.
AĞIRLIĞI(DOLU)	: 3900 gr.
AZAMI MENZİL	: 3600 m.
TESİRLİ MENZİL	: 800 m.
İLK HIZ	: 948 m / sn.
ORT. ATIM (TAM OTO.)	: 600-900 atım / dakika.
ORT. ATIM (YARI OTO.)	: 45-65 atım / dakika.

3.3. Silah ve Tabanca Mühimmatlarının Yapısı

3.3.1. Fişek

Ateşli silahlarda canlı ve cansız hedefler üzerinde tahribat yapmak maksadıyla kullanılan çekirdek, barut kapsül ve kovandan oluşan aksamın bütünüdür [27].



Şekil 3.6. Kovan

3.4. Balistiğe Etki Eden Faktörler

Kalibre : Metrik sistemlerde milimetre (mm.) olarak ifade edilen fişek ölçüleri, A.B.D. ve İngiltere gibi Anglo-Sakson ülkelerinde kalibre (cal.) cinsinden ifade edilmektedir.

Rayyür : Namlu içinde helezon şeklinde birbirine paralel olarak uzanan setlerin mermi çekirdeği üzerindeki silaha özgü izlerine denir.

Hatve : Çekirdeğin kendi eksenini etrafında bir defa dönerken namlu içerisinde kat ettiği mesafedir.

Çap : Karşılıklı iki set arasındaki mesafeye denir [27].

3.5. Silah ve Tabanca Mühimmatları

3.5.1. 5,56 Mm x 45 (Ss109/M855) Normal Fişek



Şekil 3.7. 5.56x45 (SS109/M855) Normal Fişek [32]

Tablo 3.2. 5.56x45 (SS109/M855) Normal Fişek Teknik Özellikleri [33]

Fişek Boyu	57.4 – 0.7 mm
Fişek Ağırlığı	Yaklaşık 12.5 g
Hız (23,7 m)	914.4 ± 12.2 m/s
Ortalama Basınç	max. 3876 Kg/cm ²
Action Time	max. 3 milisaniye
Dağılım(100 m)	max. 2.2 cm
Mermi İrtibat Kuvveti	min. 20.4 Kgf
Delme Gücü	Mermi 570 metre mesafedeki, 3.5mm kalınlığındaki çelik levhayı (SAE 1010 veya 1020) tamamen delecektir.
Kovan Model Numarası	5.56 mm x 45 KOVAN
Kovan Malzemesi	Pirinç (cuzn28 veya cuzn30)
Mermi Malzemesi	Tombak, çelik çekirdek ve kurşun çekirdek (kurşun-antimon alaşımı)
Kapsül	5.56mm kapsül, boxer
Mayon Tipi	M27 mayon
Barut	Küresel barut
Kullanıldığı Silah	M 16A2, HK 33 E, MINIMI vs.

3.6. Balistik Koruma Seviyeleri

Hedefin en etkili şekilde delinerek tahribatı, zırh delici kinetik enerjili mermiler ve çukur imlali mermilerle sağlanır. Kinetik enerjili mermiler içinde patlayıcı madde bulunmaz. Merminin ucu, tungsten veya uranyum gibi yüksek yoğunlukta malzemeden sinterleme yöntemiyle elde edilirler. Bu mermilerin hedefteki delme etkisi mermi çapına, merminin enerjisine, merminin zırha vuruş açısına ve mermi ile zırh malzemesinin metalurjik yapısına bağlıdır [34,35].

Balistik koruma, vücut zırhları ve koruma seviyeleri ile ilgilenir. Askeri ve polis zırhlarındaki balistik gereklilikler genelde uluslararası standartlar ile tanımlanmıştır, en yaygın olarak kullanılan Amerikan Ulusal Adalet Enstitü'sünün (NIJ) standartlarıdır ve Tablo 3.3'te balistik koruma seviyeleri liste halinde verilmiştir. Tehdite göre koruma söz konusu iken ilgili malzeme seçiminde tehditi oluşturan kinetik enerjili parçacıkların hızları referans olarak kullanılmaktadır [36].

Malzemelerin balistik karakteristiğini ölçmek için kullanılan iki önemli test vardır. Penetrasyon derinliği (DOP) testi 1980’li yılların ortasından günümüze özellikle seramik malzemeler üzerine uygulanmaktadır. V50 koruma balistik limiti (PBL) her türlü malzeme üzerine uygulanabilen bir delinme testidir [37].

Tablo 3.3. Balistik koruma seviyeleri.

Seviye	Silah – Mermi tipi	Çekirdek ağırlığı, (g)	Mermi hızı, (m/s)
I	Tüfek 22. kalibre yuvarlak başlık	2.60	329
	Colt .380 Otomatik. Tüm metal kaplama yuvarlak başlık	6.20	322
IIA	9 mm. Metal kaplama yuvarlak başlık.	8.00	341
	40 Smith & Wesson tüm metal kaplama yuvarlak başlık	11.70	322
II	9 mm tüm metal kaplama yuvarlak başlık	8.00	367
	357 Magnum yumuşak uçlu kaplama	10.20	436
III A	9 mm tüm metal kaplama	8.20	436
	44 Magnum Jacketed Hollow Point	15.60	436
III	7.62 mm NATO tüm metal kaplama	9.60	838
IV	.30 kalibre M2 zırh delici	10.80	869

3.7. Balistik Deney Standartları

Balistik koruyuculuğu ölçmek amacıyla National Institute of Justice (NIJ) ve NATO gibi kuruluşlar çeşitli standartlar geliştirmiştir. NIJ ve Alman standartlarında, kullanılan merminin kalibresi, tipi ve hızı dikkate alınarak koruma seviyeleri tanımlanmıştır. Bu konu ile ilgili, Türk Standartları Enstitüsü tarafından da bir standart hazırlanmış, ayrıca çeşitli askeri standartlar da oluşturulmuştur. Bu standartların oluşturulmasının temelinde, yapılacak zırh çalışmaları için ortak bir başarı kriteri meydana getirme amacı bulunmaktadır. Deney şartları, kullanılacak ekipmanlar, sonuçların değerlendirilmesi gibi belirli parametreler bu standartların içeriğini oluşturmaktadır. Tablo 3.4’te ulusal ve uluslararası balistik standartlardan bazıları sunulmuştur [1].

Tablo 3.4. Bazı ulusal ve uluslar arası balistik koruyucu standartlar [1]

STANDART NO	STANDART ADI
MIL-STD-662 F	V50 Ballistic Test ForArmor (Zırhlar İçin V50 Balistik Testi)
NIJ-STD-0101.06	BallisticResistance of Personal Body Armor (Kişisel Vücut Zırhlarının Balistik Dayanımları)
STANAG 2920	Ballistic Test MethodForPersonalArmor (Kişisel Zırhlar İçin Balistik Test Metotları)
TS 11164	Balistik Koruyucu Yelek
PPAA STD-1989-05	PersonalProtectiveArmorAssociation, TestingStandartsForBallisticResistance of Personel Body Armors (Kişisel Koruyucu Zırh Birliği, Kişisel Vücut Zırhlarının Balistik Dayanım Test Standartları)
MIL-P-46199	Plate: AluminiumOxideCeramic (ForUseInArmorComposite) (Alüminyum Oksit Seramik Plakalarının Zırhlarda Kullanımı)
DIN EN ISO 14876-2	ProtectiveClothing - Body Armor - Part 2: BulletResistance; Requirementsand Test Methods (Koruyucu Giysi - Vücut Zırhı - Bölüm 2: Mermi Dayanımı Gereksinimleri ve Test Metotları)

BÖLÜM 4

KOMPOZİT MALZEMELER

İki veya daha fazla sayıda aynı ya da farklı gruptaki malzemelerin istenen özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler kompozit malzemeler olarak adlandırılırlar. Kompozit malzemeleri oluşturan bileşenlerin istenen özelliklerinin bir malzemede toplanması, iyi korozyon direnci, iyi ısı iletim, mükemmel aşınma direnci, düşük ağırlık, dayanım, yorulma dayanımı ve sıcaklık kapasitesinin yüksek olması gibi birçok avantaj sağlamaktadır.

Kompozit malzemelerin en büyük dezavantajları, bu tip malzemelerin yeni olmaları nedeniyle üretim yöntemlerinin yerleşmemiş ve üretimlerini yüksek üretim oranlarına erişememiş olmasından dolayı diğer malzemelere göre daha pahalı olmalarıdır [38].

4.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler kullanılan matris malzemesine göre polimer, seramik ve metal matrisli kompozitler olarak üç ana grupta sınıflandırılabilirler [39].

Davranışlarına göre termoset ve termoplastik olarak iki gruba ayrılan polimer matrisler genellikle sürekli fiberlerle kullanılırlar. Sürekli fiberlerle takviye edilen polyester, polyamidler ve epoksi reçineler en çok kullanılan matris malzemeleridir. Takviye malzemesi olarak cam, karbon ve organik fiberlerin tercih edildiği polimer matrisli kompozitler havacılık alanında geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Polimer matrisli kompozitlerin üretilmesinde en çok bilinen ve en fazla kullanılan metotlardan bazıları; elle sıvama, tel sarma, profil çekme, basma transfer kalıplama, tabakalı birleştirme, enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon metotlarıdır [40].

Seramik matris malzemeleri seramik fiberler ile takviye edilerek, ani kırılmalara karşı dayanım artışına ek olarak tokluklarının da arttırılması amaçlanmaktadır. Geleneksel seramiklere oranla tokluk 20 kata kadar arttırılabilmektedir. Seramik matrisli kompozitler iki aşamada üretilmektedir. Birinci aşamada takviye elemanları matris içine ilave edilir, ikinci aşamada ise matris kurutulmaktadır. Soğuk presleme ve sinterleme, sıcak presleme, kimyasal reaksiyon, sıvı infiltrasyon, sol-jel ve polimer proliz üretim yöntemlerinden bazılarıdır [41].

Metal Matrisli Kompozit malzemelerin geliştirilerek ticari olarak kullanılır hale getirilmesi, malzeme bilimi alanında son yıllarda gerçekleştirilen büyük yeniliklerden biridir. Metal Matrisli Kompozit malzemelerin kullanımıyla, malzemenin sahip olduğu özelliklerden fedakarlık etmeden %50'ye varan ağırlık tasarrufları sağlanabilmektedir. Ancak bu malzemelerin kullanımının hızla yaygınlaşmasını engelleyen en önemli faktör maliyetleridir. Buna rağmen son 20 yıl içinde, yüksek dayanım ve hafifliğin ön planda olduğu, fiyatın ise ikincil önemde kaldığı uygulamalarda Metal Matrisli Kompozit malzemeler hızlı bir gelişim göstermiştir [42].

4.2 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal Matrisli Kompozit malzemeler üzerine ilk çalışmalar sürekli fiber takviyeli kompozitlerde yapılmıştır. Bu alandaki çalışmalar devam ederken, sürekli fiber kompozit malzemelerin üretim kademesinin karmaşık ve yüksek maliyetli olması bu tür kompozitlerin imalatını zorlaştırmış ve istenen yüksek performansa ulaşmasını engel olmuştur. Sürekli fiberlerin bu tip problemleri olması süreksiz takviyeli kompozitlerin geliştirilmesine, özellikle alümina (Al_2O_3) kısa fiber ve SiC whisker takviyeli kompozitlerin geliştirilmesine yol açmıştır.

Süreksiz fiberler ticari olarak dizel motorların pistonlarında, whisker takviyeli kompozitler ise uzay çalışmalarında kullanım alanı bulmuşlardır. Partikül takviyeli Metal Matrisli Kompozit malzemeler yüksek elastisite modülü ve mukavemet, yüksek aşınma direnci, üretimin kolay çok çeşitli ve düşük maliyeti olarak üretilmesi gibi

nedenlerle bu konu üzerinde yapılan çalışmalarda önemli hale gelmişlerdir [38]. 1960'ların ortasında nikel kaplı grafitler argon gazı ile birlikte alüminyum matris içerisine başarılı bir şekilde enjekte edilmiştir. Bu çalışma partikül takviyeli Metal Matrisli Kompozit malzemeler üzerine yapılan ilk çalışmalardır. 1968'de Hindistan Teknoloji Enstitüsü, Kanpur, vorteks metodunu ilk defa kullanmış ve Al₂O₃ takviyeli Alüminyum kompozit dökümünü gerçekleştirmiştir.

