



**BALİSTİK TESTLERDE MERMİLERİN
HIZ DÜŞÜMÜNÜN YAPILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa ÇALIK

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÜLKER

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BALİSTİK TESTLERDE MERMİLERİN
HIZ DÜŞÜMÜNÜN YAPILMASI**

Mustafa ÇALIK

Danışman
Dr.Öğr. Üyesi ŞÜKRÜ ÜLKER

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Mustafa ÇALIK tarafından hazırlanan “Balistik Testlerde Mermilerin Hız Düşümünün Yapılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca GG / AA / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği / oy çokluğu** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÜLKER

Başkan	: Ünvanı Adı SOYADI Üniversite adı, Fakültesi	 İmza
Üye	: Ünvanı Adı SOYADI Üniversite adı, Fakültesi	 İmza
Üye	: Ünvanı Adı SOYADI Üniversite adı, Fakültesi	 İmza
Üye	: Ünvanı Adı SOYADI Üniversite adı, Fakültesi	 İmza
Üye	: Ünvanı Adı SOYADI Üniversite adı, Fakültesi	 İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

GG / AA / YYYY

İmza

Mustafa ÇALIK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BALİSTİK TESTLERDE MERMİLERİN HIZ DÜŞÜMÜNÜN YAPILMASI

Mustafa ÇALIK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Şükrü ÜLKER

Bu çalışmada, 1020 metre rakımda konuşlanan Afyonkarahisar Balistik Laboratuvarı'nda ateşlenen 1,1 gram ağırlığındaki fragmentin, kapalı ortamdaki sürtünme katsayısının göz önünde bulundurularak form faktörleri ve balistik katsayıları belirlenerek, parçacığın hız düşüm hesabı yapılmıştır. Hız ölçüm deneyinde kullanılan 1,1 gramlık fragment, 105 mm'lik obüs mermisinin şarapneli olup 7,62mm'lik G3 namlusundan atılmaktadır. Deneydeki ölçümler Oehler 35P kronograf ile gerçekleştirilmiştir. Deneyde 4 adet sensör kullanılmış olup, sensörler sırasıyla namludan 2100 mm, 1000 mm, 860 mm ve 610 mm mesafede konumlandırılmıştır. Deney esnasında test plakası olarak aramid plaka kullanılmıştır. Bu hız düşüm hesabı, TS 13349, MIL-STD-662 F ve STANAG 2920 standartları kapsamında V_{50} hız testi uygulanmış olup hem deneysel olarak hem de teorik hesaplamalarla elde edilen hız kayıplarının sonucu raporlanmıştır. Farklı hızlarda ve farklı barut miktarlarında yapılan deneysel ölçümlerin sonuçları ile teorik sonuçlar karşılaştırılmış ve aralarındaki hata payları bulunmuştur. Fragmentin sahip olduğu enerji kaybının hız düşümü ile birlikte doğrusal olarak arttığı tespit edilmiştir. Ölçümler neticesinde düşük hızlarda (550-560 m/s) %4'e varan hız kayıpları tespit edilirken, yüksek hız değerlerinde (650-660 m/s) ise hız kayıpları %3'e kadar düştüğü bulunmuştur.

2024, viii + 50 sayfa

Anahtar Kelimeler: Balistik, kronograf, mermi hız düşüm, V_{50} , fragment, STANAG 2920.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

VELOCITY DECREASE OF BULLETS IN BALLISTIC TESTS

Student Mustafa ÇALIK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Şükrü ÜLKER

In this study, the form factors and ballistics coefficients of the fragment, weighing 1,1 grams fired at the Afyonkarahisar Ballistics Laboratory located at an altitude of 1020 meters were determined, by taking into consideration the friction coefficient in the indoor environment, and the velocity decrease calculation of the particle was made. The 1,1 gram fragment used in the velocity measurement experiment is the shrapnel of the 105 mm howitzer bullet and is fired from the 7.62 mm G3 barrel. Measurement in the experiment were made with the Oehler 35P chronograph. In the experiment, 4 sensors were used and the sensors were positioned at a distance of 2100 mm, 1000 mm, 860 mm and 610 mm from the barrel, respectively. Aramid plate was used as test plate during the experiment. This velocity decrease calculation has been applied to the V_{50} speed test within the scope of TS 13349, MIL-STD-662 F and STANAG 2920 standards, and the result of velocity losses obtained both experimentally and theoretically has been reported. The results of experimental measurements conducted at different speeds and with varying amounts of gunpowder were compared with theoretical results, and the error margins between them were determined. As a result of the measurements, speed losses of up to 4% were detected at low speeds (550-560 m/s), while speed losses decreased to 3% at high speeds (650-660 m/s).

2024, viii + 50 page

Keywords: Ballistic, chronograph, velocity decrease of bullet, V_{50} , fragment, STANAG 2920.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr.Öğr. Üyesi Şükrü ÜLKER, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen dostum Oğuzhan YELTEKİN'e her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca her türlü maddi ve manevi desteklerinden dolayı başta babam olmak üzere aileme teşekkür ederim.

Mustafa ÇALIK
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Balistik.....	1
1.1.1 İç Balistik.....	1
1.1.2 Dış Balistik	2
1.1.3 Mermi Hızına Etki Eden Faktörler	3
1.1.3.1 Hava Direnci.....	3
1.1.3.2 Mermi Burun Direnci	3
1.1.3.3 Mermi Taban Direnci	4
1.1.4 Merminin Dengelenmesi	4
1.1.5 Dönü Hareketinin Merminin Gidişatında Meydana Getirdiği Problemler.....	5
1.1.5.1 Magnus Etkisi	5
1.1.5.2 Jirokobik Etki.....	7
1.1.5.3 Kaldırma Momenti ve Yunuslama Momenti.....	7
1.1.6 Mermi Üzerine Etki Eden Kuvvetler.....	8
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	10
3. MATERYAL VE METOT.....	16
3.1 DeneySEL Çalışma	16
3.1.1 Hız Düşüm Hesabı İçin Balistik Deney Standartları	18
3.1.2 TS 13349 Standardı	19
3.1.2.1 Hız Ölçme Donanımları	21
3.1.2.2 Barut	21
3.1.2.3 İşlem	21
3.1.2.4 Deney Düzenegi	22
3.1.2.5 Sonuçların Gösterilmesi	22
3.1.3 Stanag 2920	23

3.1.3.1 Stanag 2920'nin Uygulanması	23
3.1.4 Mermi Simülasyon Parçacıkları	24
3.1.5 V ₅₀ Hız Tespiti.....	26
3.1.6 Balistik Deneyin Uygulanmaya Hazırlanışı	26
3.2 Deneyin Uygulanması	30
3.2.1 Parçacık Testi (V50) Çarpma Hızı Hesabı	30
4. BULGULAR	34
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	43
6. KAYNAKÇA	45
ÖZGEÇMİŞ.....	50



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

C_d	Direnç Katsayısı
ρ	Hava yoğunluğu
V	Mermi hızı
A	Mermi kesit alanı
K_d	Boyutsuz sürüklenme kuvveti katsayısı
V_p	Ortalama mermi hızı
V_0	Namlu çıkış hızı
μ	Balistik katsayı
R	Atış mesafesi, m
V_S	Merminin deney numunesine çarpma hızı
V_I	Kronograf ile ölçülen hız
V_L	Kaybedilen hız
X	Hedef mesafesi
G	Sürüklenme katsayısı
D_{rel}	Bağıl hava yoğunluğu
C	Balistik katsayı
$^{\circ}C$	Santigrat derece
E	Enerji
m	Kütle
v	Hız
i	Form faktörü
G	Drag faktörü
d	Çap
Lb/in^2	Libre/inç ²
R^2	Regrasyon analiz değeri

Kısaltmalar

AP	Armor Piercing (Zırh Delici)
API	Armor Piercing Incendiary (Zırh Delici Yakıcı)
API T	Armor Piercing Incendiary Tracer (Zırh Delici Yakıcı İzli)
GB	Mermi için drag faktörü
GG	G1 model mermi için drag faktörü
MSP	Mermi Simülasyon Parçacığı
MSE	Ortalama hataların karesi
SD	Sectional Density (Bölgesel Yoğunluk)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Mermi üzerinde Magnus etkisi	6
Şekil 2.1 Oehler 35P kronograf. Öndeki hız ölçer namlu çıkış hızını ölçerken, arkadaki hız ölçer ise numuneye çarpma hızını ölçmektedir	13
Şekil 2.2 Oehler 35P kronografin polikarbonat çerçeve sayesinde kanal yapısından dolayı iç kısmında bulunan aydınlatma.....	15
Şekil 3.1 Mermi hız düşümü balistik test düzeneği	17
Şekil 3.2 Mermi simülasyon parçacığının görüntüsü.	25
Şekil 3.3 Barutun gram ağırlıkta ayarlanması	27
Şekil 3.4 Barutun kovana doldurulması	27
Şekil 3.5. Barutun kovan içerisinde sıkılaştırılması	28
Şekil 3.6 Sabot ve fragment	28
Şekil 3.7 Barutun kovan içerisinde sıkılaştı Fragmentin önce sabota, sonra sabot ile düzeneğe ve daha sonra kovan ile birlikte sıkıştırılıp hazır hale getirilmesi rılması	29
Şekil 4.1 Balistik Test Laboratuvarı'nda bulunan namlu ve kronograf düzeneği	35
Şekil 4.2 Barut miktarına göre ölçülen hızın değişimi	36
Şekil 4.3 Ölçülen Hız – Çarpma Hızı Grafiği	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Bazı ulusal ve uluslararası balistik deney standartları	18
Çizelge 3.2 Şekil 3.2’de ki parçacığın verileri	26
Çizelge 3.3 Farklı yüzey şekillerine ait sürtünme katsayıları	32
Çizelge 3.4 ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu) Atmosfer Standartları	32
Çizelge 4.1 Teorik hesaplama ile bulunan değerler.	34
Çizelge 4.2 Test yapılarak ölçülen 16 atışın ölçülen ile bulunan hızları arasındaki hız kaybının yüzdelik dilimle gösterilmesi	37
Çizelge 4.3 Test yapılarak ölçülen 12 atışın hata miktarının yorumlanması.	40
Çizelge 4.4 Ölçülen hız kayıplarının yüzde olarak karşılaştırılması.....	41
Çizelge 4.5 Ölçülen hızlara göre görülen enerji kayıpları.....	42

1. GİRİŞ

Namludan çıkan mermi hızının incelenmesi, fizik ve mühendislik disiplinlerini kapsayan balistiğin kritik bir yönüdür. Bir merminin ateşlendikten sonra hızının nasıl ve neden değiştiğini anlamak, ateşli silahların, mühimmatın ve uygun zırh tasarımı dahil olmak üzere birçok pratik uygulama için çok önemlidir (Farrar, 1982).

Genellikle hız düşüm olarak adlandırılan mermi hızının azalması, öncelikle hava direnci, yerçekimi ve merminin fiziksel özellikleri gibi faktörlerden etkilenir. Bir mermi havada ilerlerken sürtünmeyle karşılaşır ve bu da onu yavaşlatır. Bu sürüklenme kuvveti merminin hızına, şekline, kütesine ve havanın yoğunluğuna bağlıdır. Ek olarak yerçekimi mermiye etki ederek zamanla düşmesine neden olur ve bu da merminin yörüngesini ve ivmelenmeyi doğrudan etkiler (Farrar, 1982).

1.1 Balistik

Balistik; bir namludan ateşlenen merminin havadaki hareketiyle birlikte mermiyi havadayken etkileyen faktörleri inceleyen bilim dalıdır. Genel olarak mermileri harekete geçiren basınç kuvvetini, merminin yörüngesini, uçuşunu ve çarptığı hedef ile birlikte mermide meydana gelen değişiklikleri de inceler. İç ve dış balistik olarak ayrı başlıklara ayrılır (Gök, 2006).

1.1.1 İç Balistik

İç balistik, merminin namlu ağzından çıkmadan önce barut ile olan etkileşimini ve barutun yarattığı itme kuvvetiyle olan etkileşiminin yanı sıra; roketler, hava yastıkları ve ateşleme sistemleriyle de ilgilenir (Tuomainen, 2001) .

İç balistik, merminin atım yatağına düşmesinden başlayarak, silahın mekanik yapısını ve patlamayla birlikte kovanda oluşan etkileri inceleyen balistiğin alt dalıdır. Silah ateşlendiğinde barut birden alev alıp patlamaz bunun yanı sıra hızla artış gösteren gaz hacmi oluşur. Barutun doldurulduğu kovandaki yanma işlemi, barut tozunun sıkıştırılmasıyla başlar. Bununla birlikte, artan basınçtan dolayı mermi ileri doğru gitmek

isteyerek namludan çıkış yapar. Artan basınç yanmayı arttırır. Basınç merminin başlangıç değerine ulaştığında basınç artışı durur ve mermi namlu boyunca hareket eder. Bu sebeple uzun namlulu silahlar ve ağır yanma gösteren barutlarla birlikte basınç sabit tutulmaya çalışılır. Bu hareket sırasında açığa çıkan gaz için bir boşluk oluşur ve basınç düşmeye başlar. Barut tamamen yandıktan sonra namlu içerisinde biriken gazdan dolayı ateşlenen parçacık ivmelenmeye devam eder ancak ivme hızındaki artış azalır (Ergül, 2015).

1.1.2 Dış Balistik

Mermi, hedefine ulaşınca kadar karşısına çıkan hava direncini yenmek ve uçuş müddeti boyunca hedeflenen noktaya varmak zorundadır. Bundan dolayıdır ki mermi ile birlikte yanan barut gazları namluyu terk ettikten sonra, hedefe ulaşınca kadar oluşan süreç dış balistik denir. Bu süreçte merminin havadaki hareketine-yer çekimi hariç-etki eden faktörler atmosfer ve mermi ile alakalı olan faktörler olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Mermi ile alakalı olanlar kütle, kalibre, burun şekli ve dönme hızı iken atmosfer ile ilgili olanlar havanın yoğunluğu, sıcaklığı, basınç, viskozite ve rüzgâr merminin havadaki hareketini etkileyen faktörler arasında yer alır (Öztürk, 1979).

Merminin tasarımında ön plana çıkan etkenlerden bir diğeri de istikametindeki uçuşu esnasında merminin dengeli bir şekilde hareketine devam etmesidir. Mermi ateşlendiği andan itibaren hedefe varıncaya kadar merminin uçuş yörüngesinden sapmaması için merminin kendi eksenini etrafında dönmesi, yiv-set kullanılarak sağlanmalıdır. Bu yiv-set sayesinde hava direnci tamamen olmasa da kırılacak ve merminin hedefe doğru ulaşmasında hava direnci etkisini azaltacaktır (Özer, 2017).

Namludan çıkan mermi hedefe doğru giderken yer çekimi ve hava direncinin etkisiyle merminin yörüngesinde bozulmalar meydana getirmektedir. Bu da merminin namludan çıktıktan sonra düz gitmesi yerine parabolik bir yörüngede gitmesine neden olur. Hava direnci, sürtünme kuvveti gibi daima merminin gidiş yönüne ters etki eder. Bu nedenle mermi havadayken sürekli yavaşlama eğilimi içindedir. Çarpma hızı ve namlu hızı arasındaki farkın oluşmasının nedenlerinden biri de budur (Hermann, 1935).

