



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KÜTLE GECİKMELİ GERİ TEPME PRENSİBİ
İLE ÇALIŞAN 9x19mm OTOMATİK
TABANCANIN, MEKANİZMADAN KAYNAKLI
GERİ TEPME KUVVETİNİN VE ENERJİSİNİN
BELİRLENMESİ, GERİ TEPME SÖNÜM
MEKANİZMASININ TASARIMI, DİNAMİK
ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU**

Orhan KOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ocak 2024
KONYA**

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Orhan KOÇ tarafından hazırlanan “Kütle Gecikmeli Geri Tepme Prensibi ile Çalışan 9x19mm Otomatik Tabancanın, Mekanizmadan Kaynaklı Geri Tepme Kuvvetinin ve Enerjisinin Belirlenmesi, Geri Tepme Sönüm Mekanizmasının Tasarımı, Dinamik Analizi ve Optimizasyonu” adlı tez çalışması 10/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANSTEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Doç. Dr. Mustafa TINKIR

Üye

Doç. Dr. Ümit ÖNEN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Erdi GÜLBAHÇE

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Orhan KOÇ

Tarih:10\01\2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜTLE GECİKMELİ GERİ TEPME PRENSİBİ İLE ÇALIŞAN 9x19mm OTOMATİK TABANCANIN, MEKANİZMADAN KAYNAKLI GERİ TEPME KUVVETİNİN VE ENERJİSİNİN BELİRLENMESİ, GERİ TEPME SÖNÜM MEKANİZMASININ TASARIMI, DİNAMİK ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU

Orhan KOÇ

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Doç. Dr. Mustafa TINKIR**

2024, 42 Sayfa

**Jüri
Doç. Dr. Mustafa TINKIR
Doç. Dr. Ümit ÖNEN
Dr. Öğr. Üyesi Erdi GÜLBAHÇE**

Ateşli silahlarda geri tepme, tasarımcılar açısından her zaman önemli bir konu olmuştur. Tasarımın, geri tepmesini düşürmek için çalışmalar yapılmış, azaltılan geri tepme yöntemleri başarı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmada kütle gecikmeli geri tepme prensibi ile çalışan 9x19 mm otomatik tabancanın geri tepme enerjisinin azaltılması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında sönüm mekanizmasına sahip olmayan yalın silahın mekanizmasının teorik hızı momentumun korunumundan hesaplanmıştır. Ağır çekim kamera kaydından PFV programında mekanizmanın deneysel hızı hesaplanarak, hızlar ve enerjiler karşılaştırılmıştır. Sönüm mekanizmasında kullanılmak üzere silahın geometrik koşulları göz önünde bulundurularak tasarlanan ve deney için imal edilen 9 farklı sönüm yayının tel çapı ve yay merkez çapına göre yay sabiti denkleminde yay sabitleri Matlab/Simulink ortamında hesaplanmıştır. Sönüm mekanizmasına sahip silah mekanizmasının hareket denklemleri, Lagrange metodu kullanılarak modellenmiştir. Matlab/Simulink ortamında modellenen hareket denklemleri üzerinden sönümlü silah mekanizmasının hızları, farklı sönüm yayları kullanılarak teorik olarak hesaplanmıştır. İmal edilen sönüm yayları ile ağır çekim video kayıtlarından mekanizmanın farklı yaylar etkisindeki deneysel hızları hesaplanarak teorik hesaplar ile karşılaştırılmıştır. Neticede mekanizmanın geriye çarpma hızını, silahın sağlıklı çalışmasını engellemeyecek ölçüde en çok azaltan sönüm yayları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomatik Tabanca, Geri Tepme, Ağır Çekim Kamera, Sönüm Mekanizması, Sönüm Yay, Deneysel ve Teorik Hesaplamalar

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF MECHANISM-INDUCED RECOIL FORCE AND ENERGY of A 9x19mm AUTOMATIC GUN WORKING WITH MASS-DELAYED RECOIL PRINCIPLE, DESIGN, DYNAMIC ANALYSIS, and OPTIMIZATION OF THE DAMPING RECOILING MECHANISM

Orhan KOÇ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor

Doç. Dr. Mustafa TINKIR

2024, 42 Pages

Jury

Doç. Dr. Mustafa TINKIR

Doç. Dr. Ümit ÖNEN

Dr. Öğr. Üyesi Erdi GÜLBAHÇE

The recoil in firearms has always been a significant concern for designers. Efforts have been made to reduce recoil, and the success of mitigating recoil is considered a notable achievement in firearm design. This study focuses on reducing energy of a 9x19mm automatic pistol working with mass-delayed recoil principle.