1970'lerin başlarında Masachusetts Teknoloji Enstitüsü, katı ve sıvı arasındaki belli bir sıcaklık değerinde yarı-katı alaşımlara partikülleri karıştırmayı denemiştir. Bu çalışmalardan sonra Rooke Üniversitesinde yapılan çalışmalarda, sıvı-katı aralığında yarı-katı malzemeye partikül ilavesi üzerine çalışmalar yapılmıştır [43].

Genel olarak Metal Matrisli Kompozit üretiminde Al, Mg, Zn, Cu, Ti ve Ni gibi sünek bir metal ve bunların alaşımları matris olarak kullanılırken; silisyum karbür (SiC), bor (B), grafit, alümina (Al₂O₃), tungsten ve molibden gibi değişik takviye türleri kullanılmaktadır.

Metal Matrisli Kompozit malzemelerin, metallere göre avantajları şunlardır;

- Geleneksel üretim yöntemlerinin basit değişikliklerle kullanılabilmesi,
- Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilen malzemeler elde edilmesi,
- Yüksek özgül mukavemet,
- Yüksek özgül modül
- Daha iyi yorulma dayanımı,
- Daha iyi aşınma direnci,
- Düşük sürünme oranı gibi yüksek sıcaklık özellikleri,
- Düşük termal genleşme katsayısı.
- İstenen özelliklerin önceden belirlenebilmesi

Metal Matrisli Kompozit malzemelerin dezavantajları olarak ise şu maddeler sayılabilir;

- Sürekli fiber takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda zor ve karmaşık üretim prosesleri,

- Geleneksel üretim yöntemlerinde kullanılan takımların kullanılamaması sebebi ile takım maliyetinde artış,
- Metallere göre sünekliğin azalması,
- Yüksek maliyetli üretim sistemi ve teçhizat,
- Yeni gelişen bir teknoloji olması nedeniyle firmaların ve üreticilerin deneyimsiz oluşudur.

4.3 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Kullanılan Matris Malzemeleri

Kompozit malzemelerde matris, bağlayıcı eleman olarak görev yapmaktadır. Matrisin asıl fonksiyonu, yükü takviye malzemesine iletme ve dağıtmaktır. Ayrıca takviye malzemesini ortamın etkilerinden ve darbelerden korumak, kompozit malzemenin tokluğunu arttırmak, kırılan elyaflardan çatlağın yayılmasını önlemek, mukavemete katkıda bulunmak ve takviye elemanlarını bir arada tutmak da matrisin görevidir [42].

Metal Matrisli Kompozit malzemelerde çok yaygın olarak kullanılan matris malzemesi, düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlardır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarda tercih edilirler. Genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu, ve Zn matris malzemesi olarak kullanılmakla birlikte bunlardan en yaygın kullanılanlar Al ve alaşımları, Ti ve Mg' dur.

Metal Matrisli Kompozit malzemelerde matris olarak alüminyum ve alaşımları;

- Düşük özgül ağırlık,
- Döküm ve deformasyon işlemlerine uygunluk,
- Nispeten düşük işlem maliyeti,
- Yüksek korozyon direnci,

gibi fonksiyonel özelliklerinin ve mekanik özelliklerinin (Tablo 4.1.) çok daha iyi olmasından ötürü günümüzde en yaygın kullanılan matris malzemeleridir [12].

Tablo 4.1 Al esaslı bazı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri

Matris	Takviye elemanı, Hacim oranı (%)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama e (%)
Al	-	64	90	21
Al	SiC, 20	117	200	10
2014-T6	-	429	476	7.5
2014-T6	SiC, 10	457	508	1.8
2014-T6	Al ₂ O ₃ , 20	495	515	1.2
6061-T6	-	275	290	18
6061-T6	SiC, 15	290	340	5.5
6061-T6	SiC, 20	345	410	4.9
6061-T6	SiC, 30	380	435	1.8
6061-T6	Al ₂ O ₃ , 20	307	349	5.3
7091-T6	-	520	590	10.2
7091-T6	SiC, 20	500	560	1.8

4.4 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Takviye Elemanı Çeşitleri

Kompozit malzemelerde iki ya da daha fazla sayıda farklı faza sahip malzemeler bir araya geldiğinde, malzemedeki beklenen özelliklerin gerçekleşebilmesi için fazlar arasında belirli fiziksel ve kimyasal uyumun olması gerekir. Matris ile takviye elemanı arasındaki fiziksel uyum, süneklik ve ısıl genişleme özellikleri ile ilgilidir. Kimyasal uyum ise, ara yüzey bağı ve ara yüzey reaksiyonları açısından önem taşır. Takviye elemanı ve matrisin ısıl genişleme katsayıları arasındaki uyum, kalıcı yapısal gerilmelerin oluşması yönünden önemlidir [44].

Takviye elemanı, kompoziti oluşturan en önemli elemanlardan biri olup, kompozit üzerine gelen yükün büyük bir bölümünü taşımaktadır. Yükün takviye elemanına iletilmesi için ara yüzey bağının güçlü olması gerekir. Takviye elemanlarının ıslanamaması durumunda ara yüzey bağlarının oluşumunu engellemesine ve hava boşluklarının oluşmasına neden olur. Bundan dolayı takviye elemanı seçimi, matris içerisinde yönlendirilme şekilleri ve hacim oranları, kompozitin fiziksel ve mekaniksel karakteristiklerini etkiler [34,38].

Takviye malzemesi olarak, değişik kimyasal kompozisyonlarda ve yapıda, seramikten grafitte veya karbondan metale, pek çok malzeme çeşidi kullanılmaktadır.

Takviye malzemeleri, L/D (çap/boy) oranı yaklaşık 1 olan parçacıklar, yaklaşık 50 olan kırılmış elyaf veya whiskerlar ve 100 den büyük olan sürekli elyaflar olarak başlıca üç gruba ayrılmaktadır [12].

Takviye elemanlarının seçimi kompozit için çok önemli olduğundan, takviye elemanlarının özelliklerinin de çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Elyaflar; yoğunluk, üretim kolaylığı, ısıl direnç, kimyasal uyumluluk gibi kriterlere göre seçilmektedir. Özellikle uzay ve uçak sanayinde düşük yoğunluklu, yüksek mukavemete sahip takviye elemanlarının kullanılması kaçınılmazdır.

Yüksek mukavemete sahip bu takviye elemanlarının bazılarının elyaf veya whisker şeklinde üretilmeleri zordur ve özel tekniklerin uygulanması gerektiğinden ekonomik değildir. Bunun yanında, metalik kompozitler genellikle yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirildiklerinden yüksek sıcaklıklarda elyafların mukavemetlerini koruma özellikleri, oda sıcaklığındaki mekaniksel özelliklerinden daha önemlidir. Takviye elemanının metalik matris ile iyi bir ara yüzey bağı oluşturması, matris içerisinde istenmeyen reaksiyonların oluşmaması gerekir.

Metal Matrisli Kompozit malzemeler üretiminde kullanılan takviye malzemeleri kimyasal yapılarına göre;

- a) Oksitler (SiO_2 , Al_2O_3)
- b) Karbürler (SiC , B_4C)
- c) Nitrürler (Si_3N_4 , AlN)
- d) Elementler (paslanmaz çelik, Si, C, vs)

gibi dört ana gruba ayrılır [42].

Metal Matrisli Kompozit malzemelerde kullanılan takviye malzemesinin geometrisine göre farklı çeşitleri vardır. Bunlar:

- Sürekli fiber takviyeli metal matrisli kompozitler
- Kısa fiber veya whisker takviyeli metal matrisli kompozitler
- Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitler

Parçacık takviyeli kompozit malzemelerin diğer takviye şekillerine göre önemli avantajları aşağıda sıralanmıştır [39].

- Üretimin hacmi büyüdükçe maliyet önemli olduğundan, sürekli veya kırılmış elyafa göre daha ucuz maliyetlerle elde edilebilirler,
- Döküm ve toz metalürjisi gibi üretim teknikleri ve bunu takiben haddeleme, dövme ve ekstrüzyon gibi ikincil işlemler uygulanabilir,
- Takviye edilmemiş metalden daha yüksek kullanım sıcaklığına sahiptirler,
- Daha yüksek mukavemet ve elastisite modülüne sahiptirler,
- Artan ısıl kararlılık gösterirler,
- Elyaf takviyeli kompozitlere göre daha izotropik özellikleri vardır [12].

4.5. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Metal Matrisli Kompozit malzemelerin üretimi için değişik yöntemler geliştirilmiş olmakla birlikte araştırmalar halen devam etmektedir. Genel olarak bu yöntemler, yapıyı oluşturan malzemelerin üretimi ve şekillendirme işlemleri olarak ayrılabilir. Bu nedenle her üretim tekniğinin bileşen yapısı, büyüklüğü ve buna bağlı içyapı özellikleri ile ilgili kendine özgü sınırlamaları vardır [8].

Metal Matrisli Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri genelde iki ana grupta toplanır.

1) Katı faz üretim yöntemleri

- Difüzyon bağlanması
- Sıcak haddeleme
- Ekstrüzyon
- Toz metalürjisi (TM) teknikleri

2) Sıvı faz üretim yöntemleri

- Basınçlı veya basınçsız olarak ön şekil verilmiş iskelet yapıya ergimiş metal emdirilmesi
- Sıkıştırma döküm
- Basınçlı döküm

- Savurma döküm
- Hassas döküm
- Plazma sprej
- Kimyasal veya plazma ile buhar kaplama (CVD, PVD).
- Yarı-Katı üretim yöntemleri
- Rheocasting ve Compcasting Döküm Tekniği

4.5.1. Sıkıştırma Döküm Tekniği

Sıkıştırma döküm yöntemi; metal bir kalıp içerisine yerleştirilen, ön ısıtma yapılmış, seramik elyaf veya başka bir takviye malzemesinden oluşmuş ön şekle, kuvvet yardımıyla sıvı metalin emdirilmesi ve böylece sıkıştırılan sıvı metale yüksek basınç uygulanarak katılaştırılması işlemidir. Bu yöntem, takviyeli ve takviyesiz, yüksek hassasiyetli mühendislik parçalarının üretilmesinde kullanılmaktadır. C, SiC, Al₂O₃ ve paslanmaz çelik elyaf gibi çoğu takviye malzemesi, sıvı metalle uygun bir şekilde ıslanmadıkları için, sıvı metal emdirme yöntemiyle kompozit malzeme üretimi zordur. Buna karşılık, sıkıştırma döküm tekniğinde sıvı metal, elyaf demetlerinden oluşan ön şekil içerisine kuvvet yardımıyla emdirilir; bu arada absorbe olmuş ve sıkışmış gazlar da atılır.

Basınç uygulanması ve katılma süresinin çok kısa tutulması nedeniyle, matris ile takviye malzemesi ara yüzeyinde reaksiyon meydana gelmemesi, boşluksuz ve yüksek dayanımlı kompozit malzemelerin elde edilmesini sağlar. Yüksek basınç uygulaması nedeniyle parça boyutunun sınırlandırılması ve takviye malzemesinin hasara uğraması bu yöntemin en büyük dezavantajı olmakla birlikte, pratik kullanımda sıkıştırma döküm yöntemi, kısa zamanda, karmaşık şekilli Metal Matrisli Kompozit malzeme parça üretimi için en verimli yöntemdir. Al₂O₃/Al, C/Mg, SiCw/Al, Si₃N₄W/Al kompozit malzemeleri, bu yöntemle kolaylıkla üretilirler.

SiC parçacık takviyeli Al matrisli kompozitlerde takviye oranı arttıkça porozite artmakta, aynı zamanda, hacimce aynı oranda parçacık takviye içeren kompozitlerde parçacık boyutunun küçük olması porozite yüzdesini arttırmaktadır. Üretilen kompozit malzemelerin üretim sonrasında preslenmesi porozite değerlerini düşürmektedir. Alınan bütün tedbirlere rağmen, Al alaşımlı dökümlerde az da olsa porozite bulunmakta ve

malzemenin kesit alanını küçülterek yorulma, çekme, basma mukavemetlerini ve darbe dayanımını olumsuz etkilemektedir [45].

