

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**TİTANYUM NİTRİT KAPLANAN 1040 NOLU ÇELİK İLE 2842
NOLU ÇELİĞİN BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERDİ ERGÜL

BOLU, NİSAN - 2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

Erdi ERGÜL tarafından hazırlanan “TİTANYUM NİTRİT KAPLANAN 1040 NOLU ÇELİK İLE 2842 NOLU ÇELİĞİN BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 27.04.2015 tarihinde Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman

Doç. Dr. Murat PAKDİL

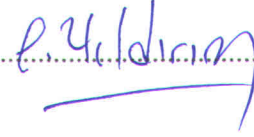
Üye

Doç. Dr. Cihan PARLAK

Üye

Yrd. Doç. Dr. Gürcan YILDIRIM

İmza



Prof. Dr. Duran KARAKAŞ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Aileme,

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.


Erdi ERGÜL

ÖZET

TİTANYUM NİTRİT KAPLANAN 1040 NOLU ÇELİK İLE 2842 NOLU ÇELİĞİN BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERDİ ERGÜL

**ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. MURAT PAKDİL)**

BOLU, NİSAN - 2015

Sivil ve askeri uygulamalarda tam balistik koruma sağlayan ve mümkün olan en düşük ağırlıktaki zırhı seçebilmek için mühendislik malzemelerinin balistik başarımlarının bilinmesi oldukça önemlidir. Bu yüzden balistik testler zırh tasarımının önemli bir parçasıdır. Bu çalışmada, mühendislik malzemelerinden bazı çelik plakaların NIJ (National Institute of Justice) Standartlarına göre belirli mesafelerde 7,62 mm zırh delici mermiler karşısında balistik başarımları incelenmiştir. Titanyum Nitrit kaplama öncesi ve sonrası sertlik değerleri ölçülmüş, fişeklerin özellikleri belirtilmiş, kaplamanın hangi yöntemle yapıldığı anlatılmıştır. Ardından hedef kalınlığının balistik başarıma etkisini gösterebilmek için farklı kalınlıklarda numuneler hazırlanmıştır. Deneyler sırasında mermi giriş ve çıkış hızları ölçülmüştür. Deneylerde başarılı olan ve olmayan tüm numuneler incelendikten sonra balistik başarımları etkileyen faktörler belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Balistik deney, Zırh delici mermi, Zırh malzemeleri.

ABSTRACT

BALLISTIC CHARACTERISTICS INVESTIGATION OF 1040 NUMBER STEEL AND 2842 NUMBER STEEL WHICH FILM OVER WITH TITANIUM NITRIDE

MSC THESIS

ERDİ ERGÜL

**ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASST. PROF. MURAT PAKDİL

BOLU, APRIL 2015

It is important to know ballistic successful of engineering material to select possible less weight of ballistic material which supply protecting at civil and military applications. So ballistic tests are significant part of the armor design. It was investigated in this study about succesful of some steel plate of engineering material against 7.62 mm armor piercing bullet in select distance according to NIJ standarts. TiN strengt was measured before and after filming over. Bullets characteristics were determined. It was reported which method used at filming over. After that, different thickness samples were prapared to show effect of ballistic succesful of target thickness. Bullets going in and out speed were measured during tests. Factors which effect the ballistic succesful were designated after investigation of all samples that not only succesful samples but also unsuccesful samples in the tests.

KEYWORDS: Ballistic test, Armor piercing projectile, Armor materials.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ.....	xi
TEŞEKKÜRLER.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ZIRH ÇELİKLERİ.....	3
2.1 Zırh Çeliklerinin Özellikleri	4
2.2 Zırh Çeliklerinin Fiziksel Özellikleri	6
2.2.1 Zırh Çeliklerinde alaşımlama	6
2.2.2 Zırh Çeliklerinde Gelişmeler ve Mikroyapısal Yaklaşımlar	8
3. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI.....	10
3.1 Numune tutma aparatı	10
3.2 Balistik Başarımı İncelenecek Çelikler	11
3.3 1040 Nolu Çelik	13
3.4 2842 Nolu Çelik	14
4. KAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	16
4.1 Fiziksel Buhar Yoğuşturma (PVD)	17
4.2 Kaplama Kalınlıklarının Tespiti	19
5. FİŞEKLER.....	25
5.1 Kovan	25
5.2 Barut	26
5.3 Kapsül	27
5.4 Çekirdek	28
5.4.1 Genişlemeyen Çekirdekler	29
5.4.1.1 Tam Metal Gömlekli	29
5.4.1.2 Gömlekli Kısaltılmış Huni	30
5.4.1.3 Tam Metal Gömlekli	30
5.4.2 Genişleyen Çekirdekler	30
5.4.2.1 Gömlekli Oyuk Uçlu	31
5.4.2.2 Yan Gömlekli Oyuk Uçlu	31
5.4.2.3 Gömlekli Yumuşak Uçlu	31
5.4.2.4 Kurşun Yuvarlak Uçlu	31
5.4.2.5 Kurşun Kağıt Kesici	31
5.4.2.6 Kurşun Yan Kağıt Kesici	32

5.4.3 Diğer Çekirdek Türleri	32
5.4.3.1 Zırh Delici	32
5.5 Mermi Özellikleri	33
5.5.1 7,62x51 mm Nato	37
5.5.2 7,62x39 mm	38
5.5.3 5.56x45 mm	39
5.6 Balistik Testte Kullanılan Fişek	40
6. BALİSTİK	42
6.1 İç Balistik	42
6.2 Dış Balistik	42
6.3 Terminal Balistik	43
6.4 V_{50} Hızı Tespiti	44
6.5 Balistik Standartlar	46
6.5.1 NIJ 0101.06 standardı	48
6.5.2 Balistik testlerde deney süreci	50
6.5.3 Balistik Test Düzenegi	52
7. DENEYSEL ÇALIŞMA	55
7.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler	55
7.2 Deneyler	56
7.2.1 1040 Nolu İmalat Çeliğinde Meydana Gelen Hasarlar	56
7.2.2 2842 Nolu Soğuk İş Takım Çeliğinde Meydana Gelen Hasarlar	60
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	64
8.1 1040 Nolu İmalat Çeliklerinin test sonrası değerlendirilmesi	64
8.2 2842 Nolu Soğuk İş Takım Çeliklerinin test sonrası değerlendirilmesi	65
9. KAYNAKLAR	67
10. ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Üretilen aparatın son hali	10
Şekil 3.2. Aparatın bağlanarak hazır hala getirilmiş durumu	11
Şekil 3.3. Numunenin aparatı konulmuş hali	11
Şekil 3.4. İmalat çeliği ile titanyum kaplı numunenin görüntüsü	14
Şekil 4.1. PVD Yönteminin gösterimi	18
Şekil 4.2. 9 mm 1040 nolu çelik	20
Şekil 4.3. 9 mm 2842 Nolu Çelik	21
Şekil 4.4. 14 mm 1040 İmalat Çeliği	22
Şekil 4.5. 14 mm 2842 İmalat Çeliği	23
Şekil 5.1. 7.62x51 mm AP Kovanı	26
Şekil 5.2. Farklı fişeklerin kapsül gösterimleri	27
Şekil 5.3. Fişegi meydana getiren kapsül, kovan, barut ve çekirdek	27
Şekil 5.4. Fişegin Genel görünümü	28
Şekil 5.5. Farklı Mermilerin Çekirdek görünümleri	29
Şekil 5.6. FMJ Kaplı 7,62X51 mm'lik kurşun	30
Şekil 5.7. 7,62X51 mm AP (Zırh delici Mermi)	32
Şekil 5.8. Mermi tipleri	36
Şekil 5.9. Değişik Kalibreye Sahip Mermiler	36
Şekil 5.10. 7.62X51 mm FMJ NATO	38
Şekil 5.11. AK-47 Tüfeği	39
Şekil 5.12. AK-47 tüfeğinde kullanılan Mermi	39
Şekil 5.13. Mermi görünümleri	40
Şekil 6.1. Farklı darbe durumlarında muhtemel kırılma şekilleri	44
Şekil 6.2. Test aralığı konfigrasyonu	51
Şekil 6.3. 7.62 AP Mermisinin kesit Görüntüsü ve parçaları	52
Şekil 6.4. V ₅₀ Test Düzeneği	53
Şekil 6.5. NIJ 0101,06 Test Düzeneği	54
Şekil 7.1. Tüfeğin bağlandığı sabit kollu aparat	55
Şekil 7.2. 9 mm kalınlıkta İmalat Çeliğinin atış sonrası görüntüsü	56
Şekil 7.3. 9 mm kalınlıkta Titanyum Nitrit Kaplı İmalat Çeliğinin atış sonrası ön görüntüsü	57
Şekil 7.4. 9 mm kalınlıkta Titanyum Nitrit Kaplı İmalat Çeliğinin atış sonrası arka görüntüsü	57
Şekil 7.5. 14 mm kalınlıkta İmalat Çeliğinin atış sonrası görüntüsü	58
Şekil 7.6. 14 mm kalınlıkta Titanyum Kaplı İmalat Çeliğinin atış sonrası ön görüntüsü	59
Şekil 7.7. 14 mm kalınlıkta Titanyum Kaplı İmalat Çeliğinin atış sonrası arka görüntüsü	59
Şekil 7.8. 9 9 mm kalınlıkta Soğuk İş Takım Çeliğinin atış sonrası görüntüsü	61
Şekil 7.9. 9 mm kalınlıkta Titanyum Kaplı numunenin atış sonrası görüntüsü	61
Şekil 7.10. 14 mm kalınlıktaki numunenin atış sonrası görüntüsü	62
Şekil 7.11. 14 mm kalınlıktaki Titanyum Nitrit kaplı numunenin atış sonrası görüntüsü	62

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1. *7.62 ve **14.5 mm zırh delici mermilerine karşı zırh malzemeleri	2
Çizelge 2.1. Balistik koruma grupları	3
Çizelge 2.2. Zırhlı çeliklerde imalat işlemleri doğrultusunda arzulanan özellikler	5
Çizelge 2.3. Zırh çeliklerinin karşılaştırması; dikdörtgen plaka, sac kalınlığı: 25.4 mm	6
Çizelge 2.4. Zırh çeliklerinin kimyasal bileşimleri	7
Çizelge 2.5. Tablo 2.3’de yer alan zırh çeliklerinin mekanik özellikleri.	7
Çizelge 3.1. 1040 Nolu İmalat Çeliğinin Kimyasal Yapısı	13
Çizelge 3.2. Malzemenin Mekanik Özellikleri	13
Çizelge 3.3. 1040 nolu çeliğinin ebatlarının ve sertlik değerlerinin gösterimi	14
Çizelge 3.4. Soğuk İş Takım çeliğinin kimyasal analizi	14
Çizelge 3.5. 2842 Nolu çeliğinin ebatlarının ve sertlik değerlerinin gösterimi	15
Çizelge 4.1. Numunelerin Titanyum Nitrit kaplama kalınlıkları	24
Çizelge 5.1. Mermilerin karakteristikleri	35
Çizelge 5.2. Balistik testte kullanılan mermi özellikleri	41
Çizelge 6.1. Bazı ulusal ve uluslararası balistik koruyucu standartlar	47
Çizelge 6.2. NIJ Standardı 0101.04	48
Çizelge 6.3. NIJ-STD-0101.06’a göre balistik test kriterleri	50
Çizelge 7.1. Yukardaki plaka üzerine yapılan atış verileri ve belirlenen V ₅₀ Balistik Limit değeri.	60
Çizelge 7.2. Atış sonrası numuneyi geçen merminin hızları	60
Çizelge 7.3. Atış sonrası numuneyi geçen merminin hızları	63
Çizelge 8.1. İmalat Çeliği Enerji sönümlleme oranları	64

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

AK	: Avtomat Kalashnikova
AP	: Armour Piercing
D	: Mermi Çapı
HB	: Sertlik Ölçü Birimi
L_a	: Mermi Boyu
L_n	: Mermi Uzunluğu
M	: Mermi Kütlesi
NIJ	: National Institute of Justice
P_p	: Mermi Yoğunluğu
PVD	: Pyhsical Vapour Deposition
RHA	: Rolled Homogeneous Armor
SSCB	: Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği
TiN	: Titanyum Nitrit

TEŞEKKÜR

Sayın Doç. Dr. Murat PAKDİL'e araştırma boyunca anlayış ve rehberliği için en derin teşekkürlerimi sunarım. Görüş ve Düşünceleri ile beni aydınlatan Tahsin ÇINAR'a özellikle teşekkür ederim. Ayrıca tez süresince Balistik Testlerin yapıldığı Gazi Fişek Fabrikasına desteklerinden ötürü şükranlarımı belirtmek isterim. Son olarak, tez süresince cesaretlendiren, destek olan, yardım eden aileme teşekkürlerimi sunar, yapılan tez çalışmasını aileme ithaf ederim.



1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlar kendilerini koruma ihtiyacı duymuşlardır. Koruma amacıyla taş ve sopaları silah olarak kullanılmaya başlanmıştır. Zaman içerisinde silahların gelişimine bağlı olarak, kalkan ve zırh ihtiyacı ortaya çıkmıştır. İlk olarak kullanılan zırhlar deriden, ağaçtan ve hindistan cevizi lifinden yapılmıştır (Ford, 2006).

Gelişmekte olan ülkeler bazında savunma sanayisine yönelik araştırma-geliştirme faaliyetleri ile bu çalışmalara mali kaynak getiren askeri projeler gün geçtikçe artmaktadır. Teknolojik gelişmeler modern ateşli silahların geliştirilmesini ivmelendirmekte ve buna ek olarak koruma söz konusu iken koruyucu malzemelerin üretilebilirliğini arttırmaktadır (Atapek, 2006).

Bu nedenle hafif ve dayanıklı zırh malzemelerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ağırlığı azaltmanın en önemli avantajları hareket kabiliyetini arttırmak ve enerji tüketimini azaltmaktır. Kalınlığı azaltılıp kaplama yapılan çelik alaşımları yüksek özgül dayanımlarından dolayı tank, zırhlı personel taşıyıcı gibi uygulamalarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Benzer şekilde titanyum alaşımları da iyi mekanik özelliklerinden dolayı potansiyel zırh malzemeleri arasındadır.

Askeri ve sivil platformlarda modern silahların oluşturduğu tehditlere karşı kullanılabilen çeşitli balistik koruma amaçlı malzemeler Çizelge 1.1’de verilmiştir (Karagöz ve Atapek, 2007).

Çizelge 1.1. *7.62 ve **14.5 mm zırh delici (AP, Armor Piercing) mermilerine karşı zırh malzemeleri (Karagöz ve Atapek, 2007).

Zırh Malzemeleri	
Çelik* -RHA (HB 380) (HB: Sertlik Birimi) -Yüksek Sertlik (HB 550) -İki defa sertleştirilmiş (HB 440-600)	Cam Takviyeli* -E cam (Alümina Silikat Bileşimi) -S cam (Kalsiyum Alüminyum Borosilikat içeren Bileşim)
Alüminyum -5083 alaşımı -7039 alaşımı -2519 alaşımı	Seramik* -Alüminyum oksit -Alüminyum oksit+Al -Bor karbür -Bor Karbür+Al -Titanyum Diborür
Kompozit** (seramik yüzeyli çok katmanlı) -Al+RHA (RHA: Rolled Homogeneous Armor) -Çelik+RHA -E cam+RHA	

Ateşli silahlardan çıkan merminin, penetratörün ya da ateşli parçacığın türü, geometrisi ve penetrasyon kinetiğine göre koruyucu malzeme seçimi söz konusudur. Tüm bu malzemeler arasında homojen haddelenmiş zırh çelikleri (RHA, Rolled Homogeneous Armor) özellikle askeri platformlarda çok çeşitli personel ve mühimmat taşıyan araçlarda koruyucu malzeme olarak kullanılmaktadır (Karagöz ve Atapek, 2007).

2. ZIRH ÇELİKLERİ

Koruyucu amaçlı olarak zırh malzemeleri gerek sivil ve gerekse askeri amaçlı birçok kara, hava, deniz ve hatta uzay aracında kullanım alanı bulmuştur. (Atapek, 2006). Çizelge 2.1’de Balistik Koruma hedef grupları gösterilmiştir.

Günümüzde sivil ve askeri platformda en yoğun tehdidi modern ateşli silahlardan çıkan kinetik enerjili mermiler oluşturmaktadır. Bu mermiler geometrik, mekanik ve kinematik özellikleri açısından çeşitlilik arz etmektedir. Bunların yanı sıra tank gibi belirli bir hedefe yönelik olarak tasarlanan ve çalışma prensibi kinetik enerji mermilerinden oldukça farklı olabilen özel tipte mermilerden de bahsedilmelidir. Merminin hedefe çarpmasıyla başlayan penetrasyon sürecinin fiziksel karakteri, mermi ve hedefe ait özellikler kombinasyonuna bağlı olarak çeşitlilik gösterir (Karagöz vd., 2006).

Çizelge 2.1. Balistik koruma grupları (Atapek, 2006).

Balistik Koruma Hedef Grupları		
Sivil	Polis	Askeri
-VIP Arabaları	-Yelek ve Miğfer	-Vucüt Koruması
-Para Taşıma Arabaları	-Zırhlı Araçlar	-Araç Koruması

Sözü edilen mermilere karşı zırh malzemesi olarak çelik ve alüminyum alaşımları, seramikler, cam ve elyaf takviyeli çeşitli kompozit malzemeler kullanılır (Gillespie, 2001; Shokrieh, 2008; Naik 2004). Günümüzde tank ve benzeri savunma amaçlı araçlarda en yaygın olarak kullanılan zırh malzemesi çeliktir. Bunun başlıca nedeni çeliklerin sahip olduğu yüksek dayanım, yeterli tokluk, iyi kaynaklanabilirlik gibi malzeme özellikleri ve çeliklerin diğer zırh malzemelerine göre daha düşük olan üretim maliyetleridir.

Zırhlı savaş araçları, kinetik penetratörler, yüksek derecede patlayıcı ve parçalayıcı savaş başlıkları gibi değişik karakterli mermilerin çoklu darbesine karşı

çatlamaya, parçacıkların kopmasına ve kırılmaya direnç göstermek mecburiyetindedir. Böylesi bir ortamda iş görecektir yapısal zırh çelikleri yüksek kalitede homojen bir mikro yapı içermelidir. Zırh çelikleri alaşımlı çelikler olup kimyasal kompozisyon açısından kendileri gibi östenitleştirme ve su verme kademesini içerisine alan sertleştirme ile temperleme aşamasından geçen ıslah çelikleri ile benzer bir kompozisyon gösterirler. Nihai konumda bu çelikler yüksek temperlenmiş olup martenzitik bir mikroyapı içerirler. Burada haddeleme ile elde edilecek sac kesitinde sertleştirme ve temperleme sonrası yüksek mukavemet ve tokluk sağlanması amaçlanmıştır. Homojen zırh çelikleri olarak adlandırılan bu çeliklerin kalınlıkları boyunca aynı sertliğe sahip olması beklenmektedir (Lane, 2002; Sangoy 1988).