1.1.3 Mermi Hızına Etki Eden Faktörler

1.1.3.1 Hava Direnci

Hava direnci, merminin gidebileceği azami menzili azaltan bir faktördür. Mermi, namludan çıktığı andan itibaren hava direncine karşı koyarak yol alır ve havada yol alırken, kendi sahip olduğu kinetik enerjiyi, içinde ilerlediği havanın yer değiştirmesi için gerekli enerjiye aktarır (Güraksın vd., 1984).

Ateşlenen bir merminin uçuş performansını tanımlamak için hava direnç katsayısını belirlememiz gerekir. Hava direnç katsayısı 0 ve 2 arasında değişir. Bizim çalışmamızda kullandığımız 1,1 gram ağırlığındaki silindir şeklindeki fragmentin hava direnç katsayısı şekil 3.7’de de yazdığı gibi 0,82 olarak belirlenmiştir. “ C_d ” olarak ifade ettiğimiz hava direnç katsayısının değeri azaldıkça, merminin namlu çıkışındaki hızı ve toplam kat edebileceği mesafe azalır. Hava direnç kuvveti denkleminde de görüleceği üzere, hava direnç kuvveti ve hava direnç katsayısı doğru orantılıdır (Parker, 1977).

$$\text{Hava direnç kuvveti: } \rho \times V^2 \times A \times C_d / 2 \quad \text{N} \quad (1.1)$$

ρ : Hava yoğunluğu kg/m^3

V : Mermi hızı m/s

A : Mermi kesit alanı m^2

C_d : Direnç katsayısı

1.1.3.2 Mermi Burun Direnci

Mermi namludan belirli bir hızla çıktığı zaman önündeki havayı sıkıştırıp basınç dalgası oluşturarak kendi yörüngesinde ilerler. Bu dalgalar merminin önünde burun direncini oluşturur. Dalgaların, merminin ses hızından yavaş veya hızlı hareket etmesine göre mermiye farklı etkileri olur. Eğer mermi, dalgalardan yavaş hareket ederse burun direnci daha az olur. Şayet hızlı hareket ederse merminin burnunda birleşen şok dalgaları, daha yüksek bir burun direncine sebep olur (Lin ve Ju, 2020).

Ses hızını 340 m/s kabul edersek, hızın artmasıyla ses hızı artar ve merminin ucundaki

şok dalgalarının oluşturduğu aç ı daral ır. Sivri uçlu mermiler ateşlendiğ i zaman, merminin ucunda oluş an şok dalgaları merminin gövdesine neredeyse yapış ık bir vaziyet almaktadır. Yuvarlak uçlu mermilerde ise şok dalgaları merminin önünde seyretmektedir. Sivri uçlu mermilerden yuvarlak uçlu mermilere gittikçe oluş an hava direnci artar ve sonuç olarak merminin kat edeceğ i mesafe kısal ır (Keleş, 2019).

1.1.3.3 Mermi Taban Direnci

Mermi seyir halindeyken, mermi yüzeyinde düzgün hava akımı meydana gelmektedir. Bu hava akımları mermi yüzeyini terk ettiğ i anda merminin tabanında belirli ölçekte düzensizlik meydana getirir. Oluş an bu düzensizlik merminin aerodinamiğ ini bozarak yavaşlatma etkisi gösterir (Mccoy, 1990).

1.1.4 Merminin Dengelenmesi

Ateşlenmeyle birlikte kovanın içinde bulunan barut, hızla reaksiyona girerek yanma oluşturur. Bu yanma sonucu ile oluş an basınç, merminin çekirdeğ ini hedefe doğru iter. Mermi namlu içinde ilerlerken yiv-setten gelen dönü hareketi ile rotasyonel bir hareket kazanır. Bu dönü hareketi sayesinde mermi namluyu terk ederken maksimum hızına ulaş ır ve hedefe doğru yönelir. Hedefe doğru yönelen mermi, namlu ağ zından çıkmadan önce hafifçe dengesizleşmeye baş lar. Bu dengesizleştirme türbülanslı hava sayesinde de artarak merminin yalpa yapmasına neden olur. Dönme momenti ile ilerleyen mermi, bir ila üç metre sonunda dengesini sağlayıp düz gitme hareketi kazanır. Bunun sebebi uçuş esnasında ağırlık merkezinden kaynaklı ana yörünge teğ etiyle birlikte, sapma aç ısının düzene girmesidir. Mermiler genellikle ağırlık merkezinden dengelenir ve bu merkez çoğunlukla merminin ön kısmında olmaktadır (Rhee vd., 2016b).

Merminin ateşlendikten sonra meydana gelen basınç ve yüksek sıcaklıktaki barut gazının meydana getirdiğ i sarsıcı etkiye dayanabilmesi için mermi tabanının ağır ve kalın olarak dizayn edilmelidir. Havada ilerleyen mermiye etkiyen diğ er faktör olan burun direncinin azaltılması için merminin burun kısmı sivrileştirilmelidir. Belirtmiş olduğ umuz etkenler fragmentin ağırlık merkezinin tabana yakın arka kısımda oluş masına ve oluş acak basınç merkezinin burun bölgesinde meydana gelmesine sebep olur (Hacker, 2003).

Ağırlık merkezinin geride veya aşırı uç noktada olan bir merminin havadaki hareketinin dengelenmesi sağlanmadan hedefe tam isabet ulaşması mümkün görünmemektedir. Ağırlık merkezinin farklı noktalarda olduğu mermilerde dengeleme, çok güçlü olan açısall momentum aracılığıyla yaratacak olan dönü hareketi sayesinde dinamik olarak sağlanmaktadır. Merminin ağırlık merkezi ise merminin tasarımına göre farklılık göstermektedir. Mermi tasarımı, merminin havadaki akışını etkileyen önemli bir faktördür. Mermi çapı arttıkça merminin taban alanı büyüdüğü ve buna bağlı olarak etki eden kuvvetinin arttığı ispatlanmıştır (Weinacht, 2006). Mermilerin havadaki hareketini inceleyen hesaplamalı akışkan dinamiğine etki eden faktörler ise; mermilerin dış geometrisi, sınırlı menzile ve merminin imalatına etki eden etkenler olarak incelenir (Silva vd., 2011).

1.1.5. Dönü Hareketinin Merminin Gidişatında Meydana Getirdiği Problemler

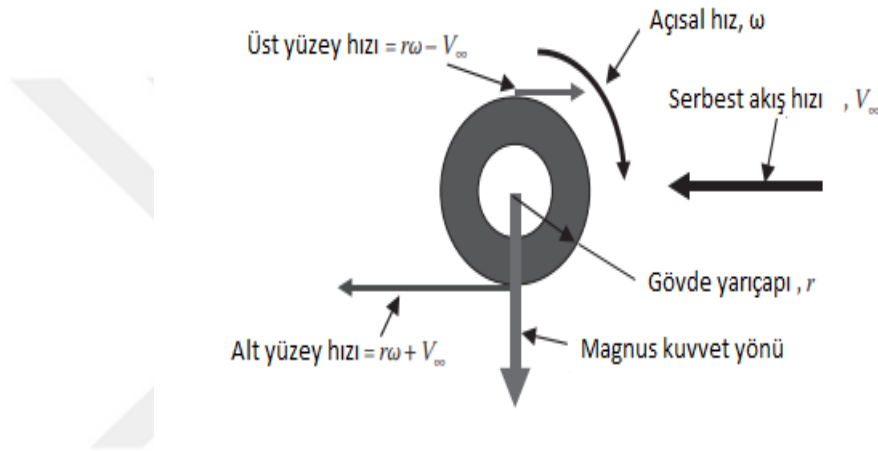
Mermi namludan çıktıktan sonra, kendisine zıt yönde kuvvet uygulayan hava sürtünmesi ihmal edilse dahi, namlu içerisindeki yiv-setin oluşturduğu kendi ekseninde dönme hareketi, merminin yatay yörüngesinden kaymasına neden olmaktadır. Bu fenomene tabii yan denir ve yiv-setin oluşturduğu dönme yönüne göre mermi sağa veya sola sapar. Merminin namludan çıktığı yörüngeden ayrılmasına; Magnus ve Jirokobik etkiler neden olarak gösterilebilir. Genel olarak merminin aerodinamiğine ve dolayısıyla yörüngesine etki eden parametreleri ise; Magnus momenti, kaldırma kuvveti ve yunuslama momenti olarak gösterebiliriz (Sailaranta vd., 2014).

1.1.5.1 Magnus Etkisi

Mermiyi ters yönde döndürmeye çalışmanın bu etkisi, özellikle yüksek yükseklik açılarında fark edilir. Merminin havada ilerlemek yerine sabit ve dönüyor olduğunu ve havanın diğer taraftan fırlatıldığını kabul etmek fiziksel bir fark yaratmaz. Bu yan rüzgarların kombinasyonu, mermi üzerinde bir Magnus etkisi yaratır. Normal bir sistemde, bazı küçük faktörleri göz ardı ederek, yan rüzgâr Magnus kuvveti dönen mermiye aşağı ve yukarı doğru kuvvetler uygular (rüzgârın sağa mı yoksa sola mı estiğine

bağlı olarak) ve bu kuvvet, merminin yörüngesini önemli ölçüde saptırır. Bu da merminin yörüngesini değiştirir (Akçay, 1993a).

Magnus etkisi, dönme eksenine dik olarak hareket eden bir akışkan içinde dönen bir silindire etki eden kaldırma kuvvetidir. Magnus etkisinden kaynaklanan kuvvetin uygulama noktası nesnenin kütle merkezi ile çakışmaması halinde Magnus momenti oluşur. Magnus momenti, uçuş halindeki ince eksenel simetrik nesnelerin uçuş stabilitesi için çok önemlidir (G. Özer, 2008).



Şekil 1.1 Mermi üzerinde Magnus etkisi (Donald E. Carlucci ve Sidney S.Jacobson, 2010).

Genel olarak, Magnus kuvvetinin mermi yörüngesi üzerindeki etkisi, sürükleme gibi diğer kuvvetlere kıyasla genellikle ihmal edilebilir düzeydedir. Bununla birlikte, sürtünmeyi, çarpma anında mermi davranışını ve diğer birçok faktörü etkileyerek merminin hedefe olan kararlılığını büyük ölçüde etkiler. Magnus etkisi, merminin ağırlık merkezi yerine basınç merkezine etki ettiğinden merminin hedef yolundaki istikrarı etkilenir (Cayzac vd., 2011). Bu, merminin yalpalama açısını etkilemek içindir. Mermiyi yörüngesi boyunca ya uçuş eksenine doğru sapmayı azaltarak mermiyi dengeler ya da uçuş ekseninden uzağa sapmayı artırarak merminin dengesini bozarak döndürme eğilimindedir. Bu, akış alanının yapısına, esas olarak merminin hızına (süpersonik veya ses altı); aynı zamanda geometriye, hava yoğunluğuna ve yüzey kalitesine bağlıdır. Basınç merkezi ağırlık merkezinin önündeyse, etki kararsız olacaktır. Basınç merkezi ağırlık merkezinin arkasındaysa etki sabittir (Taddeucci vd., 2017).

1.1.5.2 Jirokobik Etki

Jirokobik etki, yiv-set aracılığıyla merminin dönmesi nedeniyle merminin dönme yönünde sapmasıdır. Mermi, dönüş eksenini hız vektörü ile hizalanmış olarak fırlatılır. Mermi, yörüngede ilerledikçe, yerçekimi mermiyi aşağı doğru hızlandırır ve yere bir hız bileşeni getirir. Mermi, uzun bir geçişte dönen bir beyzbol topu gibi tepki verir ve burnunu havaya göre ayarlayarak hız vektörünü takip eder. Bu durum, burnun aşağı torktur. Dönme eksenini, hız vektörünü takip ederken burnu hafifçe sağa döndürmektir (Robert ve McCoy, 2009). Burnun bu hafif sağa doğru uçuşu jirokobik sürüklenme olarak bilinen yanal bir kaymaya neden olur. Sola veya sağa dönüş, jirokobik sürüklenmenin yönünü değiştirir. Sağ elli bir namludan ateşlenen bir mermi aynı miktarda sağa kayar ve bunun tersi de geçerlidir. Jirokobik sürüklenme, merminin kütesinin ve aerodinamiğinin uçuğu atmosfer ile etkileşimidir. Jirokobik sürüklenme, atmosferin özelliklerine (yoğunluk) bağlıdır (Sharma, 2011). Sonuç olarak, mermi, fırlatma yönünden dönme yönüne doğru biraz sapar.

1.1.5.3 Kaldırma Kuvveti ve Yunuslama Momenti

Cisim havada ilerlerken hücum açısına sahip olması sonucu normal kuvvet ve eksenel kuvvetin bileşkelerinden kaldırma kuvveti oluşur. Mermilerde dezavantaj olarak görünen bu kuvvet yanca sapma açısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yana doğru sapmanın olmadığı koşullarda rüzgâra bağlı kuvvet sürüklenme kuvvetinden meydana gelmektedir. Kaldırma kuvvetinin tesir çizgisinin cismin ağırlık merkezinden geçmemesi halinde yunuslama momenti oluşmaktadır (Gürsel Özer, 2008).

Eğer normal kuvvet kütle merkezinin gerisinde simetri eksenini kesiyor ise yunuslama momenti mermi dengesini düzeltici yönde etki eder. Bu durum yunuslama momentinin negatif değeriyle ifade edilmektedir. Yunuslama momenti cisim üzerindeki basınç merkezi ile ağırlık merkezinin arasındaki mesafeden dolayı meydana gelir. Mermiyi kütle merkezinden geçen merminin boylamasına bir eksen üzerinde döndürmeye çalışır (Tiryaki, 2009).

1.1.6 Mermi Üzerine Etki Eden Kuvvetler

a. Sürüklenme kuvveti:

Havanın içinde hareket halindeki bir cisim sürüklenme kuvveti tarafında etki altına alınır. Bu kuvvet, havanın yoğunluğu, cismin dış yüzeyi, cismin hızıyla ses hızı ve hücum açısıyla değişir. K_D boyutsuz bir sürüklenme kuvveti katsayısıdır. Dış balistik alanında kullanılan mermilerde burun tarafının küt yapılması gerekmektedir. Burun koniklik açısı 25 dereceden büyük mermiler halinde burun civarında sürüklenme kuvvetinin olumlu bir etki yaratması için önemlidir (Akçay, 1986).

b. Eksenel dönme reaksiyon momenti:

Mermi havada hareket halindeyken, mermi yüzeyine temas eden hava mermi ile beraber döner. Viskozite, merminin dönme yönüne ters bir momentin oluşmasına sebep olur (Akçay, 1993b).

c. Dik reaksiyon kuvveti:

Cismin boyu boyunca oluşan eksene dik bir şekilde değişmeye karşı ortaya çıkan yan kuvvettir (Akçay, 1993c).

d. Yer çekiminin etkisi:

Havada hareket halinden olan cisime, dünyanın yer çekimi tarafından ivmeli bir hareketin oluşmasına neden olur. Yer çekimi kuvveti, cismin sahip olduğu kütle ile doğru, dünya yüzeyinin ve cismin kütlelerinin merkezi arasındaki mesafenin karesi ile ters orantılıdır (Rhee vd., 2016a).