4.6. Metal Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Metal matrisli kompozit malzemelerin özelliklerinin tanımlanabilmesi için birçok model geliştirilmiş olmasına rağmen, parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin özelliklerine uygun model sayısı oldukça kısıtlıdır. Ancak bu konu hakkında yapılan bazı çalışmalar, parçacık takviyeli kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini karakterize etmiştir [46].

4.6.1. Bazı Elementlerin Mekanik Özelliklere Etkisi

Alaşım elementlerinin ilk görevi yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanıklılık gibi faydalı özellikleri kötü yönde etkilemeden saf alüminyumun düşük akma sınırını yükseltmektir. Bu özelliği kazandıran elementler; manganez, magnezyum, silisyum, bakır ve çinko olup, düşük miktarlarda bile istenilen amaca ulaştırırlar. Kübik yüzey merkezli alüminyum kristal kafesi yapısı, ancak çok küçük oranlarda bu elementlerden alabilir. Yabancı atomlar kristal kafesi içerisinde kaymaya karşı direnci arttırırlar; yani akma sınırını yükseltirler; şekil değiştirme kabiliyeti ise etkilenmez [47].

Ticari saf alüminyuma yaklaşık %1.2 Mn ilavesiyle orta düzeyde dayanımlı ısıtılabilir işlem uygulanamayan bir alüminyum alaşımı elde edilir. Mangan ilavesi alüminyuma ince bir dağılım çökmesi ile mukavemet kazandırır. Bu alaşımlar orta düzeyde dayanım ve iyi şekillendirilebilirlik gerektiren genel amaçlar için kullanılır [48].

İkili alüminyum-magnezyum alaşımları ısıtılabilir işlem uygulanamayan 5xxx serileri için esas oluşturmaktadır. Magnezyum, alüminyumda önemli bir çözünürlüğe sahip olmakla beraber katı çözünürlük sıcaklık düştükçe düşer, alüminyum magnezyum alaşımları %7 Mg'dan daha az konsantrasyonlarda kayda değer çökme sertleşmesi göstermezler. Buna karşın magnezyum yüksek sertleştirme özelliği sağlar. Al-Mg alaşımları iyi korozyon direncine sahiptir. Ancak söz konusu bu alaşımlar gerilmeli korozyona ve doğal yaşlanma sertleşmesine duyarlıdır. Sıvı halde magnezyum

oksidasyona eğilimli olup döküm esnasında özel koruma işlemleri gerektirir. Al-Si alaşımlarına göre Al- Mg alaşımlarının döküm özellikleri daha az uygundur.

Tablo 4.2 Biçimlenebilir ve dökme alüminyum alaşımları [48]

ALAŞIMLARIN GÖSTERİLİŞLERİ		
Biçimlenebilir	Döküm	İçerdiği Alaşım Elementleri
1 XXX ^(*)	1XX ^(*)	----
2 XXX ^(**)	2 XX ^(**)	Cu
3 XXX ^(*)	-----	Mn
	3 XX ^(***)	Si+Mg; Si+Cu; Si+Cu+Mg
4 XXX ^(***)	4 XX ^(*)	Si
5 XXX ^(*)	5 XX ^(*)	Mg
6 XXX ^(**)	----	Mg+Si
7 XXX ^(**)	7 XX ^(**)	Zn
8 XXX ^(**)	----	Diğer
	8 XX ^(**)	Sn

- (*) Yaşlandırma serleştirmesi uygulanamaz
- (**) Yaşlandırma serleştirme uygulanabilir.
- (***) Magnezyum varsa yaşlandırma serleştirmesi uygulanabilir.
- (****) Bazılarına yaşlandırma serleştirmesi uygulanabilir.

Al-Si alaşımları (3XX ve 4XX serileri) döküm alüminyum alaşımları arasında çok iyi akıcılık özelliğine sahip olması nedeniyle en çok rağbet gören alaşımlardır. Silisyumun ana alaşım elementi olarak bulunduğu alüminyum alaşımları, yüksek akıcılık, döküm sırasında düşük çekme, iyi korozyon direnci, kaynak edilebilirlik ve düşük ısıl genleşme katsayısı gibi önemli avantajlara sahiptir. Bu alaşımlar ince kesitli ve karmaşık şekilli parçaların döküm yolu ile elde edilmesi için oldukça uygundur. Akıcılık, Metal Matrisli Kompozit malzemelerin döküm yöntemleri ile üretiminde, matris kompozisyonlarının seçiminde oldukça önemli bir etkidir. Bakır alüminyum

için önemli bir alaşımdır, çünkü bakır iyi katı eriyik oluşturur ve uygun ısı ile işleme oldukça yüksek dayanım sağlayabilir [12,47].

4.6.2. Takviye Türünün Mekanik Özelliklere Etkisi

Metal Matrisli Kompozit malzemeler için kullanılan takviye elemanları; parçacıklar, sürekli ve süreksiz fiberler, whiskerler ve benzerleridir. Takviye elemanlarını seçimi kompozit için büyük önem arz ettiğinden, takviye elemanlarının özelliklerinin de çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

Fiberler; yoğunluk, üretim kolaylığı, ısı direnci, kimyasal uyumluluk gibi kriterlere göre tetkik edilip seçilmektedir. Sürekli fiber takviyeli Metal Matrisli Kompozit malzemeler, takviye elemanın paralel yönde mükemmel mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen bu malzemelerin yüksek maliyeti yaygın olarak kullanılmalarını engellemektedir. Ayrıca, sürekli fiber takviyeli Metal Matrisli Kompozit malzemelerin fiber eksenine dik yönlerde anizotropik özelliklere sahiptirler. Sürekli fiber takviyeli Metal Matrisli Kompozit malzemeler yüksek maliyetleri nedeniyle, çoğunlukla askeri ve çok özel amaçlı uygulamalarla sınırlandırılmıştır.

Seramik parçacık takviyeli Metal Matrisli Kompozit malzemeler, yüksek özgül mukavemet ve özgül modül, aşınma dayanımı ile yüksek sıcaklık mukavemetine sahiptirler. Kompozitin dayanımı; parçacıkların büyüklüğüne, parçacıklar arası mesafeye ve matrisin özelliğine bağlıdır. Parçacıklar yapı içerisinde homojen dağıldığında genellikle parçacık hacminin artışı ile kompozitin dayanımı ve aşınma direnci de doğru orantılı olarak artar. Fakat artan takviye oranı ile porozite de artma gözlenir. Parçacık takviyeli kompozitin diğer kompozitlerden farkı, döküm yolu ile imal edildiğinden, artan takviye elemanı ilavesi ile birlikte yapı içerisinde porozite vb. hatalar, ikincil bir işlem olan haddeme veya basınçlı döküm ile giderilebilmektedir. Yani, parçacık takviyeli Metal Matrisli Kompozit malzemeler üretimi yapıldıktan sonra, ikincil bir işlem yapılabilmektedir. Bunun kompozit açısından önemi çok büyüktür. Çünkü ara reaksiyon esnasında oluşan bu boşluklar kompozitin dayanımını düşürmektedir [45]. Plastik deformasyon tekniklerinin yanı sıra, toz metalurjisi tekniği ile metalik matrislerin SiC whiskerleriyle güçlendirilmeleri mümkündür. Kompleks şekilli parçalar sıcak izostatik presleme ile ekonomik bir şekilde üretilebilirler. Preslenmiş parçalar, minimum düzeyde bitirme işlemine ihtiyaç duyarlar. SiC

whiskerleriyle pekiştirilmiş metalik kompozitler, klasik şekillendirme tekniklerinin uygulanabildiği tek sistemdir. Bu whiskerlerle güçlendirilmiş alüminyumun işlenebilirlik özelliği, sürekli SiC, bor ve alümina fiberle güçlendirilmiş esaslı kompozitten daha iyidir [49,50].

4.6.3. Süneklik

Süresiz takviyeli kompozit malzemelerin süneklik davranışı, diğer malzemelere ve hatta sürekli takviyeli kompozit malzemelere göre oldukça farklı özellikler sergiler. Bu farklılıklar gevrek, yüksek elastisite modülüne sahip ve matrise göre farklı ısıl genişleme katsayısına sahip takviyelerin kullanılması ile açıklanabilir. Takviye malzemesinin bu özelliklerinin yanında kullanılan matris malzemeleri de örneğin alüminyum, sünek, düşük elastiklik modülü gibi çok farklı özelliğe sahiptirler. Tüm bunlara ilaveten takviye ve matris malzemenin gerilme altında farklı kırılma davranışları sergilemesi, süresiz takviyeli kompozit malzemelerin kırılma mekaniğinde oldukça fazla etkinin rol aldığı belirtilmektedir.

Kompozit malzemelerde ısıl işlem sonucunda iyileşmeler gözlenmesine rağmen şekillendirilebilirlikleri sınırlıdır. Takviyesiz alaşımlarda kırılmanın, boşluk oluşumu ve büyümesi ile ilgili olduğu ve boşlukların mikro yapıdaki iri bileşen tanelerinde olduğu bilinmektedir. Boşluk oluşumu için gerekli şart tanelerde tane-matris ara yüzeyinde kritik bir normal gerilmenin oluşmasıdır.

Matris içerisinde yer alan sert ve kırılğan takviyeler, yük altında iken gerilmelerin kendi civarında yoğunlaşmasına sebep olmaktadır. Gerilmenin bu bölgede yoğunlaşması matrisin ve ara yüzeyin dayanımına bağlı olarak o bölgelerin deformasyon sonucu sertleşmesine sebep olmaktadır ve kırılğanlık artmaktadır.

Büyük takviye boyutuna sahip kompozit malzemenin matris içerisinde yüklenmesi ki bu takviyenin kırılması ihtimalini artmasına da sebep olur, gerilme altında civar bölgelerin (ara yüzeyin ve matrisin) daha fazla sertleşmesine dolayısıyla kırılğanlığın artmasına yol açar. Takviye oranının artması ve homojensizlik, deformasyon gerilmesinin bölgeselleşmesine neden olan başka bir etkidir. Bu bölgelerde yoğunlaşan gerilmeler sonucu meydana gelen çatlaklar veya daha önceden var olan mikro çatlakların büyümesi kompozitlerin kırılma davranışını önemli ölçüde etkiler [8].

BÖLÜM 5

ZIRH

5.1. Zırhın Tarihi Gelişimi

İnsanoğlunun yeryüzünde ortaya çıkmasıyla beraber kavgalar, toplumların oluşmasıyla da savaşlar başlamıştır. İnsanoğlu bu kavgalarda, savaşlarda ve vahşi hayvanlara karşı kendini korumak için aklını kullanmış ve çeşitli korunma araçları geliştirmiştir. Bu korunma stillerinin ve araçlarının en büyük bölümünü zırh kavramı oluşturmaktadır.

5.1.1. Zırh Giysilerinin Tarihi Gelişimi

Zırh kullanımının geçmişi ilk çağlara kadar uzanır. Zırhların, zırhlı araçların ortaya çıkışına kadar kullanımı üç ana grupta toplanabilir:

1. Kumaş, deri ya da bu ikisinin karışımı katmanlardan oluşan ve bazı uygulamalarda katmanların yün, pamuk ya da keçeyle desteklendiği zırhlar,
2. Demir ya da çelik tellerden yapılmış örme zırhlar,
3. Metal, boynuz, ahşap, plastik ya da benzeri sert ve dayanıklı malzemeden yapılmış tek parça zırhlar.