2.1 Zırh Çeliklerinin Özellikleri

Zırhlı araç yapımında kullanılan zırh çeliklerinin aşağıda bahsedilen özelliklere sahip olması istenir (Sangoy, 1988):

- Balistik darbelere ve perforasyona (delinme) karşı yüksek direnç
- İmalat (kesme, kaynak yapma, şekillendirme vb.) işlemlerinde kolaylık
- İyi bir bakım davranışı, yani uzun kullanım ömrü (örn. yüksek yorulma direnci)

Genel kural olarak zırh çeliğinin delinmeye veya merminin içeri doğru girişine dirençli olması için yüksek mukavemete ve sertliğe sahip olması istenir. Ancak 600 HV üzeri yüksek sertlikler çeliği kırılğan yapacağından sac malzeme alacağı darbe karşısında gevrek kırılacaktır. Dolayısı ile zırh çeliklerinin kimyasal kompozisyonu ve östenitleştirme, su verme ve temperleme gibi ısı işlemleri çok önemlidir. Balistik darbelere karşı direnç yüksek toklukla sağlanabilmektedir. Dolayısıyla zırh çelikleri yüksek darbe tokluğuna sahip olmalıdır (Gálvez, 2009).

Uygulamada imalat güçlüklerini minimumda tutmak için uygun metalürjik özellikler sağlanmalıdır. Çizelge 2.2’de çeşitli üretim aşamaları için en uygun metalürjik koşullar verilmiştir (Sangoy, 1988). Arzulanan özelliklerden mukavemet ve sertlik orta karbonlu çelik seçimiyle gerçekleştirilir. Bu seçimde karbon,

kaynaklanabilirlik arzusu doğrultusunda sınırlanmıştır. Nihai olarak yapılan sertleştirme ve temperleme ısı işlemiyle mukavemet ile tokluk dengelenir.

Zırh çelikleri için önemli bir konu da, hafif veya ağır taşıtların sürekli farklı engebeli arazilerdeki hareketleri ve ağır silah darbelerine karşı kaynak bölgelerinde yorulma dirençlerinin yüksek olmasının gerekliliğidir. Sert zırh çeliklerinde (> 500 HB) gerilmeli korozyon sorunu ortaya çıkabilir. Özellikle gerinimli bölgelerde ve korozif bir ortamla karşılaştığında korozyon artar. Zırh çeliğindeki gelişmeler ile 500-600 HB sertliklere ulaşılmıştır. Artan mukavemet ve sertliğe bağlı olarak tokluk kaybını azaltmak için ikincil metalurjik işlemlerle kükürt ve fosfor çok düşük seviyelere çekilmiştir (Ade, 1991; Jacobi, 1988). Üretimde ise kontrollü haddeleme ve termomekanik işleme tekniklerinin uygulanmasıyla mekanik özellikler geliştirilmiştir (Ade, 1991; Matsubara, 1972; Manganello, 1993).

Çizelge 2.2. Zırhlı çeliklerde imalat işlemleri doğrultusunda arzulanan özellikler (Sangoy, 1988).

	İmalat İşlemleri			
	Isıl Kesme	Kaynak	Talaşlı İmalat	Şekillendirme
Gerekli Metalurjik Özellikler	-Düşük Karbon eşdeğeri -Sınırlı segregasyon -Çok düşük hidrojen miktarı -Düşük Kalıntı Gerilme	-Düşük Karbon Eşdeğeri -Düşük Hidrojen miktarı -Düşük kalıntı gerilmeleri	-Yüksek olmayan sertlik	-Yüksek Süneklik

Çizelge 2.3’de genelde kullanılan zırh çeliklerinin alaşım kimyası ve karbon eşdeğeri doğrultusunda mekanik özellikleri ile balistik performansları karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Ford, 2006).

Çizelge 2.3’de verilen tüm zırh malzemeleri su verilmiş ve temperlenmiş düşük alaşımlı çeliklerdir. Sınıf I tipi çelikler standart zırh çelikleridir ve çoğu araç uygulamalarında kullanılır. Sınıf II tipi çelikler benzer kimyasal kompozisyona sahiptir, ancak penetrasyondan ziyade şokun önemli olduğu uygulamalar için daha

yüksek temperlenir. Yüksek sertlik türleri genelde penetrasyon direnci ile ağırlık azaltmanın önemli olduğu durumlarda uygulanır. Döküm malzemeler ise karmaşık şekilli parçalarda kullanılır. Görüldüğü gibi standart zırh çeliği ile karşılaştırmada yüksek sertlikteki zırh çeliklerinin balistik performansı % 20 daha yüksek döküm malzemenin ise % 13 daha düşüktür (Karagöz, 2007).

Çizelge 2.3. Zırh çeliklerinin karşılaştırması; dikdörtgen plaka, sac kalınlığı: 25.4 mm (Ford, 2006).

Zırh Çeliği türü	Sertlik (HRC)	Tokluk*	Balistik Performans*	Alaşım Kimyası	Karbon Eşdeğeri
Sınıf I (MIL-A-12560)	34-40	21.6	1.00	Mn-Mo-B	0.64
Sınıf II (MIL-A-12560)	29-34	28	Şok Direnç	Mn-Mo-B	0.64
Yüksek Sertlikte Plaka (MIL-A-46100)	50-53	13.5	1.20	Cr-Ni-Mo	0.85
Döküm (MIL-A-113596)	32-38	16.3	0.87	Cr-Ni-Mo	0.78

2.2 Zırh Çeliklerinin Fiziksel Özellikleri

2.2.1 Zırh Çeliklerinde alaşımlama

Çizelge 2.4’de birkaç zırh çeliğinin kimyasal kompozisyonu verilmiştir (Manganello, 1993; MIL-A-46100D(MR), 1988; MIL-A-12560H (MR), 1990; Thyssen Specification, Mars 190, 240, 270 Specification; Alloy Steel (1990). Bu çeliklerin özellikleri ise Çizelge 2.5’de sunulmuştur (Manganello, 1993; MIL-A-46100D(MR), 1988; MIL-A-12560H (MR), 1990; Thyssen Specification, Mars 190, 240, 270 Specification; Alloy Steel (1990). Günümüzde kullanılan MIL-A-12560 çeliği birçok uygulamada kullanılan standart zırh çeliğidir. Yüksek sertliğe sahip MIL-A-46100 çeliği ise balistik korumanın MIL-A-12560’a göre % 20 daha etkili olduğu (14.5 mm AP) bir zırh çeliğidir. Çizelge 2.3’de verilen temel alaşım elementlerinin yanı sıra bu tür çelikler, vanadyum, titanyum, niobyum, alüminyum, bor gibi mikroalaşım elementleri de içerebilir.

Çizelge 2.4. Zırh çeliklerinin kimyasal bileşimleri (Manganello, 1993; MIL-A 46100D(MR), 1988; MIL-A-12560H (MR), 1990; Thyssen Specification, Mars 190, 240, 270 Specification; Alloy Steel (1990).

Kimyasa l Bileşim(%)	MIL-A- 12560 (Mars 190)	MIL-A- 46100 (Mars 240)	MIL-A 46173 (Mars 270)	Mars 300	XH 129	Armox 440 T
Karbon	<30	<30	0.37 maks.	0.45-0.55	0.26-0.32	0.21
Mangan	1.20	0.95	0.90	0.3-0.7	0.1-0.4	1.2
Kükürt	0.005	0.005	0.005	0.005	≤0.01	0.01
Fosfor	0.012	0.012	0.012	0.012	≤0.015	0.01
Silisyum	0.2-0.4	0.2-0.4	0.2-0.4	0.6-1.0	0.1-0.4	0.1-0.5
Nikel	1.80 maks.	1.85 maks.	3.00 min.	4.5 maks.	-	2.5
Krom	1.00	1.6	1.90 maks.	0.4 maks.	1.0-1.5	1.00
Molibde n	0.3-0.5	0.5	0.3-0.5	0.3-0.5	0.1-0.5	0.7

Çizelge 2.4’de verilen zırh çeliklerinin ilk üçü düşük karbonlu çeliklerdir. Bu çeliklerin kimyasal bileşiminde verilen maksimum karbon miktarı % 0.3 civarındadır ve daha düşük seviyelerdeki karbon miktarı, tokluk ile kaynaklanabilirlik açısından tercih edilir.

Çizelge 2.5. Çizelge 2.4’de yer alan zırh çeliklerinin mekanik özellikleri. (Manganello, 1993; MIL-A 46100D(MR), 1988; MIL-A-12560H (MR), 1990; Thyssen Specification, Mars 190, 240, 270 Specification; Alloy Steel (1990).

* : Isıl işlem konumuna göre iki özellikler grubu verilmiştir.

** : δ_y = Akma Mukavemeti, ζT = Çekme Mukavemeti.

*** : Çentik darbe tokluk (-40 °C, J/mm²)

Özellik	MIL-A- 12560 (Mars 190)	MIL-A- 46100 (Mars 240)	MIL-A 46173 (Mars 270)	Mars 300	XH 129*		Armox 440 T
Sertlik (HB)	277-388	477-534	477-601	578-655	400- 450	480- 530	420-480
δ_y (MPa)**	1150	≥1100	≥1100	≥1300	1200	1300	≥1100
δt (MPa)**	1250	≥1600	≥1700	≥2000	1375	1600	≥1300- 1500
Uzama(%)	≥10	≥9	≥8	≥6	10	9	≥10
Tokluk***	20-30	30-40	30	15	16	14	30

Zırh eliklerinin düşük karbonlu olması darbe dayanımı açısından önemlidir. Zırh eliğinin içindeki alaşım elementleri, özellikle de karbon, kaynaklanabilirliğı önemli ölçüde etkiler. Karbon miktarı arttıkça kaynak bölgesinde çatlak oluşum özelliğı artar. Bu tür çatlaklar elik performansını olumsuz yönde etkilediğinden kaynak sonrası bazı işlemlerle bunların giderilmesi gerekir. Ek işlemlerin üretim maliyetlerini olumsuz yönde etkilemesi nedeniyle bu tür çeliklerin düşük karbonlu olması iyi kaynaklanabilirlik açısından da gereklidir. Dolayısıyla zırh çeliklerinin düşük karbon içermesi tokluk ve kaynaklanabilirlik özellikleri açısından son derece önemlidir. Her iki özellik de zırh çeliklerinin etkin olarak kullanımında belirleyici bir role sahiptir.

Gerek yüksek sertlik değerleri gerekse de yüksek akma dayanım değerleri nedeniyle düşük karbonlu elik türlerinin dışında kimyasal bileşimdeki karbon miktarı daha yüksek (% 0.37-0.55) elik türleri de, rn. MIL-A-46173 (Mars 270) ve Mars 300 zırhlı araçlarda kullanım alanı bulmaktadır (Karagöz, 2007).

2.2.2.Zırh eliklerinde Gelişmeler ve Mikroyapısal Yaklaşımlar

Tarihsel açıdan zırh ele alınacak olursa ilk kullanımları milattan önce 1500 yıllarında eski Mısır toplumlarına ait olup bronz esaslı plakaları içeren gömlek tipindeki kıyafetlerden ibarettir. Bunun yanında milattan önce 900-600 yılları arasında ise Asurlular küçük dikdörtgen şekilli ve çok katlı birbirine göre paralel dizili bronz esaslı tabakalardan oluşun zırh kıyafetlerini kullanmıştır. Asurlular aynı zamanda bronz miğfer, kalkan ve kolluk kullanan ilk toplumdur. Milattan nce VIII. YY’da ise Yunanlılar n ve arka olmak üzere iki parçalı st zırhları ile diz ve kolları kuşatan bronz esaslı zırhları geliştirmişlerdir. Romalılar, Yunanlılardan etkilenip o dönemlerde askeri kuşanımlarını tamamen değiştirip benzer bir tarz oluşturmuştur. Bu tarz askeri kuşanım, milattan sonraki dönemlerde de devam etmiştir. Ancak bu dönemlerde bronzun yanı sıra demir esaslı zırhlar da yapılmış ve özellikle Avrupa tarihinde özel bir yeri olan şövalyelik açısından önem kazanmıştır. Tüm bu zamanlar içerisinde miğfer, kalkan gibi askeri araç-gereçlerde yeni tarz biçimlendirilmelere yönelimlere katkı olarak darbelere dayanıklı malzemelere de doğru bir arayış içerisine girilmiştir (Middleages, 2009; Globalsecurity, 2010; Karagöz vd., 2008).

Bu malzemeler arasında demir ve demir esaslı bir alaşım ürünü olan elik popöler olmuştur. Günümüzde ise özellikle elik ve elik ailesine giren alaşımlar zırh teknolojisinde öne çıkan malzeme gruplarıdır (Middleages, 2009; Globalsecurity, 2010; Karagöz vd., 2008).

Son elli yıl zarfında birçok askeri ve güvenlik şartnameleri yüksek hızlarda çarpışmalara maruz kalan zırh çeliklerinin özelliklerinin tahmini için geliştirilmiştir. şimdiye kadar sertlik, çekme ve darbe özellikleri (kısmen akma mukavemeti, çekme mukavemeti, oda sıcaklığında uzama, -40°C’de yapılan Charpy-V entikli darbe enerjisi) çoğu zırh çeliğinin başlıca tasarım parametreleri olarak değerlendirilmiştir. Askeri ve güvenlik uygulamaları için güncel şartnameler minimum 540-600 HB veya 55-60 HRC sertlikleri ile minimum 1500 MPa akma mukavemeti, 1700 MPa ekme mukavemeti ve bunun yanında -40 °C’de 13 J/mm² gibi Charpy-V entikli darbe enerjisi, % 6 uzama gibi mekanik özellikler gerektirir. Bu gereksinimler yıllardır 8.5 - 30 mm kalınlıkta çoğu zırh plakası için uygun kimyasal kompozisyon ve ısııl işlem parametreleri ile başarılı bir şekilde sağlanmaktadır (Maweja, vd., 2008; Jena vd., 2010; Demir vd., 2008; Jena vd., 2006)

Bu çalışmada ise zırh eliklerinin Kontrollü bir malzeme olması, temini konusunda zorluklar yaşanması ve maliyetleri yüksek olmasından dolayı piyasada rahatlıkla bulabileceğimiz imalat çeliği ve soğuk iş takım çeliği kullanılmış, balistik özellikleri incelenmiştir. Ülkemizde temini konusunda sorun yaşanmayan eliklerin PVD kaplama yöntemiyle TiN (Titanyum Nitrit) kaplanarak balistik başarımlarının araştırılması amaçlanmıştır.

3. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

3.1 Numune Tutma Aparatı

Balistik testlerde genellikle test edilecek olan hedef malzemenin arkasına kimi zaman ahşap kimi zaman ise metal blok yerleştirilmektedir. Hedef arkasındaki desteğin görevi; numunelerin ebatlarının küçük olmasından dolayı numuneleri tutma görevi görmektedir.

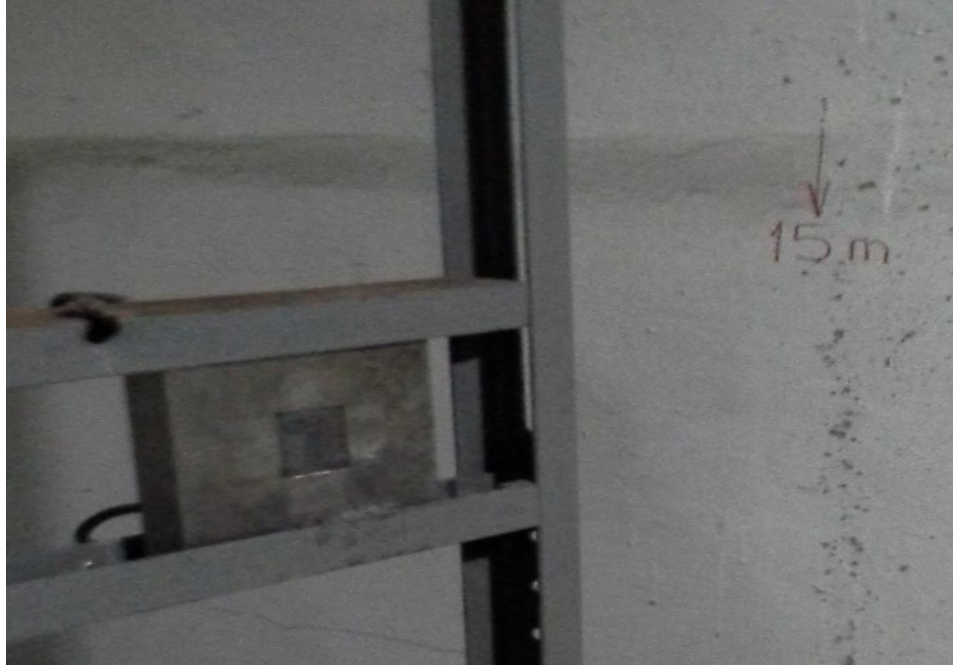
Balistik inceleme yapılacak olan numunelerin ebatları küçük seçilmiştir. Ebatların küçük seçilmesinin nedenleri kullanılacak olan malzemelerin zor temin edilmesi, kaplama yöntemlerinin maliyeti gibi sebeplerdir. Bu nedenlerden ötürü numuneleri yerleştirebileceğimiz özel bir aparat hazırlanmıştır. Aparatın hazırlandıktan sonraki hali ve 15 metrede sisteme montajı yapıldıktan sonraki görüntüleri sunulmuştur.



Şekil 3.1. Üretilen aparatın son hali.



Şekil 3.2. Aparatın bağlanarak hazır hale getirilmiş durumu.



Şekil 3.3. Numunenin aparatı konulmuş hali.

3.2 Balistik Başarımı İncelenecek Çelikler

Karbonlu eliklerin tüm özellikleri, içerdikleri karbon miktarına bağlı olarak, sahip oldukları yapılarla doğrudan ilişkilidir.

Artan karbon miktarı ile çeliklerde sertlik, akma ve çekme dayanımı artarken, süneklik (% uzama ve % kesit daralması) ve darbe dayanım özellikleri azalmaktadır. Karbon miktarının artışı (bu özelliklere bağlı olarak) eliklerin plastik şekil alma kabiliyetlerinde düşürücü rol oynamaktadır. Buna karşın martenzitik faz değiştirmede çok önemli ve etkili bir element olarak, çeliklerin su verme adını verdiğimiz mekanizma ile sertleştirebilmelerini mümkün kılmaktadır. Karbon miktarındaki artış çeliğin su alma kabiliyeti ile kaynak kabiliyeti üzerine ters etkiye bulunmaktadır. Düşük karbonlu çelikler, karbon içeriğine göre üç grup içerisinde ayrıma tabi tutulabilmektedirler.