In the scope of this research, the theoretical velocity of the mechanism of a basic firearm without a damping mechanism was calculated based on the conservation of momentum. The experimental velocity of the mechanism was determined from high-speed camera recordings using the PFV program, and velocities and energies were compared. For use in the damping mechanism, nine different damping springs were designed, considering the geometric conditions of the firearm, and the spring constants were calculated in the Matlab/Simulink environment based on the spring constant equation for different wire diameters and spring center diameters. The motion equation of the firearm mechanism with a damping mechanism was modeled using the Lagrange method. The velocities of the damped firearm mechanism were theoretically calculated using different damping springs based on the modeled motion equation in the Matlab/Simulink environment. Theoretical calculations were compared with experimental velocities of the mechanism under the influence of different springs, obtained from slow-motion video recordings. Ultimately, the damping springs that most effectively reduced the recoil velocity of the mechanism without impeding the healthy operation of the firearm were evaluated.

Keywords: Automatic Pistol, Recoil, Slow-motion Camera, Damping Mechanism, Damping Spring, Experimental and Theoretical Calculations

ÖNSÖZ

Mühendislik mesleğinin icrasında öğrencilerine yenilenebilir alt yapının öğretilmesine emek sarf etmiş, üzerimde lisans ve yüksek lisans dönemi boyunca çok emeği bulunan, bu çalışmaya rehberlik eden değerli hocam Doç. Dr. Mustafa TINKİR'a, her koşulda mühendisliği ve yol arkadaşlığı ile bana destek olan sevgili eşim Mekatronik Mühendisi Kübra KOÇ'a, çalışmaya koşulsuz destek veren Huğlu Av Tüfekleri Kooperatifi Yönetim Kurulu Başkanı Naci TANIK beye, Başkan Yardımcısı Ali KARAKEDİK beye, Huğlu Savunma Genel Müdürü Abdussamed GÜZEL Beye ve Fabrika Müdürü Mustafa KARAKEDİK beye, değerli ekip arkadaşlarım Makine Mühendisi Ahmet MEYDAN ve Ömer KIZILKAYA' ya, tüm Huğlu Savunma ailesine teşekkür ederim.

Orhan KOÇ
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Otomatik Tabancalar	2
1.2. Bazı Kilitleme Mekanizmaları	4
1.3. Kütle Gecikmeli Geri Tepme	7
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Ağır Çekim Kamerada Deney Bilgileri	11
3.2. Yalın (Sönümsüz) Silah	14
3.2.1. Yalın Silahın Mekanizma İlk Hızının Teorik Hesaplanması.....	14
3.2.2. Yalın Silahın Mekanizma İlk Hızının Deneysel Hesaplanması.....	15
3.2.3. İrca Yay Sabitinin Hesaplanması.....	16
3.2.4. Yalın Silah Mekanizmasının Hareket Denklemi	17
3.2.5. Yalın Silah Mekanizmasının Teorik Çarpışma Hızı.....	19
3.2.6. Yalın Silah Mekanizmasının Deneysel Çarpışma Hızı.....	20
3.2.7. Yalın Silah Mekanizmasının Deneysel ve Teorik Çarpışma Enerjileri.....	20
3.3. Sönümlü Silah.....	21
3.3.1. Sönüm Mekanizması.....	21
3.3.2. Sönüm Yay Sabitlerinin Hesaplanması	23
3.3.3. Sönümlü Silah Mekanizmasının Hareketinin İncelenmesi	26
3.3.4. Silah Mekanizmasının Sönüm Mekanizmasına Teorik Çarpma Hızı	26
3.3.5. Silah Mekanizmasının Sönüm Mekanizmasına Deneysel Çarpma Hızı.....	27
3.3.6. Sönümlü Silah Mekanizmasının Hareket Denklemi.....	27
3.3.7. Sönümlü Silah Mekanizmasının Takoza Teorik Çarpma Hızı	29
3.3.8. Sönümlü Silah Mekanizmasının Takoza Deneysel Çarpma Hızı.....	31
3.3.9. Sönümlü Silah Mekanizmasının Deneysel ve Teorik Çarpma Enerjileri	32
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	34
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	40
5.1. Sonuçlar	40
5.2. Öneriler	41
6. KAYNAKLAR	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$Y1, S0$	Yalın Silah ile Atış
$S1$	1.Sönüm Yayı ile Atış
$S2$	2.Sönüm Yayı ile Atış
$S3$	3.Sönüm Yayı ile Atış
$S4$	4.Sönüm Yayı ile Atış
$S5$	5.Sönüm Yayı ile Atış
$S6$	6.Sönüm Yayı ile Atış
$S7$	7.Sönüm Yayı ile Atış
$S8$	8.Sönüm Yayı ile Atış
$S9$	9.Sönüm Yayı ile Atış
m_1, m	Mekanizma Kütlesi
m_2	Çekirdek Kütlesi
V_1	Mekanizma Hızı
V_2	Çekirdek Hızı
V	Mekanizmanın İlk Hızı
L	Lagrange Formülasyonu
T	Kinetik Enerji
V	Potansiyel Enerji
k_{irca}	İrca Yay Sabiti
$k_{sönüm}$	Sönüm Yay Sabiti
d_{tel}	Yay Tel Çapı
D_m	Yay Merkez Çapı
D_i	Yay İç Çapı
D_a	Yay Dış Çapı
L_0	Yayın Yüksüz Boyu
L_1	Yayın Montaj Boyu
L_2	Yayın Çalışma Boyu
L_{strok1}	$L_0 - L_1$
L_{strok2}	$L_1 - L_0$
L_{blk}	Yayın Blok Boyu
\dot{I}_g	Yayın Toplam Sarım Sayısı
\dot{I}_f	Yayın Yaylanan Sarım Sayısı