Bütün bu zırhlar giysiye dikilmiş levhalar ya da birbiri üzerine bindirilmiş ve iplerle birleştirilmiş küçük parçalar halinde olabilir. İlkel savaşçıların çarpışmalarda vücutlarını korumak amacıyla hayvan derisinden yapılmış giysi ve miğferler kullandıkları bilinmektedir. Ortaçağa gelindiğinde zırh anlayışı değişmiş ve örme zırhlar ortaya çıkmıştır. Avrupa'da örme zırhların ilk örnekleri Roma döneminin sonlarında geliştirildi. Asya'da daha önceden yapılmış benzerlerinden türetildiği sanılan

bu zırhlar, kumaş ya da deri üzerine dikilmiş demir halkalardan oluşuyordu. Ortaçağda zırh yapımcıları deri ya da kumaş kullanmadan, metal halkaları örerek birleştirme yoluyla zırh üretme yöntemini geliştirdiler. Örülerek birleştirilen halkaların aralarındaki boşluklar kaynaklanarak ya da perçinlenerek kapatılıyordu. Başa ise boyun ve başı kaplayan bir başlık üzerine bir miğfer takılıyordu. Vücudun zedelenmemesi için zırhın altına, içine pamuk doldurulmuş bir giysi giymek gerekiyordu. 12. yüzyılda ayak ve bacaklara takılabilen ve eldiven biçiminde zırh parçaları da yapıldı.

Ortaçağda şövalyeliğin yaygınlaşmaya başlamasıyla birlikte zırhlar çok yaygın biçimde kullanılır oldu. Kullanıcının hareket yeteneğini artırmak amacıyla zırhların dirsek ve diz gibi bölümlerinde mafsallar kullanılmaya başladı. Yaklaşık 1510'da Almanya'da yapılan ve kullanıcının baştan ayağa tüm vücudunu kaplayan bir zırh, esnek mafsallarla donatılmış olan bir giysi ile üzerinde yalnızca gözler ve ağız için delikler bulunan dövme metal bir miğferden oluşuyordu. Ortaçağda kullanılan örme zırhların bazılarında mızrak dövüşünde daha iyi korunma sağlamak amacıyla, göğüs bölümüne metal bir levha yerleştiriliyordu. Bazı şövalyeler bindikleri atın da baş ve göğüs bölümüne zırhlar koyuyordu. Metalden yapılmış ağır zırhlar 16. yüzyıldan sonra yalnızca bazı tören ve gösterilerde kullanılmaya başladı.

Günümüzde zırh olarak kullanılan giysilerin birinci amacı mermilerin vücuda girmesini önlemektir. 2'nci Dünya Savaşı sırasında, özellikle uçucu personel tarafından kullanılan kurşungeçirmez giysiler daha sonra yaygınlaşmadı. Ama günümüzde güvenlik kuvvetleri için daha hafif ve kullanışlı zırhlar ve plastik kasklar geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Ateşli silahların mermilerine karşı daha çok yelek ya da ceket tipi koruyucu giysiler kullanılmaktadır. Vücudun en azından göğüs ve kalça bölümünü kaplayan giysinin ceplerine çelik alaşımından yapılmış küçük levhalar konur. Hem hareket kolaylığı sağlamak hem de koruma amacıyla bu levhalar birbirine bağlanmaz. Metal yerine cam lifi ya da bor karbür kullanarak hem koruma derecesi, hem de giysinin rahatlığı artırılabilir.

5.1.2. Zırhlı Araçların Tarihi Gelişimi

20. yy.'ın başında otomobil üzerine silah monte etme fikri doğdu. Silah ve araç hafif bir zırhla korunuyordu. Böylece ilk zırhlı araç ortaya çıktı. O zamandan bu yana, teknik ilerlemeler ve kullanım öğretileri zırhlı araçların gelişimini olumlu yönde etkiledi. 1980 yılı itibariyle bilinen zırhlı araç türleri şunlardır: Zırhlı keşif araçları ve bunlara benzer küçük tırtıllı araçlar, amfibi harekâtı için yapılmış araçlar, piyade savaş araçları ve zırhlı personel taşıyıcıları.

I. Dünya Savaşı'nda savaş alanında hareket edebilen, tel örgüleri geçebilen, piyadenin yaklaşmasını engelleyen, makineli tüfek yuvalarını imha edebilen tanklar kullanmaya başladı. Tanklar, Birinci Dünya Savaşında müttefiklerin savaşı kazanmasında büyük rol oynayan bir araç ve silah oldu. 1918 sonlarında özellikle müttefikler olmak üzere bundan sonra savaşlar tankların ve topların savaşı olacağı görüşü benimsendi.

II. Dünya Savaşı sırasında orduların gücü zırhlı birliklerinin sayı ve yeteneklerine göre değerlendirildi. Zırhlı araçların etkinliği, yalnızca birliklerin düzenlenmesi ve kullanım biçiminden kaynaklanmaz; kullanılan malzemenin niteliği de önemli rol oynar. Tank daha da güçlendiğinde diğer sınıftan birliklerin tankı desteklemesine olanak veren özel zırhlı araçlar geliştirildi: ZPT'ler, motorlu toplar, istihkâm taşıtları. II. Dünya Savaşı sırasında zırhlı araçlar, piyade ve helikopterlerce kullanılan hafif tanksavar silahlarının gittikçe etkin bir biçimde kullanımı ve aynı biçimde bir çok tank topundan atılan çukur imla haklı mermilerin yaygın olarak kullanımı karşısında zor durumda kaldılar. Buna karşılık hafif zırhlı araçlar da pek çok bakımdan gelişme gösterdi. Tırtıllı hafif destek tankları, tank avcı araçları, tekerlek üzerine bindirilmiş zırhlı keşif araçlarının yanı sıra tüm sınıflarda, savaş tanklarını desteklemeye yönelik çeşitli zırhlar geliştirildi. Önceleri basit olanaklarla taşınan piyade sınıfı, daha sonra kendi araçlarıyla savaşa katılmaya başladı.

Zırhın tarihi gelişiminde de açıkça görüldüğü gibi zırh malzemelerinin kullanımı zırhlı araçların ortaya çıkışına kadar zırh giysilerinde yaygın olmasına rağmen gelişen ve gelişmesiyle beraber, değişen dünyamızda zırh malzemelerinin çok büyük bir bölümü zırhlı araçların zırh yapımında kullanıldığı apaçık bir şekilde görülmektedir. Bu nedenle zırh kavramını zırhlı araçlar üzerinde incelemek en akılcı davranış olacaktır.

5.1.3. Zırhlı Araçlarda Zırh Koruması

Zırhlı araçlarda zırh koruması, zırhlı aracının kritik bölgelerinde önem kazanmakta ve bu bölgelerde zırh korumasına önem verilmektedir. Zırhlı araçlarda zırh korumasının nasıl yapıldığı, zırhlı aracın hangi bölgelerine önem verildiği, nelere dikkat edildiği aşağıda açıklanmıştır.

Gövde Zırhı

- a) **Ön cephe:** Şoför bölmesi, cepheden kinetik ve kimyasal enerjili 120/125 mm'lik mermilerle en az 60 derecelik açıyla meydana gelecek vuruşlara karşı zırh koruması sağlayacaktır.
- b) **Gövde gerisi:** Gerideki zırh koruması, güç kaynağı ve yakıt depolarını kinetik enerjili orta ve hafif silah mermilerinin ve orta çaptaki kimyasal enerjili mermilerin her açıyla meydana gelebilecek vuruşlarına karşı korumalı olacaktır.
- c) **Gövde altı:** NATO M15 anti tank mayınlarına karşı zırh bütünlüğünü sağlayarak mürettebat, şoför ve güç kaynağı bölmelerini koruyacak, gövdenin alttan delinmesine ve kırılmasına engel olacak yapıda olacaktır. Standart a/p mayınlarının tank altındaki her açı ve seviyesinde patlamalarına karşı palet ve aktarma organlarının parçalanmasına engel olacak korumayı sağlayacaktır.
- d) **Gövde yanları:** Şoför ve mühimmat bölmeleri yanlardan kinetik ve kimyasal enerjili 120/125 mm'lik mermilerle en az 50 derecelik açıyla meydana gelecek vuruşlara karşı zırh koruması sağlayacaktır.
- e) **Koruyucu etekler:** Koruyucu yan eteklerin zırh koruması, palet ve aktarma donanımı ile süspansiyon donanımını asgari olarak çelik çekirdekli zırh delici hafif silah mermilerine, şarapnelere ve parçacıklı mermilere karşı tamamen korumalı olacaktır.
- f) **Gövde üstü:** Şoför ve güç kaynağı ile mühimmat bölmeleri tepeden gelen parçacıklarla uçak ve helikopterlerin kinetik enerjili mermilerine karşı tam koruma sağlayacaktır.

- g) **Kule Cephesi:** Kule önü, cepheden kinetik ve kimyasal enerjili 120/125 mm'lik mermilerle 60 derecelik açıyla meydana gelecek vuruşlara karşı zırh koruması sağlayacaktır.
- h) **Kule Yanları:** Mürettebat ve cephe bölmeleri kinetik ve kimyasal enerjili 300 mm delme sağlayan mermilere, yönlendirilmiş mayınlara, güdümlü başlıklara, yol dışı tandem başlıklı mayınlara karşı 50 derecelik açı ile koruma sağlayan yapıda olacaktır mürettebatın orta çaplı kimyasal enerjili zırh delici mermilerin 90 derecelik açıyla meydana gelebilecek vuruşlarına karşı korunmasını sağlayan yapıda olacaktır.
- i) **Kule Gerisi:** Orta çaplı kinetik enerjili mermilere karşı mühimmat ve/veya mürettebat bölmesinin delinmesini engelleyen yapıda olacaktır.
- j) **Kule Üstü:** Mürettebat ve cephe bölmeleri tepeden gelen parçacıklar ile uçak ve helikopterlerin kinetik enerjili mermilerine karşı tam koruma sağlayacaktır.

5.1.4. Muharebe Araçlarında Zırh Kavramı

Bir zırhlı aracın en önemli hayati unsuru “zırh” korumasıdır. Buna rağmen zırhlı araçların en az bilinen yanı, onların zırh özelliğini sağlayan malzeme özellikleridir. Genellikle zırhlıların kalınlıkları ve eğrilikleri hakkında bilgi mevcuttur. Motorun, mürettebatın, gövde altının, cephe, gövde geri bölmesi ve kulenin korunması amacıyla her tür ve çaptaki kinetik enerji/kimyasal enerjili mermilere karşı azami koruma ve ayrıca cephe, yakıt infilaklarına karşı ilave koruma sağlanması büyük önem taşımaktadır. En mükemmel zırh malzeme en yüksek sertlikte ancak son derece az kırılabilirliğe sahip malzemedir. Bunun yanı sıra ağırlık önemli bir etkidir.

Ana zırh üzerine gerektiğinde ilave zırh plakalar konulabilmelidir. Zırhlı araçlarda zırh korumasının sağlanabilmesi için çelik, alüminyum, seramik, fiberglas, cam, Al-Mg-Mn, plastik, uranyum, kauçuk, titanyum vb. malzemeler kullanılmaktadır. Bugüne kadar bu malzemeler alaşımlar halinde zırh yapımında kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile beraber birçok zırh çeşidi ortaya çıkmıştır.

5.1.4.1. Alüminyum Zırhlar

Hakkında en çok bilgi olan malzeme, hafif zırhlı araçlar için geliştirilen malzemelerdir. Bunlar zırhları genellikle düşük kalibreli mermilere ve şarapnel parçalarına karşı koruma sağlar. Bu tip tehlikelere karşı öteden beri, Brinell sertlik numaraları (BNH) 320 ila 380 arasında değişen haddelenmiş, homojen çelik zırh plakalarınca (RHA), koruma sağlamıştır ve pek çok zırhlı araç halen, bu tip bir zırha sahiptir. Ancak 1960 yılından bu yana, önemli miktarda zırhlı araç, alüminyum zırha sahip konuma getirilmiştir. Bu tip demir içerikli olmayan zırhlar, ilk kez, Amerika Birleşik Devletleri'nde Kaiser Alüminyum ve Kimya Şirketi'nce üretilmiş ve kullanımına da FMC şirketi öncülük etmiştir., bu durumda FMC'yi, şu anda çok geniş bir kullanma platformu olan M113 zırhlı taşıyıcısının tasarımına itmiştir.