Düşük Karbonlu elikler, % 0,20'ye kadar karbon içeren çelikler dahil edilebilirler. Mekanik zellikleri göz önünde bulundurularak yumuşak çelikler olarak da tanınırlar. Düşük karbonlu çelikler dünya elik üretiminin en büyük miktarını kapsarlar. Bilhassa yassı mamuller ile inşaat sektörü ve temel yapılarda kullanılan elik çubuk ve profiller düşük karbonlu çelikler sınıfındadırlar. Düşük karbonlu çelikler, düşük karbon içeriklerinden dolayı, ısıl işlem ile kütlesel olarak yeterince sertleştirilemezler. Ancak, sementasyon, nitrasyon vb. yüzey sertleştirme işlemleri yüzeyleri sertleştirilebilir. Orta Karbonlu elikler, % 0,20-0,60 arasında karbon ihtiva eden çeliklerdir. Karbon miktarına bağlı olarak orta derecede mekanik özelliklere sahiptirler. Bu gruptaki çeliklerin en büyük özellikleri, ısıl işlemle yeteri derecede sertleştirilebilmeleridir. Bu bakımdan orta karbonlu çeliklerin kullanım sahaları özellik arz eder. Bilhassa makine imalat sanayinin tercih ettiği çeliklerdir. İşlenebilme ve şekil alabilme kabiliyetleri düşük karbonlu çeliklere nazaran daha düşüktür. Bu gruptaki çeliklerin kaynak kabiliyetleri de az karbonlu çeliklere nazaran düşüktür. Zira kaynak esnasında meydana gelen kontrolsüz ısıl etkiler çeliğin yapısal değişiminin de kontrolsüz olmasına sebebiyet verir. Bunun neticesinde malzemelerde hatalara sebep olabilir. Bu sebepten dolayı orta karbonlu çeliklerin bilhassa alaşım elementi ihtiva edenlerinin kaynak işlemlerinde özel itina göstermek gerekir. Yüksek Karbonlu elikler % 0.60'dan daha fazla karbon ihtiva eden çeliklerdir. Normal halde yüksek mukavemetli ve sünekliliği az olan çeliklerdir. Isıl işlemlerle

sertleştirilmeleri sayesinde yüksek sertlik kazanırlar. Bu bakımdan aşınmaya dayanıklı ve kesici özelliğe sahiptirler (Cömert Çelik, 2015).

İşlenme ve şekil alabilme kabiliyetleri, düşük ve orta karbonlu çeliklere göre daha düşüktür. Kaynak kabiliyetleri de düşük olup daha özel tekniklerle kaynakları yapılabilir. Bu gruptaki çelikler daha ziyade takım üretiminde kullanılırlar (Cömert Çelik, 2015).

Yüksek karbonlu çeliklerin bileşiminde bulunan karbon miktarının sınırı, demir-karbon denge diyagramı gereğince % 2'ye kadar çıkabilirse de, tatbikatta bu değer % 1,2-1,4 ile sınırlıdır. Özellikle yüksek karbonlu çelikler, düşük ve orta karbonlu çeliklere göre daha kolay su alabilirler ve elde edilen martenzitik yapının sertliği de daha fazladır (Cömert Çelik, 2015).

3.3 1040 Nolu İmalat Çeliği

Alaşımsız çeliklerdir. İçerdikleri yüksek oranda karbon miktarından dolayı karbon çelikleri olarakta bilinirler. Sertleşebilirlikleri içerdikleri karbon miktarına paralel olarak artarken toklukları ise karbon miktarı ile ters orantılıdır (Ayhan Çelik, 2015). Aşağıda balistik başarımlı incelenecek 1040 No'lu İmalat çeliğinin kimyasal spektrumunu verilmiştir.

Çizelge 3.1. 1040 Nolu İmalat Çeliğinin Kimyasal Yapısı.

Malzemenin Kimyasal Bileşimi			
Element	C	Si	Mn
% Bileşim	%0.45-0.54	%0.15-0.35	%0.60-0.96

Çizelge 3.2. Malzemenin Mekanik Özellikleri.

Malzeme	Çekme Mukavemeti	Akma Mukavemeti	Uzama(%)
1040 İmalat Çeliği	590-785 N/mm ²	325-395 N/mm ²	16-20

Balistik incelemesi yapılacak olan 1040 Nolu imalat çeliğinin ebatları ve sertlik değerleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Sertlik değerleri 3 kg yük altında, ortalama 8 saniye süre ile tutulmuş, Vickers ölçüm cihazı ile ölçülmüş, farklı alanlardan 3 ölçüm alınmış olup ortalama değeri yazılmış ve piramid elmas uç kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. 1040 Nolu çeliğinin ebatlarının ve sertlik değerlerinin gösterimi.

1040 Nolu İmalat Çeliğinin Kalınlığı	Genişlik	Uzunluk	Titanyum Kaplama Kalınlığı	Sertlik Değerleri (HV)
9 mm	50 mm	50 mm	-	514
9 mm	50 mm	50 mm	1.120 mikron	435
14 mm	50 mm	50 mm	-	516
14 mm	50 mm	50 mm	1 mikron	571

Malzemenin sertlik değerlerine bakıldığında farklılıklar görülmüştür. PVD yöntemi yaklaşık 300°C’de yapılmıştır. 300°C’de 9 mm kalınlıktaki malzemenin iç yapısında değişiklikler meydana gelmiş ve daha tok bir malzeme haline dönüştüğü yapılan balistik inceleme sonrası ortaya çıkmıştır. 14 mm’lik numune ise daha kalın olduğu için anılan sıcaklığın iç yapıya nüfuz etmesi zor olmasından malzemeyi sertleştirmiş, balistik inceleme sonrası daha gevrek kırmıştır.



Şekil 3.4. İmalat çeliği ile titanyum kaplı numunenin görüntüsü.

3.4 2842 Nolu Soğuk İş Takım Çeliğinin Hazırlanması

2842 Nolu Soğuk İş Çeliği daha sert, daha yüksek dayanımlı ve aşınmaya dirençli olan bir çeliktir. Yüksek Karbonlu çelik türünden olup Çizelge 3.4'te kimyasal spekturumu verilmiştir.

Çizelge 3.4. Soğuk İş Takım çeliğinin kimyasal analizi.

Malzemenin Kimyasal Bileşimi							
Element	C	Si	Mn	P	Cr	V	S
%	0,85-	0,10-	1,90-	0,0030	0,20-	0,05-	0,030
Bileşim	0,95	0,40	2,10		0,50	0,15	

Soğuk İş Takım Çeliklerinin sertlik değerleri belirli sıcaklıklarda değişmektedir. Balistik incelemesi yapılan numunelerin yaklaşık olarak 300°C de sertlik değerleri 55-59 HRC'dir.

Balistik incelemesi yapılacak olan 2842 Nolu soğuk iş takım çeliğinin ebatları ve sertlik değerleri verilmiştir. Sertlik değerleri 3 kg yük altında, Vickers ölçüm cihazı ile ölçülmüş, farklı alanlardan 3 ölçüm alınmış olup ortalama değeri yazılmış ve piramid elmas uç kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. 2842 Nolu çeliğinin ebatlarının ve sertlik değerlerinin gösterimi.

2842 Nolu Soğuk İş Takım Çeliğin Kalınlığı	Genişlik	Uzunluk	Titanyum Kaplama Kalınlığı	Sertlik Değerleri (HV)
9 mm	50 mm	50 mm		596
9 mm	50 mm	50 mm	1.230 mikron	562
14 mm	50 mm	50 mm		590
14 mm	50 mm	50 mm	1.600 mikron	600

Malzemenin sertlik değerlerine bakıldığında farklılıklar görölmüştür. 9 mm kalınlıktaki malzeme ile 14 mm kalınlıktaki malzemenin iç yapısında pek bir değişim meydana gelmemiş, balistik inceleme sonuçları bunu doğrulaşmıştır. Malzeme gevrek şekilde kırılmıştır.

4. KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Yüzeylerin kaplanması için değişik yöntemler mevcuttur; bunların başında kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlerle malzemelerin kaplanması gelmektedir. Günümüze kadar bu yöntemlerle malzemelerin kaplanması korozyondan korunma ve dekoratif görüntü kazandırma amaçlarıyla yapılmıştır. Aşınmaya dayanıklı kaplama üretimi için ise sert malzemelerin yüzeye biriktirilmesi gerekmektedir. Bunları elektrokimyasal yollarla üretmek mümkün değildir (YTÜ, 2015).

Sert malzemelerin, başka malzemelerin yüzeyleri üzerine kaplanması işlemi için “fiziksel buhar yoğuştırma” (PVD) ya da “kimyasal buhar yoğuştırma” (CVD) tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Fiziksel buhar yoğuştırma işleminde, elde edilen yüksek sıcaklıklı buhar gazı soğuk altlık yüzeyine çarptığında fiziksel olarak yoğuşmaya zorlanmaktadır. Bu arada yoğuşmaya iten güç, buharın, soğuk altlık yüzeyinde hızla katı sıcaklığına düşürülmesidir (YTÜ, 2015).

Kaplama malzemesini buharlaştırarak ya da ortama sıçratarak altlık malzeme yüzeyine yoğuştırulması işlemleri özellikle vakum teknolojisindeki gelişmeler birlikte ortaya çıkmış ve kullanımını yaygınlaştırmıştır. Sert malzemeler veya bunların bileşenleri çoğu zaman yüksek ergime sıcaklığına sahiptir ve bunları ortam basıncında eritmek dahi zorlu bir işlemdir. Ancak düşük basınçlarda maddelerin ergime sıcaklıkları düşmekte ve buharlaşma sıcaklığı aşağılara çekilmektedir. Buharlaştırmanın kolay yapılabilmesinin yanında elde edilen buharın kaplanmak istenen altlık yüzeyine transferi için de düşük yoğunluklu bir ortama ihtiyaç duyulur. Aksi takdirde buharlaşan parçacıklar atmosfer içindeki gaz parçacıklarıyla çarpışarak ortam içinde yoğuşacaklardır. Bu nedenle düşük basınç ya da yüksek vakum bu tür teknikler için bir zorunluluktur (YTÜ, 2015).

4.1 Fiziksel Buhar Yoğuşturma (PVD)

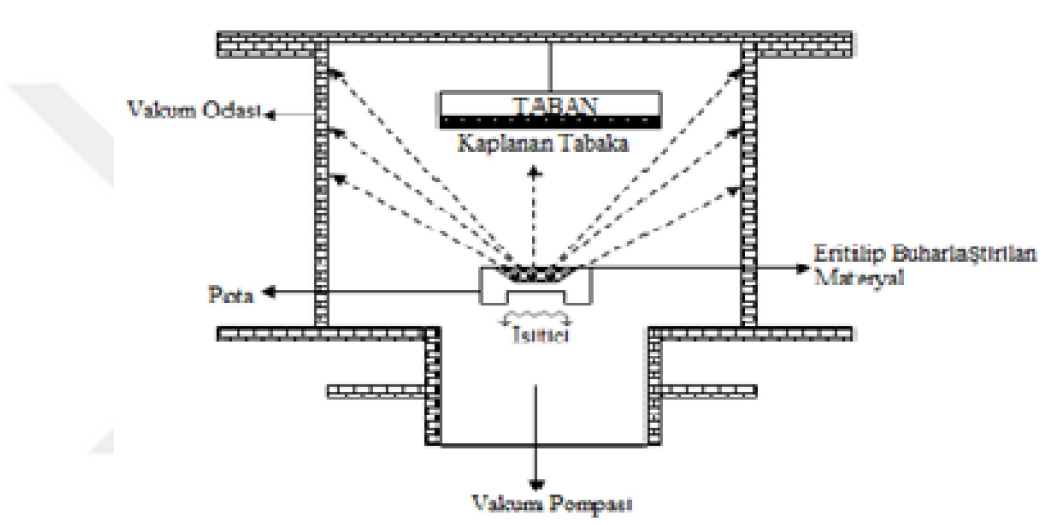
Bir malzemenin (M) çeşitli altlık malzemeleri üzerine ince film ve kaplama şeklinde biriktirilmesi bu M malzemesinin buharının oda sıcaklığına yakın bir sıcaklıktaki altlık malzeme üzerinde yoğuşturulması ile gerçekleştirilebilir. Element veya bileşik şeklindeki M maddesi bir kaynağa yerleştirilerek ya yüksek sıcaklıklara ısıtılarak (buharlaştırma) ya da yeterince yüksek enerjili iyonlarla bombardıman edilerek (sıçratma) buhar haline geçirilir (YTÜ, 2015).

Katı haldeki kaynak malzemesinin yüzeyinden buhar fazına geçecek parçacıkların yüzeyden ayrılması için gerekli olan enerji buharlaştırma tekniğinde ısı enerjisiyle, sıçratma tekniğinde ise bombardıman iyonlarının çarpma enerjisi transferiyle sağlanmaktadır. Kaynağın buharlaştırılması ve bu gazın bir altlık yüzeyinde yoğuşturulması faz dönüşümlerini ve kütle transferini içeren fiziksel temel oluşumları kapsayan bir mekanizmadır. Bu nedenle bu tür kaplama işlemlerine Fiziksel Buhar Yoğuşturma (PVD, Physical Vapour Deposition) teknikleri adı verilmektedir (YTÜ, 2015).

Buharlaştırma tekniğinin temel olgularının ortaya çıkışı sıçratma tekniğine göre daha basit olmuştur, ancak istenen saflıkta ve yapıdaki tabakların yoğuşturulması, çok yüksek vakum sistemlerini gerekli kılan yüksek teknolojik deneysel düzeneklerinin geliştirilmesiyle mümkün olmuştur. 1920'lerde difüzyon pompasının geliştirilmesiyle birlikte kaplama ünitlerinde yüksek vakum değerlerine (yaklaşık 0,1 Pa) ulaşılabilmiş, elektron huzmesiyle buharlaştırma yöntemiyle ayna türü kaplamalar üretmek mümkün olmuştur. Daha sonraki yıllarda daha değişik buharlaştırma teknikleri de türetilmiştir. 1950'lerde elektronik sanayinde iletkenlerde ve dirençlerde ince film uygulamalarının gelişmesi sıçratma tekniğiyle üretilen kaplamalara ilgiyi çok büyük oranlarda arttırmıştır. Özellikle tümleşik devreler için Ta ve Ta₂N gibi refrakter metal ve bileşiklerin üretiminde bu teknikler kullanılmıştır. O yıllarda refrakter metallerin buharlaştırma teknikleri ile üretiminde bazı sorunların

henüz aşılamamış olması, mikroelektronik uygulamaları için sıçratma tekniklerinin yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Günümüzde ise buharlaştırma ve sıçratma tekniğiyle yüzey kaplamaları üretimi mimarı camlardan, gıda ambalaj sanayiine ve mikroelektronik sanayiine kadar çok geniş bir yelpazede kullanılan teknikler haline gelmiştir (YTÜ, 2015).

Kısaca; katı haldeki ham maddenin yüksek enerji ile plazma haline getirilerek, kontrollü olarak, kaplanacak malzemenin üzerine yapıştırılması işlemi olarak özetlenebilir.



Şekil 4.1. PVD Yönteminin gösterimi (Bilgen, 2015).

PVD kaplama tekniğinde; kaplanacak malzeme yüksek vakumlu bir kabine yerleştirilir ve yüksek enerji ile iyonlaştırılmış ve reaktif gazlarla (O_2, N_2) oluşturulmuş plazma ile kaplanır. Kaplamanın homojen olabilmesi için kaplanacak malzemeye maksimum hareket kazandırılır. Arzu edilen kaplama kalınlıkları milimetre seviyesinde olup ancak pratikte micron seviyesinde olabilmektedir. Milimetre seviyesinde kaplama yapıldığında malzeme yüzeyinde dökülmeler meydana gelmektedir. PVD kaplama yapıldıktan sonra kaplama kalınlığının ne kadar kalınlıkta olduğu metalografik muayane yapılarak tespit edilmiştir.

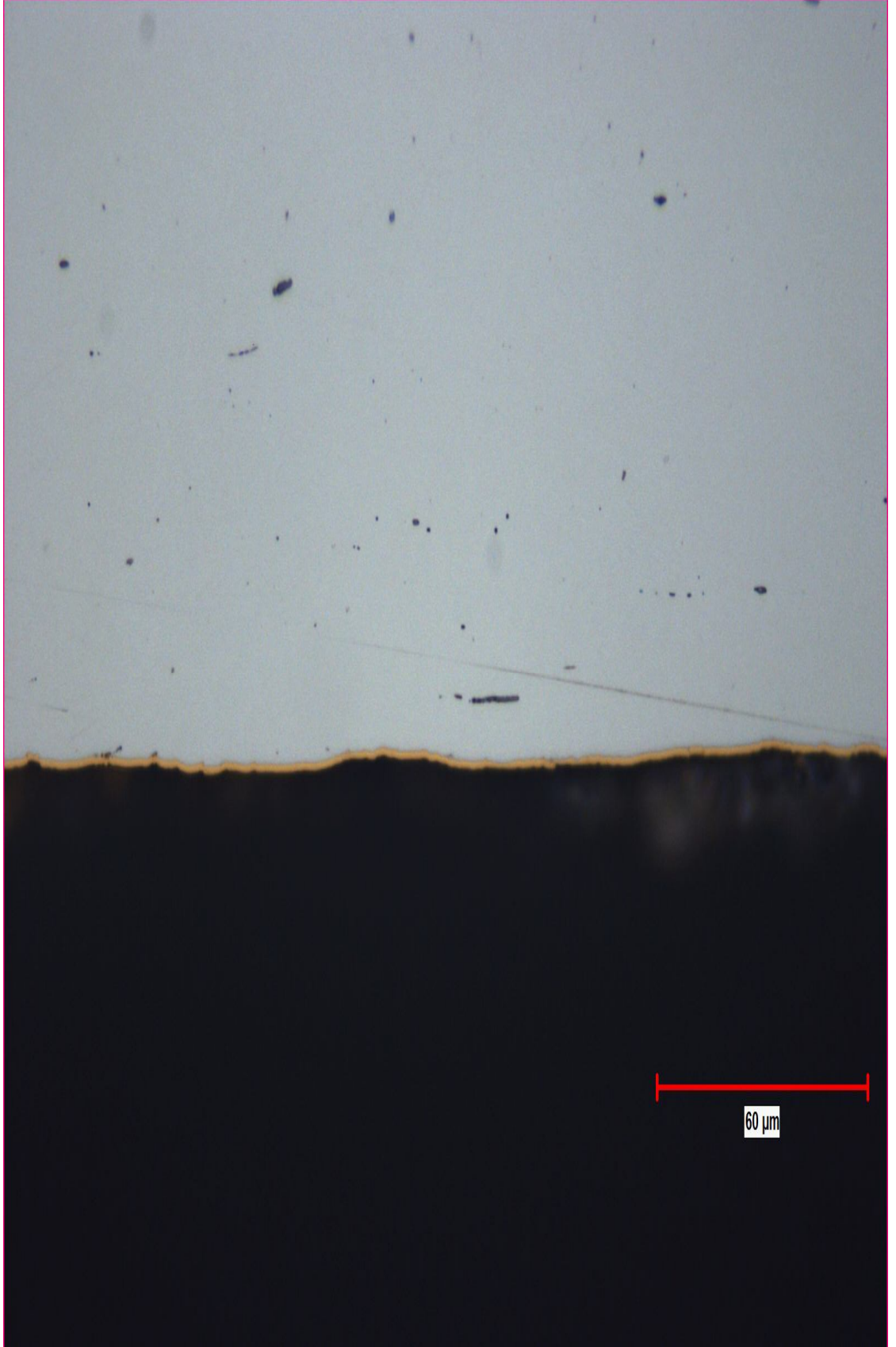
4.2 Kaplama Kalınlıklarının Tespiti

Numunenin yerleştirileceği kalıbın üzerine laboratuvar log numarası yazılır. Vakum cihazına kalıp yerleştirilir, plazma kaplı kuponun kesilmiş yüzeyi yukarıya bakacak şekilde metal ya da plastik klips yardımı ile dik pozisyonda kalıbın içine yerleştirilir. Epofiks reçine ve sertleştirilesi bir kaba konulduktan sonra kaşıkla güzelce karıştırılır. Hazırlanan karışım kalıbın içine yarı hacmini dolduracak şekilde dökülür ve 1-2 dakika vakum uygulanır. Üzerine karışım kalıbı tamamen doldurulacak şekilde dökülür ve 2-4 dakika daha vakum uygulanır. Numuneler donduktan sonra kalıpların üzerlerindeki laboratuvar kütük numarası bakalitin arka kısmına vibropen ile yazılır.