Genel olarak toparlayacak olduğumuzda yapmış olduğumuz bu çalışmada, 105 mm'lik obüs topunun infilakı esnasında savrulan şarapnele 5 metrelik alanda etkiyen faktörleri inceledik. Bu faktörleri incelerken farklı barut miktarına bağlı olarak şarapnelin hızını

ölçümledik. Hesaplamalı modelleme ve deneysel tekniklerdeki son gelişmeler, mermi uçuşunun karmaşık dinamikleri hakkında daha derin bilgiler sağlamıştır. Yüksek hızlı kameralar, rüzgâr tünelleri ve gelişmiş balistik yazılımlar, araştırmacıların mermi davranışını benzeri görülmemiş bir hassasiyetle analiz etmelerini sağlar. Bu araçlar, farklı değişkenlerin mermi yavaşlamasını nasıl etkilediğinin daha iyi anlaşılmasına yol açarak mermi tasarımının en iyi hale getirilmesine olanak sağladı. Ordu ve kolluk kuvvetleri açısından, ateşli silahların doğruluğunu ve ölümcüllüğünü artırmak için mermi hızının azalmasını etkileyen faktörleri anlamak çok önemlidir.

Bu tez hem teorik olarak hız düşüm modellerini incelemiş hem de deneysel verileri kullanarak mermi hızının azalmasını etkileyen faktörleri araştırmayı amaçlamaktadır. 1,1 gramlık fragment, çeşitli barut miktarları ile 36 defa ateşlenerek çevresel koşulları inceleyerek bu araştırma, mermi yavaşlamasını sağlayan mekanizmalar hakkında kapsamlı bir anlayış geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Bu tezin yapısını özetleyecek olursak; birinci bölümde hız düşümün genel anlamı ve etkileyen faktörlerden bahsettiğimiz giriş kısmı, ikinci bölümde farklı ekipmanlar kullanılarak yapılan hız düşüm analizlerinin incelenmesi ve farklılıklardan bahsederken aynı zamanda bizim kullandığımız ekipmanın önemini vurguladığımız argüman taraması kısmı, üçüncü bölüm parçacık hızını inceleyen bilim dalı olan balistiğin teorik olarak anlatımının yapıldığı materyal ve metot, dördüncü bölüm bu araştırmada kullanılan metodolojiyi özetlemekte ve deneysel düzeneği, veri toplamayı ve analitik teknikleri detaylandırıldığı bulgular, beşinci bölümde deneyin ve simülasyonun sonuçlarının sunulduğu ve ardından bunların sonuçları tartışılmakta olup, bulguların bir özeti çalışmanın sınırlamaları ve gelecekteki araştırmalar için önerilerle tezi sonuçlandırmaktadır.

Mermi hızının azalmasını etkileyen faktörleri sistematik olarak araştıran bu tez, bilimsel topluluğun balistik davranışa ilişkin anlayışını geliştirmeyi ve ateşli silahlar ve mermileri içeren çeşitli uygulamalar için uygulanabilir bilgiler sağlamayı amaçlamaktadır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Namludan çıkan merminin hızının matematiksel hesabının doğru yapılması, barutlu silahların araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin yürütülmesi, üretimi ve aktif olarak kullanılması üzerinde önemli bir etkisi olduğu için silahların performans testinin kullanıldığı teknolojinin önemli bir konumunda bulunmaktadır. Bu öneminden dolayı, mermi hızının ölçme yöntemi ve yöntemin doğruluğunun geliştirilmesine yönelik araştırmalar ateşli silahların performans değerlendirmesi sonucunda önemli bir etken olmuştur. Ateşli silahların performansının değerlendirilmesi, yani ateşli silahlardan atışlanan mermilerin balistik hesaplarının ortaya çıkarılması için balistik kronograflar kullanılır. Balistik kronograflarda en sık Doppler tekniği, lazer ekranı hız ölçüm sistemi ve kızılötesi ekranı hız ölçüm sistemleri kullanılır (Barker ve Hollenbach, 1972; Sun vd., 2010; D. E. Zhao ve Zhou, 2005).

Lazer ekranı hız ölçüm sistemi mermi hız düşümlerinin hesabının yapılması için kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Lazer ekranı hız ölçüm sistemi gerçek zamanlı ve yüksek hassasiyetli ölçüm yapmasından dolayı ideal yöntem olarak değerlendirilir (Lawson vd., 1993). Uygulamanın iki ışık perdesinden geçen parçacığın namludan atıldıktan sonra perdeler arasındaki zaman aralığının ölçülmesi ve akabinde ışık perdeleri arasındaki mesafeye göre-yani hedef mesafesi- mermi hızının hesabını yapması gerekir. Fakat parçacık iki ışık ekranından geçtiği esnada ekranların uyumsuz optoelektronik tepkisinden dolayı parçacığın namludan atıldıktan sonraki hız ölçümlerinin hesabı teorik ve deneysel olarak farklılık göstermektedir (Chu vd., 2020; Pan vd., 1994; D. Zhao vd., 2013).

Bir diğer ölçüm metodu olan Doppler frekans kayması ölçüm metodu ise, fragmentlerin atıştan sonra yol aldıkları süre boyunca hızlarını ölçmek için kullanılan bir diğer yöntemdir. Bu teknikte, sürekli radyo frekansı dalga olarak iletilerek mermiden yansıtılır ve hız ölçerin alıcısı tarafından algılanır (Statman ve Rodemich, 1987). Merminin menzili alıcının yerine göre değiştiğinde iletilen ve algılanan frekanslar eşit olmayacaktır. Bu iki frekans arasındaki fark “Doppler Frekans Kayması” olarak bilinir. Doppler kayması merminin alıcıya göre menzilin oranı veya radyal hızıyla doğru orantılıdır (Christensen

ve Underhill, 2004; Gilson vd., 2021).

Doppler ölçüm yönteminde ölçüm cihazını kullanan kişinin, cihazı hedefe uygun bir şekilde konumlandırması gerektiği ve insansız bir şekilde cihazın etkin çalıştırılmayacağından dolayı küçük kalibreli fragmentler için uygun değildir (Johnson ve Burgess, 1968; Kriukov ve Mudrik, 2019).

Kızılötesi hız ölçüm ekranının kullanıldığı sistemde ise mermi hızı, iki ışık perdesi arasındaki mesafenin, birinci (başlangıç) ışık ekranındaki ışığı bir optik dedektör tarafından ölçülen mermi ile ikinci (durdurma) ışık ekranındaki algılanan ışığı bir optik dedektör tarafından ölçülen parçacık arasındaki geçen zaman aralığına bölünmesiyle hesaplanır. Namludan ateşlenen mermi, hava sürtünmesi veya diğer etkiler nedeniyle namludan ayrıldıktan sonra yavaşlamaya başladığından hesaplanan değerler iki ışık perdesi arasındaki mermi hareketinin ortalama hızıdır (Li ve Lei, 2013; Paulter, 2009).

Fragmentin hızının ölçümünde Skyscreen sensörler kullanılır ve ışık huzmesinin yoğunluğundaki değişimi kaydederek hızı ölçer. Optik sistem mercek silindiriindeki yapısından dolayı, ışık sınırlı bir alandan geçer. Fragmentin bu sınırlı alandan geçişi, fotoelektrik hücre üzerine düşen ışığı azaltır. Işıktaki meydana gelen bu azalma, kronografi başlatıp durduran bir sinyal üretmeye sebebiyet verir (Tian vd., 2019). Böylece hız ölçümü elde edilir.

Sensörlerden geçen mermilerin algılanmasını sağlarken kullanılan Skyscreen sensörleri, açık bir arka plana karşı karanlık bir mermi görmek ister. Skyscreen sensörleri, mermi üzerinden geçerken hafif bir ışık damlası algılar ve böylece kronografin hızı kaydetmesine olanak tanır (Wu ve Zhang, 2019).

Namludan ateşlenen fragment gökyüzünden daha koyu renk tonuna sahip olduğundan dolayı fragment sensörlerden geçerken fragment üzerinde parıltı meydana gelir ve böylece kronografda fragmentin hızı kaydedilir (Fontenot vd., 2011).

Açık havada ise parıltının kaynağı olan kızılötesi dalgaları, merminin üzerinde güneş

ışınlarının dağılmasını sağlayarak sensörlerin mermi hızını yüksek hassasiyetle hesaplanmasını sağlar. Kronografta kızılötesi ışınları yayan difüzöre yeterli güç gelmediğinde veya mermiye düşen parlaklık fazla olduğunda sorun çıkma olasılığı yüksektir. Buna ek olarak yerde kar veya su olduğunda, yerden yansıyan parıltıdan kaynaklı sensörlerin düzgün çalışmamasına neden olabilir (Li vd., 2013; Ni ve Tian, 2006).

Kızılötesi sistemlerde kullanılan Skyscreen sensörleri ışık koşullarına bağlı olarak sınırlamalara maruz kaldığı görülmüştür. Işık koşullarının yetersiz olduğu durumlarda Skyscreen sensörleri hatalı çekimler kaydeder. Farklı bir kronograf modeli olan Oehler 35P'deki merminin geçtiği kanal ise bu tür hatalı ölçümlerin yapılacağı durumlarda sistem ölçüm hatası konusunda uyarı verir. Merminin geçtiği prova kanalı ekran aralığını operatör yerine ölçemez fakat ekrana bağlı hataları tespit eder. Yapılan atışlardaki farklılıkları ise hız ölçüm hesaplamalarındaki tipik hatalarla karşılaştırır. Bu karşılaştırma sonucu rapor olarak elde edilen kanıt, kronografin hız ölçümüne hangi durumlarda güvenileceğini ve sistemin ışık koşullarına hangi durumlarda ölçüm için yeterli olduğunu belirtir (Price, 2016).

Örneğin, iki kronografi çalıştırmak için yalnızca iki ekran kullanıldığında kronograflar her atışta aynı değeri okur ve bu durumda hata belirtemez. Her iki ekrandaki bir hata, her kronografta aynı hız hatasına neden olur. Hem başlangıç ekranı hem de bitiş ekranı yan yana olacak şekilde iki çift ekran kullanımına olanak sağlar. Her iki çift de maksimum mesafeyi verir, ancak koşullar muhtemelen her iki çifti de eşit şekilde etkiler ve hala büyük ölçüde hata kanıtlayamaz. 35P'in konfigürasyonu, herhangi bir veya iki Skyscreen kullanılan ekranlardaki bir hatanın hız okumalarının farklı sonuçlara yol açacağı şekilde seçilmiştir. Bu farklı sonuçlar ölçüm hatasını gösterir. Skyscreen kullanılan sistemleri kapalı mekanlarda kullanmak için gün ışığı yerine alternatif olarak akkor tipi lamba kullanılır. Ayrıca, 35P'in kasaları dahil tüm parçalar meydana gelebilecek hasarların önlenmesi için sert polikarbonat ile kaplanmıştır. Skyscreen sensörleri kullanılan hız ölçümlerinde karanlık ortamlarda ortam aydınlatması dışarıdan yapılırken, 35P'nin hız ölçerinde bulunan aydınlatma sayesinde karanlık ortamlarda sorunsuz şekilde ölçüm yapılabilmektedir (Price, 2016).



Şekil 2.1. Oehler 35P kronograf. Öndeki hız ölçer namlu çıkış hızını ölçerken, arkadaki hız ölçer ise numuneye çarpma hızını ölçmektedir.

Yukarıda atıfta bulunmuş olduğumuz hız ölçüm sistemlerinin kullanıldığı cihazlar, fragmentin namludan çıktığı andaki hızını yüksek doğrulukla ölçerler. Fragment, namludan uzaklaştığında, uçuş sırasındaki istikametinden saptığından dolayı hızını ölçebilmek için fragmentin değerlerinin ölçüldüğü çerçevenin geniş bir alana sahip ortamın kurulması gerekir. Geniş bir çerçeveye birlikte deneyin yapılacağı ortamın aydınlatması, aydınlatmanın mermi üzerinde parıltı bırakması ve sensörlerin bu esnada merminin hızını hesaplayabilmesi de önemli bir etkidir (Fontenot vd., 2011). Bahsetmiş olduğumuz farklı sistemlerle Oehler 35P kızılötesi kronografin kıyaslamasını yaptığımızda Oehler 35P kızılötesi hız ölçüm sisteminin avantajları;

1. Lazer ekran hız ölçüm sistemlerinde yüksek duyarlılığa sahip mevcut ekran alanında yayılabilmesi için daha büyük optik cihazlara gerek duyulur. Bu da ölçüm hatalarında çok büyük sapmalara yol açar. Oehler 35P kronografında ise birden fazla sensör kullanılabilir olduğundan ölçüm esnasında hata payı daha düşüktür (Li ve Lei, 2013; Paulter, 2009).

2. Kızılötesi ekranlar kullanan hız ölçüm cihazları, elektromanyetik girişim ve uyumsuzluğa karşı güçlüyken çok yüksek hassasiyet ve çözünürlük elde eder. Fakat Lazer ekranı sistemlerinde dışarıdan herhangi bir elektromanyetik girişimde fragmentin hız düşüm hesabındaki sapmalar büyük oranda artar (Lawson vd., 1993).
3. Kızılötesi ekranların kullanıldığı sistemin hem montajı kolay olmakla birlikte hem de operatör için yapılan deney şartlarında kullanıma uygun bir cihazdır (Price, 2016).
4. Doppler Kayması tekniği ile ölçüm yapan kronograflarda, cihaz insansız bir şekilde çalıştırılmayacağından ötürü küçük kalibreli fragmentler için uygun değildir. Fakat Oehler 35P kronograf, uygun sabot kullanımı ve merminin otomatik ateşlenebileceğinden dolayı küçük kalibreli fragmentler için uygundur (Christensen ve Underhill, 2004; Gilson vd., 2021).
5. Güneş ışığından yararlanılan sistemler kapalı mekanlarda kullanılamaz ve bu sistemlerden elde edilen sonuçların doğruluğu büyük ölçüde güneş ışığına bağlıdır. Fakat Oehler 35P kronografin kullanıldığı ölçüm deneyleri, kronograf hem karanlık hem de güneş ışınlarının yoğun olduğu ortamda difüzörden yayılan dalgalar sayesinde çok düşük bir sapma payıyla ölçüm yapar (Li vd., 2013; Ni ve Tian, 2006).
6. Kızılötesi kronograflar (Örn. CED M2), kapalı ortamlarda da ölçüm yapabilmesine rağmen kapalı ortamda yapılacak deneylerde floresan lamba kullanılmamalıdır. Kullanıldığı takdirde floresan lambalar titreştiğinden dolayı sensörler floresandan kaynaklanan dalgalanmaları algılar ve bu durum da değerlerin yanlış hesaplanmasına yol açar. Lambalar, kronografin yakınındaysa, dalgaların karışmasını önlemek için kızılötesi ekranların üstü örtülür ve sensörlere ışık girmediğinden emin olunması gerekir. Aydınlatma için floresan lamba yerine akkor ampul kullanılabilir (Price, 2016).

7. Oehler 35P kızılötesi kronografta kullanılan hız ölçerler, etrafını çevreleyen sert polikarbonat sayesinde hem darbeye karşı dayanıklı olup, CED M2 tipi kızılötesi kronografa kıyasla kanal yapısından ötürü Şekil 2.2’de görüldüğü gibi karanlık ortamlarda aydınlatması kanal içerisinde olduğundan fragmentin üzerine düşen ışık rahatça algılanabilir ve daha düşük hata payı ile hız ölçümü yapılabilir (Price, 2016).