Şarapnel parçalarına karşı etkinliği, RHA'ya göre daha fazla olan M113'ün zırhı, 5083/alüminyum-magnezyum-manganez alaşımından oluşmaktadır. Ancak bu 5083 alaşımının BNH'si sadece 75'dir ve bu da yüksek hızdaki mermilere karşı M113'ün etkinliğini azaltmaktadır. 5083 alaşımının ve diğer tip zırhların nispi etkinliğinin en iyi biçimde incelenebilmesi, M113'ün, birim alandaki kütle miktarı olan alansal yoğunluğuyla, verilen bir tehlikeye karşı aynı derecede korumayı sağlayan RHA'nın alansal yoğunluğunu karşılaştırmakla sağlanabilir. Bu normal olarak RHA'nın alansal yoğunluğunu verilen zırhın alansal yoğunluğuna bölmekle yapılır ve elde edilen oran söz konusu zırhın belirli bir tehlikeye karşı kütle etkinliği olarak adlandırılır.

Hafif zırhlı araçlar için en çok karşılaşılan tehlike, 7.62 mm.lik zırh delici mermilerdir (AP). Bu mermiler 5083 serili alüminyumdan yapılmış zırh plakasına karşı atıldığında Tablo 5.1.'de de görüldüğü gibi zırhın kütle etkinliği sadece 0,89 olmaktadır. Bu durum, 5083 alaşım zırhını, zırhlı taşıyıcılar ile şarapnel parçalarının tehlikeye birinci derecede maruz kalan kundağı motorlu silahlardan ziyade düşük kalibreli silahlara maruz kalan diğer araçlar için, cazip olmaktan çıkarmaktadır. Ancak bu zırhın 7,62 mm.lik a/p mermilerine karşı gösterdiği düşük kütle etkinliği, hafif zırhlı araçların imalinde önemli derecede ağırlık tasarrufuna sebebiyet veren üstün nitelikli yapısal özellikleri tarafından telafi edilebilmektedir.

Bununla birlikte, 5083 alaşımının balistik eksikleri, 1960'lı yıllarda, ısıl işleme uygun alüminyum-çinko-magnezyum alaşımının ikinci kuşak 7XXX serisinin

geliştirilmesini teşvik etmiştir. 7000 serisi alüminyum zırhlar içerisinde, Amerikan Alüminyum Şirketi'nce (Alcoa) üretilen 7039 alaşımı, İngiltere'de Alcan Plate tarafından üretilen 7017 alaşımı ve Fransa'da Pechiney tarafından üretilen 7020 alaşımı bu amaçlı olarak üretilen zırhlar olarak sayılabilir. BNH'si 150'lere kadar çıkabilen, sağlam olduğu kadar dik yönlü çarpmalara 7.62 mm.'lik AP mermilerine karşı kütle etkinliği 1,4 gibi bir rakama ulaşabilen bu tip alaşımlar daha mukavimdir ve bu özellikleri, RHA ile karşılaştırdığımızda zırhlı araçların ağırlığında önemli tasarruflar sağlamaktadır. Ancak 7XXX serisi alaşımlar gerilim paslanması çatlakları tehlikesiyle karşı karşıyadır ve bunu azaltmak için alınan önlemler de hem imalatı zorlaştırmakta hem de fiyatı arttırmaktadır. Alcan Plate tarafından yapılan çalışmalar geliştirilmiş 7XXX serisi alüminyum alaşımların üretimine imkân sağlamıştır. Ancak şimdiye kadar AP mermileri karşısındaki kütle yoğunluğu söz konusu olduğundan, alüminyum alaşımların en dış yüzeyde yüksek sertlikteki çelik zırhlarla oluşturduğu kombinasyon alüminyum alaşımların tek başına oluşturduğu kombinasyondan daha fazla kullanılmaya başlamıştır [51].

Tablo 5.1. Değişik tipteki zırhların kütle etkinliği (7.62mm mermilere karşı) [51]

ZIRH TİPİ	YOĞUNLUK (kg/m ³)	ALANSAL YOĞUNLUK (kg/m ²)	KÜTLE ETKİNLİĞİ
Çelik Zırhlar			
RHA (380 BHN)	7830	114	1.00
Yüksek sertlikteki Zırh(550 BHN)	7850	98	1.16
İki defa sertleştirilmiş Zırh (660-440 BHN)	7850	64	1.78
Alüminyum Zırhlar			
5083 Alaşımı	2660	128	0.89
7039 Alaşımı	2780	106	1.08
2519 Alaşımı	2807	100	1.14
İnce Cam Elyafı Zırhlar			
E-camı	2080	115	0.74
S-camı	2045	93	1.23
Seramik Yüzeyli Zırhlar			
ALÜMİNA(AD90)	3560	-	-
ALÜMİNA + 5083 Alüminyum	3125	50	2.28
ALÜMİNA + 7020 Alüminyum	3200	42	2.75
ALÜMİNA + İnce E-camı	2556	46	2.48
ALÜMİNA + İnce Kevlar	2000	38	3.00
Boron Karbiyol	2450	-	-
Boronkarbür+Al.	2564	35	3.26
Titanyum Diborid	4450	-	-

5.2. Zırh Malzemesi İçin Balistik Yaklaşımlar

Balistik darbe analiz ve tasarımı için genellikle deneysel ve sayısal çalışmalar paralel olarak yürütülmektedir. Doğru sonuçlar verecek analizlerin yapılması öncelikle darbe sırasında gerçekleşen olayların iyi bir şekilde anlaşılmasını gerektirmektedir. Balistik darbe sırasında ani bir basınç yüklemesi olmaktadır ve darbeye kalan zırh malzemesi ve mermi bu etkiyi kendi içinde iletmeye zaman bulamamaktadır. Bu durumda katı malzeme içinde ilerleyen bir şok dalgası oluşmaktadır.

Geometri, darbe hızı ve çeşitli malzeme özellikleri gibi pek çok parametreye bağlı olarak değişen bu şok dalgası büyük sıkıştırma, genleşme ve kayma etkisi oluşturması olarak kendini göstermektedir. Ortaya çıkan yüksek basınç metal gibi malzemelerin dayanım sınırlarının çok üstünde olduğundan, malzeme akışkan bir davranış göstermektedir. Ayrıca sıkışma bağlı ortaya çıkan yüksek enerji nedeni ile ısınma ve ani bölgesel sıcaklık artışları elde edilmektedir. Tüm bu karmaşık dinamik yüklemenin saniyenin binde birinden daha kısa bir zaman dilimi içinde olup bitmesi, hem test yöntemlerinin hem de analizlerin gerçekleştirilmesini ve değerlendirilmesini karmaşık hale getirmektedir [52].

5.2.1. Hasar Mekanizmaları

Balistik çarpma genellikle, bir kaynak tarafından itilen merminin oluşturduğu düşük kütleli, yüksek hızlı çarpma olarak adlandırılmaktadır. Balistik çarpma yüksek hızlı bir olay olmasına rağmen, hedef üzerindeki etkileri çarpmanın olduğu noktaya yakın bir çevrede gerçekleşmektedir. Çarpma esnasında enerji transferi, mermiden hedefe doğru ilerlemektedir. Hedef malzemesinin özelliklerine ve mermi parametrelerine bağlı olarak;

- 1) Mermi hedefi delmekte ve arka yüzden belirli bir hızda çıkmaktadır. Bu, merminin ilk enerjisinin, hedefin absorbe edebileceği enerjiden fazla olduğunu göstermektedir.
- 2) Mermi, hedefe kısmen girmektedir. Bu, merminin ilk enerjisinin, hedefin absorbe edebileceği enerjiden daha düşük olduğunu göstermektedir. Hedef malzemenin özelliğine bağlı olarak mermi, ya hedefin içinde kalmakta ya da sekteye uğramaktadır.

- 3) Mermi, hedefi tamamen delmektedir; fakat çıkış hızı sıfırdır. Bu durumda verilen kütle için, merminin ilk hızı balistik limit olarak adlandırılmaktadır ve merminin bütün enerjisi sadece hedef tarafından absorbe edilmektedir [26].

Hedef balistiğinde sıkça kullanılan nüfuz etme (penetrasyon) kavramı, merminin hedefin herhangi bir bölgesine girme durumunun gelişimi olarak tanımlanmaktadır. Çarpışma esnasında, mermi hedefe birkaç şekilde nüfuz edebilmektedir. Hedef üzerinde meydana gelen hasarlar; malzeme özelliği, çarpışma hızı, mermi burun şekli, mermi yörüngesi ve mermi ile hedefin göreceli boyutları gibi çeşitli değişkenlere bağlı olmaktadır

Genellikle zayıf ve düşük yoğunluklu hedeflerde, gevrek kırılma görülmektedir. Başlangıçtaki gerilmenin, malzemenin en yüksek dayanım değerini aşması sonucu meydana gelmektedir. Düşük veya orta sertlikteki kalın levhalarda görülen tipik hasar mekanizması ise sünek delinme ile birlikte küçük parça kopmasıdır. Sünek delik gelişimi, dolgu oluşumu ve taç yaprağı oluşumu sünek malzemelerde çok görülen hasar şekilleri olmakla birlikte farklı hasar şekilleri bulunmaktadır [53].

Tipik bir zırh malzemesinin çalışma prensibi, yüksek hızla gelen çelik veya diğer ağır metal esaslı zırh delici malzemelerin sivri uçlarının yüksek sertliklerinden dolayı zırh malzemesi tarafından durdurulması esasına dayanır.

Zırh malzemesinin bir zırh deliciye karşı davranışını anlamak için penetrasyon (içeri girme) ve perforasyon (delinme) süreçlerinde şok, deformasyon ve kırılma olgularının bilinmesi gerekir. Bu da devreye giren perforasyon mekanizmalarının etüdünü gerektirmektedir. Şekil 5.1'de homojen zırh malzemesi için ana perforasyon türleri verilmiştir.

• Açılan deliğin plastik deformasyon sonucu büyümesi

Düşük mukavemetli, ancak yüksek toklukta çelik hedefler, deforme edilemeyen zırh deliciler tarafından vurulduğunda oluşur. Delici, kraterleşme yolunda metalin plastik olarak radyal yönde akmasına ve böylece sünek deformasyonla deliğin oluşmasına neden olur.

- **Delinme**

Yaklaşık delici merminin çapı boyutunda bir deliğin hedefin arka tarafından tepme nedeniyle açılması. Delinme hatası çoğunlukla adyabatik kayma hasarı ile sert zırh çeliklerinde başlatılır.

- **Diskvari parçalanma**

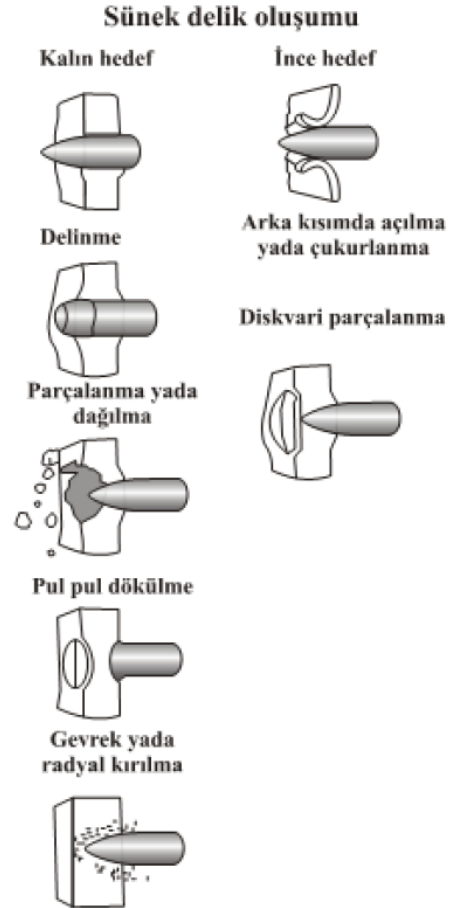
Zırh plakasında ya oluşan küçük parçacıkların veya hedefin arka tarafından diskvari bir parçanın kopması. Burada da çoğunlukla böyle bir hata için adyabatik kayma hasarı sorumludur.