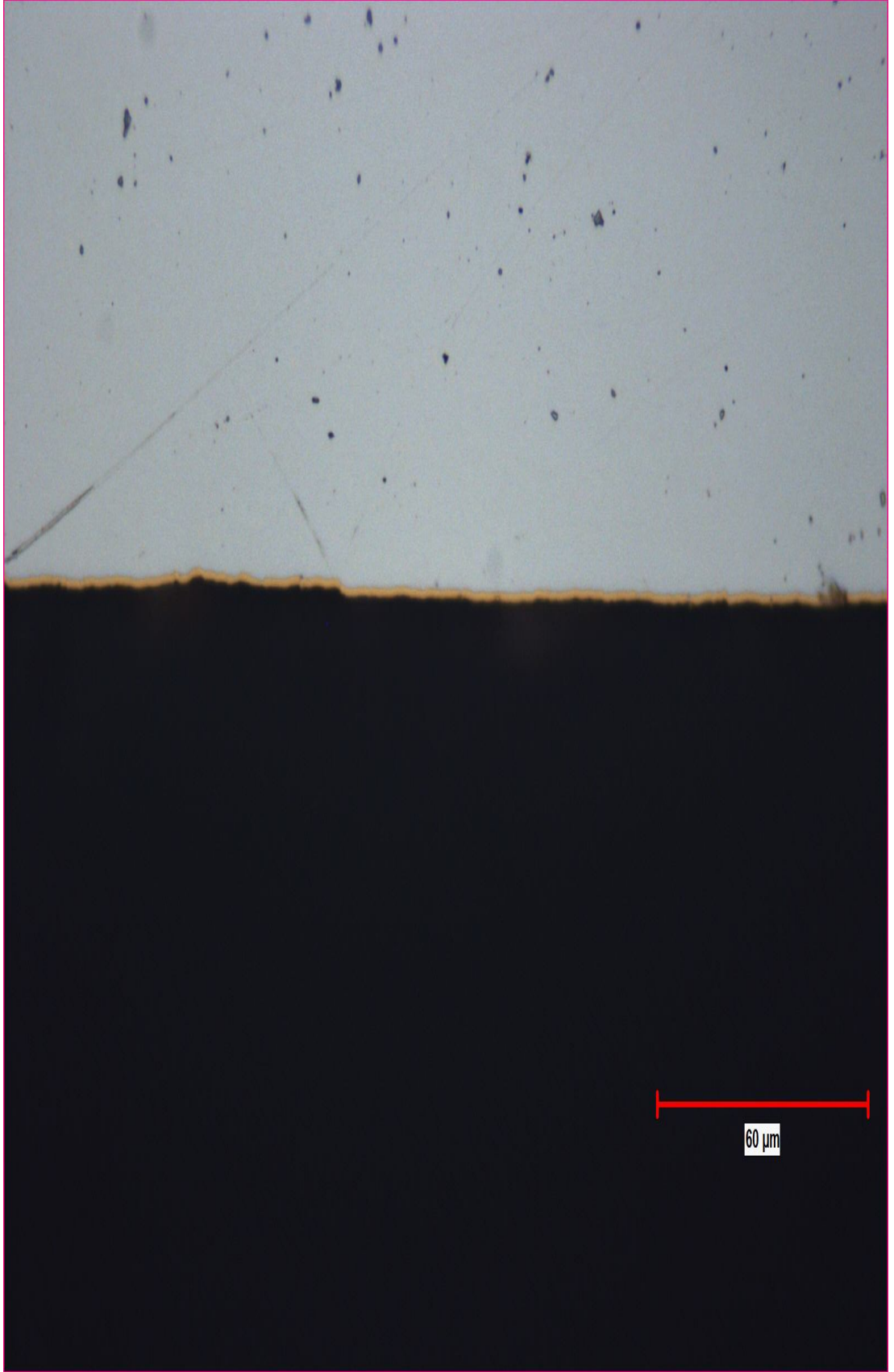
Numunenin kesilen yüzeyi yukarıya bakacak şekilde kalıplama pres kalıbının içine çelik ya da plastik klips ile yerleştirilir. Kupon yerleştirildikten sonra kalıbın yarısına kadar siyah bakalit tozu, geriye kalan yarı hacmine de kırmızı bakalit tozu ile doldurulur. Kalıbın kapağı kapatıldıktan sonra bakalitlenme işlemi başlatılır.

İşlem tamamlandıktan sonra numune makinadan çıkartılmadan yüzey işaretlenir ardından bakalitin arka kısmına laboratuvar kütük numarası vibropen ile yazılır. Zımparalamaya hazır hale gelen bakalitler sabitleyici aparata bağlanarak zımparalanma işlemine tabi tutulur. Kalın zımparadan ince zımparaya doğru zımparalama işlemi devam eder ve her zımpara sonrasında numuneler akan musluk suyunda yıkanır. Zımparalama işleminin ardından numuneler parlatma cihazına bağlanır ve ardından belirtilen parlatma prosedürlerine göre parlatılır. Parlatma işlemi tamamlandıktan sonra numuneler sabitleyici aparattan sökülür, yıkanır ve hava kurutucusunda kurutulur. Parlatılmış yüzey mikroskoba yerleştirilerek uygun büyütme altında incelemeye alınır. İnceleme işlemleri müşterilerin gereklilikleri ve referans fotoğrafları üzerinden gerçekleştirilir. Fiziksel Buharlaştırma yöntemiyle kaplanan numunelerin kaplama kalınlıkları ölçülmüştür. Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil

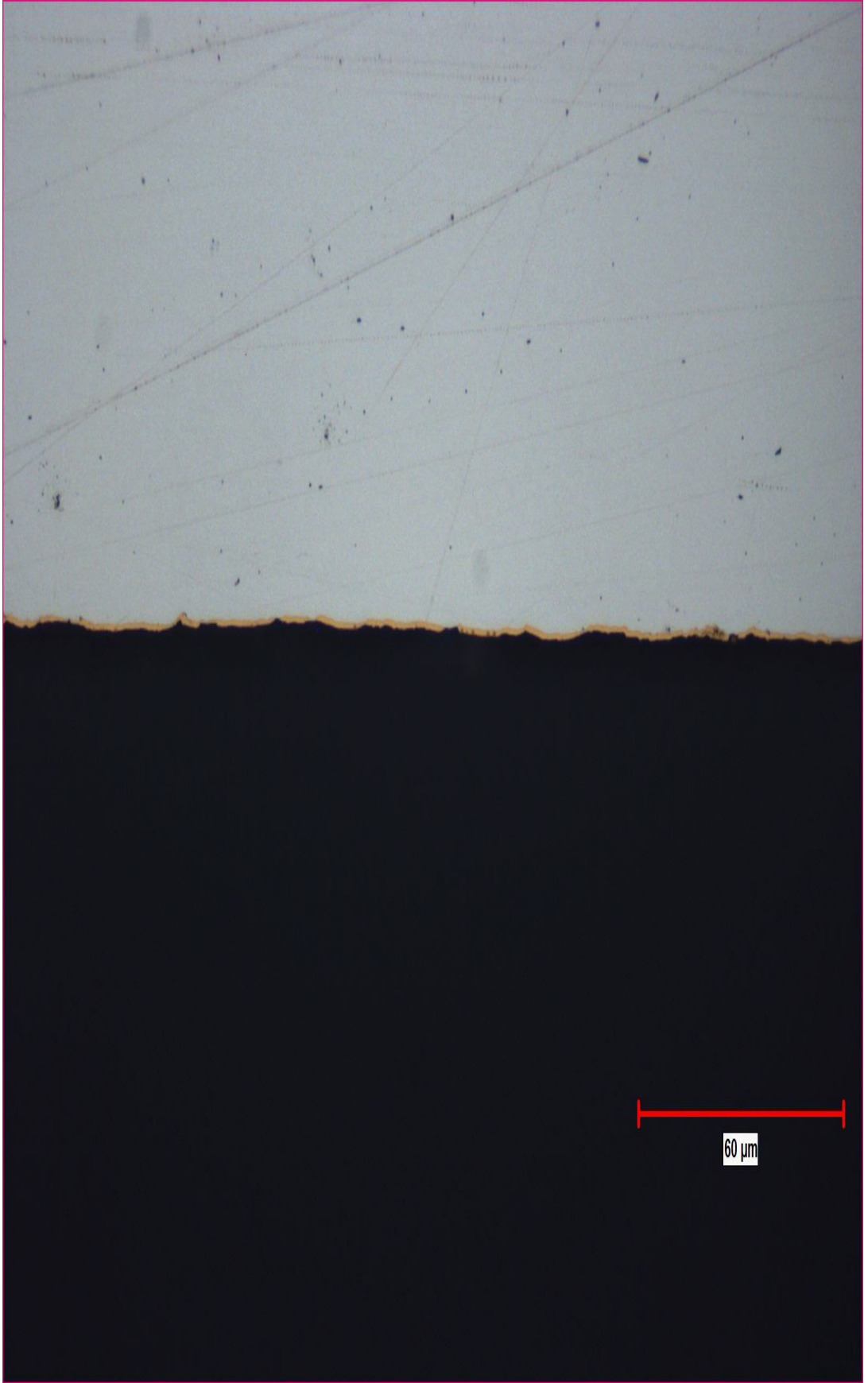
4.4 ve Şekil 4.5 açık renkli kısımlar metal yüzeyini, koyu renkli kısımlar bakalit yüzeyini, aradaki sarı renkli kısım ise kaplamayı göstermektedir.



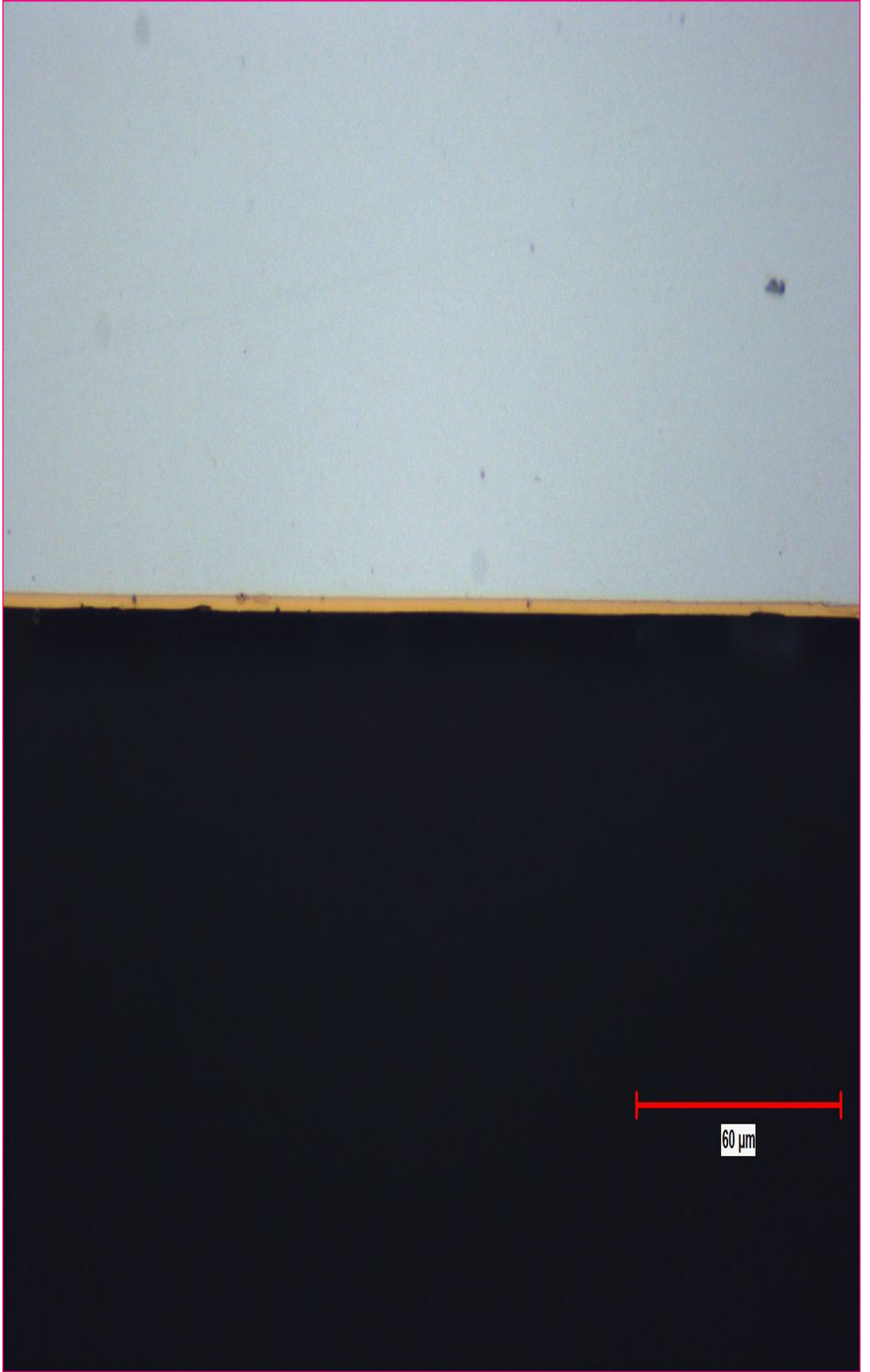
Şekil 4.2. 9 mm 1040 nolu çelik.



Şekil 4.3. 9 mm 2842 nolu çelik.



Şekil 4.4. 14 mm 1040 İmalat Çeliği.



Şekil 4.5. 14 mm 2842 nolu çelik.

Çizelge 4.1’de numunelerin kaplama kalınlıklarının ne kadar kalınlıkta olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Numunelerin Titanyum Nitrit kaplama kalınlıkları.

NUMUNELER	KALINLIK
9 mm 1040 nolu Çelik	1,120 µm
14 mm 1040 nolu Çelik	1 µm
9 mm 2842 nolu Çelik	1,230 µm
14 mm 2842 nolu Çelik	1,600 µm

5. FİŞEKLER

Balistik test uygulanacak numunelere NIJ (National Institute of Justice) standartları kapsamında farklı özelliklerde fişekler kullanılmaktadır. Fişek üreticilerinin birçoğu ABD ve Rusya da yer almaktadır. Balistik testlerde kullanılacak fişeklerin nasıl üretildiğini, ne tür malzemelerden meydana geldiğini, ne tür testlerden geçtiğini test atışlarına geçmeden önce tanımlamak gerekir.

Fişekler tabir edilirken Avrupa Kıtası milimetrik değerleri kullanır. Örnek 12,7x107 mm gibi. Burada 12,7 çekirdeğin mm cinsinden çapı, 107 ise kovanın mm cinsinden uzunluğudur. ABD ve İngiltere ise kalibre terimini kullanılır. ABD 1 inch'in (2,54 cm : 25,4 mm) 1/100'ünü, İngiltere ise 1/1000'ini bir kalibre olarak kabul eder. ABD'de fişeklere örnek olarak .45 derler, veya 45 kalibre derler. Veya .30-30 diye tabir edilir. Burada .30 çekirdeğin çapı (0,30 inch) dır. Tire den sonraki 30 ise fişek ilk üretildiği sırada fişekte kullanılan grain cinsinden (1 Grain: 0,065 Gram) barut ağırlıdır. Inch'i m'ye çevirmek için "inchx0,254" formülü kullanılır. Bir fişegin alt parçaları sırasıyla kovan, barut, kapsül, çekirdektenden oluşmaktadır (Paganx, 2015).

5.1 Kovan

Kovan, mermide çekirdek, barut, ve kapsülü bir arada tutan parçadır. Kovan, mermi bireylerini bir arada tutmaktan başka atış anında genişleyip yuvayı geri tepen gazlardan korur. Kovanlar genelde pirinçten (%70 Bakır %30 Çinko) yapılır. Bazı kovanlarda bu alaşıma destek olarak pirinçten daha dayanıklı olan nikel eklenir. Aynı zamanda çelikten yapılan kovanlar da vardır. Şekil 5.1'de balistik inceleme yapılması sırasında kullanılan fişegin kovani görülmektedir (Paganx, 2015).



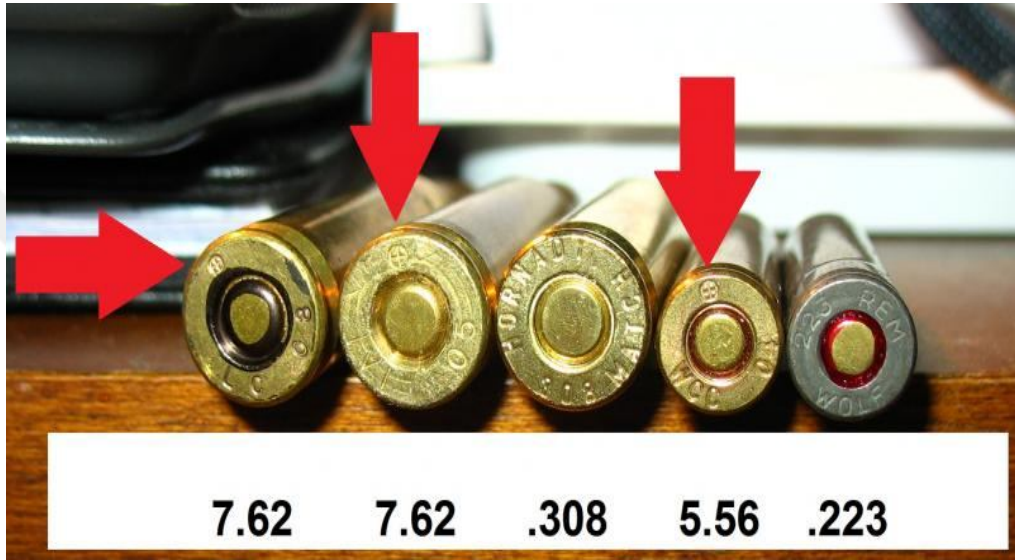
Şekil 5.1. 7.62x51 mm AP kovanı.