Şekil 2.2. Oehler 35P kronografin polikarbonat çerçeve sayesinde kanal yapısından dolayı iç kısmında bulunan aydınlatma.

3. MATERYAL VE METOT

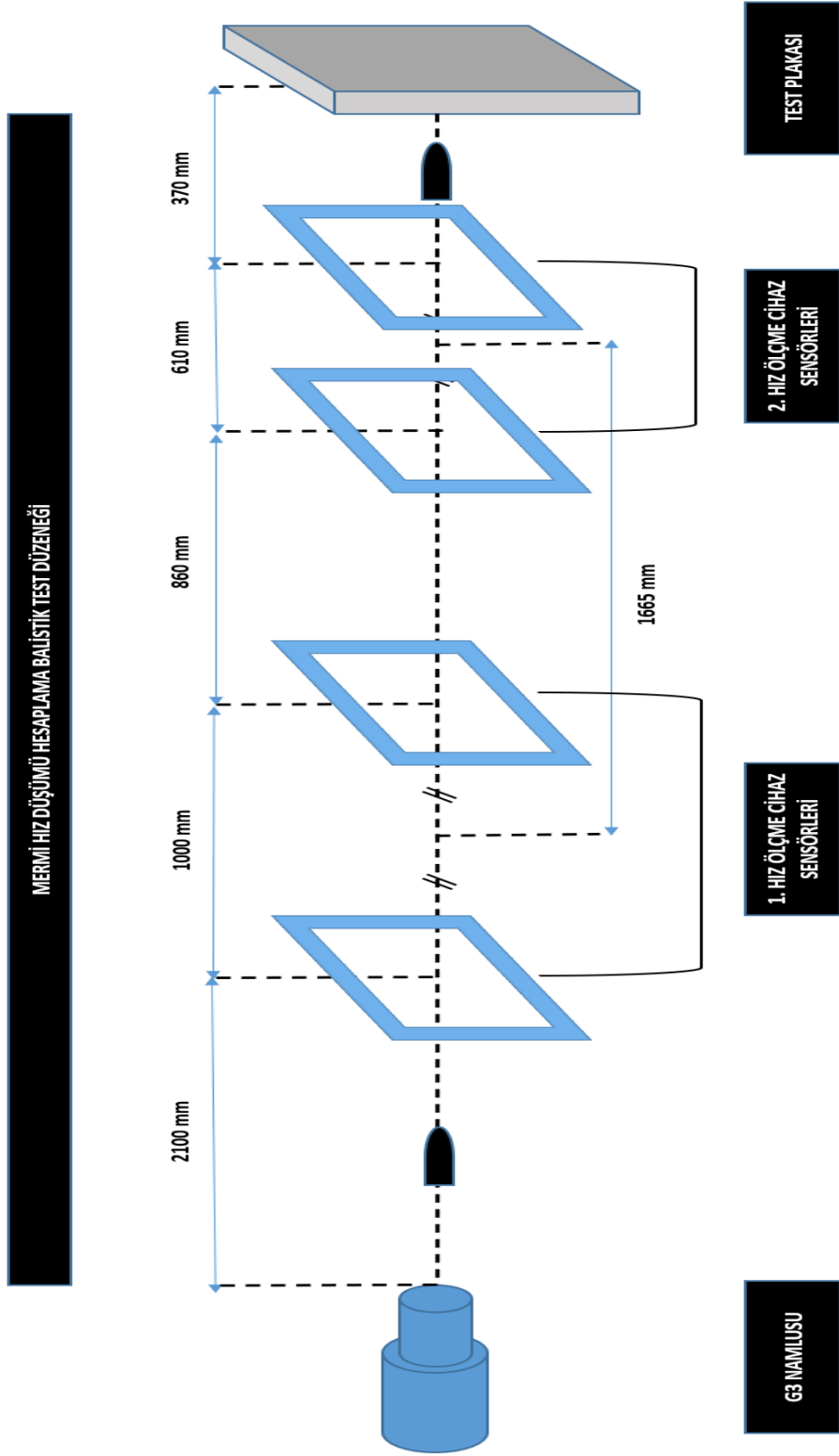
3.1 Deneysel Çalışma

Bu kısımda, farklı hızlarda ve barut miktarlarına bağlı olarak parçacık hız düşüm hesaplarının denklemlerle teorik olarak ve kronograf ile deneysel ölçümü yapılarak teorik ve deneysel farklarını incelemek amacıyla uygun barut miktarları ve sensörler arası mesafeler ayarlanmış ve aramid plaka malzemesine balistik atış deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada 550-700 m/s hız aralığında 16 adet balistik atış yapılmış ve bu 16 adet atışın hem teorik hem de deneysel hız kayıpları birlikte incelenmiş olup, bu incelemeler sonucunda her iki durum için arasındaki hız kaybı rakamsal ve yüzdelik dilimlerle ifade edilmiştir.

Farklı durumlarda ki hız ölçüm çalışmalarını incelediğimizde sabot ile desteklenen 1,1 gram ağırlıkta A3/6723/1 fragmentinin G3 namlusu ile atıldığına dair çalışma olmadığı görülmüştür. Afyonkarahisar ilinin atmosfer koşullarında yapılan deney, 105mm'lik obüs topunun infilakı esnasında etrafa saçılan şarapnel parçalarını temsil edecek şekilde düşünülerek ele alınan 1,1 gramlık fragmentler için hız ölçümleri Oehler 35P kronograf ile yapılmıştır.

5 metrelik bir test düzeneğinde (Şekil 3.1) 1,1 gramlık fragmentin V_{50} hız analizi yapılmıştır. V_{50} hız analiziyle parçacığın zırha nüfuziyetini net bir şekilde rahatlıkla görebiliriz. Eğer zırhın arkasında kalan şahit plaka delinmişse, parçacık zırha tam nüfuz etmiştir ve parçacığın sahip olduğu kinetik enerjinin yüksek olduğu net bir şekilde görülebilir.

Yapılan bu çalışmada parçacık mesafe katettikçe sahip olduğu hızdaki düşüşü ve bu hız düşüşü ile birlikte sahip olduğu enerji miktarında ne kadar kayıp olduğu ölçülmüştür. Böylece şarapnel ve mermi gibi havada hızla hareket eden parçacıklara etki eden faktörleri daha iyi anlayarak askeri personeli korumaya yönelik kullanılan zırh teknolojisinde daha etkin bir ilerleme sağlayabiliriz.



Şekil 3.1 Mermi hız düşümü balistik test düzeneği.

3.1.1 Hız Düşüm Hesabı İçin Balistik Deney Standartları

Balistik atışlardaki gerek zırh numunesinin delinmesi gerek de mermi hız düşümünün ölçülmesi ve bu hız düşüm sonucunu etkileyen faktörleri incelemek maksadıyla National Institute of Justice (NIJ) ve NATO gibi kuruluşlar öncülüğünde farklı standartlar geliştirilmiştir. NIJ ve Alman standartlarında balistik deneylerde kullanılan merminin tipi, kalibresi ve hızına bağlı olarak kullanılan numunelerin deneysel çalışmalarla koruma seviyeleri incelenmiştir. NATO'ya bağlı olarak Türk Standartları Enstitüsü de balistik deneylerde kendi standardını hazırlamış olup farklı askeri standartlar oluşturmuştur. Bu standartların temelinde yatan amaç, yapılacak zırh çalışmalarını geliştirmek ve merminin tipini, barut miktarını ve merminin hızını etkileyen diğer doğa dışı faktörleri aşmak maksadıyla çağın uygun koşullarına ayak uydurarak geliştirmek yatmaktadır.

Çizelge 3.1. Bazı ulusal ve uluslararası balistik deney standartları.

Standart NO	Standart Adı
MIL-STD-662 F	V ₅₀ Ballistic Test For Armor (Zırhlar için V ₅₀ 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)
TS 13349	V ₅₀ Balistik Hız Deneyinin Türk Standartları Kapsamında Uygulanması

3.1.2 TS 13349 Standardı

Bu standart, Türk Silahlı Kuvvetlerinin milli ihtiyaç ve imkanları ön planda olmak üzere Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin ekonomik ve askeri ilişkilerinin bulunduğu ortaklarının standartlarındaki esaslar göz önünde bulundurularak zırh plakalarının küçük çaplı/kalibreli mermi tehditlerine karşı balistik dayanımlarının belirlenmesi ve mermi hız düşümünün hesaplanması amacıyla yapılan V_{50} balistik hız deneyini kapsar. V_{50} balistik hız deneyi kapsamında TS 13349 standardında 40 adet deneyi açıklayan faktör bulunmaktadır. Hız düşüm hesabını ilgilendiren faktörler ve açıklamaları aşağıda verilmiştir (TSE 2008).

a. Balistik Katsayı:

Ateşleme yerinden hedefe kadar giderken mermi ya da fragmentin-parçacığının- hızındaki azalmayı göstermek veya hesaplamak amacıyla kullanılan parametre veya ölçüyü belirtir. Balistik katsayılar, genellikle bir merminin ortalama hızını veya uçuş süresini belirlemek için kullanılan ve yaklaşık sonuç veren denklemler kullanır. Örneğin, ortalama mermi hızı (V_p) aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanır.

$$V_p = V_0 \mu R \exp (\mu R)^{-1} \quad (3.1)$$

Burada V_0 = Namlu çıkış hızı, m/s olarak,

R = Atış mesafesi, m olarak

μ = Balistik katsayıdır.

b. Çarpma Hızı:

Bir parçacık veya merminin numuneye çarpma anındaki hızı.

c. Hedef Mesafesi:

Hız ölçmede kullanılan iki sabit istasyonun ekranların arasındaki açıklığın orta

noktasından deney numunesine olan mesafe.

d. İlk Hız:

Patlama etkisi ile oluşan kuvvetlerin, merminin üzerindeki etkisinin sona erdiği andaki mermi hızına ilk hız denir. Silahtan atılan mermi için ilk hız (m/s), namlu ağzı hızı olarak da adlandırılır.

e. Kronograf:

İki sabit ölçüm istasyonu arasında merminin uçuş süresini belirleyen bir elektronik cihaz.

f. Lumilin Ekranı:

Merminin geçişi ile kronografi aktif veya pasif hale getiren fotoelektrik cihaz.

g. Sevk Barutu:

Yanması veya gaz haline geçmesi sonucu mermiyi namludan fırlatacak basıncı oluşturan, hızla yanabilen madde veya karışım.

h. Sapma Açısı:

Merminin boylamasına eksenine ile uçuş hattı arasındaki açı.

i. Sabot:

İçinde belirli bir kalibre merminin daha yüksek kalibreli bir silahtan atılabilmesi için merkezlendiği hafif taşıyıcı parça.

Sabotun çapı, merminin ateşlendiği namlu çapı kadardır. Sabot, uçuş esnasında namlu ağzından kısa bir mesafe sonra atılır ve sadece düşük kalibreli mermi, uçuşuna devam eder.

3.1.2.1 Hız Ölçme Donanımları

a. Kronograf:

En az mikro saniye (10^{-6}) hassasiyetle ölçme yapabilen elektronik sayaç tipi bir kronograf kullanılmalıdır.

b. Dedektör:

Mermi, dedektörü geçerken bir elektrik devresini açan ve kapatan yüksek hızlı Lumilin ekranları veya elektrikselsel kontak ekranlar kullanılmalıdır. Kontak ekranları, ince yalıtım katmanlarıyla ayrılmış metal folyodan veya parçacık ekrandan geçerken devreyi kesecek şekilde devre boşluklu olarak kâğıda baskılı devreden oluşabilir. Kronograflar ve elektronik zamanlayıcılar kalibre edilmeli ve ölçüm doğruluğu açısından kontrol edilmelidir. Ölçüm doğruluğu onaylanmamışsa, iki hız ölçme ekranı ve iki kronograf sayacı kullanılmalıdır. Bu sistem her çift ekran için ortalama parçacık hızının hesaplanmasına izin vermelidir. Ölçülen iki hız arasındaki fark 3 m/sn'den fazla olmamalıdır.

c. Radar:

Lumilin ekranları kontrol etmek için Doppler radarları kullanılır.

3.1.2.2 Barut

Silahta uygun barut kullanılmalıdır. Test yapılmadan önce kullanılacak silah için barut hakkı-hız eğrisi hesaplanmalıdır. Bu eğri, istenen mermi hızına ulaşmak için gereken barut miktarını belirlemekte kullanılır. Barutun depolandığı ve mermi barut hakkı ayarı yapılan ortamın sıcaklığı $19-24^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nem oranının $\%50 \pm \%5$ arasında olmalıdır.

3.1.2.3 İşlem

Deney için gerek ortam şartlarında bütün deneyler, aksi belirtilmedikçe $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'luk sıcaklık ve $\%50 \pm \%5$ bağıl nem ortam şartlarında gerçekleştirilmelidir. Sıcaklık ve nem her atışta kayıt altına alınmalıdır.

3.1.2.4 Deney Düzeneği

Silahın namlusundan hız göstergesinin ilk sensörüne kadar olan mesafe, optik cihazlar kullanılması durumunda patlamanın basınç etkisinden ve dumandan etkilenmeyi engelleyecek şekilde uzun olmalıdır. Hız sensörleri arasındaki mesafe, ateşlenen merminin hızının bir fonksiyonudur. Birçok uygulamada, namlu ağzından deney numunesine kadar toplam mesafe gibi fiziksel kısıtlamalar, hız sensörleri arasındaki mesafeyi belirler. Nihai hız sensörü, numunenin en az 122 cm önüne yerleştirilmeli ve mermi veya zırh parçaları tarafından hasar görmemelidir.

3.1.2.5 Sonuçların Gösterilmesi

Test sonuçları ve gerekli veriler yazılı olarak, çizelgelerde, grafiklerde, resimlerde veya diğer herhangi bir uygun formatta sunulabilir. Deney için gerekli ortam şartlarının sağlanması ve deney düzeneğinin düzgün şekilde kurulması sağlandığında yapılan testler sonucunda, tüm numuneler minimum gereksinim V_{50} balistik hız sınırı koruma korunma kriterlerini karşılamalıdır.

Çarpma hızı, ölçülen hızlardan yararlanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$V_s = V_I - V_L \quad m/s \quad (3.2)$$

Burada;

V_s = Merminin deney numunesine çarpma hızı,

V_I = Kronograf ile ölçülen hız,

V_L = Hedef ana çizgisi üzerindeki hız kaybıdır.

Kronograf vasıtasıyla ölçülen hız aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$V_I = \text{Mesafe (Limunin ekranlar arasında)} / \text{Zaman} \quad (3.3)$$

Hız kaybı aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$V_L = (X \times G \times D_{rel}) / C \quad (3.4)$$

Burada;

X = Hedef mesafesi m,

G = Sürüklenme katsayısı,

D_{rel} = Bağıl hava yoğunluğu kg/m^3

C = Balistik katsayıdır.

3.1.3 Stanag 2920

NATO standardizasyon anlaşmasının parçası olarak geliştirilen, personel zırhlarına yönelik bir balistik test yöntemidir. Standart bir mermi ile yapılan, %50'sinin zırhı deldiği, %50'sinin ise kısmi deldiği eşit sayıdaki atışların hızının aritmetik ortalaması ile hesaplanan değerdir. Hesaplanan bu hız değerine V_{50} balistik hız değeri denir. Bulunan bu hız değeri, balistik malzemenin istenilen hız limitini aşıyorsa, malzemeden beklenen korumayı sağlıyor olduğu anlamına gelir.