- **Parçacıkların kopması (pul pul dökülme)**

Çekme gerilmeleri altında zırh plakasının arka tarafından küçük parçacıkların/diskvari parçanın kopması. Bu tür hasarlar darbe nedeni şok dalgalarının gerilmeye yansması sonucu oluşur.

- **Radyal kırılma**

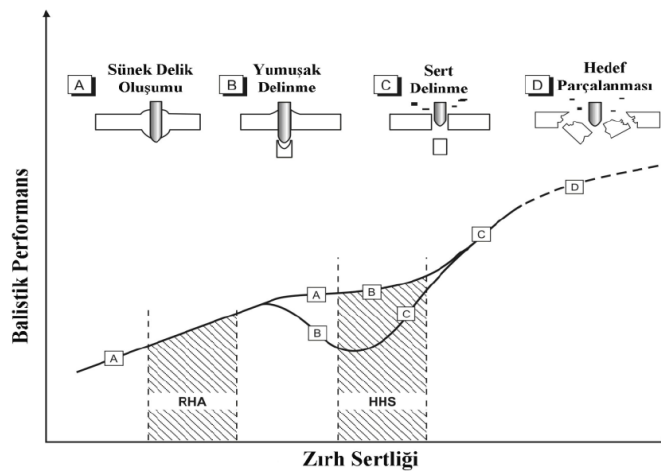
Gevrek hedeflerde oluşur ve zırh delicinin çarpma noktasında kırılma başlar.



Şekil 5.1. Homojen zırh çeliklerindeki ana delinme modları [37]

Şekil 5.2.'de balistik performans ile mekanik özellikler açısından günümüze kadar kurulabilen tek ilişki olan hedef sertliği ve balistik performans arasındaki ilişki zırh çelikleri ailesi için gösterilmiştir. Hedef sertliğinin, yani mukavemetinin artmasıyla penetrasyon direnci artar. Performans, belirli sertlik değerlerinde etkin olan kırılma modları ile oldukça ilişkilidir. Düşük sertlik değerlerinde performansı hedefin plastik akması kontrol eder ve hedef sünek deliklenme (delik oluşumu) ile hasar görür (A eğrisi). Hedefin mukavemetinin artmasıyla kalınlık boyunca malzemede yöresel hasarlanma oluşur. (B eğrisi). Zırh delici, büyük açılı atış koşullarında hedef ile olan etkileşimi sonrasında parçalanabilir. Bu tür bir savunma, balistik performansın tekrar geri kazanılmasına ve artırılmasına yol açar (C eğrisi). Yumuşak delinme olan B türünden ayırmak için C türü hasarlanmaya sert delinme adı verilmiştir. B modunda delinme başlamadan önce hedefin bir miktar plastik akması görülür. Böylece deliğin ön yüzünde zırh delici izi görülür. C modunda ise hedef plastik olarak deforme olmadığından kinetik enerjinin büyük bir miktarı kırılma ile dağılır. Bunun sonucu olarak zırh delici merminin de ucu kütleşir ve mermi, delme işlemini bozunmuş ucu ile gerçekleştirmek mecburiyetinde kalır. Ancak hedeften de neredeyse tam silindirik bir parça koparılmış olur.

Genelde hedefin sertliğinin artmasıyla zırh delici merminin erozyonu ile deformasyonu artar; bu da balistik performansın artmasına neden olur. Ancak sertliğin daha da artması hedefin yetersiz tokluk altında gevrek olarak parçalanmasına ve yapısal zırhlama görevini yerine getirememesine neden olur (D eğrisi).



Şekil 5.2. Zırh çeliklerinde sertlik ile balistik performans değişimi. [55]

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, takviye oranlarının balistik özellikler üzerine etkilerini araştırmak amacı ile değişik oranlarda SiC parçacıkları ile takviye edilmiş AlMg3 (AA5754) matrisli kompozit malzemeler kullanılmıştır. Kompozit malzemeler yarı katı karıştırma ve arkasından sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir.

Deneysel çalışmada farklı takviye oranlarında üretilmiş kompozit malzemelerden elde edilmiş 100x100x25 mm boyutlarındaki dikdörtgen geometriye sahip numunelere 25 metre mesafeden M16 tüfeği ile 5.56 mm. çaplı mermiler ile atış yapılarak standartlara uygun olarak balistik testler gerçekleştirilmiştir.

6.1. AlMg3/SiCp Kompozitlerinin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

AlMg3 alüminyum alaşımı ısı ile sertleştirilebilme özelliği olmayan, yüksek dayanımlı bir alaşım olup, özellikle deniz suyuna karşı mükemmel korozyon dayanımı, çok iyi kaynak edilebilirliği ve iyi şekil verilebilme özelliği olan bir alaşımdır. AlMg3 alaşımının fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi sırasıyla Tablo 6.1 ve Tablo 6.2’de verilmektedir.

Tablo 6.1 AlMg3 alaşımının fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlık	2.66	g/cm ³
Elastisite Modülü	68-72	GPa
Kayma Modülü	27	GPa
Ergime Aralığı	600-620	°C
Özgül Isı (273-373K)	0.97	J/gK
Lineer Genleşme Katsayısı (293-373K)	24x10 ⁻⁶	1/K
Termal İletkenlik (373-673K)	147-168	W/mK

Tablo 6.2 AlMg3 alaşımının kimyasal bileşimi (%)

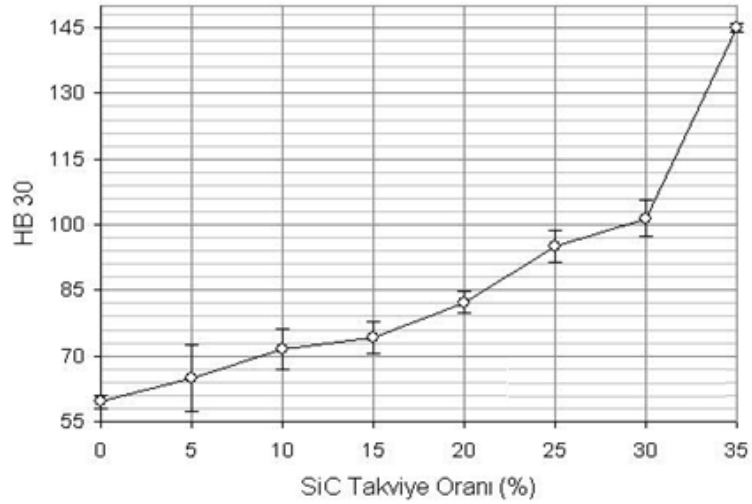
Mg	Si	Fe	Mn	Diğer	Al
2.6-3.2	0.40	0.40	0.5	0.15	Kalan

Kompozit numunelerin deneysel olarak yoğunluk ölçümleri, Arřimed prensibine göre yapılmış özgül ağırlık ve gözenek ölçüm sonuçları Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3 Numunelerinin teorik ve ölçülen özgül ağırlıkları ile gözenek oranları [12]

Malzeme	SiC (Hacimce) %	Özgül Ağırlık (Teorik) (g/cm ³)	Özgül Ağırlık (Deneysel) (g/cm ³)	Gözenek %
AlMg3	-	2,66	2,62	1,5
AlMg3+ % 5 SiC	5	2,69	2,65	1,2
AlMg3+ % 10 SiC	10	2,71	2,68	1,1
AlMg3+ % 15 SiC	15	2,74	2,72	0,8
AlMg3+ % 20 SiC	20	2,77	2,74	1,2

Deneylerde kullanılan kompozit malzemelerin Brinell sertlik deneylerine ait sonuçlar (62.5 kg yük ve 2.5 mm çaplı bilya) şekil 6.1'de verilmiştir.



şekil 6.1 Kompozit malzemelerin sertlik ile takviye oranları değişimi [12]

Takviye malzemesi olarak ORKLA firması tarafından üretilen, fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi sırası ile Tablo 6.4. ve Tablo 6.5’te verilen yaklaşık 12 mikron (500 Mesh) tane iriliğine sahip Green SiC tozları (GW Micro) kullanılmıştır. Ucuz ve kolay temin edilebilirliğinin yanında, yüksek dayanıma da sahip olan bu malzeme lepleme, parlatma işlemleri ile, teknik seramiklerde, yarı iletken teknolojisinde ve fotovoltaik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 6.4 Takviye seramiklerin parçacıkların fiziksel özellikleri

Parçacık Cinsi	Boyut (μm)	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	Çekme Dayanımı (GPa)	E-Modülü (GPa)
SiC	15-340	3,2	3	480

Tablo 6.5. Takviye malzemesi SiC’nin kimyasal bileşimi

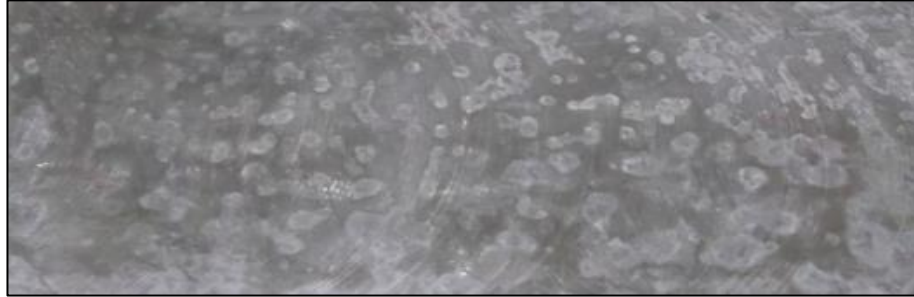
Ürün	Tane İriliği	%SiC	%Serbest C	%Si	%SO ₂	%Fe ₂ O ₃
GW Micro	F1000-F1200	99,0	0,25	0,25	0,20	0,05

6.2. Takviyesiz (%0 SiC) AA5754 Numunelerin Balistik Test Sonuçları

Takviyesiz AA5754 numunelerin balistik test sonrası yapılan makro incelemede, hedef numune üzerinde mermi çekirdeği çapında delinme tespit edilmiş olup, her hangi bir kırılma ya da kopmaya rastlanmamış çekirdeğin açmış olduğu giriş deliği çevresinde hafif bir yapraklama gözlenmiştir. Mermi çekirdeği, parçacık kopartarak ve çıkış kısmı yüzeyinden 3-4 mm kadar çatlak oluşturarak çıkmıştır. Bu durum, numunenin çarpma noktasında ve çevresinde oluşan kayma gerilmeleri ile ilişkilendirilebilir. Bu hasarların yanı sıra mermi çekirdeğinin sahip olduğu kinetik enerji dolayısıyla ile çarpma sonrası numune çıkış bölgesinde şişme gözlenmiştir.

Giriş bölgesi yandan dik açıdan incelendiğinde, mermi çekirdeği numuneye girdikten sonra numune üzerinde mermi çekirdeği boyutu çevresince yaklaşık 1-2 mm'lik yapraklama (petalling) oluşturduğu gözlenmiştir.

Çıkış kısmı yandan dik olarak incelendiğinde, mermi çekirdeğinin kompozit numune içinden çıkabilmek için numuneyi zorlayarak şişme oluşturduğu gözlenmiştir.