5.2 Barut

Tarih boyunca mermilerde hep karabarut kullanıldı; fakat bugün karabaruta alternatif olarak “dumansız barut” vardır. Karabarut (%75 potasyum nitrat, %15 odun kömürü, %15 sülfür) ateşli silahlar ilk icat edildiğinden beri kullanılıyor. Karabarut “dumansız baruta” göre namluda daha çok pislik bırakır. Bu da namlunun sık sık temizlenmesini gerektirir. Dumansız barut (nitroselüloz+nitrogliserin) karabarutun aksine daha stabil ve kalitelidir, ayrıca hapsedilmeden tutuşturulursa patlamaz (Paganx, 2015).

5.3 Kapsül

Kapsül, mermide barutu ateşleyen parçadır. Kapsül kupa, patlayıcı, örs ve alev kanallarından oluşur. İğne kapsüle çarptığı zaman örs kupaya çarpar ve patlayıcı ateşler. Ortaya çıkan kor alev deliklerinden geçip baruta ulaşır. Böylece barut yanar. Nato Standartlı mermilerin kapsülleri arasındaki fark resimde gösterilmiştir (Paganx, 2015).

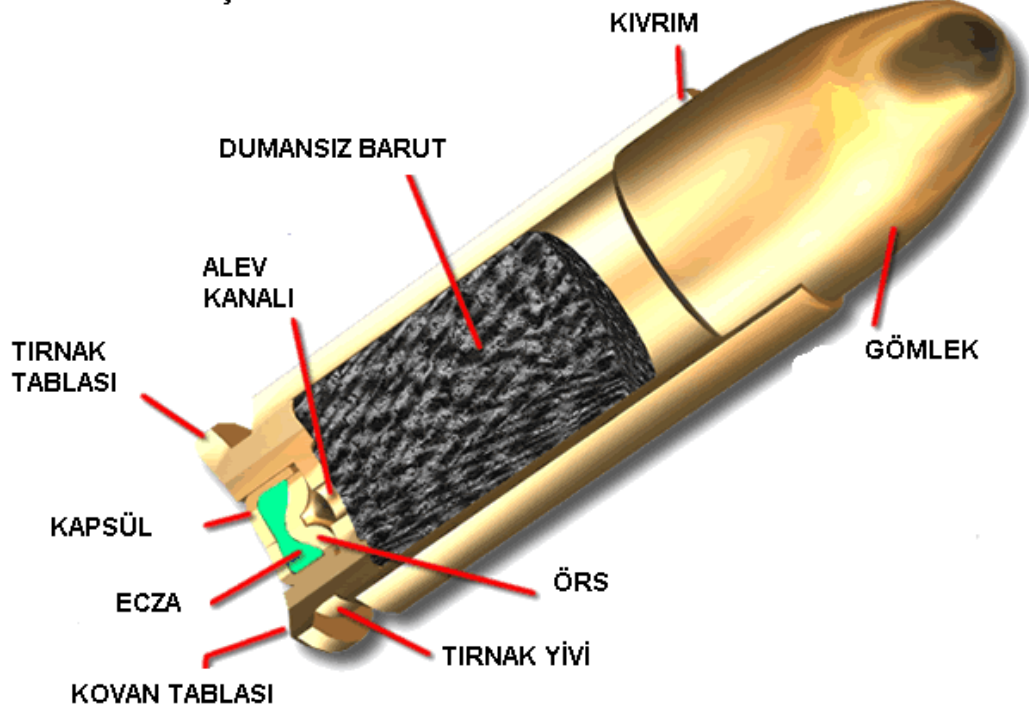


Şekil 5.2. Farklı fişeklerin kapsül gösterimleri (Donanımhaber, 2015).



Şekil 5.3. Fişegi meydana getiren kapsül, kovan, barut ve çekirdek (Donanımhaber, 2015).

TABANCA FİŞEĞİ JMPB



Şekil 5.4. Fişegin Genel görünümü (TabancaTüfek, 2015).

5.4 Çekirdek

Çekirdek, patlamadan sonra namluyu terk eden parçadır. Eskiden çekirdekler sadece kurşundan yapılırdı fakat bu çekirdekler namluya zarar verirdi ve namlunun yivine uyum gösteremiyordu. Çekirdeğin bu problemlerini halletmek için çekirdeği metal bir gömlekle kaplanır. Gömlek genelde tombak (%90 bakır %10 çinko) denilen bir alaşımdan yapılır. Aynı zamanda çelik ve pirinçten de yapılan gömlekler vardır. Günümüzde halen kurşun çekirdekler de kullanılır ama bu çekirdeklerin yapısına antinom ve kalay eklenip daha sert olması sağlanır. Günümüzde birçok çekirdek türü vardır. Nato Standartlı mermilerin çekirdek görünümleri gösterilmiştir (Paganx, 2015).



Şekil 5.5. Farklı Mermilerin Çekirdek görünümleri (Donanımhaber, 2015).

5.4.1 Genişlemeyen Çekirdekler

Bu tür çekirdekler tamamen gömlek kaplı olduğu için hedefe ulaşınca dağılmazlar parçalanmazlar ve genişlemeyezler. Askeri alanda kullanılan tek mermi tipi bunlardır. Ayrıca namluya verdikleri zarar düşüktür. Bu tür mermilerin durdurucu gücü düşüktür, delici özellikleri yüksektir, aynı zamanda sert hedeflere çarptıkları zaman sekme eğilimindedirler (Paganx, 2015).

5.4.1.1 Tam Metal Gömlekli (Full Metal Jacket)

Bu çekirdeklerde yumuşak kurşun tamamen (taban hariç) sert gömlekle kaplıdır. Bu tür çekirdekler hedefe ulaşınca genişlemeyezler ve delici güçleri yüksektir. Bu tip mermiler genelde askeri amaçla kullanılır (Paganx, 2015).



Şekil 5.6. FMJ Kaplı 7,62X51 mm’lik kurşun.

5.4.1.2 Gömlekli Kısaltılmış Huni (Jacketed Truncated Cone)

Çekirdeğin kurşun özü tamamen huni şeklinde ve düz burunlu metal gömlekle kaplanmıştır. Bu tür çekirdekler Soft Point çekirdeklere göre daha fazla delici, FMJ tiplere göre daha fazla deforme olurlar (Paganx, 2015).

5.4.1.3 Tümü Metal Gömlekli (Total Metal Jacket)

Aynen FMJ gibi fakat tek farkı FMJ’nin aksine çekirdeğin tabanı da metal kaplıdır (Paganx, 2015).

5.4.2 Genişleyen Çekirdekler

Bu tür mermiler hedefe ulaşınca aynen bir mantar gibi genişlerler. Delici g   leri düşüktür ama dokularda daha çok tahribat yaparlar. Aynı zamanda sekme ihtimalleri düşük, durdurucu g   leri yüksektir. Bu mermilerin askeri alanda kullanılması 1899 Hague Konvansiyonu’yla yasaklanmıştır. Fakat ne var ki kişisel savunma için en uygun mermilerdir (Paganx, 2015).

5.4.2.1 Gmlekle Oyuk Uçlu (Jacketed Hollow Point)

Bu ekirdek de FMJ gibi sert gömlekle kaplıdır fakat farkı ekirdeğın ucunda ufak bir delik bulunur. Çekirdek, hedefe ulaştığı an açılır ve genişler (mantarlaşıır) ve sonuçta daha kısa bir delik ama genişleyen merminin daha büyük çapı sebebiyle daha fazla tahribat oluşur (Paganx, 2015).

5.4.2.2 Yan Gmlekle Oyuk Uçlu (Semi-Jacketed Hollow Point)

JHP gibi fakat farklı gömlek tüm çekirdeğı kaplamamaktadır. ekirdeğın en üstündeki 2 mm'lik bölüm açık bırakılıyor, JHP gibi üstte bir delik oluyor. Sonuçta ekirdek hedefe ulaşıncı büyük bir genişleme ve mantarlaşımaya maruz kalıyor (Paganx, 2015).

5.4.2.3 Gmlekle Yumuşak Uçlu (Jacketed Soft Point)

Bu tip çekirdekler de aynen SJHP gibi fakat farkı ekirdeğın ucunda bir delik yoktur. Gömlek merminin üst kısmı hariç her tarafına sarılmaktadır. Bu ekirdekler JHP'den daha az genişliyorlar ama delici güçleri daha fazla oluyor (Paganx, 2015).

5.4.2.4 Kurşun Yuvarlak Uçlu (Lead Round Nose)

FMJ gibi fakat çekirdek tamamen kurşundan yapılmış ve metal gmleğı yoktur. Tüm revolverlar için sert, ekonomik ve genel amaçlı bir çekirdektir. Kısa mesafe atışlarında isabet oranı yüksektir (Paganx, 2015).

5.4.2.5 Kurşun Kağıt Kesici (Lead Wad Cutter)

Wadcutter çekirdekler küçük, kısa ve kalın bir silindire benzer. Kovan ağızıyla aynı hizada uzanırlar. Wadcutter mermiler kağıdı parçalamak yerine ufak bir delik atığından genellikle hedef atıcılığında kullanılırlar (Paganx, 2015).

5.4.2.6 Kurşun Yan Kağıt Kesici (Lead Semi Wad Cutter)

LTC gibi fakat huni tabanının çapı çekirdeğin kendi çapından daha küçüktür. Bu çekirdek de wadcutter gibi kağıdı parçalamak yerine kağıtta ufak bir delik açtığı hedef atıcılığında kullanılmaktadır (Paganx, 2015).

5.4.3 Diğer Çekirdek Türleri

Diğer Çekirdek Türlerinden en önemlisi zırh delici mermilerdir. Balistik incelemenin ne kadar başarılı olduğunun kanıtlanabilmesi için atışlar zırh delici mermilerle yapılmıştır (Paganx, 2015).

5.4.3.1 Zırh Delici

Zırh delici mermilerin özünde kurşun yerine çelik, tungsten veya bronz kullanılabilmektedir. Öz yine bakır alaşımlı gömlekle kaplanıyor. Bu tip mermiler rahatlıkla zırhları delebiliyor. Bu arada FMJ tip mermilerle zırh delici mermiler karıştırılmamalıdır. FMJ tipi mermiler yapım amacı hedefe ulaşınca genişlemeyi engellemektedir. (FMJ tipi mermiler az da olsa genişler). Oysa zırh delici mermiler adı gibi zırh delmek için üretilmektedir.



Şekil 5.7. 7,62X51 mm AP (Zırh delici Mermi).

Buraya kadar olan bölümde bir fişğin ne tür alt parçalardan meydana geldiği, bu alt parçalarının görevlerinin neler olduğu anlatılmıştır. Balistik amaçlı kullanılan mermilerin özellikleri kısaca anlatılacaktır.

5.5 Mermi Özellikleri

Gelişen teknolojinin sayesinde değişik silahlar için, hız, şekil, çekirdek yapısı gibi özellikleri birbirinden çok farklı, değişik amaçlara hizmet eden birçok mermi türü geliştirilmiştir. Balistik koruyucu elemanlardan da böyle çeşitlilik gösteren mermilere karşı koruma sağlamaları beklenmektedir. Her alanda gelişen teknoloji, balistik koruyucu özelliğine sahip malzemeler de atılım yapmış ve tasarımcıya yüksek performanslı malzemeler sunulmuştur. Göz önünde bulundurulması gereken başlıca mermi özellikleri, Mermi çekirdeğinin sertliği (çelik, kurşun, bakır vb.), Merminin ucunun sivri veya küt oluşu, Çekirdek ağırlığı, Mermi Hızı, Çöküntü yapma etkisi, Delme etkisi, Ateşlendiği namı uzunluğudur.

Mermi çekirdeğinin sertliği arttıkça delme gücü de buna bağlı olarak artar. Çünkü merminin durdurulabilmesi, mermi çekirdeğinin çarpma anında ezilmesi ve yayvanlaşması oranında mümkündür. Bu nedenle sert uçlu mermilerin yumuşak koruyucularla durdurulması düşünülmemektedir. Bu mermiler zırh delici (AP: Armor Piercing) olarak tanımlanmak olup, çekirdekleri genellikle çelikten yapılı ve ancak metal gibi sert koruyucularla durdurulabilir (H.İ.B.M.K., 1994)

Yukarıda açıklanan aynı sebepten dolayı küt uçlu mermilere göre sivri uçlu mermileri durdurmak daha zordur. Bunlar için sert koruyucu kullanmak daha uygundur.

Mermi hızı ve çekirdek ağırlığı, merminin çarpma anındaki enerjisini göstermektedir. Bu da çarpmanın şiddetini belirler. Tasarımda, karşı konulacak merminin enerjisine göre, uygun miktarda koruyucu malzeme kullanmak gerekir. 300 J enerjiyi sahip bir mermi için 39,24 N/m²'lik (balistik enerji emme öz.) koruyucu kullanılıyorsa, 330 J enerjili mermi için aynı malzemedan 43,164 N/m²'lik bir koruma gerekir.

Mermi çekirdeğinin büyük veya küçük oluşu ve çarpma anında mermi çekirdeğinin uğradığı tahribatın çeşidi çarpma sonrasında oluşacak çöküntüyü veya koruyucuda oluşan delinme miktarını belirler. Ucu yumuşak olan mermi çekirdekleri çarpma anında iyice yayvanlaşacağından koruyucunun ilk katlarında kalır ancak büyük miktarda çöküntü yaratır.

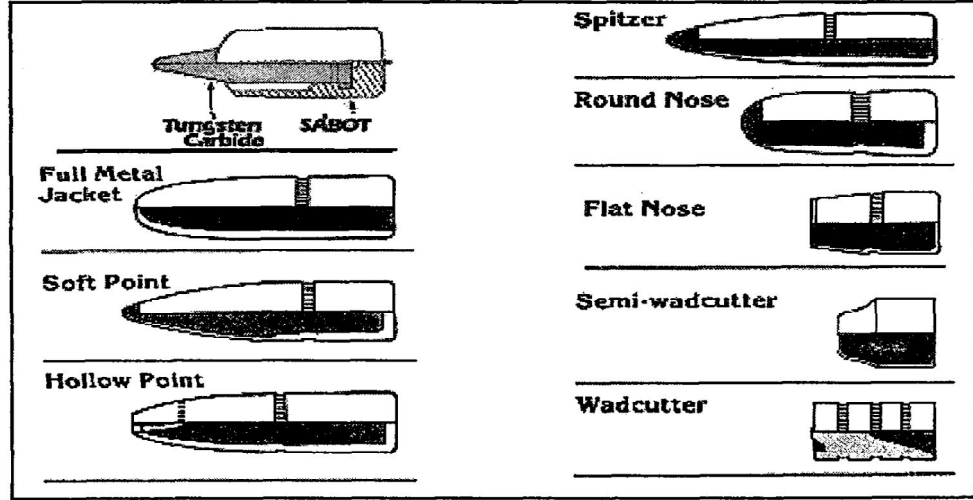
Aksi davranış gösteren mermiler ise daha fazla delinmeye sebep olur. Çöküntü yaratan mermilere .357 Magnum, delinme yaratan mermilere ise 9 mm tombak kaplı mermi örnek verilebilir. Mermilere ait bazı karakteristik özellikler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Merminin ateşlendiği namlunun uzunluğu da mermi hızını etkilendiğinden göz önünde bulundurulması gereken bir diğer etkidir. Namlu uzunluğu arttıkça mermi hızı artar. Namlu uzunluğu arttıkça namlu içindeki yiv miktarı da artacağından merminin doğrusal hızı yanında dönümsel hızı da artar. Bunlar merminin darbe ve delme gücünü artırıcı etkenlerdir (H.İ.B.M.K, 1994).

Çizelge 5.1. Mermilerin karakteristikleri (Sangoy, 1988).

Geometri			
Temeş Şekli	Dolu Çubuk Küre Kabuk Düzensiz Katı	Burun Şekli	Koni Oval-Sivri Küt Silindir Silindir
Malzeme			
Yoğunluk	Hafif Ahşap, Plastik, Seramik, Alüminyum	Orta Çelik Bakır	Ağır Kurşun Tungsten
Uçuş Karakteristikleri			
Yörünge	Düz Eğimli Kararsız	Çarpma Durumu	Normal Eğimli
Son Durumu			
Şekil	Deforme olmamış Plastik olarak deforme olmuş Kırılmış Parçalanmış	Konum	Sekmil Kısmi Nüfuziyet Delinme

Mermiyi tanımlamak için gerekli parametreler; mermi kütlesi m , boyu L_a , çapı D , burun şekli ve uzunluğu L_n ve mermi yoğunluğu P_p 'dir (Sangoy vd., 1988; Gálvez vd., 2009)



Şekil 5.8. Mermi tipleri (Globalsecurity, 2015).



Şekil 5.9. Değişik Kalibreye Sahip Mermiler (Globalsecurity, 2015).

Dünya genelinde farklı çaplarda üretilen fişekler hakkında bilgi verilecek olursa;

5.5.1 7,62x51 mm Nato

7.62x51mm Nato mermisi ikinci dünya savaşıdan sonra özellikle savaşın getirdiği hızlı silah değişim ve gelişmesinin ürünü olarak üretilen tam/yarı-otomatik silahlarda kullanılmak üzere .30-06 Spring Field kalibresinin kovanının uzun olması nedeniyle yaşanan tutukluk sorununun giderilememesi ve yeni bir kalibreye ihtiyaç duyulmasından dolayı oluşturulan kalibredir. İlk olarak sportif amaçlarla kullanılan .308 Winchester kalibresi geliştirildi ve ardından iki sene sonra onun askeri versiyonu olan ve çok az bir farkı olan 7,62x51mm tanıtıldı. Bu kalibre ABD'de ilk olarak M14'te kullanıldı ve başarısını kanıtladı ancak kısa süre sonra ortaya çıkan 5.56x45mm kalibresi piyade tüfeklerinde bu kalibreye üstünlüğünü kanıtlayıp bu kalibreyi solladı. Ancak o tarihten günümüze söz konusu 7,62x51 mm kalibresi keskin nişancı tüfekleri ve makineli tüfeklerde üstünlüğünü ispatlamış ve yüksek miktarlarda üretimine devam edilmektedir. Türkiye'nin, değiştirmek için çalışmalar olsa da, halen ana ordu silahı olan G-3 bu kalibreyi kullanmaktadır. Genel olarak piyade tüfekleri ele alındığında yeni dizayn HK417 gibi silahlar sadece güçlü bir kalibreye ihtiyaç duyulup 5,56x45 mm Nato yetersiz kaldığı yerlerde kullanıldığını görebiliyoruz ancak makineli tüfek ve keskin nişancı tüfeği gibi mutlak güce gerek duyulduğu yerlerde ve acı bir gerçek olarak "yaralamak değil öldürmek" gerekliliğinin %100 olduğu yerlerde bu kalibrenin üstünlüğü tartışılmazdır. SSCB (Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği) yapımı silahlarda bu sorun baştan biraz farklı ve zamanının gerekçelerine göre farklı çözülmüştür. Sovyet yapımı silahlarda 7,62 kalibresi iki fişek ile tasarlanmış ve kullanıma girmiştir (Wikipedia, 2015).