1,1 gram (17 grain) ağırlığındaki parçacık STANAG 2920 testlerinde kullanılan en yaygın parçacıktır. Bu standart, numunelerin V_{50} hızını hesaplamak için kullanılır. V_{50} 'yi basitçe açıklamak gerekirse, test numunesini delen en düşük üç hızla atılan ve numuneyi kısmi olarak delen en yüksek üç hızla atılan altı merminin çarpma hızının ortalaması alınarak elde ettiğimiz değer olarak açıklayabiliriz (Rodríguez-Millán vd., 2016)

3.1.3.1 Stanag 2920'nin Uygulamaları

Test edilecek balistik malzemeler, testten önce bir test ortamında şartlandırılır. Önerilen ortam koşulları ISO 554-1976'ya göre 20 ± 2 °C ve $\%65 \pm 5$ bağıl nem olmalıdır. Balistik koruyucu malzemeye en az altı mermi ateşlenir ve mermilerin hız düşümü hesaplanır. Düzgün yere inmeyen mermiler, balistik hız limitleri hesaplanırken dikkate alınmaz. Yani balistik malzeme normaline göre 5 dereceden büyük açılarla isabet eden mermiler hesaba katılmaz. Her bir çarpma, önceki çarpma veya deformasyon noktasından en az 30 mm uzakta olmalıdır. Hedefi tamamen delen veya hedefin delinmesine neden olan bir mermi, balistik koruma yapısını tamamen geçmiş kabul edilir. Diğer tüm vuruşlar kısmi delme olarak tanımlanır.

Zırh veya balistik koruyucu için balistik hız V_{50} , seçilen merminin delme olasılığının tam olarak 0,5 olduğu hız olarak tanımlanır. Yukarı ve aşağı ateşleme yöntemi kullanılarak, ilk mermi, zırha bir V_{50} balistik hızı vermeye yetecek kadar itici gazla yüklenir. İlk mermi zırhı tamamen delmişse, ikinci mermi sabit miktarda daha az itici gazla yüklenecek ve hesaplanan hızı birinci mermiden 30 m/s daha yavaş olacaktır. Birinci mermi zırhı kısmen delmişse, ikinci mermi, birinci mermiden 30 m/s hesaplanan daha yüksek bir hızla, belirtilen miktarda barutla doldurulacaktır. İlk delme dönüşleri setini tamamladıktan sonra barut miktarını, hız 15 m/s aşağı veya yukarı olacak şekilde sabit bir hızda ayar yapılır. Ardından V_{50} balistik kritik hız değerine yaklaşmak için aşağıdaki prosedüre göre ateşlemeye devam edilir.

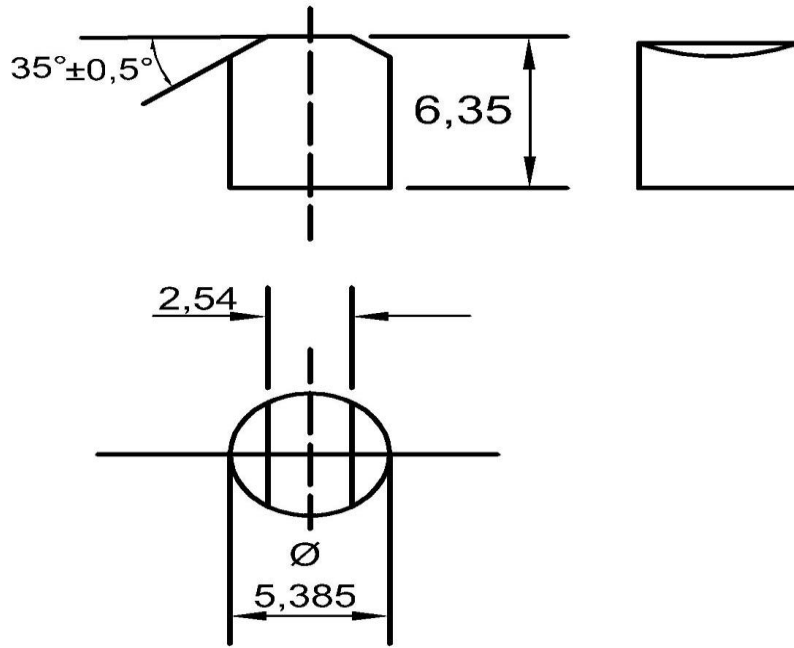
Belirli sayıda atıştan sonra, alınan vuruşların ortalaması hesaplanır ve üçü kısmi delmenin meydana geldiği en yüksek hızlar ve diğer üçü ise en yüksek hızlar olmak üzere altı hız değerinin tümü 40 m/s bandında olacak şekilde, alınan doğru veriler ile hesaplanarak V_{50} balistik sınır hızı bulunmuş olur. En yüksek kısmi delme hızı, en düşük delme hızını 40 m/s'den fazla aşması nedeniyle yukarıdaki paragrafa göre bir sonuç çıkarmak mümkün olmaz ise maksimum 5 kısmi delme ve minimum 5 tam delme ile bir fark olana kadar devam eder. Elde edilen delme hızları, 50 m/s'lik bir bandın izlediği bir hıza ulaşır. Daha sonra hesaplanan V_{50} , bu 10 değerlerin ortalamasıdır. Kısmi delme hızının maksimum hızı, delme hızının minimum hızından 50m/s daha yüksek ise kısmi delme hızlarının en yüksek beş grubu ile delinmenin en düşük beş grubundan oluşan değerler kullanılarak hesaplama yapılır. Son olarak hesaplanan V_{50} değerinin ortalaması bu şekilde ortaya çıkar.

3.1.4 Mermi Simülasyon Parçacıkları (Fragment Simulating Projectiles)

Savaşta askerlere yönelik başlıca balistik tehditler, bombalar, mermiler, havan topları ve el bombaları olarak sıralanabilir (Laible, 1982). Vücut zırhları ve kaskları değerlendirmek için en yaygın kullanılan MSP, keskin uçlu bir çelik silindirdir (North Atlantic Treaty Organization (NATO), 2004). Bu spesifikasyonu karşılayan fragmentler, kütle olarak 0,16 ila 2,8 g arasında değişebilir. Fragmentin çapı Şekil 3.2'de gösterildiği şekilde $5,385 \pm 0,02$ mm, pahsız genişliği 2,54mm ve uzunluk görüldüğü üzere yaklaşık 6,35 mm olarak Çizelge 3.2'de verilerek doğru kütleyi sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. MSP, Rockwell C sertliği 30 ± 2 olan bir alaşımlı çelikten yapılmıştır (Iremonger ve Went, 1996).

Balistik testin doğasında var olan sapmalar nedeniyle, V_{50} balistik hız sınırı ölçülür. V_{50} , 0,5 tam nüfuz etme olasılığı veren tahmini hız olarak tanımlanır. MSP veya test edilen zırhın arkasından ateşlenen mühimmat, balistik numuneyi delip geçtiğinde nüfuz etme gerçekleşmiş olur (TSE 2008).

Merminin nüfuz etmemesi durumunda, nüfuz etme durumu kısmi delme olarak adlandırılır. Tipik bir V_{50} tahmini, en düşük 3 tam delme oranı ve en yüksek 3 kısmi delme oranının ortalaması alınarak yapılır. Bu hızların yayılması 40 m/s değerinin içerisinde olmalıdır. Elde edilen sonuçlar değişebilir, bu nedenle her test koşulu için en az üç V_{50} testi yapılmalıdır. V_{50} testi, savunma sanayinde farklı zırh malzemelerini ve sistemlerini karşılaştırmak ve test plakalarını ile kasklar gibi personel tarafından son kullanıcı düzeyinde kullanılan ekipmanlara karşı kalite kontrolü yapmak için kullanılır. Aşağıda değinilen ve Şekil 3.2’de gösterilen, 1.1 g ağırlığındaki fragment, Afyonkarahisar Balistik Laboratuvarındaki kapalı atış poligonunda balistik testler için kullanıldı. Fragment sağlam bir düzeneğe monte edildi ve 7.62 mm G3 namlusundan ateşlendi. Ateşlenen her fragment plastik bir sabotun içine yerleştirildi. Namlu ile hedef arasındaki mesafe 5m’dir. Fragmentin hızı Model 55 Kızılötesi balistik ekranlar ile ölçüldü.



Şekil 3.2 Mermi simülasyon parçacığının(fragment) görüntüsü (Bolduc & Jager, 2016).

Çizelge 3.2 Şekil 3.2’de ki parçacığın verileri.

DCTA KİMLİĞİ	Ağırlık (g)	Çapı (mm)	Genişliği (mm)	Uzunluğu (mm)
AE/6723/1	1,102±0,02	5,385	2,54	6,350

3.1.5 V₅₀ Hız Tespiti

Parçacığın numuneye çarpma olayının incelenmesinde karşılaşılan sorunlardan bir tanesi de numunenin hasara uğramadan dayanabileceği hızın tespiti. Bu hız genelde kritik çarpma hızı veya balistik limit olarak adlandırılır. Kritik çarpma hızı V₅₀ ile gösterilirken parçacığın hedefe dik konumda çarpması sonucu hedefi %50 delme kapasitesine sahip olduğu hız olarak tabir edilebilir. V₅₀ hız tespiti, en düşük hız ile tam olarak nüfuz etmiş 3 atış ve kısmi olarak nüfuz etmiş en yüksek hıza sahip 3 atışın hızlarının ortalaması alınarak istatistiksel olarak balistik limit ortaya çıkartılır. Kısmi olarak nüfuz eden en düşük hız ile tam nüfuz etmeye sebep olan en yüksek hızın arasındaki fark 40 m/s’yi geçmemelidir (Jonas A. Zukas, 1990).

3.1.6 Balistik Deneyin Uygulanmaya Hazırlanışı:

V₅₀ balistik hız deneyinin Türkiye’de uygulanmasına dair standarda göre, aksi bir durum belirtilmedikçe ortam sıcaklığı (23 ± 2)°C’luk sıcaklık ve %50 ± %5 bağıl nem ortam şartlarında uygulanmalıdır. Gerekli ortam şartları ayarlandığında silah ya da hedefin ayarlanması veya belirli bir çarpma hızının elde edilmesi için namlunun ısıtılması gerektiğinde, fragmentin hedeften sapmaması amacıyla numuneye bir deneme atışı yapılmalıdır. Tam hizalama ve çarpma hızları birbirine yakın olana kadar ilave atışlar yapılır. Kullanılan silah için barut miktarına bağlı olarak mermi hızı eğrisi, uygulamanın başarılı olarak sayılması için gereken mermi hızını + tolerans değeri olarak kullanır. Buradaki mermi hız toleransı +8 m/s’dir.

Deney için barut miktarları belirli oranlarda ağırlıkları ölçülerek ayarlanması gerekmektedir (Şekil 3.3). Sonrasında ağırlığı ölçülen barut kovana doldurulur (Şekil 3.4). Pamuk yardımı ile sıkılaştırılma işlemi yapılır (Şekil 3.5). Kovandaki barut sıkılaştırıldıktan sonra fragment sabota yerleştirilir ve önce namluya sabot konur daha

sonra kovan yerleştirilerek iyice sıkıştırılır (şekil 3.7).



şekil 3.3 Barutun gram ağırlıkta ayarlanması.



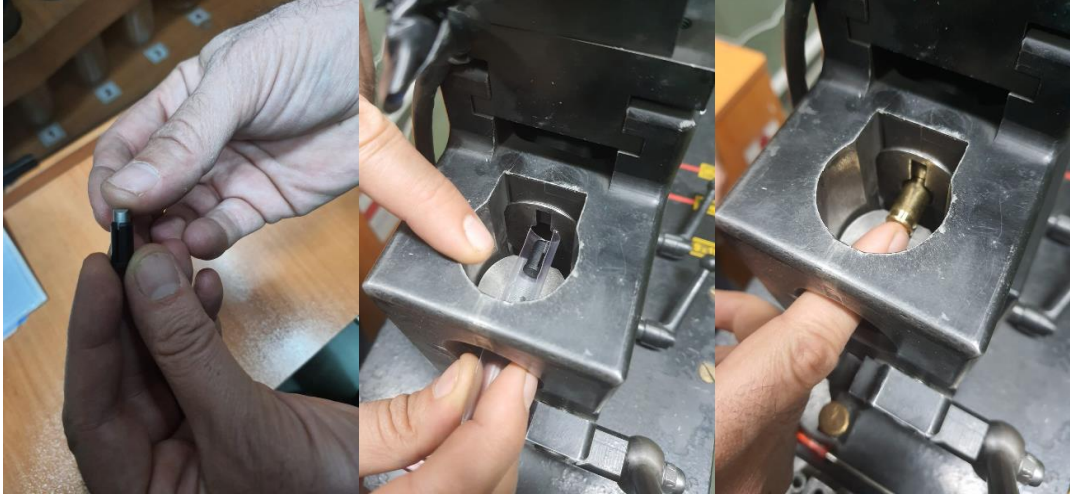
şekil 3.4 Barutun kovana doldurulması.



Şekil 3.5 Barutun kovan içerisinde sıkıştırılması.



Şekil 3.6 Sabot ve fragment.



Şekil 3.7 Fragmentin önce sabota, sonra sabot ile düzeneğe ve daha sonra kovan ile birlikte sıkıştırılıp hazır hale getirilmesi.

Deney numunesi sabitlendikten sonra numune üzerinde çarpma noktası işaretlenir ve merminin belirlenen uçuş çizgisi ile bir doğru oluşturacak şekilde konum belirlenir ve sabitlenir. Sapma açısının değeri; sapma açısı kartları, flaş radyografiği veya fotoğrafıği vasıtasıyla ölçümü yapılır. Eğer balistik hız sınırı hesaplamasında sapma açısı 5° 'den yüksek ölçülen atışlar, hesaba dahil edilmez. Namluyla alakalı bir sorun oluşmasına yönelik şüphenin herhangi bir varlığında sapma açısı fotografik ölçme sistemi ile mermi hızını ve sapma açısını tespit etmek için ölçülür. Namludan çıkan fragmentin hedefe minimum sapma ile varması için sapma açısı $0,5^\circ$ doğrulukla ölçülmelidir.

Merminin numuneye çarpma hızı; kabul deneyinin ilk atışında lazım olan asgari V_{50} balistik hız sınırından yaklaşık (23-30) m/s fazla olacak şekilde mermi referans miktarda sevk barutu ile doldurulmalıdır. Diğer balistik deneylerde ise ilk atışta kullanılacak mermi tam veya kısmi nüfuz etme ihtimalinin yarı yarıya olduğu mermi hızına uygun olarak sevk barutu ile doldurulmalıdır. Yapılan ilk atışta nüfuz edip delme başarılı olarak gerçekleştirilirse sonraki atış için barut miktarı kısmi olarak nüfuz etme elde edilebilecek kadar olacak şekilde ilk atıştaki mermi hızında (15-30) m/s azalma sağlanacak şekilde azaltılmalıdır. Fakat ilk atışta numuneye nüfuz etme kısmi olarak gerçekleşirse bir sonraki atış için barut miktarı ilk atıştaki hızdan yaklaşık (15-30) m/s artış sağlanacak şekilde artırılmalıdır. Bir mermi tam nüfuz edip delecek ve diğer mermi kısmi nüfuz etmeyi elde edene kadar mermi hızında en az 15 m/s azalma veya artış olacak şekilde barut miktarı

azaltılmalı veya artırılmalıdır. Bir mermi tam nüfuz edip deecek ve diğ er mermi kısmi nüfuz ettiğinde mermi hızında 15 m/s artışa veya azalmaya denk gelen barut miktarı kadar azaltılmalı veya artırılmalıdır. V_{50} balistik hız sınırı belirlenene kadar numune üzerindeki çarpma noktası fark etmeksizin atışlara devam edilmelidir.