Şekil 6.2. Takviyesiz Numune Atış Öncesi Kesiti



Şekil 6.3. Takviyesiz Numune Atış Sonrası Giriş Deliği



Şekil 6.4. Takviyesiz Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği



Şekil 6.5. Takviyesiz Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü



Şekil 6.6. Takviyesiz Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü

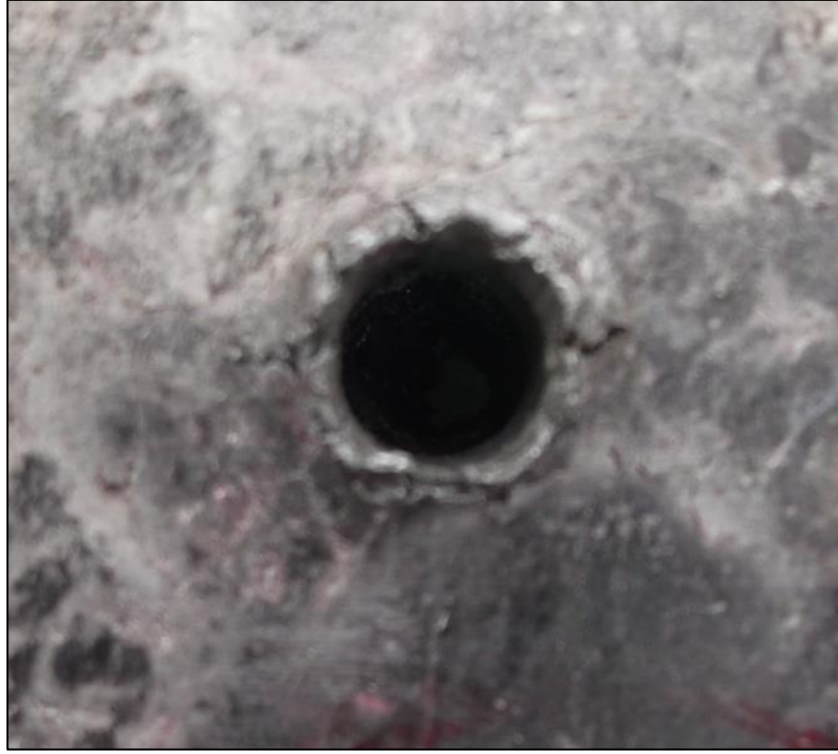
6.3. % 5 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları

%5 SiC takviyeli Kompozit numunelerin balistik test sonrası yapılan makro incelemede, numunede mermi çekirdeğinin çapında delik olduğu tespit edilmiştir. Kompozit numune üzerinde her hangi bir kırılma ya da kopmaya rastlanmamış fakat mermi çekirdeğinin açmış olduğu delik çevresinde muhtelif çatlak oluşumları gözlenmektedir. Kompozit numunede oluşan çıkış deliği mermi çekirdeği boyutundadır. Kompozit numunenin yandan dik olarak mermi çekirdeğinin giriş bölgesi yönünde incelediğimizde, mermi çekirdeği kompozit malzemenin içine girdikten sonra hedef numune üzerinde çöküntü oluşturmamış ve merminin çekirdeğinin girmesi ile mermi çekirdeği giriş deliği çevresince yapraklama şekilde hasar oluşturmuştur.

Kompozit numunenin çıkış bölümü yandan dik olarak incelendiğinde, 3mm kadar şişme ve yapraklanma (petalling) oluşumu gözlenmektedir.



Şekil 6.7. %5 SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti



Şekil 6.8. %5 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği



Şekil 6.9. %5 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği



Şekil 6.10. %5 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü



Şekil 6.11. %5 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü

6.4. % 10 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları

%10 SiC takviyeli Kompozit numunelerin balistik test sonrası yapılan makro incelemede, kompozit numune üzerinde delinme olduğu ve oluşan deliğin mermi çekirdeğinin çapında olduğu gözlenmiştir. Kompozit numune üzerinde her hangi bir kırılma ya da kopmaya rastlanmamış, giriş deliği çevresinde mermi çekirdeğinin giriş deliği çevresince yapraklama oluşmuş ve mermi çekirdeğinin gömleğinin numune içinde kaldığı gözlenmiştir. Kompozit numunenin çıkış deliğinin içinde mermi çekirdeğinin gömleği gözlenmiştir.

Numunenin yandan dik olarak mermi çekirdeğinin giriş bölgesi yönünde incelediğimizde, mermi çekirdeği kompozit malzemenin içine girdikten sonra hedef numune üzerinde çöküntü oluşturmamıştır. Mermi çekirdeğinin giriş deliği çevresinde yapraklama (petalling) gözlenmektedir.

Numunenin mermi çekirdeğinin çıkış kısmı yandan dik olarak incelendiğinde, mermi çekirdeğinin kompozit malzemede şişme oluşturduğu ve şişirdiği bölgelerden parçacık kopardığı gözlenmiştir.



Şekil 6.12. %10 SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti



Şekil 6.13. %10 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği



Şekil 6.14. %10 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği



Şekil 6.15. %10 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü



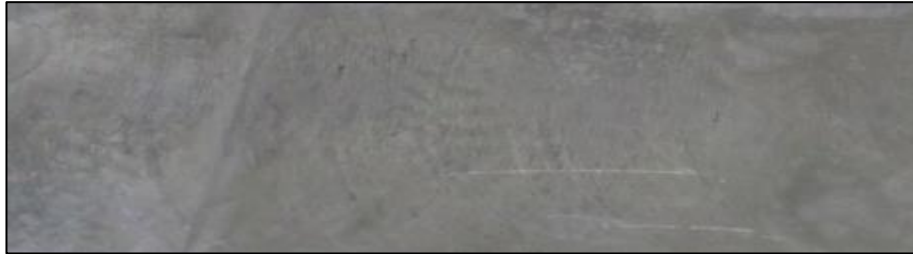
Şekil 6.16. %10 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü

6.5. % 15 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları

%15 SiC takviyeli kompozit numunelerin balistik test sonrası yapılan makro incelemede, kompozit numune üzerinde delinme olduğu ve oluşan delinmenin mermi çekirdeğinin çapında olduğu gözlenmiştir. Kompozit numunede her hangi bir kırılma ya da kopmaya rastlanmamış fakat giriş deliği çevresinde yapraklama (petalling) olduğu gözlenmiştir. Atış sonrası giriş deliğinde meydana gelen delinme mermi çekirdeğinin çapında olup, mermi çekirdeğinin gömleği kompozit hedef numune içinde kalmıştır.

Mermi çekirdeği numune ile çarpıştıktan sonra numuneden çıkışta parçacık kopartarak ve numuneyi şişirerek hasar oluşturmuştur. Bu durum, hedef numunenin çarpma noktasında ve çevresinde oluşan kayma gerilmeleri ile ilişkilendirilebilir ve bundan dolayı mermi çekirdeği boyutundan küçükte olsa parçaların hedef numuneden kopması, çatlamların oluşmasına sebep olmuştur.

Numuneyi yandan dik olarak giriş bölgesi yönünde incelediğimizde; mermi çekirdeği kompozit malzemenin içine girdikten sonra hedef numune üzerinde çöküntü oluşturmamıştır. Yalnızca mermi çekirdeğinin numuneye girdiği giriş deliği çevresince yapraklama (petalling) oluşturduğu gözlenmiştir.



Şekil 6.17. %15 SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti



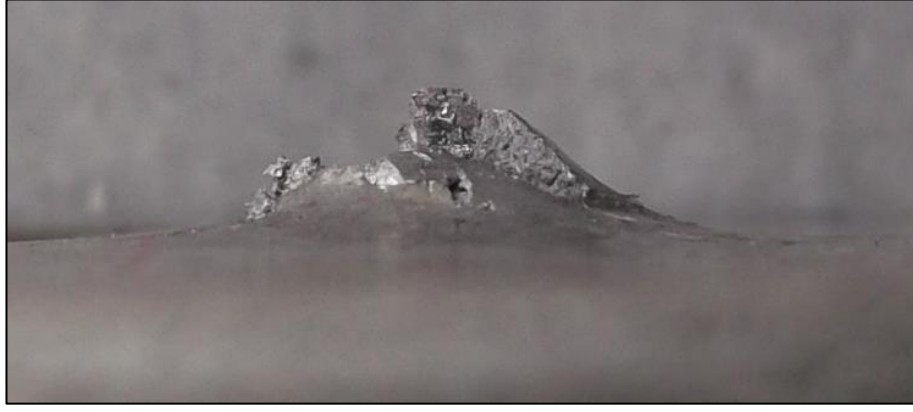
Şekil 6.18. %15 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği



Şekil 6.19. %15 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği



Şekil 6.20. %15 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü



Şekil 6.21. %15 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü

6.6. % 20 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları

%20 SiC takviyeli kompozit numunelerin balistik test sonrası yapılan makro incelemede, kompozit numune üzerinde delinme olduğu ve oluşan delinmenin mermi çekirdeğinin çapında olduğu gözlenmiştir ve her hangi bir kırılma ya da kopmaya rastlanmamıştır. Ancak, mermi çekirdeğinin gömleği delinen kısmın içerisinde görülmektedir. Aynı zamanda giriş deliği çevresinde yapraklama ile birlikte 3 mm civarında yaklaşık 120 derece aralıkla 3 ayrı çatlak gözlenmektedir.

Mermi çekirdeği kompozit numuneyle çarpıştıktan sonra numuneyi delerek çıkabilmek için mermi çekirdeği kompozit numunden parçacık kopartarak hasar oluşturmuştur. Bu durum, hedef numunenin çarpma noktasında ve çevresinde oluşan kayma gerilmesi ile ilişkilendirilebilir ve bundan dolayı mermi boyutundan daha büyük parçaların hedef numuneden kopması şeklinde gözlenmiştir. Aynı zamanda mermi çekirdeğinin çıkış deliği çevresinde hafif çatlaklar gözlenmektedir.

Giriş bölgesi yandan dik açıdan incelendiğinde, kompozit hedef numuneye giren mermi çekirdeği giriş deliği çevresince yapraklama (petalling) oluşumu gözlenmektedir.



Şekil 6.22. %20 SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti



Şekil 6.23. %20 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği



Şekil 6.24. %20 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği



Şekil 6.25. %20 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü



Şekil 6.26. %20 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü

6.7. % 25 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları

%25 SiC takviyeli kompozit numunelerin balistik test sonrası yapılan makro incelemede, mermi çekirdeğinin numune üzerinde açmış olduğu delik çevresince 1-2 mm'lik parçacık kopmaları, çatlamlar, hedef numuneyi delmesi şeklinde hasar oluşturmuştur.

Mermi çekirdeği numune ile çarpıştıktan sonra numuneyi delerek çıkabilmek için kompozit malzeme üzerinden parçacık koparak ve derin çatlaklar oluşturacak şekilde hasar oluşturmuştur ve mermi boyutundan daha büyük parçaların numuneden kopması şeklinde gözlenmiştir. Bununla birlikte mermi çekirdeğinin gömleğinin çıkış deliğinde kalması numunenin takviye oranının artması ile gevrekleşen bir yapı oluşturduğunu göstermektedir.

Numune giriş bölgesi yönünde incelendiğinde, mermi çekirdeği kompozit malzemenin içine girdikten sonra hedef numune üzerinde çöküntü oluşturmamıştır. Sadece merminin girmesi ile giriş deliğinde yapraklanma (petalling) oluşacak şekilde hasar oluşumu gözlenmektedir.



Şekil 6.27. %25 SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti



Şekil 6.28. %25 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği



Şekil 6.29. %25 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği



Şekil 6.30. %25 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü



Şekil 6.31. %25 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü

6.8. % 30 SiC Takviyeli Kompozitlerin Balistik Test Sonuçları

%30 SiC takviyeli kompozit numunenin balistik test sonrası yapılan makro incelemede, mermi çekirdeğini numune üzerinde, merminin kendi eksenine etrafında dönüşümünde verdiği etkiyle numune üzerinde kayarak, 1-2 mm'lik ufak parçacık kopmaları, çatlamlar, çekirdeğin çarpma hızı etkisi ile yapraklanma (petalling) yaparak numuneyi delmesi şeklinde hasar oluşumu gözlenmektedir.

Mermi çekirdeği çarpma sonrası numuneyi delerek çıkarmak için kompozit malzeme üzerinden 2-4mm'lik büyüklükte parçacık kopartarak hasar oluşturmuştur. Bu durum hedef numunenin çarpma noktasında ve çevresinde oluşan kayma gerilmesi ile ilişkilendirilebilir ve bundan dolayı mermi boyutundan daha büyük parçaların hedef numunedan kopması net bir şekilde gözlenmiştir.

Giriş bölgesi yönünde incelediğimizde, mermi çekirdeği kompozit malzemenin içine girdikten sonra hedef numune üzerinde çöküntü oluşturmamıştır. 1 mm civarında yapraklama ve kabarma şeklinde hasar oluşmuştur. Mermi çekirdeğinin çıkış bölümünde her hangi bir şişme gözlenmemiş olup, 2 mm'lik yapraklanma (petalling) oluşturmuştur.