AK-47 (Avtomat Kalashnikova) gibi piyade tüfekleri ve benzeri sovyet piyade tüfekleri 7,62x39mm ile donatılmış Dragunov SVD gibi keskin nişancı tüfekleri ve makineli tüfekler ise 7,62x54mm kalibresinde dizayn edilmiştir. .308 Winchester ile söz konusu kalibrenin çok küçük bir farkı bulunmasından dolayı özellikle .308 Winchester kalibre yivli av tüfekleri bu kalibreyi de ateşleyebilirler ancak bir miktar performans kaybı yaşarlar (Jean Huon, 1988).



Şekil 5.10. 7.62X51 mm FMJ NATO.

5.5.2 7,62x39 mm

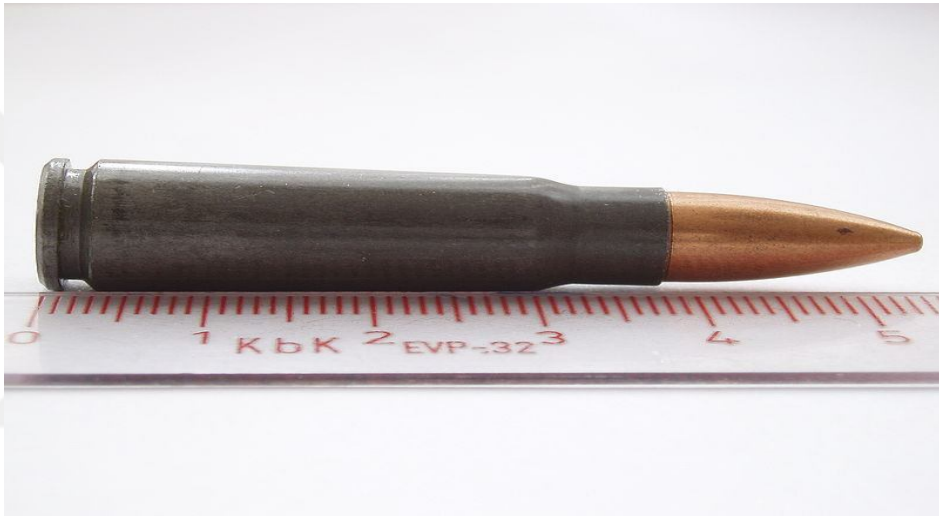
7.62x39mm tüfek mermisi, SSCB tarafından II. Dünya Savaşı sırasında tasarlanmış, savaştan kısa süre sonra üretimine başlanan bu mühimmata uyumlu AK-47 ile özdeşleşmiştir (Wikipedia, 2015).

Uzun dönem SSCB ve eski Doğu Bloğu ülkeleri tarafından kullanılan bu mermi, Vietnam Savaşı sırasında NATO'nun M16'sında kullanılan 5.56x45 mm mühimmatına karşılık SSCB'nin 5.45x39 mm mühimmatı ile değişmiştir (Wikipedia, 2015).

Günümüzde 7.62x39 mm, AK-47'nin ticari başarısı sayesinde Dünya çapında en çok üretilen ve kullanılan mermi çeşitlerinden biridir. AK-47 tüfeği günümüzde Keleş silahı olarak bilinmektedir.



Şekil 5.11. AK-47 Tüfeği (Wikipedia, 2015).



Şekil 5.12. AK-47 tüfeğinde kullanılan Mermi.

5.5.3 5,56x45 mm Nato

Nato standartı mermi yarıçapı 7,62x51 mm NATO mm'lik mermilerin büyük olması ve geri tepmesinin daha yüksek olması nedeniyle 5,56x45mm'lik mermilere geçildi. Bu merminin ortaya çıkmasının diğer amaçları; düşmanı öldürmeden yaralı bir şekilde bırakmak ve düşman askerlerinin yaralı ile ilgilenirken zaman kaybetmesini sağlamak 7,62x51mm NATO mühimmatından daha küçük olması sebebi ile daha fazla merminin askerler tarafından taşınmasını sağlamaktır. Kısaca bir askerin normal koşullarda taşıyabileceği 7,62x51mm NATO'nun iki katı kadar 5,56x45mm NATO mühimmatı taşıyabilir ayrıca verdiği zararın da avantajı çok daha üstün sayılabilir. Söz konusu cümlelerden de anlaşılacağı gibi bu kalibre tam anlamıyla bir piyade tüfeğinin ideal kalibre özelliklerini taşımakta ve üstünlüğünü

Vietnam Savaşı ve sonrası kanıtlanmış durumdadır. Günümüzde üretilen yeni piyade tüfeklerinin çoğu bu mühimmat için üretilmektedirler ancak serviste olan birçok keskin nişancı tüfeği, daha kesin sonuçlar götüğü ve daha uzak mesafelerde tam etki oluşturması gerektiği için küçük ve hafif olan bu kalibre yerine 7,62x51mm NATO mühimmatıyla donatılmış durumdadır (Wikipedia, 2015).



Şekil 5.13. Mermi görünümleri (Donanımhaber, 2015).

Şekil 5.13’de Nato standartı mermiler görülmektedir. Öncelikle en sağdaki 7,62x51 mm G3, G1, MG3 gibi silahlarda kullanılan bir mermidir. En soldaki M16, M4, M4A1, HK416 gibi silahlarda kullanılır. Ortada ki daha çok avcılar tarafından kullanılmaktadır.

5.6 Balistik Testte Kullanılan Fişek

Balistik darbe özellikleri incelenecek olan numunelerin zırh sisteminin balistik testlerinde NATO’nun esas aldığı bir Amerikan Standardı olan NIJ Standardı, NATO IV. seviyeye göre 7,62 mm AP (armour piercing: zırh delici) mermi ile testler yapılmıştır. Balistik testte kullanılan mermi özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Balistik testte kullanılan mermi özellikleri.

MERMİ	7,62x51 mm AP Zırh Delici Çelik Çekirdek
Atış Mesafesi (m)	15
Çekirdek Çapı (mm)	7,62
Çekirdek Ağırlığı (g)	10,60
Kovan Ağırlığı (g)	11,85
Kovan Uzunluğu (mm)	51
Barut Miktarı (g)	2,79
Namlu Ağız Hızı (m/s)	869

6. BALİSTİK

Balistik; mermi hareketini ve bu hareketi etkileyen koşulları inceleyen bilim dalı olup genel olarak iç, dış ve terminal olmak üzere üç ana başlık altında incelenebilmektedir.

6.1. İç Balistik

Barutun yanma şekli, merminin namlu içerisindeki hızı ve barut haznesinin tasarımı konularını inceleyen balistik alt dalıdır. Barut-basınç eğrisine göre, basıncı oluşturabilecek duvar kalınlıkları hesaplanabilir (Lowry, 1968). Barut haznesindeki yanma işlemi, barutun sıkıştırılmasıyla başlar. Basınç miktarının artışı yanmayı artırır. Basınç, mermi atış başlangıç değerine ulaştığında basınç artışı durur ve mermi namlu boyunca harekete geçer bu hareket boyunca çıkan gaz için boşluk oluşur ve basınç azalmaya başlar. Barutun yanması tamamen bittiğinde bile, namlu içerisindeki gazdan dolayı ivmelenme devam eder ancak ivme hızı artışı azalır.

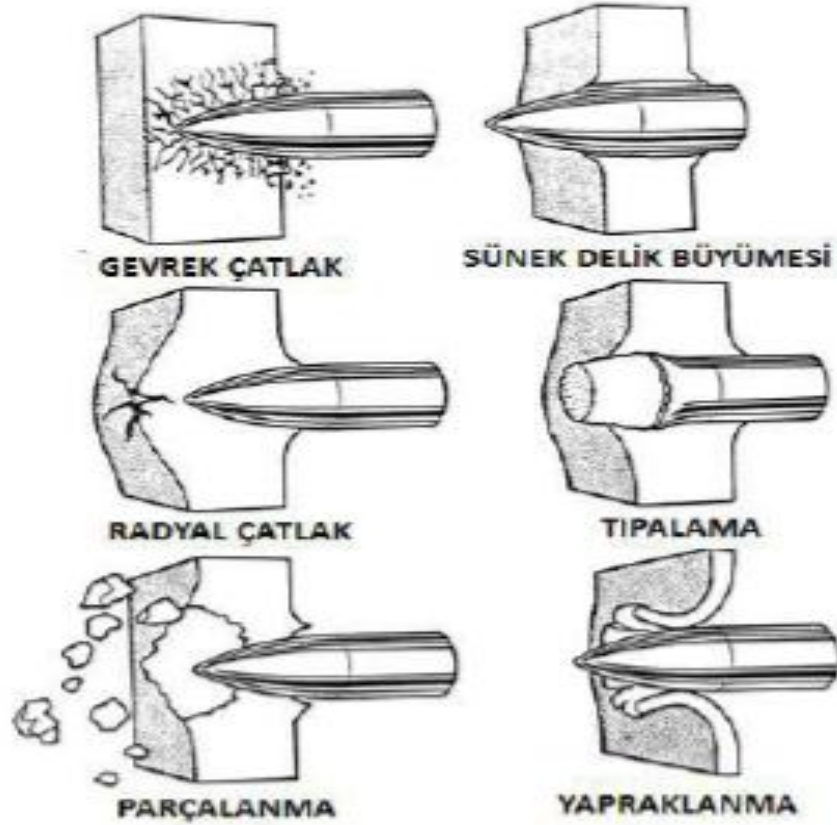
6.2 Dış Balistik

Dış balistik ise merminin havadaki hareketini inceleyen balistik dalıdır. Bu kapsamda mermi, hedefe atılan rijit bir nesne olarak ele alınır. Mermi kelimesi füzeleri, silah mermilerini ve uçaktan atılan bombaların vs. tamamını kapsar. Mermi havadayken hareket yönü ile belirli bir açı yapar. Mermi, hareket boyunca farklı kuvvetlerin etkisi altındadır. Merminin hareketi; yerçekimine, hıza, havanın özelliklerine ve merminin hareket yönüne bağlı oluşan hava kuvvetine bağlıdır (Thomas, 1938).

6.3 Terminal Balistik

Terminal balistik merminin zırh üzerindeki ya da zırhın mermi üzerindeki darbe etkisini inceleyen bir mühendislik dalıdır. Yapılan çalışmalarda genellikle askeri personel, zırhlı taşıt ve binaları hedef alan ve 0,5 ve 2,0 km/s atış hızına sahip silah ve tüfeklerin etkileri araştırılır. 2 ve 8 km/s atış hızına sahip aşırı yüksek hızlı mermiler de terminal balistik üzerine çalışan mühendisler için ayrı bir çalışma konusudur. Zırh malzemesi tasarımı deneylerinde malzemeler yarı sonsuz, orta ve ince kalınlıkta olmak üzere üç kalınlıkta sınıflandırılırlar. Yarı sonsuz kalınlıktaki hedeflerde, hedefin arka bölümü mermiden etkilenmez ve böylece mermi giriş derinliği, oluşan delik boyut ve hacmi ile hedef içerisinde kalan mermi üzerinde incelemeler yapılır. Yarı sonsuz kalınlıkta yapılan deneylerde genellikle gerçek bir zırh tasarımından ziyade mermi ve hedef arasındaki fiziksel özellikler incelenir. Orta kalınlıkta ki zırh deneylerinde mermi hedefi tamamıyla geçemez fakat hedefin arka bölümü mermiden etkilenir.

Zırh tasarımcıları mermi ve orta kalınlıktaki zırhların etkileşimlerini inceleyerek gerçek bir zırh tasarımı gerçekleştirebilmektedirler. Fakat bu aşamada mermi ve hedef arasındaki etkileşimler oldukça karmaşıktır. Şekil 1.6'da orta kalınlıktaki hedef ve mermi arasındaki etkileşim sonucu oluşan muhtemel kırılma mekanizmaları gösterilmiştir. İnce kalınlıktaki zırh malzemelerinde, mermi hedefi delip geçer ve hedefin mermi üzerindeki etkileri incelenir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlarda hedefin mermi üzerindeki etkileri iyi tanımlanırsa, gerçek bir zırh tasarımı için çok büyük faydalar sağlayacağı düşünülmektedir (Rosenberg vd., 2012).



Şekil 6.1. Farklı darbe durumlarında muhtemel kırılma şekilleri (Rosenberg vd., 2012).

Nüfuziyet (Penetrasyon): Mermi yada penetratörün, hedef içerisine girmesi olarak tanımlanabilir. Penetrasyon işleminde, mermi hedefi tamamen delip geçmemektedir. Genellikle merminin hedef içerisinde saplanıp kalması, yüzeyden sekmesi veya çarpma dolayısıyla hedef yüzeyinde krater meydana getirmesiyle son bulur.

Delinme (Perforasyon): Perforasyon kavramı ise nüfuziyetten farklıdır. Hedefin mermi yada penetrator tarafından tamamen delinmesi anlamını taşımaktadır.

6.4 V_{50} Hızı Tespiti

Çarpma olayının incelenmesinde karşılaşılan problemlerden birisi de bir cismin hasara uğramadan dayanabileceği hızın tespiti. Bu hız genellikle kritik çarpma hızı veya balistik limit adını alır. Kritik hız değeri, V_{50} ile gösterilir. Bu hız (V_{50}) parçacığın hedefe dik konumda çarpması sonucu hedefi %50 delme kapasitesine haiz

olduğu hızdır. (şekil 2.12). V_{50} hızının tespitinde istatistiksel yaklaşımlardan faydalanılır. En basit olarak tam nüfuziyete sebep olan en düşük üç hız ile kısmi nüfuziyete sebep olan en yüksek üç hızın ortalaması alınarak balistik limit tespit edilir. Kısmi nüfuziyete sebep olan en düşük hız ile tam nüfuziyete sebep olan en yüksek hız arasındaki fark, 46 m/s'yi aşmamalıdır. Uygulamada zaman ve ekonomik faktörler elde edilecek dataolar üzerine sınırlamalar getirmektedir (Zukas, 1992).

Kinetik enerjili bir merminin hedefteki delme etkisi, mermi kütlesine, merminin enerjisine, merminin hedef vuruş açısına, mermi ve zırh malzemesinin metalürjik yapısına bağlıdır. Merminin kinetik enerjisi formüldeki gibi hesaplanır:

$$E = \frac{1}{2} m (V)^2. \quad (6.1)$$

Burada kinetik enerji E, merminin kütlesi m ve hızı V ile sembolize edilir.

Merminin hedef içerisine nüfuziyetini etkileyen faktörlerden ikiside plaka kalınlığı ve mermi yarıçapıdır. Merminin yarıçapı yaklaşık olarak yükleme alanını temsil etmektedir. Eğer plaka kalınlığı L'nin mermi yarıçapı R'ye oranı birden büyükse plaka kalın, birden küçükse ince olarak değerlendirilmektedir. Kalınlık arttığı zaman, eğilme miktarı azalır ve buna bağlı olarak plakanın yüklenme bölgesinin çevresindeki kayma gerilmeleri artar, plakada az eğilme meydana gelir ve hasar merminin çevresindeki kayma etkisinden kaynaklanır. Hedefin arka yüzeyinde oldukça büyük şekil değiştirmeler ve çekme gerilmeleri meydana gelir.

Şayet plaka kalınlığının mermi yarıçapına oranı bire yakınsa, hedefin delinmesi için gerekli hız minimum seviyededir. Hedefteki hasar tapa oluşumu ve yapraklaşma şeklinde olabilir.

Burada hangi mekanizmanın meydana geleceği aşağıdaki hususlara bağlıdır: Hedef malzeme özellikleri, Hedef destek tarzı, Mermi geometrisi

Malzeme mukavemeti azaldıkça, eğilme miktarı artar ve hasar mekanizması yapraklaşmaya dönüşür. Aynı oran için mukavemetin artırılması, yapraklaşma hasarının oluşmasını teşvik eder. Şayet plaka desteği eksene yakın tutulursa, eğilme etkisi azalacağından tapa oluşumu hasarı meydana gelir. Oran bire yakınsa mermi

geometrisinin etkisi de oldukça önemlidir. Ogival (oval-sivri) şekilli mermiler yapraklaşma mekanizmasının oluşumunu teşvik ederken, düz uçlu mermiler tapa oluşumunu teşvik ederler (Taşdemirci, 2000).

6.5 Balistik Standartlar

Balistik koruyuculuğu ölçmek amacıyla 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. Çizelge 6.1’de ulusal ve uluslar arası balistik standartlardan bazıları sunulmuştur (Yavaş, 2009).

STANDART NO	STANDART ADI
MIL-STD-662 F	V50 Ballistic Test For Armor (Zırhlar İçin V50 Balistik Testi)
NU-STD-0101.06	Ballistic Resistance of Personal Body Armor (Kişisel Vücut Zırhlarının Balistik Dayanımları)
STANAG 2920	Ballistic Test Method For Personal Armor (Kişisel Zırhlar İçin Balistik Test Metotları)
TS 11164	Balistik Koruyucu Yelek
PPAA STD-1989-05	Personal Protective Armor Association, Testing Standards For Ballistic Resistance of Personal Body Armors (Kişisel Koruyucu Zırh Birliği, Kişisel Vücut Zırhlarının Balistik Dayanım Test Standartları)
MIL-P-46199	Plate: Aluminium Oxide Ceramic (For Use In Armor Composite) (Alüminyum Oksit Seramik Plakalarının Zırhlarda Kullanımı)
DIN EN ISO 14876-2	Protective Clothing - Body Armor - Part 2: Bullet Resistance; Requirements and Test Methods (Koruyucu Giysi - Vücut Zırhı - Bölüm 2: Mermi Dayanımı Gereksinimleri ve Test Metotları)

Çizelge 6.1. Bazı ulusal ve uluslararası balistik koruyucu standartlar (Yavaş, 2009).