3.2 Deneyin Uygulanması

1,1 gramlık fragmentin hız düşümünün hesabı TS 13349 Standardı kapsamında V_{50} hız balistik hız deneyi yapılmıştır. Uygulanan V_{50} testlerinin sonuç değerlendirmesinde göz önüne alınacak hız düşüm değerleri Afyonkarahisar'da Balistik Test Laboratuvarında tespit edilmiştir. Tespit edilen V_{50} hız değerlerindeki hız düşümlerin ve bu hız düşümlerin test sonuçlarının değerlendirmesinde göz önüne alınan TS 13349 Standardına müteakip MIL-STD-662F ve STANAG 2920 standartlarında tarif edildiğı şekilde V_{50} testleri ve V_{50} hızı hesabı yapılmaktadır.

Bu standartlara göre yapılan testlerde atışlarda esas alınan hız değerleri, mermi hız ölçüm cihazı ile ölçülen hızlardır. Ancak ölçülen değerler, fragmentin hız ölçüm tünelineinden çıktıktan sonra numuneye çarptığı ana kadar geçen süre ve mesafede kaybettiğı hızı göstermemektedir. Bu nedenle söz konusu hız kaybının da TS 13349 standardında tarif edilen denklemlerle hesaplanması gerekmektedir. TS 13349 standardında fragmentin deney numunesine çarpma hızı aşağıdaki denklem (3.2) ile bulunur. Hız kaybı ise; denklem (3.4) ile bulunur.

TS 13349 standardında yer alan parametrelerle birlikte, Afyonkarahisar Balistik Test Laboratuvarında uygulanan fragment atışları için oluşabilecek V_{50} hız kayıpları hesaplanarak Çizelge 3.2 oluşturulmuştur.

3.2.1 Parçacık Testi (V_{50}) Çarpma Hızı Hesabı:

Balistik Laboratuvarında yapılan parçacık testlerinde çarpma hızı hesabı için TS 13349 ve MIL-STD-662F standartlarında belirtilen aşağıdaki denklem kullanılır. Elde edilen sonuçlar, toplam 16 atış yapılarak sonuçlandırılmıştır.

(3.2) numaralı denklemle çarpma hızını bulabilmek için, ölçülen hız kronograftan okunur. Hız kaybı ise hesaplama yöntemi ile bulunur.

$$V_L = \frac{x \times G \times \rho}{C} \quad (3.4)$$

x: Mesafe (x:2,5 m. İki sensörün orta noktasının hedefe uzaklığı)

G: sürtünme katsayısı (G=0,82 Fragment boyu itibariyle uzun silindir seçilir (Çizelge 3.3).

ρ : Hava yoğunluğu (ρ :1,1117 kg/m³ Laboratuvar merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 1020m olan değer seçildi) (Çizelge 3.4)

C: Balistik Katsayı

Balistik katsayının hesabında aşağıdaki denklem kullanılır;

$$C = \frac{SD}{i} \quad (3.5)$$

SD: Bölgesel Yoğunluk (Sectional Density)

SD: Fragmentin kütlesinin, en kalın gelen çapının karesine oranı

i: Form Faktör

$$SD = \frac{Ağırlık (Grain)}{7000 \times d^2} \quad (3.6)$$

Kullanılan fragmentin ağırlığı 1,102 gram (17 Grain) çapı ise 5mm'dir (0,2")

$$i = \frac{GB}{GG} \quad (3.7)$$

GB: Mermi için sürtünme katsayısı (GB:0,3)

GG: G1 model mermi için sürtünme katsayısı (GG:0,5191)

Değerler bulunduktan sonra (3.5) numaralı denklemle C hesabı yapılır. Tüm rakamsal

veriler bulunduğundan sonra (3.4) numaralı denklemle Hız Kaybı (V_L) hesabı yapılır. (3.4) numarada belirtilen hız kaybı hesaplama yöntemi, TS 13349 ve MIL-STD-662F standartlarında açıklanan değerlere göre hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3 Farklı yüzey şekillerine ait sürtünme katsayıları (Sighard F. Hoerner, 1965).

Şekil	Çizim	C_D
Uzun Çubuk (Akış Yönü Yan Taraf)		1,20
Küre		0,47
Uzun Çubuk (Akış Yönü Uçtan Uca)		0,82
Disk (Akış Yönü Yüzeye Doğru Dik)		1,17

Sürüklenme katsayısı akışkanlar mekaniğinde bir nesnenin hava veya su gibi akışkan bir ortamdaki direncini ölçmek için kullanılan bir niceliktir. Yukarıda açıklanan sürtünme katsayısı değeri olan C_D , Hoerner'in Çizelge 3.3'de açıkladığı değerlere göre bakıldığında hava akışının dik geldiği silindirik yüzeylerde 0,82 olarak alınır.

Çizelge 3.4 ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu) Atmosfer Standartları.

Yükseklik (km)	Yoğunluk (kg/m ³)	Sıcaklık (°K)	Basınç (N/m ²)	Yerçekimi ivmesi (m/s ²)	Ses hızı (m/s)
0	1.225	288.16	101325	9.8066	340.429
1	1.1117	281.66	89874	9.8036	336.567
5	0.73612	255.66	54020	9.7912	320.657
10	0.41271	223.16	26436	9.7759	299.583
15	0.19367	216.66	12045	9.7605	295.188
20	0.08804	216.660	54749	9.7453	295.188

Dünyadaki her ülkenin sivil havacılık kurumları bir araya gelerek yukarıdaki çizelgede yüksekliğe göre belirtilen yoğunluk, sıcaklık, basınç, yerçekimi ivmesi ve ses hızı değerleri hakkında fikir birliğine vararak ICAO standartlarını oluşturmuşlardır. Deneyin yapıldığı Afyonkarahisar için atmosfer koşulları yukarıdaki çizelgede kalın punto ile belirtilmiştir. Hız kaybı denkleminde (3.4) hava yoğunluğunu belirten değişken için Çizelge 3.4’de belirtilen değer alınmıştır. Denklem (3.5) ile bahsedilen balistik katsayı, bir cisme uçuş anında hava direncine karşı koyma ölçüsü olarak lanse edilir. Bu katsayı, ivme (negatif) ile ters orantıda çalışır. Yüksek bir sayı ile karşılaşıldığında bu ivme düşük bir sayıyı göstermektedir. Merminin kütsel yoğunluğunun form faktörüne oranı tarafından açıklanır (Berger, 2012)

SD ile gösterilen bölgesel yoğunluk veya diğer bir değişle kesit yoğunluğu, bir nesnenin kütselinin kesit alanına oranı tarafından ifade edilir. Bu ifade, direncin üstesinden gelmek için nesnenin kütselinin cisme ne kadar iyi dağıldığını aktarır. Net denklemi M/A olan bölgesel yoğunluk, denklemi açtığımızda kütle olarak ifade edilen M in grain cinsinden ifadesiyle, 1 librenin grain cinsinden sayısal değeri olan 7000 ile enine kesit alanının bölümünü açıklar. Birimi lb/in^2 ’dir (Julian S.Hatcher, 1957).

(3.7) numaralı kısımda geçen form faktörü, bir merminin profilinin standart mermi profiliyle hava sürtünmesine karşı göstermiş olduğu direnci aerodinamik olarak karşılaştıran matematiksel olarak türetilmesiyle ifade edilir. 2 kalibrelik burun saplı düz tabanlı mermilerin faktörünü belirten G1 model merminin sürtünme katsayısı 0,52 (GG), standart mermi için sürtünme katsayısı ise 0,3(GB) olarak verilmiştir (Hornady Manufacturing Company, 1973).

4. BULGULAR

TS 13349 standardında yer alan parametrelerle birlikte, Afyonkarahisar Balistik Test Laboratuvarında uygulanan fragment atışları için oluşabilecek V_{50} hız kayıpları hesaplanarak Çizelge 3.2 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1 Teorik hesaplama ile bulunan değerler.

Ölçülen Hız (m/s)	Teorik Hesaplama İle Bulunan Değerler		
	Bulunan Hız	Hız Kaybı	%
550	528,1	21,9	3,98
560	538,1	21,9	3,91
570	548,1	21,9	3,84
580	558,1	21,9	3,77
590	568,1	21,9	3,71
600	578,1	21,9	3,65
610	588,1	21,9	3,59
620	598,1	21,9	3,53
630	608,1	21,9	3,47
640	618,1	21,9	3,42
650	628,1	21,9	3,36
660	638,1	21,9	3,31
670	648,1	21,9	3,26
680	658,1	21,9	3,22
690	668,1	21,9	3,17
700	678,1	21,9	3,12

Yapılan 16 atışta elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş olup, teorik hesaplamalarla bulunan hız düşüm değerlerinin pratikteki uygulama ile karşılaştırılması ve kıyaslanmasına yönelik bir çalışma yapılması gerektiği değerlendirilmiş; bu maksatla laboratuvarında mevcut olan Oehler 35P hız ölçüm cihazına ilave olarak ikinci Oehler 35P hız ölçüm cihazı ile test yapılarak ölçüm ve Şekil 4.2 sonuçları elde edilmiştir. Söz konusu kronograflar senkronize olarak birbirine ayarlanmış olup Şekil 4.1’de yer alan düzeneğe göre laboratuvara yerleştirilerek kıyaslama için ihtiyaç duyulan fragment atışları gerçekleştirilmiştir.



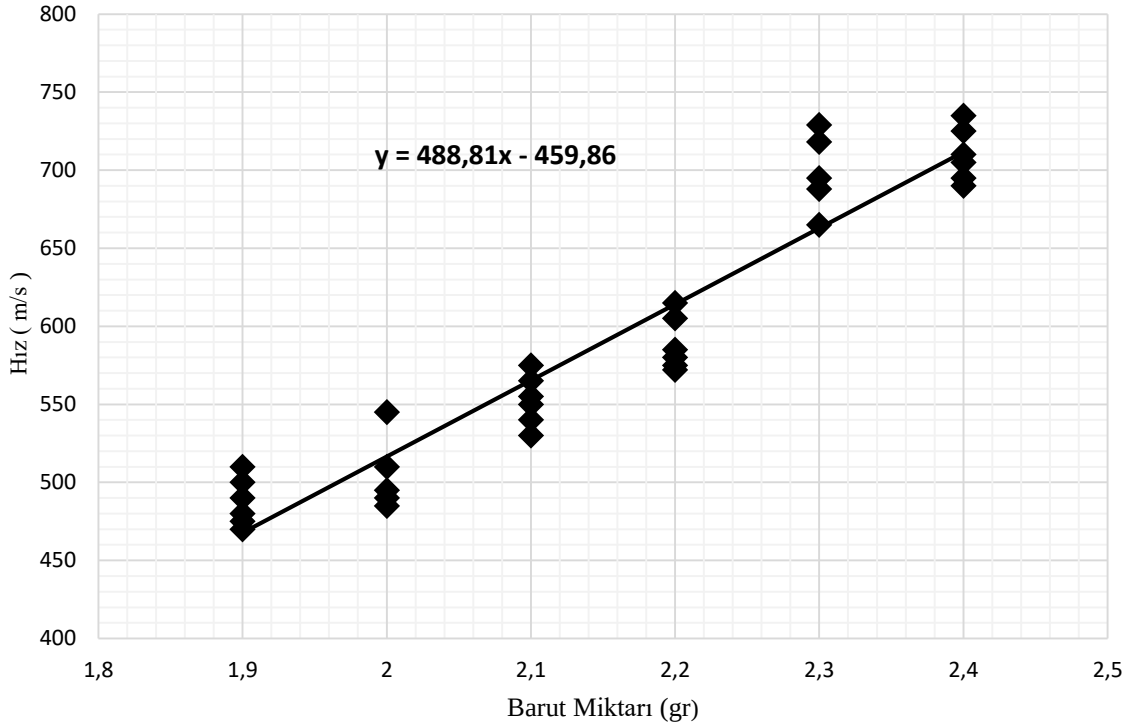
Şekil 4.1. Balistik Test Laboratuvarı'nda bulunan silah ve kronograf düzeneği.

Farklı barut miktarları kullanılarak yapılan bu testte toplam 36 adet atış yapılmış olup, atışlar altı farklı barut miktarında incelenmiştir. Otuz altı adet atışın sonunda ortaya çıkan verilere göre, ölçülen hız ne kadar artar ise doğru orantılı olarak çarpma hızı da artmaktadır (Şekil 4.2). 36 atışın sonunda, ölçülen mermi hızları ile çarpma hızları karşılaştırılmış, tespit edilen hız kayıpları yüzdelik olarak kayda geçirilmiştir. Kayda geçirilen sonuçlara bakılıp grafiğe aktarıldığında lineer bir grafik oluşmuş ve oluşan eğrinin denklemi şu şekilde tespit edilmiştir.

$$y = 488,81x - 459,86 \quad (4.1)$$

Yazmış olduğumuz doğru denkleminde x değişen barut miktarını ifade etmektedir. Barut miktarındaki artış doğrusal olarak hız artışını sağlarken bazı faktörler nedeniyle aynı barut miktarında farklı hız ölçümleri elde edilmiştir. Ölçülen hızın artmasına etki eden faktörler şu şekilde açıklanabilir: G3 kovanının içerisine barut tartılıp doldurulduktan sonra pamuk aracılığıyla kovanın içerisindeki barut sıkılaştırılır. Bu işleme barutun sıkılaştırması denilir. Bu durum, barut gazının parladığında düzenli ve bütün olarak barut

gazının açığa çıkmasını sağlar. Barut sıkılaştırılma işlemi yapılırken, pamuğun yukarı aşağı hareketi esnasında pamuğa takılan bir miktar barut kovandan dışarıya dökülmektedir. Barutun kovandan dışarıya dökülmesi, test esnasında ölçülen hız ve bulunan hız arasındaki hız kaybında artışa sebep olmaktadır.



Şekil 4.2 Barut miktarına göre ölçülen hızın değişimi.