Şekil 6.32. %30 SiC Takviyeli Numune Atış Öncesi Kesiti



Şekil 6.33. %30 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği



Şekil 6.34. %30 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği



Şekil 6.35. %30 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Giriş Deliği Yandan Görünümü



Şekil 6.36. %30 SiC Takviyeli Numune Atış Sonrası Çıkış Deliği Yandan Görünümü

6.9. SONUÇ

Günümüzde teknolojik altyapısı ve savunma sanayi güçlü olan ülkelerde yeni tip zırhların ve anti-zırh silahların geliştirilmesi büyük bir gizlilik içerisinde yürütüldüğü ve üretilen teknolojilerin yüksek değerlere sahip ürünler olduğu bilinmektedir. Zırhlı ürünlerin en az bilinen yönü, zırh özelliğini sağlayan ve yapımında kullanılan hammaddelerdir. Bu teknolojilerin, teknoloji transferi, lisanslı üretim vb. isimler altında üretici ülkeden başka bir ülkeye aktarılması söz konusu değildir. Bu yüzden zırh malzemeleri alanında teknolojik yeterliliğe sahip olmak stratejik bir önem taşımaktadır.

Zırh üretimi için gerekli parçalar, imalat bilgisi ve tekniği kısıtlı da olsa birçok ülkeden satın alınabilir, ancak özgün teknoloji edinme sürecinde etkin bir silahlı kuvvetler için asıl önemli olan zırh tasarım yeteneğine sahip olmaktır. Başkalarının tüm özelliklerini bildiği zırh sistemleri ile ilgili olarak teknolojik ilerlemelerin her an olduğu günümüz koşullarında üzerine takıldığı bir platformu veya personeli tam olarak koruyamayacağı açıktır.

Kompozit Malzemeler alanındaki yaşanan gelişmeler, bu malzemelerin geliştirilmesi ile neredeyse istenen her alanda kullanılabileceğini, balistik ve zırhlar hakkında sunulan bilgiler ile de Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ilişkilendirilerek takviye oranlarına göre Metal Matrisli Kompozit Malzemeler üzerinde durulması gereken Kompozit Malzeme çeşidi olarak görülebilmektedir.

Zırh malzemeleri konusu, fiziksel metalürji, katı-hal fiziği, tekstil bilimi, kimya, mekanik, balistik, yüzey bilimi ve malzeme analizi gibi çeşitli uzmanlıkları içine alan disiplinler arası bir sahadır. Zırh uygulamaları için gerekli olan malzemelerin seçimi, değişik türdeki silahlar ve bunlara ait mermi tiplerine karşı balistik darbe davranışının değerlendirilmesi gerektiğinden karmaşık bir çalışma alanı olarak önemini sürdürecektir.

KAYNAKLAR

- [1] YAVAŞ, M. O., *Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Balistik Dayanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009
- [2] M., ÜBEYLİ, B., ÖGEL, *Alumina/Aluminyum Katmanlı Kompozitlerin Balistik Performanslarının İncelenmesi*, SAVTEK 2002, Savunma Teknolojileri Kongresi, ODTÜ, Ankara, sayfa 45-52, 24-25 Ekim 2002
- [3] H., ENİZ, *Çift Fazlı Bir Çeliğin 7,62mm'lik Zırh Delici Mermi Karşısında Balistik Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009
- [4] M., USLU, *Docol 22MnB₅ Çeliğinin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [5] A., CERİT, *Partikül ve Fiber Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitin Balistik Performansının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004
- [6] Ö., ÖZYILMAZ, *Hafif Silah Tasarımının Balistik Açından İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010
- [7] İ., ÜNDÜZ, *Seramik Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Balistik Özelliklerinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009
- [8] T., ÖZBEN, *Sıkıştırma Döküm Yöntemiyle Üretilen Seramik Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri*, İstanbul, 2001
- [9] O., TOPRAK, *AlMg₃/SiC_p Kompozitlerinin Basma Dayanımı Özelliklerinin İncelenmesi*, Y. Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010
- [10] F., TOPTAN, *Alüminyum Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi İle Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
- [11] B., GÜREL, *Menevişlenmiş Çift Fazlı Bir Çeliğin Balistik Başarımının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010
- [12] N., ÜRKMEZ, *AlMg₃/SiC_p Kompozitlerinin Üretimi ve Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004

- [13] JENA, P. K., *Ballistic Studies On Layered Structures*, Materials and Design, 30: 1922-1929, 2009
- [14] JENA, P. K., MISHRA, B., KUMAR, S., BHAT, B., *An Experimental Study On The Ballistic Impact Behavior Of Some Metallic Armor Materials Against 7.62 mm Deformable Projectile*, Materials&Design, 31: 3308-3316, 2010
- [15] ONGA, C.W., BOEY, W., HIXSON, S., SINIBALDI, O., *Advanced Layered Personnel Armor*, Int. Journal of Impact Engineering, 38: 369-383, 2011
- [16] C., EVÇİ, *Seramik Kompozit Zırh Sistemlerinin Darbe ve Balistik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2009
- [17] M., ÜBEYLİ, O., YILDIRIM, B., ÖGEL, *On The Drop Weight Testing Of Alumina/Aluminum Laminated Composites*, Sadhana, 30: 673-686, 2005
- [18] A., AYDINEL, B., ÖGEL, O., YILDIRIM, *CTP Art Plakalı Zırhlarda Seramik Ön Plaka Kalınlığının Merminin Son Hızına Etkisi*, Zırh Teknolojileri Semineri, MSB ARGE ve Tekno.D.Bşk.lığı, Ankara, 176-189, 2005
- [19] F., ŞENEL, B., BALYA, L., PARNAS, *İleri Kompozit Zırh Malzemelerin Balistik Analizi*, Zırh Teknolojileri Semineri, MSB ARGE ve Tekno.D.Bşk.lığı, Ankara, 121-133, 2005
- [20] GONCALVES, P., DE MELO, L., KLEIN, N., AL-QURESHI, A., *Analysis And Investigation Of Ballistic Impact On Ceramic/Metal Composite Armour*, Machine Tools & Manufacture, 44: 307-316, 2004
- [21] B., KARAMIS, A., TASDEMİRÇİ, F., NAIR, *Failure And Tribological Behaviour Of The AA5083 and AA6063 Composites Reinforced by SiC Particles Under Ballistic Impact*, Composites-Part A: Applied Science And Manufacturing, 34: 217-226, 2003
- [22] HETHERINGTON, J. G., LEMIEUX, P. F., *The Effect Of Obliquity On The Ballistic Performance Of Two Component Composite Armours*, International Journal of Impact Engineering, 15 (2): 131-137, 1994
- [23] CARLUCCI, D. E., *Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition*, Taylor & Francis Group, New York, 2008
- [24] INGALLS, C. *Interior Ballistics*; A Text Book for the Use of Student Officers at the US Artillery School, Read Books, 2008
- [25] INGALLS, M., *Exterior Ballistics in the Plane of Fire*, BiblioBazaar, 2008
- [26] H., DENİZ, *Çift Fazlı Bir Çeliğin 7,62 mm'lik Zırh Delici Mermi Karşısında Balistik Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009

- [27] <http://kriminal.iem.gov.tr/>
- [28] http://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Handgun_collection.JPG
- [29] http://tr.wikipedia.org/wiki/Heckler_%26_Koch_MP5
- [30] <http://tr.wikipedia.org/wiki/M16>
- [31] <http://www.tabancatufek.com/forum2/showthread.php?tid=1110>
- [32] http://tr.wikipedia.org/wiki/5.56_x_45_mm
- [33] <http://www.mkek.gov.tr/tr/Urunler.aspx>
- [34] CROUCH, I. G., *Metallic Armour-from Cast Aluminium Alloys to High-Strength Steels*, Materials Forum, 12, 31-37, 1988
- [35] Ş., KARAGÖZ, H., ATAPEK, A., YILMAZ, *Isıl İşlemlerle Çeliklerin Zırh Malzemesi Olarak Geliştirilmesi*, Military Sci. and Intelligence, 20, 42-45, 2007
- [36] Ballistic Resistant Protective Materials, NIJ Standard – 0108.01
- [37] LANE, R., CRAIG, B., BABCOCK, W., *Materials for Blast and Penetration Resistance*, The AMPTIAC Quarterly, 6 (4), 39-45, 2004
- [38] LLOYD, D.J., *Particle Reinforced Aluminium and Magnesium Matrix Composites*, International Materials Review”, Vol 39, No 1, pp. 1-22,1994
- [39] CHAWLA, K. K., *Composite Materials Science and Engineering*, USA, 1998
- [40] B., KURŞUNCU, *SiC Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi*, İstanbul, 1999
- [41] İ., MUTLU, *Alüminyum Matrisli Metal Kompozit Malzemelerin Üretilmesi*, Kütahya, 1996
- [42] A., ARAN, *Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Alanında Yeni Gelişmeler*, İ.T.Ü. Makine Fakültesi 1. Makine Mühendisliği Kongresi, 368-372, 1997
- [43] RAY, S., *Review Synthesis of Cast Metal Matrix Particulate Composites*, Material Science and Engineering, 28, pp. 5397-5413, 1993
- [44] NATIBO, *Metal Matrix Composites- Sector Study*, The North American Defense Industrial Base Organization, 1993
- [45] K., ÖZDİN, *Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması*, Ankara, 2006

- [46] M., YILMAZ, *The Microstructure and Mechanical Properties of a Particulate SiC Reinforced Aluminum Matrix Composite*, İstanbul, 1991
- [47] H., ŞEVİK, *Alümina Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Kompozitlerin Basınçlı Döküm Yöntemiyle Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi*, Sakarya, 2004
- [48] SMITH, F.W., Çeviri: Erdoğan M., *Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri Demir Dışı Alaşımlar*, Cilt 2, Nobel Kitabevi, Ankara, 2001
- [49] HUDA, D., EL BARADIE M.A., HASHMI, M.S.J., *Metal Matrix Composites: Materials Aspects, Part II*, Journal of Materials Processing Technology, 37: 529-541, 1993
- [50] M., KÖK, *Metal Matrisli (Al₂O₃ Takviyeli) Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Seramik Takımlarla İşlenebilirliğinin Araştırılması*, Elazığ, 2000
- [51] E., KAYA, *Zırhların Yapısı, Aktif Korunma Sistemleri ve Aktif Korunma Sistemlerini Etkileyen Tasarım Parametreleri*, Yüksek Lisans Dönem Projesi, Trakya Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010
- [52] F., ŞENEL, B., BALYA, L., PARLAS, *İleri Kompozit Zırh Malzemelerinin Balistik Analizi*, SAVTEK, ODTÜ, Ankara, 1-10, 2004
- [53] NAIK, N. K., SHRIRAO, P., REDDY, B. C. K., *Ballistic Impact Behaviour Of Woven Fabric Composites: Formulation*, International Journal of Impact Engineering, , 32: 1521-1552, 2006
- [54] Ş., KARAGÖZ, H., ATAPEK, H., YILMAZ, *A Fractographical Study on Boron Added Armor Steel Developed by Alloying & Heat Treatment to Understand Its Ballistic Performance*, 13th Int. Conf. on Applied Mech.& Mechanical Eng., Abstracts of Sci. Papers, 80, Cairo-Egypt, 2008
- [55] Ş., KARAGÖZ, *Zırh Çelikleri*, Zırh Teknolojileri Semineri, Milli Savunma Bakanlığı Ar-Ge & Teknoloji Daire Başkanlığı, Ankara, Mart, 2005

ÖZGEÇMİŞ

- Orta Öğretim :** Edirne Anadolu Meslek Lisesi,
Tekstil Bölümü, Tekstil Kalite Kontrol Bölümü,
EDİRNE, 2005.
- Lisans :** Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,
Tekstil Eğitimi Bölümü, Tekstil Teknoloji Eğitimi A.B.D.
“Dikiş İplikleri ve Özellikleri”
Danışmanı: Doç. Dr. S. Müge YÜKSELOĞLU
İSTANBUL, 2009.
- Yüksek Lisans :** Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, **“AlMg3/SiCp Kompozit
Malzemelerin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi”**
Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Vedat TAŞKIN
EDİRNE, 2013.
- E-Mail:** hayrisen22@hotmail.com