Bu standartlarda malzemenin hangi koruma seviyesi içerisinde test edileceği ya da ne kadar koruma sağlanacağı açıklanmıştır. Bu nedenle testi yapılacak malzemenin önce hangi koruma seviyesine ait olduğu bilinmeli, test şartları ona göre hazırlanmalıdır. Çizelge 6.2’de görüldüğü gibi koruma seviyesine göre silah-hedef arasındaki mesafe değişmektedir (Atapek, 2006)

Koruma Seviyesi	Kalibre ve Mermi Tipi	Mermi Ağırlığı (g)	Mermi Hızı (m/s)
I (5 m mesafeden)	.22 LR LRN	2.6	320
	.380 ACP FMJ RN	6.2	312
IIA (5 m mesafeden)	9 mm, FMJ RN	8.0	332
	40 S&W, FMJ	11.7	312
II (5 metre mesafe)	9 mm FMJ RN	8.0	358
	.357 Magnum, JSP	10.2	427
IIIA (5 metre mesafe)	9 mm, FMJ RN	8.0	427
	.44 Magnum, HP	15.6	427
III (15 m mesafeden)	7.62 mm, NATO FMJ	9.6	838
IV	.30 caliber AP	10.8	869

Çizelge 6.2. NIJ Standartı 0101.04 (Atapek, 2006; Gálvez vd., 2009; Majewa vd., 2008).

Burada AP zırh delici, FMJ full metal kaplı (tombak kaplı), JSP metal kaplı yumuşak uçlu, LRN uzun namlu yüksek hız, RN yuvarlak uç, HP içine göçük uç özelliklerini taşıyan mermileri belirtmek için kullanılmıştır (Atapek, 2006, Majewa vd., 2008; Jena vd., 2010).

6.5.1 NIJ 0101,06 Standardı

Bu standardın amacı, silah ateşlemelerine karşı koruma amacıyla tasarlanmış olan kişisel vücut zırh malzemelerinin balistik dayanımına yönelik minimum performans gerekliliklerini ve test yöntemlerini belirlemektir. Bu standardın kapsamı sadece balistik direnç (balistik dayanım) ile sınırlı kalmaktadır. Bıçak ve keskin

aletlerin neden olduğu tehditleri, kapsamları farklı olmalarından ötürü bu test yöntemlerinin arasında içermemektedir.

Koruma seviyesi yani balistik performans; balistik uygulamalarda kullanılan mermi mühimmatının kalibresi, tipi, ağırlığı ve hızı dikkate alınarak belirlenen bir kıstas olmaktadır. Bu standart kapsamında bulunan kişisel koruyucu vücut zırhları, koruma seviyesine göre beş grupta sınıflandırılmıştır (IIA, II, IIIA, III, IV). Çizelge 6.3’de bu sınıflandırmalar için gerekli olan mermi tipleri ve test koşulları belirtilmiştir. Bu sınıflandırmaya ek olarak özel bir test sınıfı daha tanımlanarak, zırh malzemesinin diğer beş standart sınıfı tarafından kapsanmamış olan tehditlere karşı da geçerli olması amaçlanmıştır. Yani özel bir gereklilik isteyen bir alıcı, test devri ile hızları açık ve tam olarak belirlemeli ve bu standardın diğerlerinden farklı bir konumda tutulması gerektiğini belirtmelidir (Ashby vd., 1998).

Ayrıca, Temmuz 2008 tarihinde “NIJ Standart-0101,06” oluşturulmuştur. Bu standart, Eylül 2000 tarihli “NIJ Standard-0101,04”ün bir revizyonudur. Ayrıca 2005 tarihli “NIJ 2005 InterimRequirements”, “NIJ Standard-0101,04” ve diğer tüm revizyonları ile buna ilave olan diğer tüm standartların yerine geçmektedir (Ashby vd., 1998).

Koruma Seviyesi	Kalibre ve Mermi Tipi	Mermi Ağırlığı (g)
IIA	9 mm Luger FMJ RN	8.0
	.40 S&W, FMJ	11.7
II	9 mm FMJ RN	8.0
	.357 Magnum, JSP	10.2
IIIA	.357 SIG TMJ	8.1
	.44 MAG JHP	15.6
III	7.62 NATO FMJ	9.6
IV	30.06 AP FMJ	10.8

Çizelge 6.3. NIJ STD-0101.06'a göre balistik test kriterleri.

6.5.2 Balistik Testlerde Deney Süreci

Zırh malzemesi, aşağıdaki koşulları sağlayan ortam koşullarında, test malzemeleri ile birlikte denenmelidir. Her bir zırh plakasına atış öncesinde ve sonrasında çevre koşulları kayıt altına alınmalı ve çevre şartları özel koşullar olmadıkça aşağıda belirtilen durumda olmalıdır;

- Sıcaklık: $21^{\circ}\text{C} \pm 2,9^{\circ}\text{C}$
- Bağıl Nem: $\%50 \pm \%20$

Test malzemeleri Şekil 2,1'de görüldüğü gibi düzenlenmelidir. Özel durumlar dışında tabanca atışları için zırh plakası test namlusuna $5,0 \pm 1,0$ m mesafeye, tüfek atışları için ise $15 \pm 1,0$ m mesafeye yerleştirilmelidir. Zırh plakasına çarpma ile aşırı sapmayı olasılığını minimize etmek için veya atış koşulları sonucu mesafe ayarlanabilir (Ashby vd., 1998).

Destek malzeme bağlantısı, uygun test tezgâhı tarafından sıkı bir şekilde tutulmalıdır. Test tezgâhı, zırh plakasını ve destek malzemeyi dikey ve yatay yönde değiştirebilecek şekilde bağlanmasını mümkün kılmalı ve destek malzeme test tezgâhına monte edilmelidir. Test öncesi bütün elektronik malzemeler yeterli sürede çalıştırılarak stabilizasyon sağlanmalıdır.

6.5.3 Balistik Test Düzeneği

Üretimi tamamlaman çelik numuneler balistik teste tabi tutulmuştur. Uzun namlulu tüfekte atışlar yapılmış, balistik limit hızın (V_{50}) belirlenmesi açısından MIL-STD-662E standart balistik atış testi 0'lık açısı ile uygulanmıştır. 7.62'lik AP çelik çekirdekli merminin namlu çıkış hızı yaklaşık olarak 869 m/s'dir. Bu hızlar gerçekleştirilen testler için her atışta ayrı ayrı hız ölçęi cihazı ile tespit edilmiştir. Şekil 6.3'de 7.62x51 mm (AP zırh delici) mermimin kesit görüntüsü verilmiştir.

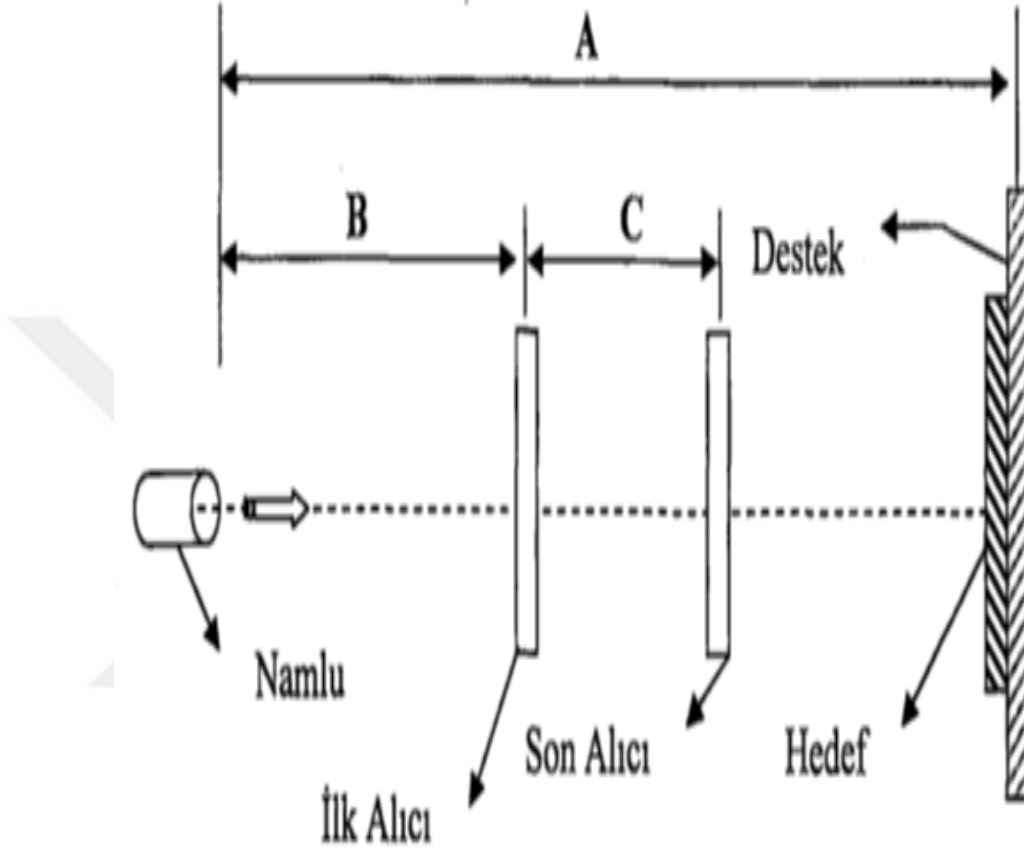


Şekil 6.3. 7.62 AP Mermisinin kesit Görüntüsü ve parçaları (Demir vd., 2008).

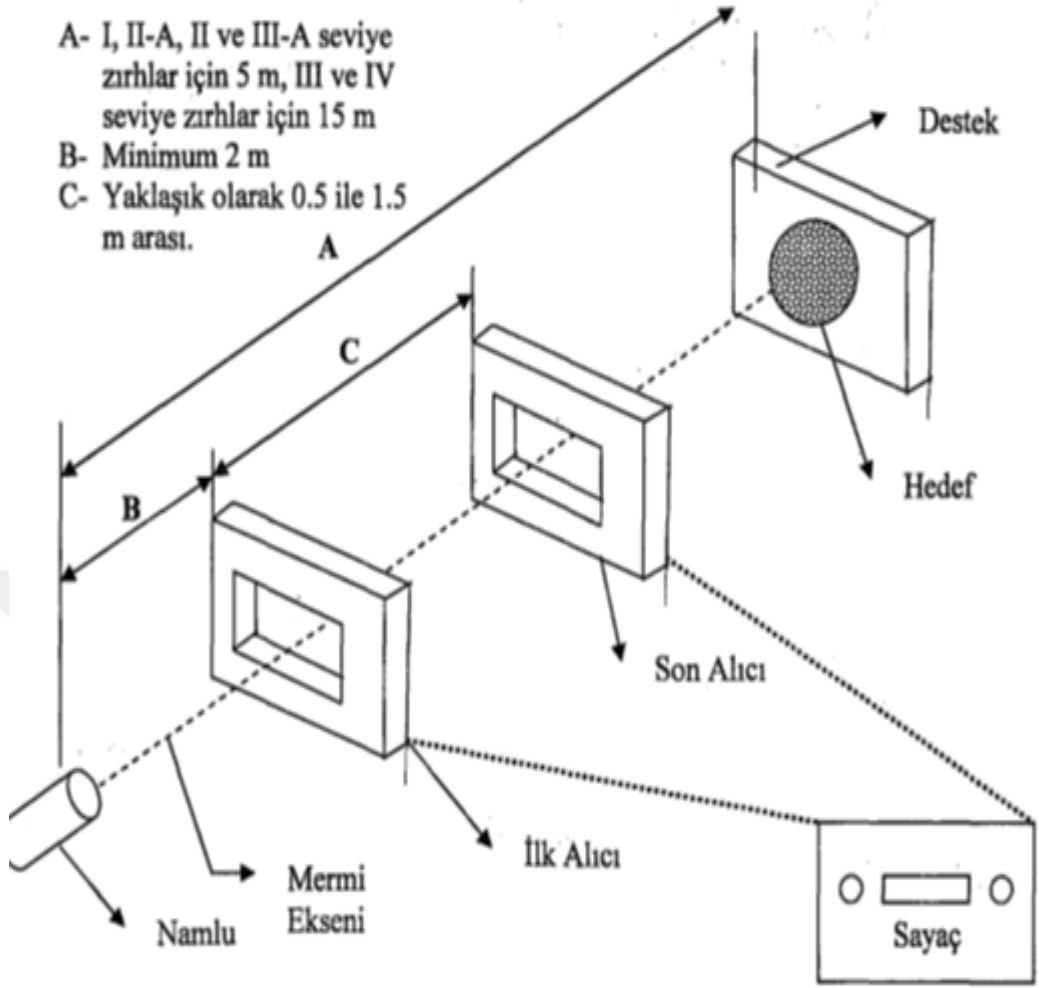
Balistik testler sırasında hedef ile silah namlusu arasındaki mesafe test standartlarına uygun şekilde 15 m olarak ayarlanmıştır. Titanyum Nitrit kaplamasının ne kadar başarılı olabileceğini anlayabilmek için 7.62 mm'lik (AP zırh delici) çelik çekirdekli mermilerle atışlar yapılmıştır. Ayrıca testlerin ve mermilerin sağlıklı sonuçlar verebilmesi için ortamın nem oranının standart değerlerde olması gerekmektedir. Aksi takdirde mermi içerisindeki barutta nemlenme olmaktadır. Buda mermi hızını etkilemektedir.

Şekil 4.12'de bu test standartlarında kabul edilen V_{50} düzeneği gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 4.13'de kullandığınız NIJ 0101,06 standartlarına uygun test düzeneği ve

koruma seviyelerine göre mesafe değerlerinin değişimi şematik olarak gösterilmektedir. Testlerin yapıldığı poligondaki optik hız ölçme cihazının alıcılara ait görüntüsü Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 6.4. V_{50} Test Düzeneği (Atapek, 2006; Gálvez vd., 2009; Jena vd. 2010).



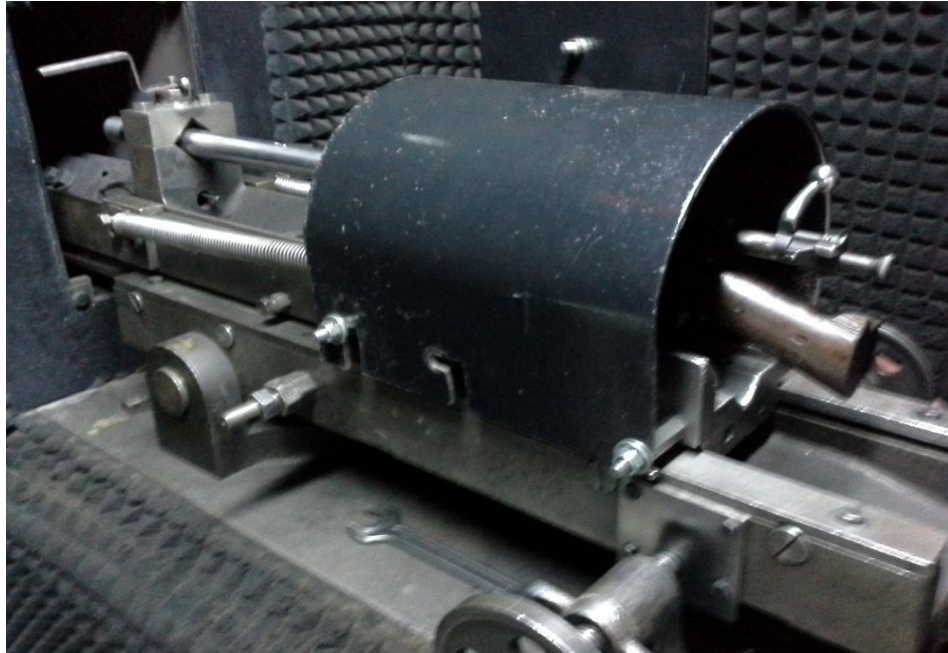
Şekil 6.5. NIJ 0101,06 Test Düzenneği.

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

7.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada balistik inceleme yapılacak olan çelik parçalar 2842 nolu yüksek mukavemetli çelik ile 1040 Nolu imalat çeliğidir. Bu numunelere ait özellikler belirtilmiş olup balistik inceleme yapıldıktan sonra meydana gelen hasarlar bu kısımda anlatılacaktır. Numunelerin küçük olması sebebiyle atış yapılmadan önce tüfek aparatına zırh delici mermiler konularak dağılım testi yapılmıştır. Amaç mermiyi dağılım testine tabii tutarak numunelerin orta merkezinden vurabilmektir. Atışların, daha gerçekçi olması için sabit bir düzenek tarafından yapılması uygun görülmüştür. Balistik standartlar gereği uzun namlulu tüfekler ile atışların 15 metreden yapılması uygun görülmüştür.

Atışlara geçilmeden önce 15 metrede tüfek aparatı ayarlanmış, hazır hale getirilmiş, merminin namludan çıktığı an itibariyle 5 metre sonraki hızı ilk hız olarak kabul edilmiş ve kaplama yapılan numune ile kaplamasız numunenin ne kadar enerjiyi absorbe ettiği hesap edilmiştir.



Şekil 7.1. Tüfeğin bağlandığı sabit kollu aparat.

7.2 Deneyler

Atışlarda mermi çıkış yeri ile hedef arasında 15 m'lik mesafe ayarlanmıştır. Balistik testlerde mermi hızları 860 ile 869 m/s arasında değişmiştir ve ortalama hız yaklaşık olarak 864 m/s olarak kaydedilmiştir. Her bir numune tek atışa tabi tutulmuş olup, mermiler hedefe dik olarak gönderilmiştir. Balistik başarımları; merminin numuneye tam olarak girmesi ve delip geçmesiyle ilgilidir. Bir numunenin başarılı olabilmesi için mermiyi durdurması ve tam olarak mermi tarafından delinmemesi (nonperforation) gerekmektedir. Bu şartları sağlayan (delinmeyen) numuneler balistik olarak başarılı sayılacaktır. Balistik atışlar 7,62 mm'lik zırh delici mermiler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

7.2.1 1040 Nolu İmalat Çeliğinde Meydana Gelen Hasarlar

Balistik incelemeye İmalat Çeliğinden başlanmış, sırayla herhangi bir işlem görmemiş numune ile Titanyum Nitrit kaplanmış numuneler atışa tabii tutulmuştur. İlk olarak 9 mm kalınlıkta ki İmalat Çeliği aparata bağlanmış atışa hazır hale getirilmiştir. Atış sonrası her birinin ayrı ayrı resimleri çekilmiş, Zırh delici merminin ilk hız ve numuneyi delip geçen hızları tespit edilmiştir.



Şekil 7.2. 9 mm kalınlıkta İmalat Çeliğinin atış sonrası görüntüsü.

Şekil 7.3. 9 mm kalınlıkta Titanyum Nitrit Kaplı İmalat Çeliğinin atış sonrası ön görüntüsü.



Şekil 7.4. 9 mm kalınlıkta Titanyum Nitrit Kaplı İmalat Çeliğinin atış sonrası arka görüntüsü.