Barutun sıkıştırılması esnasında dışarıya dökülen barutun fragmentin hızını nasıl etkilediğini teker teker açıklayacak olursak, 1,9 gram olarak yerleştirdiğimiz barut sıkılaştırma esnasında yaklaşık %8 civarında hız kaybı ölçülmüştür. Bu durumda dökülmenin minimum olduğu durumda ölçülmesi gereken hız maksimum 510 m/s olması gerekirken ölçülen hızın 470 m/s ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. 2 gram barut doldurmayı hedeflediğimiz kovan sıkılaştırma esnasında ortalama %10 civarında hız kaybı tespit edilmiştir. Bu durumda dökülmenin minimum olduğu durumda ölçülmesi gereken hız maksimum 545 m/s olması gerekirken ölçülen hızın 485 m/s ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. 2,1 gram barut doldurmayı hedeflediğimiz kovan sıkılaştırma esnasında ortalama %8 civarında hız kaybı tespit edilmiştir. Bu durumda dökülmenin minimum olduğu durumda ölçülmesi gereken hız maksimum 575 m/s olması gerekirken ölçülen hızın 530 m/s ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. 2,2 gram barut doldurmayı

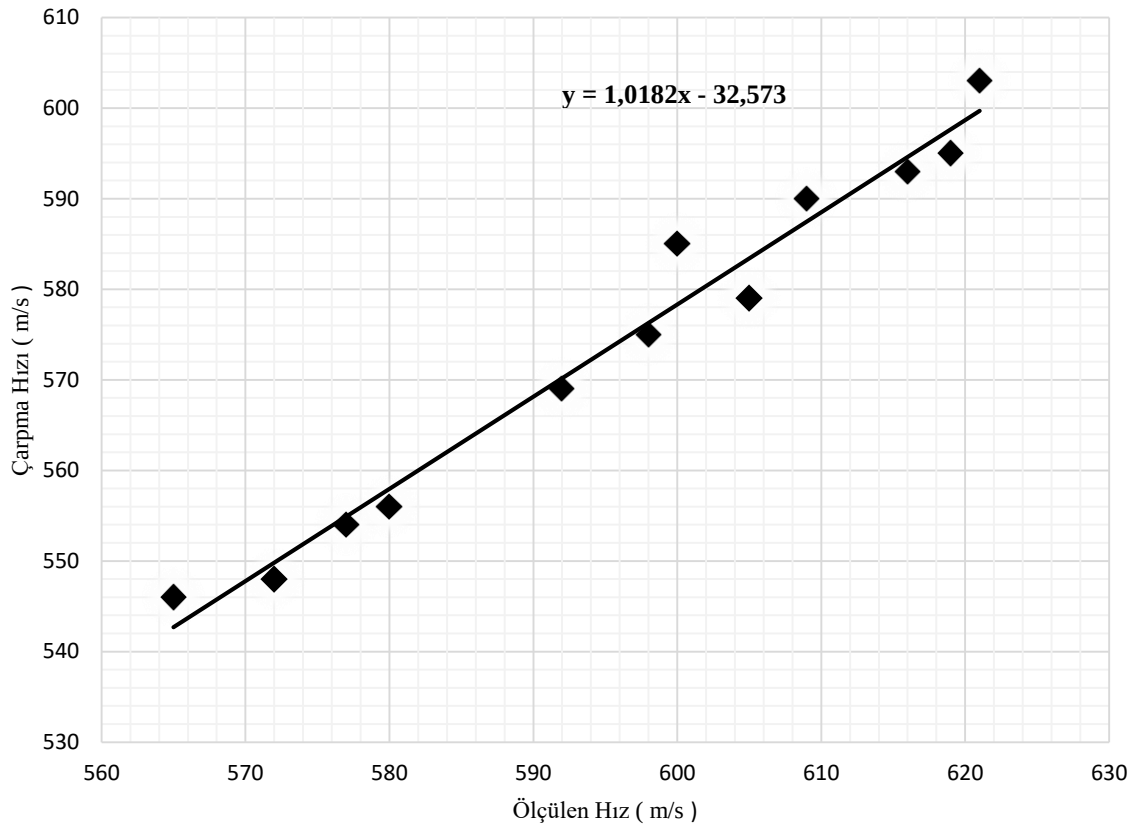
hedeflediğimiz kovan sıkılaştırma esnasında ortalama %5,69 civarında hız kaybı tespit edilmiştir. Bu durumda dökülmenin minimum olduğu durumda ölçülmesi gereken hız maksimum 615 m/s olması gerekirken ölçülen hızın 572 m/s ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. 2,3 gram barut doldurmayı hedeflediğimiz kovan sıkılaştırma esnasında ortalama %8,78 civarında hız kaybı tespit edilmiştir. Bu durumda dökülmenin minimum olduğu durumda ölçülmesi gereken hız maksimum 729 m/s olması gerekirken ölçülen hızın 665 m/s ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. 2,4 gram barut doldurmayı hedeflediğimiz kovan sıkılaştırma esnasında ortalama %6,13 civarında hız kaybı tespit edilmiştir. Bu durumda dökülmenin minimum olduğu durumda ölçülmesi gereken hız maksimum 735 m/s olması gerekirken ölçülen hızın 690 m/s ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

Deneyde incelemeye aldığımız bir diğer husus ise, test yapılarak ölçülen ve grafik ile gösterilen değerlerin hız kaybı. 16 atışın ölçülen hızı ile bulunan hızı arasındaki hız kaybını gösteren değerler çizelgesi 2 adet kronograf ile ölçümü yapılan atışlar neticesinde meydana gelmiştir. Yapılan atışlar sonunda hedef mesafe asla değiştirilmemiş olup, namlu ağızında ölçülen hız ne kadar artar ise hız kaybının bu oranda azaldığı saptanmıştır.

Çizelge 4.2 Test yapılarak ölçülen 16 atışın ölçülen ile bulunan hızları arasındaki hız kaybının yüzdelik dilimle gösterilmesi.

Test Yapılarak Ölçülen ve Grafik İle Gösterilen Değerler			
Ölçülen Hız (m/s)	Bulunan Hız	Hız Kaybı	%
550	527,43	22,57	4,1
560	537,61	22,39	3,99
570	547,8	22,2	3,89
580	557,98	22,01	3,79
590	568,16	21,83	3,7
600	578,34	21,61	3,61
610	588,52	21,47	3,52
620	598,71	21,28	3,43
630	608,89	21,1	3,35
640	619,07	20,92	3,27
650	629,25	20,74	3,19
660	639,43	20,57	3,11
670	649,62	20,38	3,04
680	659,8	20,2	2,97
690	669,98	20,02	2,9
700	680,16	19,84	2,83

Teorik hesaplama ile test yapılarak ölçülen değerler arasındaki hız kaybı farkı; barutun sıkılaştırılması esnasında pamuğa takılan barutun bir kısmının dışarı dökülmesi ve barutun alevlenmesi esnasında kovandan fırlayan sabota bağlı fragmentin sabottan ayrılarak düz gitmek yerine takla atarak numuneye varması gibi faktörlerin teorik hesaplama ile bulunan değerler kısmında yok sayılarak hesaplanmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.3 Ölçülen Hız – Çarpma Hızı Grafiği.

Test yapılarak ölçülen ve Şekil 4.3 ile gösterilen değerlerin verildiği grafiği incelediğimizde, eğim çizgisinin teğet geçtiği noktaların çarpma hızını verdiği görülmektedir. Grafikteki namı az çıkış hızları 560-630 m/sn bandında toplandığını ve bu noktada grafikte x ekseninde, çarpma hızlarının ise 530-610 m/sn bandında toplandığı ve y ekseninde gösterilmiştir. Grafikte çizilen eğriye göre ölçülen hızın çarpma hızına bağlı denklemi

$$y = 1,0182x - 32,573 \quad (4.2)$$

olarak ortaya çıkmıştır. Çizilen eğride ölçülen hız (namlu ağzı hızı) 570,580,590,600,610 ve 620 m/s olmak üzere 6 değer aralığında incelenmiş olup, namlu ağzı hızının çarpma hızını kestiği noktalar hız kaybının da göz önüne alınarak çarpma hızını verdiği hız değerini göstermektedir.

Grafiğin sonunda, lineer artışın sebep olduğu doğrusal bir çizgi çekildiğinde kesişim noktalarına denk gelen namlu ağzı çıkış hızları bize atışlarda olan hataları göstermektedir. Doğrunun dışında kalan noktalar yani hataların sebepleri, atış esnasında oluşan ve birden fazla negatif etki parametreleri olabilir. Grafik üzerindeki lineer çizginin altında ve üstünde yer alan 12 adet nokta bizim hata parametrelerimizdir. Belirtilen noktalar ve grafik üzerindeki kesişim noktası arasındaki farkın birkaç tane sebebi vardır. Bunlardan biri barut sıkılaştırma işlemi esnasında, pamuk ile sıkıştırılan barutun bir kısmının kovanın dışına çıkmasıdır. Bunun dışında her bir kovana el ile sıkılaştırma işlemi yapıldığı için insan hata payını da göz önüne aldığımızda, her kovan eşit derecede sıkılaştırılamayabilir.

Ayrıca ateşlediğimiz parçacık sabottan ayrıldıktan sonra havada takla atarak gider ve her atışta namludan çıktıktan sonra hava sürtünmesi ve diğer ortam koşulları nedeniyle havadayken aynı açıyla hareket etmeyebilir. Bunun nedeni parçacığın teknik detaylarında yatmaktadır. Mermi simülasyon parçacığının standardında, parçacığın ucunda 35°lik bir pah kırılır. Parçacığın ucu sivri tek bir nokta olmadığı için havanın uyguladığı sürtünme etkisi daha fazladır. Parçacık havada hızlı bir şekilde hareket ettiği için hava parçacığın tabanını hemen dolduramamaktadır. Bu da parçacığın tabanında aşırı yüksek bir türbülansın olmasına neden olur.

Bu etkiler ayrıca parçacığın tabanında vakum etkisi oluşturur ve bu oluşan vakum etkisi parçacığı sürekli geriye doğru çekerek parçacığın hızının düşmesine neden olur. Sonuç olarak bahsedilen bu etkilerle birlikte aynı barut gramajı ile atılan parçacıklarda her defasında aynı çarpma hızları oluşmamaktadır. Bunlar da hızın değişmesinde büyük rol oynar.

Çizelge 4.3 Test yapılarak ölçülen 12 atışın hata miktarının yorumlanması.

Ölçülen Hız (m/s)	Çarpma Hızı (y_i) (m/s)	Tahmin ($\hat{y}_i$)	Fark (Hata) ($y_i - \hat{y}_i$)	MSE ($(y_i - \hat{y}_i)^2$)	y_i 'nin Ortalama y_i ile Farkının Karesi
565	546	542,71	3,29	10,8241	807,4691
572	548	549,8374	1,8374	3,37603876	697,8051
577	554	554,9284	0,9284	0,86192656	416,8131
580	556	557,983	1,983	3,932289	339,1491
592	569	570,2014	1,2014	1,44336196	29,33306
598	575	576,3106	1,3106	1,71767236	0,341056
600	585	578,347	6,653	44,262409	112,0211
605	579	583,438	4,438	19,695844	21,01306
609	590	587,5108	2,4892	6,19611664	242,8611
616	593	594,6382	1,6382	2,68369924	345,3651
619	595	597,6928	2,6928	7,25117184	423,7011
621	603	599,7292	3,2708	10,6981326	817,0451
Ortalama	574,416		2,644	9,411	354,409

Yapmış olduğumuz 12 atış neticesinde Şekil 4.3 de elde ettiğimiz $y = 1,0182x - 32,573$ doğrumuzun regrasyon analizini yaptığımız zaman çarpma hızı ile tahmin doğrumuz arasında çok yakın bir fark olduğu ortaya çıkmıştır. Hem deneysel hem teorik olarak yapmış olduğumuz ölçümler ile elde ettiğimiz değerleri Hem deneysel hem teorik olarak yapmış olduğumuz ölçümler ile elde ettiğimiz değerleri birbiri ile kıyasladığımızda bir miktar fark oluştuğu ortaya çıkmıştır. Bu durum ortaya çıkan hatalarıda birbiri ile kıyaslanması ihtiyacını doğurmuştur. Bu sebeple ortalama kare hatası adını vermiş olduğumuz yöntem ile teorik ve deneysel sonuçlarının hata paylarını yüzdelik olarak karşılaştırılması yapıldı.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 = 9,41 \quad (4.3)$$

Ortalama çarpma hızımız olan 574,416 m/s ile çarpma hızlarımızın karelerinin ortalamasını alarak birbirine oranladığımızda x 'in değişimi ile açıklanamayan toplam farkın yüzdesini %2 olarak elde etmiş oluyoruz.

$$\frac{9,411}{354,409} = 0,027$$

Bulmuş olduğumuz bu sonucu maksimum sonuç olan 1'den çıkardığımızda $R^2 = \%98$ oranında doğruluk elde etmiş olduğumuzu göstermektedir.

Çizelge 4.4 Ölçülen hız kayıplarının yüzde olarak karşılaştırılması.

Teorik Hesaplama İle Bulunan Hız Kaybı	Test Yapılarak Ölçülen Hız Kaybı	Hata
%	%	%
3,98	4,1	0,12
3,91	3,99	0,08
3,84	3,89	0,05
3,77	3,79	0,02
3,71	3,7	0,01
3,65	3,61	0,04
3,59	3,52	0,07
3,53	3,43	0,1
3,47	3,35	0,12
3,42	3,27	0,15
3,36	3,19	0,17
3,31	3,11	0,2
3,26	3,04	0,22
3,22	2,97	0,25
3,17	2,9	0,27
3,12	2,83	0,29

Diğer bir elde etmek istediğimiz sonuç ise teorik açıdan bulunan değerlerin deneysel çalışma ile bulunan değerlerin yüzdesel olarak çizelgedeki sonuçlarını yazdığımızda teorik ve deneysel atışların karşılaştırılmasında %0,414 bir fark çıktığı sonucunu elde etmiş olmaktayız. Bu hata payının düşük olması hem teorik hem de deneysel sonuçların tutarlılık oranını ortaya çıkarmaktadır.

İncelemeye gerek duyulan bir diğer nokta ise atılan parçacığın yaşamış olduğu hız kaybı

ile ne kadar enerji kaybı yaşadığıdır. Kinetik enerjiye sahip merminin hedef üzerindeki nüfuz etmesi; merminin kütleline, merminin enerjisine, merminin hedefi vuruş açısına, merminin ucuna ve numunenin karakteristik yapısına bağlıdır. Merminin kinetik enerjisi ise Newton'un Hareket Yasası'ndan gelmektedir:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \text{ joule} \quad (4.4)$$

Burada E kinetik enerji, m merminin kütlesi ve merminin hızı v olarak sembolize edilmiştir.

Çizelge 4.5 Ölçülen hızlara göre görülen enerji kayıpları.