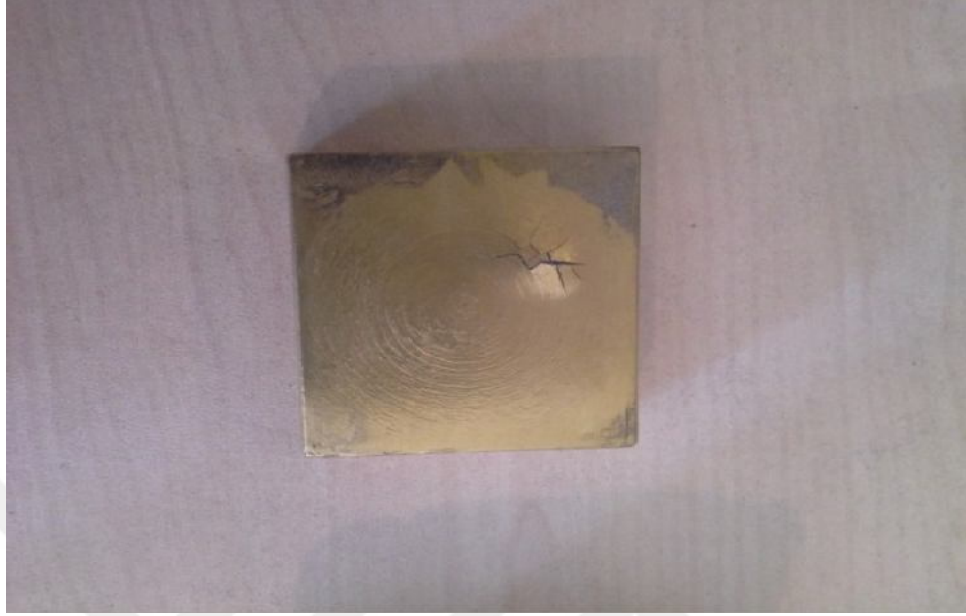


Şekil 7.5. 14 mm kalınlıkta İmalat Çeliğinin atış sonrası görüntüsü.

14 mm de herhangi bir işlem görmemiş numune kırılırken, Titanyum Nitrit kaplı numune zırh delici mermiyi durdurmuştur. Numunenin arka kısmında mikro bazda çatlaklıklar meydana gelmiştir.



Şekil 7.6. 14 mm kalınlıkta Titanyum Kaplı İmalat Çeliğinin atış sonrası ön görüntüsü.



Şekil 7.7. 14 mm kalınlıkta Titanyum Kaplı İmalat Çeliğinin atış sonrası arka görüntüsü.

9 mm kalınlıktaki numunelerin makro görüntülerine bakıldığı zaman tam nüfuziyet olduğu, kısmi nüfuziyet olmadığı görülmektedir. Çizelge 7.1’de 14 mm kalınlıktaki numuneler için V_{50} hızı hesaplanmıştır.

Çizelge 7.1. Şekil 7.6 ve Şekil 7.7’de plaka üzerine yapılan atış verileri ve belirlenen V_{50} Balistik Limit değeri.

Kalınlık (mm)	Çıkış Hızı (m/s)	Çarpma Hızı(m/s)	Değerlendirme
14	868	859	Tam Nüfuziyet
14	863	852	Kısmi Nüfuziyet
V_{50} : 855,5 m/s Atış Koşulu : 7.62 AP°			

9 mm kalınlığında ki numunenin başlangıç hızı ile çarpmanın etkisiyle zırhı terk ettiği anda ki yaklaşık hızı Çizelge 7.2’de görülmektedir.

Çizelge 7.2. Atış sonrası numuneyi geçen merminin hızları.

Kalınlık	Merminin Namlu Çıkış Hızı	Merminin Numune Çıkış Hızı
9 mm	865 m/s	466 m/s
9 mm (T)	868 m/s	459 m/s
14 mm	864 m/s	-
14 mm (T)	866 m/s	-

14 mm kalınlıklardaki numuneler hasara uğramış ancak mermi titanyum nitrit kaplı numuneyi delip geçmemiş, diğer numuneyi çatlatmıştır. Bundan dolayı optik hız ölçüm cihazından merminin numuneden çıkış hızı alınamamıştır.

7.2.2 2842 Nolu Soğuk İş Takım Çeliğinde Meydana Gelen Hasarlar

İmalat Çeliğinin balistik incelemesi bitmesine müteakip yüksek mukavemetli çeliğin balistik incelemesi yapılmıştır. 9 mm’lik Çeliğin aparata bağlanmış atışa hazır hale getirilmiş ve atış sonrası görüntüleri Şekil 7.8 ve Şekil 7.9’da verilmiştir.



Şekil 7.8. 9 mm kalınlıkta Soğuk İş Takım Çeliğinin atış sonrası görüntüsü.



Şekil 7.9. 9 mm kalınlıkta Titanyum Kaplı numunenin atış sonrası görüntüsü.

14 mm kalınlıktaki Soğuk İş Çeliğinin aparata bağlanmış atışa hazır hale getirilmiş ve atış sonrası görüntüleri Şekil 7.10 ve Şekil 7.11’de verilmiştir.



Şekil 7.10. 14 mm kalınlıktaki numunenin atış sonrası görüntüsü.



Şekil 7.11. 14 mm kalınlıktaki Titanyum Nitrit kaplı numunenin atış sonrası görüntüsü.

Çizelge 7.3. Atış sonrası numuneyi geçen merminin hızları.

Kalınlık	Merminin Namlu Çıkış Hızı	Merminin Numune Çıkış Hızı
9 mm	864 m/s	-
9 mm (T)	866 m/s	-
14 mm	865 m/s	-
14 mm (T)	864 m/s	-

9 mm ve 14 mm kalınlıklardaki numuneler hasara uğramış ancak mermi numuneyi delip geçmemiş, çatlatarak kırmıştır. Bundan dolayı optik hız ölçüm cihazından merminin numuneden çıkış hızını alınamamıştır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Test atışları sonrası değerlendirmeler imalat çeliği ve soğuk takım iş çeliği olmak üzere 2 grupta incelenmiştir.

8.1. 1040 Nolu İmalat Çeliklerinin test sonrası değerlendirilmesi

a. 9 mm kalınlıkta olan İmalat Çeliğini, zırh delici mermi delerek 466 m/s hızla numuneden çıkarak başarısız olmuştur.

b. 9 mm kalınlıkta olan Titanyum Nitrit kaplı numuneyi, zırh delici mermi delerek 459 m/s hızla numuneden çıkmıştır.

9 mm kalınlıktaki numuneler incelendiği zaman; kaplama yapılmayan numunenin hızının kaplama yapılan numune ile farklı olduğu tespit edilmiş, kaplama yapılan numunenin daha fazla enerjiyi absorbe ettiği tespit edilmiştir.

Merminin namludan çıkış itibarıyla üzerindeki Kinetik Enerjisi, 15 metredeki Kinetik Enerjisi ve Numune Çıkış Enerjisi hesaplanacak olursa;

$$E = \frac{1}{2} m (V)^2 \text{ den.} \quad (8.1)$$

Çizelge 8.1. İmalat Çeliği Enerji sönmeme oranları.

Kalınlık	Mermi Çıkış Enerjisi	15 Metredeki Enerjisi	Numune Çıkış Enerjisi	Absorbe edilen Enerji
9 mm	4040.415 J	3975.28 J	1172.64 J	2802.64 J
9 mm (T)	4068.489 J	3956.77 J	1137.67 J	2819.1 J

Elde edilen veriler ışığında Titanyum Nitrit kaplaması ile kaplı numunenin diğer numuneye göre daha fazla enerjiyi absorbe ettiği görülmektedir. Kaplama kalınlığı micron seviyesinde olmasına rağmen kalınlığın daha da artırılması durumunda daha fazla enerji absorbe edebilecek, hatta zırh delici mermiyi durdurabilecek seviyeye gelmesi muhtemel olacaktır. Titanyum kaplı numunenin absorbe ettiği enerji ile daha tok bir davranış sergilediği görülmüştür.

Zırh amaçlı kullanılacak çelikler için tek şartın sertlik olmadığı balistik inceleme sonrası grlmştr.

Bu testler sonucu 9 mm kalınlıktaki imalat çeliklerinin olası bir savaş durumunda savunma amaçlı kullanılamayacağı anlaşılmaktadır.

c. 14 mm kalınlıkta olan İmalat eliğini, zırh delici mermi delememiş ancak atlataarak kırmıştır.

. 14 mm kalınlıkta olan Titanyum Nitrit kaplı numuneyi, zırh delici mermi delememiş ancak iç kısımda kalıcı hasarlar meydana getirmiştir.

14 mm kalınlıkta zırh delici mermi durdurulmuştur. Balistik incelemelerin daha başarılı olabilmesi için 9 mm ile 14 mm aralığındaki kalınlıklarda atış yapılmalı, ebatlar daha büyük olmalı ve aynı numune üzerinde birden çok atış yapılmalıdır.

8.2 2842 Nolu Soğuk İş Takım eliklerinin test sonrası değerlendirilmesi

a. 9 mm kalınlıkta olan Soğuk İş Takım eliğini, zırh delici mermi delememiş ancak yüksek sertlik değerlerinden dolayı atlataarak kırmış,

b. 9 mm kalınlıkta olan Titanyum Nitrit kaplı numuneyi, zırh delici mermi delememiş ancak yüksek sertlik değerlerinden dolayı atlataarak kırmıştır.

c. 14 mm kalınlıkta olan Soğuk İş Takım eliğini, zırh delici mermi delememiş ancak atlataarak kırmış,

. 14 mm kalınlıkta olan Titanyum Nitrit kaplı numuneyi, zırh delici mermi delememiş atlataarak kırmıştır.

Balistik inceleme sonrası anlaşılmıştır ki Soğuk İş Takım elikleri gevrek bir davranış gösterdiği, kırılğan yapıya sahip tespit edilmiştir. Atışlar sırasında hiçbir mermi numuneyi delip geçememiş ancak enerji snmlerken kırılarak çatlamalar meydana gelmiştir.

Balistik inceleme sırasında Soğuk İş Takım Çelikleri, İmalat Çeliklerine göre gevrek bir davranış sergilemiş, kırılmıştır.

Balistik test atışları gerçekleştirilen numunelerde katman kalınlığının mikron seviyesi arttıkça malzemenin balistik olarak daha yüksek başarımlar gösterebileceği anlaşılmıştır. Buna ek olarak sertliğinin artmasına bağlı olarak mermi çekirdeğinin daha çok aşınacağı ve dolayısıyla balistik başarımların artacağı beklenmekte ancak sertliğin artması balistik başarımlar için tek kriter olamayacağı görülmektedir.

Zırh Çeliklerinde dışa bağımlılığı azaltabilmek, yerli savunma sanayi firmalarında üretimini yapabilmek ve bunları kaplama yöntemleriyle daha da arzu edilen seviyelere çıkarmak gerekmektedir. Bu kapsamda Balistik incelemeler yapılmadan önce sonlu elemanlar yöntemiyle simülasyonlar yapılmalı, sonraki süreçte deneysel aşamalara geçilmelidir. Bu tez daha çok deneysel çalışmaları kapsamaktadır.

Bu tez çalışmasının maddi imkanlarla desteklenmesi halinde 9 mm ile 14 mm arasındaki kalınlıklarda, daha büyük ebatlarda numuneler alınarak balistik inceleme yapılabilir. Farklı kaplama yöntemleri denenerek balistiğe etkisi araştırılabilir. Böylelikle piyasada kolaylıkla bulunabilen bir çeliğin farklı kaplama yöntemleriyle kaplanarak zırh çeliklerinin koruma seviyesine çıkartılabilir.

KAYNAKLAR

Ade F (1991) “Ballistic Qualification of Armor Steel Weldments”, Welding Journal, 70: 53-58.

Alloy Steel, (1990) “HY80, HY100”, Specification, ABD.

Ashby, M F Jones, D. R. H. (1998) “Engineering Materials 2 – Composites: fibrous, particulate and foamed”, Butterworth Heinemann, 263-276.

Atapek Ş H, (2006) “Zırh Çeliklerinin Fiziksel Metalurjik Esaslar Doğrultusunda Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.

Ayhan D, <http://www.ayhandemir.com.tr/Urunler/Imalat-Celikleri/1040> (12 Nisan 2015)

Balistik Koruyucu Elemanlar Teknolojisi, (1994) 2’nci H.İ.B.M.K’lığı, Kayseri.

Cömert Ç, www.comertcelik.com/urunler.asp?code=1200000000000 (04 Mart 2015)

Demir T, Übeyli M, Yıldırım R. O (2008) “Investigation on the Ballistic Impact Behaviour of Various Alloys Against 7.62 mm Armor Piercing Projectile”, Materials and Design, 29 (10), 2009-2016.

Ford R, (2006) “Weapon A Visual History of Arms and Armour, DK Publishing, Londra.

Forumdonanım, http://forum.donanimhaber.com/m_100176120/tm.htm (27 Mart 2015)

Gálvez, F, Cendón, D., García, N., Enfedaque, A., Sánchez-Gálvez, V., (2009) “Dynamic Fracture Toughness of a High Strength Armor Steel”, Engineering Failure Analysis, 16, 2567–2575.

Gillespie J W, (2001) “Aluminum Foam Integral Armor: A New Dimension in Armor Design”, Composite Structures, 52 (3-4), 381-395.

Globalsecurity, www.globalsecurity.org/military/library/report/1988/CJ2.htm (04 Eylül 2010).

Globalsecurity, www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/bullet.htm (16 Ocak 2015)

Jacobi, H, Batinmann, H J, Gronsfeld, J, (1988) “New Method of Determining the Macrocleanness of Unconventionally Rolled Continuously Cast Steel”, Stahl Eisen, 108 (20), 54-66.

Jean H, (1988) "Military Rifle and Machine Gun Cartridges".

Jena, P K, Mishra, B, RameshBabu, M, Babu, A, Singh, A K, SivaKumar,K., Bhat, T B, (2010) "Effect of Heat Treatment on Mechanical and Ballistic Properties of a High Strength Armour Steel", International Journal of Impact Engineering, 37 (3), 242–249.

Jena, P K, Mishra, B, Kumar, K S, Bhat, T B, (2010) "An Experimental Study on the Ballistic Impact Behavior of Some Metallic Armour Materials Against 7.62 mm Deformable Projectile", Materials and Design, 31, 3308-3316.

Karagöz, Ş, Yılmaz, A, Atapek, H, (2006) "Zırh Çelikleri ve Geliştirilmesi", 3. Savunma Teknolojileri Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt : I, 501-511, ODTÜ, 29-30 Haziran, Ankara.

Karagöz, Ş, Atapek, H, Yılmaz, A, (2007) "Su Verilmiş ve Temperlenmiş Çeliğin Alaşım ve Isıl İşlem Doğrultusunda Zırh Malzemesi Olarak Geliştirilmesi", IV.Demir-Çelik Kongresi, Bildiriler Kitabı, 63-68, 1-3 Kasım Karabük.

Lane, R, Craig, B, Babcock, W, (2002) "Materials for Blast and Penetration Resistance", The AMPTIAC Quartely, 6 (4), 39-45.

Lowry E D, (1968) "Interior Ballistics", Doubleday & Company, New York.

Manganello, S J, Wilson, A. D, (1993) "Direct Quenching and its Effects on High-Strength Armor Plate", Int. Symp. Low Carbon Steels for the 90's, Ed. R. Asfahani, G Tither, The Minerals, Metals & Materials Society, 235-241.

"Mars 190, Mars 240, Mars 270", Specification.

Matsubara, H, Osuka, T, Kozasu, I, Tsukada, K, (1972) "Optimization of Metallurgical Factors for Production of High Strength, High Toughness Steel Plate by Controlled Rolling", Transactions ISIJ, 12, 435-443.

Maweja, K, Stumpf, W, (2008) "The Design of Advanced Performance High Strength Low-Carbon Martensitic Armour Steels: Microstructural Considerations", Materials Science and Engineering A, 480 (1-2), 160–166.

"MIL-A-46100D(MR) - Armor Plate, Steel, Wrought, High-Hardness", (1988) US Military Specification,

"MIL-A-12560H(MR) - Armor Plate, Steel, Wrought, Homogenous (For Use in Combat-Vehicles and for Ammunition Testing)", (1990) US Military Specification,

Middleages, www.themiddleages.net/armor.html, (16 Şubat 2009).

Naik, N K, Shrirao, P, (2004) "Composite Structures Under Ballistic Impact", Composite Structures, 66, 579-590.

Paganx, <http://www.paganx.org/mermilerin-yapisi.html> (10 Nisan 2015)

Rosenberg, Z, Dekel, E., (2012) "Terminal Ballistics", Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

Sangoy, L, Meunier, Y., Pont, G., (1988) "Steels for Ballistic Protection", Israel Journal of Technology, 24, 319-326.

Shokrieh, M. M, Javadpour, G. H., (2008) "Penetration Analysis of a Projectile in Ceramic Composite Armor", Composite Structures, 82 (2), 269-276.

TabancaTüfek, <http://www.tabancatufek.com/forum2/archive/index.php?thread.1110.html> (01 Nisan 2015)

Taşdemirci, A.(2000) "Seramik Takviyeli Alüminyum Metal Matrisli Kompozitin Balistik Performansının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

Thomas J H, (1938) "Elements of Ordnance", John Wiley & Sons, Inc., New York.

Thyssen Stahl AG, "Special High-Strength Quenched and Tempered Steel XH 129", Specification.

Yavaş, M O, (2009) "Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Balistik Dayanımı", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.

Yıldızlı, K, Nair, F, Karamış, M.B., Cerit, A., (2003) "Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Erozyon Davranışının İncelenmesi", 6th International Fracture Conference, 517-524, September 10-12 2003, Konya.

YTÜ, <http://www.yildiz.edu.tr/~ergunk/SertKaplamalarErgunKelesoglu.pdf> (28 Şubat 2015)

Bilgen Y, <https://yusufbilgen.wordpress.com/2015/01/16/ince-film-teknikleri/> (15 Nisan 2015)

Zukas, A J, (1992) "Impact Dynamics", 155-214, Krieger Publishing Comp., Florida.

Wikipedia, www.wikipedia.org/wiki/7.62x39_mm (23 Mart 2015).

Wikipedia, http://tr.wikipedia.org/wiki/5.56x45mm_NATO (23 Mart 2015).

Wikipedia, <http://tr.wikipedia.org/wiki/AK-47> (23 Nisan 2015).

Wikipedia, http://tr.wikipedia.org/wiki/7,62x51mm_NATO (08 Nisan 2015)

10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erdi ERGÜL

Doğum Yeri ve Tarihi : Samsun, 27.03.1990

Lisans Üniversite : Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik Posta : erdiergul@gmail.com

İletişim Adresi : Milli Savunma Bakanlığı Teknik Hizmetler Dairesi

Yayın Listesi : -

Ödüller : Makine Mühendisliği Bölüm 2'nciliği