İlk Hız (m/s)	İlk Kinetik Enerji (J)	Test Yapılarak Ölçülen Hız (m/s)	Son Kinetik Enerji (J)	Hız Kaybı İle Ölçülen Enerji Kaybı (J)
550	166,37	527,43	153	13,37
560	172,48	537,61	158,96	13,52
570	178,69	547,8	165,04	13,65
580	185,02	557,98	171,23	13,79
590	191,45	568,16	177,54	13,91
600	198	578,34	183,96	14,04
610	204,65	588,52	190,49	14,16
620	211,42	598,71	197,15	14,27
630	218,29	608,89	203,91	14,38
640	225,28	619,07	210,78	14,5
650	232,37	629,25	217,77	14,6
660	239,58	639,43	224,87	14,71
670	246,89	649,62	232,1	14,79
680	254,32	659,8	239,43	14,89
690	261,85	669,98	246,88	14,97
700	269,5	680,16	254,44	15,06

Parçacığımızın kütlesi 1,1 gram olarak sabit kaldığından dolayı yaşanan hız değişimi üzerine çizelgedeki şekilde enerji kayıpları gözlemlenmiştir. Burada dikkatimizi çeken husus namludan çıkış hızı arttıkça hız düşüm ile birlikte kinetik enerji kaybının doğrusal artışı olmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mermi, namlu ağzından çıkarken sahip olduğu ilk hızını zamanla mermiye etkiyen kuvvetler nedeniyle kaybeder. Bu çalışmada 105 mm obüs mermisinin A3/6723/1 şarapnelinin havada hareket ederken ki hız düşümü laboratuvar ortamında 1,1 gram ağırlığında çelik alaşımdan imal edilmiş fragment kullanılarak canlandırılmıştır. 105 mm obüsün öldürücü yarıçapı yaklaşık 20 m'dir. Obüs mermisinin ilk patlama anından itibaren, şarapneller infilak ettikten sonra 20 m mesafeyi katedene kadar ilk hızını belli bir oranda kaybeder. Bizde bu çalışmamızda laboratuvardaki 5 m uzunluğundaki deney düzeneğimiz vasıtasıyla 1,1 gram ağırlığındaki A3/6723/1 fragmentini, 7,62 mm çapındaki G3 namlusundan ateşleyerek hız düşümünü ölçtük ve teorik hesaplamalarla karşılaştırma yapıldı. Fragmentin namludan çıktığı andaki ilk hızı ile 5 m sonundaki zırha vurduğu çarpma hızı arasındaki farkların sebeplerini inceledik.

1. Teorik hesaplama ile elde edilen hız kaybı sonuçları ile iki adet hız ölçüm tüneli kullanılarak yapılan pratik uygulamalardan elde edilen hız kayıp sonuçları birlikte değerlendirildiğinde; hesaplama yoluyla bulunan teorik sonuçlarda her hız değeri için 21,9 m/s'lik bir hız kaybı bulunduğu görülmüştür.
2. Ölçümler neticesinde elde edilen grafik üzerinde yapılan inceleme neticesinde ise düşük hızlarda (550-560 m/s) %4'e varan hız kayıpları tespit edilirken, yüksek hız değerlerinde (650-660 m/s) ise hız kayıpları %3'e kadar düşmektedir.
3. Sonuç olarak Afyonkarahisar Balistik Test Laboratuvarında yapılacak testlerde göz önüne alınması gereken hız kayıpları tespit edilmiş olup;
 - a. Testlerde ölçülen her bir hız değeri için "Ölçülen Hız-Çarpma Hızı Grafiğinde" yer alan hız düşüm değerleri yüzdeleri ile teorik olarak hesaplanarak bulunan hız düşüm değerlerinin yüzdelerinin aritmetik ortalaması olarak bulunan hata payı değerinin (%3,28) ortalamaya sahip olduğu

b. Fragmentin V_{50} testinde başarılı olduğu hız aralığı 600-750 m/s olarak tespit edilmiş ve bu aralıktaki hız kaybının %3,2 olduğu test yapılarak ölçülen sonuca göre gözlemlenmiştir. Aynı ölçülen hız aralığındaki hız kaybı ortalaması %3,37 olarak hesaplanmış olup hata payı değerinin ortalaması olan %3,28'lik değer buradan gelmiştir.

4. Teorik hesaplama ile bulunan değerler ve test yapılarak ölçülen değerler arasındaki temel farkın, barutun sıkılaştırılması esnasında bir miktar barutun dışarı dökülmesinden kaynaklı olduğu ve parçacığın sabot ile birlikte fırlatılmasıyla sabottan ayrıldıktan sonra takla atarak gitmesi ve bu durumun hava direncine yüksek miktarda maruz kalmasından kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

5. Yapmış olduğumuz 12 atış ile elde ettiğimiz $ax+b$ formatındaki doğrumuzun regresyon analizi ile bakıldığında doğruluk oranının yüksek çıkması yaptığımız çalışmanın tutarlılığı açısından önemli bir parametre olmuştur.

6. Teorik ve deneysel olarak elde ettiğimiz sonuçların hata farklarını yüzdelik olarak çıkardığımızda elde ettiğimiz değer deneysel ve teorik açıdan tolere edilebilir seviyede olduğu, çalışmanın sağlıklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

7. Deneyde kullanılan fragmentin namludan çıkış ile birlikte sahip olduğu kinetik enerjisinin yaşanan hız kaybı ile düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca namludan çıkış hızının artması ile birlikte ölçülen enerji kaybının doğrusal olarak arttığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmamız ileride askeri personeli savaş ortamındaki tehlikelerden korumak amacıyla geliştirilecek yeni zırh teknolojilerinde bir kaynak olacaktır. Çalışmanın farklı fragmentler ve farklı kütlede parçacıklar ile değerlerinin ölçülmesi balistik testlerde mermilerin hız düşümü hesaplamalarının yapılması zırh çalışmaları için önemli bir referans olacaktır. Aynı zamanda farklı namlular, farklı mermi uçları ve ölçüm yapılan mesafenin değişimi ile elde edilecek sonuçlar karşılaştırılarak en doğru değerlere ulaşılması açısından önemli bir katkı olacağı değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akçay, M. 1986. "Bir Tip Merminin Hareketinin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Dış Balistikte Teorik Bir Yaklaşım". İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 12-21.
- Akçay, M. 1993a. "Balistik". (B. Akasma & N. Akasma, Ed.). Erzurum, 254-256
- Akçay, M. 1993b. "Balistik". (B. Akasma & N. Akasma, Ed.). Erzurum, 261
- Akçay, M. 1993c. "Balistik". (N. Akasma & B. Akasma, Ed.). Erzurum, 262
- Barker, L. M., Hollenbach, R. E. 1972. "Laser interferometer for measuring high velocities of any reflecting surface". Journal of Applied Physics, 43(11).
- Berger, W. 2012. "Berger Bullets Reloading Manual ". (J. Barsness, Ed.) (First Edition, C. v1). USA: Berger Bullets.
- Bolduc, M., Jager, H. 2016. "Summary of Newly Ratified NATO Standard AEP 2920, Ed. A, V1".
- Cayzac, R., Carette, E., Denis, P., Guillen, P. 2011. "Magnus effect: Physical origins and numerical prediction". Journal of Applied Mechanics, Transactions ASME.
- Christensen, J. K., Underhill, M. J. 2004. "Phase coded pulse Doppler and continuous wave 77 GHz radar measurement and analysis facility". IEE Proceedings: Radar, Sonar and Navigation, 151(6).
- Chu, W., Zhao, D., Liu, B., Zhang, B., Gui, Z. 2020. "Research on target deviation measurement of projectile based on shadow imaging method in laser screen velocity measuring system". Sensors (Switzerland), 20(2).
- C. L. Farrar. 1982. "Military Ballistics A Basic Manual Battlefield Weapons Systems & Technology", 9
- C. L. Farrar. 1982. "Military Ballistics A Basic Manual Battlefield Weapons Systems & Technology", 11-19
- Donald E. Carlucci, Sidney S. Jacobson. 2010. "Ballistics Theory and Design of Guns and Ammunition Third Edition".
- Erdi Ergül. 2015. "Titanyum Nitrit Kaplanan 1040 Nolu Çelik İle 2842 Nolu Çeliğin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi".
- Fontenot, R. S., Hollerman, W. A., Goedeke, S. M. 2011. "Initial evidence of a triboluminescent wavelength shift for ZnS:Mn caused by ballistic impacts". Materials Letters, 65(7).

- Gilson, L., Imad, A., Rabet, L., Van Roey, J., Gallant, J. 2021. "Real-time Measurement of Projectile Velocity in a Ballistic Fabric with a High-frequency Doppler Radar". *Experimental Mechanics*, 61(3).
- Gök, Ş. 2006. "Dış Balistik Analizi". Kırıkkale Üniversitesi.
- Güraksın, M. M., Turan, O., Altıparmak, S. 1984. "Balistik". Kara Harp Okulu Komutanlığı Matbaası.
- Gürsel Özer. 2008. "Dış Balistik Analizinde İzdüşüm Alanın Etkilerinin Araştırılması".
- Hacker, B. C. 2003. "Throwing Fire: Projectile Technology through History (review)". *Technology and Culture*, 44(4).
- Hermann, E. E. 1935. "External Ballistics". Annapolis, Maryland, USA.
- Hornady Manufacturing Company. 1973. "Hornady Handbook of Cartridge Reloading: Rifle, Pistol, Volume II" (C. Volume II). Grand Island, NE: Hornady Manufacturing Company.
- Iremonger, M. J., Went, A. C. 1996. "Ballistic impact of fibre composite armours by fragment-simulating projectiles". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 27(7 Part A).
- Johnson, P. M., Burgess, T. J. 1968. "Free surface velocity measurement of an impacted projectile by optical Doppler shift". *Review of Scientific Instruments*, 39(8).
- Jonas A. Zukas. 1990. "High Velocity Impact Dynamics-Wiley-Interscience (1990)".
- Julian S.Hatcher. 1957. "Hatcher`s notebook" (C. Volume I). The Military Service Publishing Company.
- Keleş, O. E. 2019. "Bir Silahın Menzilinın Artırılmasının Analitik ve Nümerik Yöntemlerle Araştırılması ". Ege Üniversitesi.
- Kriukov, O., Mudrik, V. 2019. "Velocity Measuring Tool of Projectile in the Barrel: Experimental Research Results of the Valid Layout". *Metrology and instruments*, (3).
- Laible, R. C. 1982. "Ballistic Materials and Penetration Mechanics". *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 3(2).
- Lawson, G., Fowler, S. R., Halsey, H. W., Whittle, K. B., Kamerman, G. W. 1993. "In-bore chronograph a laser radar for interior ballistics measurements, part 1: system design". *Applied Laser Radar Technology* (C. 1936).
- Li, H., Lei, Z. 2013. "Calculation research on infrared radiation characteristic on flying

- projectile in sky-screen". IEEE Sensors Journal, 13(5).
- Li, H., Wang, Z., Gao, J., Lei, Z. 2013. "Analysis and calculation object detection capture rate in multi-sky-screens across measurement system". Optik, 124(20).
- Lin, L., Ju, R. 2020. "Analysis and research on the impact of bullet head eccentricity on air resistance". İçinde Journal of Physics: Conference Series (C. 1654).
- Mccoy, R. L. 1990 "Bril Aerodynamic Characteristics Of Caliber .22 Long Rifle Match Ammunition".
- Ni, J., Tian, H. 2006. "Measurement of the velocity vector of a flying projectile with infrared light screens". In 2nd International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Optical Test and Measurement Technology and Equipment (C. 6150).
- North Atlantic Treaty Organization (NATO). 2004. "Standardization Agreement Subject: Procedures For Evaluating The Protection Levels Of Logistic And Light Armoured Vehicles For Ke And Artillery Threats Promulgated On Nato/Pfp Unclassified".
- Özer, G. 2008. "Dış Balistik Analizinde İzdüşüm Alanı Etkilerinin Araştırılması ".
- Özer, M. T. 2017. "Yüksek Kinetik Enerjili Ateşli Silah Yaralanmalarında Yara Balistiği ve Cerrahi Tedaviye Yansımaları". The Medical Journal of Okmeydani Training and Research Hospital.
- Öztürk, A. R. 1979. "Dış Balistik". Kırıkkale: Makine ve Kimya Enstitüsü Kurumu Mühimmat Fabrikası Genel Müdürlüğü Özel Yayınları.
- Pan, D., Zhou, H., Chen, A. 1994. "New measuring method of the projectile velocity using flash shadowgraph system". İçinde Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (C. 3).
- Parker, G. W. 1977. "Projectile motion with air resistance quadratic in the speed". American Journal of Physics, 45(7).
- Paulter, N. G. 2009. "Reference ballistic chronograph". Optical Engineering, 48(4).
- Price, C. D. 2016. "Influence of Thermal and Dynamic Viscoelastic Properties of Influence of Thermal and Dynamic Viscoelastic Properties of Polymers on Low-Mass, High-velocity Penetrations Polymers on Low-Mass, High-velocity Penetrations".
- Rhee, P. M., Moore, E. E., Joseph, B., Tang, A., Pandit, V., Vercruysse, G. 2016a. "Gunshot wounds". Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 80(6), 853-867.
- Rhee, P. M., Moore, E. E., Joseph, B., Tang, A., Pandit, V., Vercruysse, G. 2016b. "Gunshot wounds: A review of ballistics, bullets, weapons, and myths". Journal of

Trauma and Acute Care Surgery.

- Robert, S., McCoy, L. 2009. "Memorandum Report Brl-Mr-3733 The Aerodynamic Characteristics Of 7.62mm Match Bullets".
- Rodríguez-Millán, M., Ito, T., Loya, J. A., Olmedo, A., Miguélez, M. H. 2016. "Development of numerical model for ballistic resistance evaluation of combat helmet and experimental validation". *Materials and Design*, 110.
- Sailaranta, T., Honkanen, T., Laaksonen, A., Siltavuori, A. 2014. "Bullet Turning at Trajectory Apex". *Journal of Aerospace Engineering*, 27(5).
- Sharma, V. 2011. "CFD Analysis of Different Shapes of Projectile(Bullet)".
- Sighard F. Hoerner. 1965. "Fluid Dynamic Drag".
- Silva, U. S., Sandoval, J. M., Flores, L. A., Muñoz, N., Hernández, V. 2011. "Numerical simulation and experimental study of flowfield around a bullet with a partial core". *Journal of Applied Mechanics, Transactions ASME*, 78(5).
- Statman, J. I., Rodemich, E. R. 1987. "Parameter Estimation Based on Doppler Frequency Shifts". *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, AES-23(1).
- Sun, G. Bin, Han, F., Wang, H. J. 2010. "Projectile location measurement system based on photo-electric conversion technique". İçinde 2010 Symposium on Photonics and Optoelectronic, SOPO 2010 - Proceedings.
- Taddeucci, J., Alatorre-Ibargüengoitia, M. A., Cruz-Vázquez, O., Del Bello, E., Scarlato, P., Ricci, T. 2017. "In-flight dynamics of volcanic ballistic projectiles". *Reviews of Geophysics*, 55(3).
- Tian, Y., Tian, H., Yuan, Y. 2019. "Measurement method of response time consistency for sky screens vertical target". *Journal of Applied Optics*, 40(3).
- Tiryaki, E. 2009. "Dönü Kararlı Mermilerin Aerodinamik Katsayıları, Kararlılık Özellikleri ve Yörünge Hesaplamaları". Ankara, Ankara.
- TSE 13349, 2008, Askeri Zırhlar – V₅₀ Balistik Hız Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, TSE, Ankara
- Tuomainen, A. H. 2001. "“Calibration of The Interior Ballistic Thermodynamic Model”" (Edition 1).
- Weinacht, P. 2006. "Validation and prediction of the effect of rifling grooves on small-caliber ammunition performance". İçinde Collection of Technical Papers - 2006 Atmospheric Flight Mechanics Conference (C. 1).
- Wu, Z., Zhang, X. 2019. "On-Sate Calibration Method Of Target Distance Of The Sky

Screen Target Velocity Measuring System". *Optik*, 178.

Zhao, D. E., Zhou, H. C. 2005. "Projectile Velocity Measurement Technology Based On Large Effective Area Laser Screen". *Journal of Test and Measurement Technology*, 19(4).

Zhao, D., Zhou, H., Liu, J., Zhang, B., Luo, Q. 2013. "High-Precision Velocity Measuring System For Projectiles Based On Retroreflective Laser Screen". *Optik*, 124(6).