Kısaltmalar

SMG	Submachine Gun
CQC/CQB	Close Quarter Combat/Battle
PFV	Photron Fastcam Viewer

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun varoluşundan bu yana avlanma ve savunma amaçlı birçok araç gereç tarih boyunca icat edilmiştir. İnsanlık tarihinin ilk zamanlarında oldukça ilkel savunma araçları vardı. Kesici ve delici araçlar ile av ve savunma ihtiyaçları sağlanıyordu. Teknik açıdan bakıldığında potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye çeviren ok ve yay gibi icatlar ile hedef unsura yaklaşmadan belli bir mesafeden kullanılan araçlar diğerlerine göre daha kullanışlı ve etkili olmaya başladı. Öyle ki avını uzaktan öldürme yeteneği mevcut ekolojik egemenliğimizin yapıtaşlarından biridir. MÖ 8000'den başlayan bu süreç insanoğlunu menzilli silahlara ilgisini göstermektedir.(O'Driscoll ve Thompson, 2018)

Kömürün potasyum nitrat ile etkileşimi ilk olarak 9.yy. da Çin'de keşfedildi ve hızla ilkel patlayıcılar tarih sahnesine çıktı.(Gray ve ark., 1982) Önceleri infilak ettirilerek çevresel bir yıkım amacıyla kullanılan ilk baruttan imal edilen bombalar daha sonra fırlatmak için kullanılmaya başlandı. Bu fırlatma işi yani kütleyle hız kazandırmak daha sonraları ok ve yayın yerini almaya başladı.

Modern çağların başlarında silah sistemlerinin ataları tarih sahnesine çıktı. Birçok çalışma sitili vardı. Tarihteki ilk ateşlemenin ardından silahlar gelişmeye başladı. Kibritli tüfekler bunların ilk örnekleriydi. Çakmaklı tüfeklerle bu ilerleme devam etti.(*History of the firearm - Wikipedia*, 2021) Basit şekilde çalışan bu silahlar barut ve merminin namluya yüklenmesinin ardından bir ateşleyicinin atım yatağına kıvılcım atmasıyla çalışıyordu. Kıvılcım ile alev alan barut mermiyi hızlandırarak hedefe gönderiyordu.



Şekil 1.1 Çakmaklı Tüfek

1.1. Otomatik Tabancalar

Silahların tarihsel gelişimi incelendiğinde insanoğlunun bu icadı fazlasıyla sevdiği anlaşılmaktadır. Günümüzde dahi gelişimi devam etmekte olan silahlar birçok farklı dala ayrıldı. Uzak mesafe atışları için tasarlanan keskin nişancı tüfeklerinden yüksek atış hızlarına sahip otomatik tüfeklere kadar birçok dala evrildi. Artık çok çeşitli durumlarda kullanılan silahlar mevcut. Yüksek kalibre fişekler ateşleyebilen silahlar, duvarları yıkabilmekte, gelişen fişekler sayesinde duvarı deldikten sonra arkasında infilak ederek şarapnel saçabilmektedir.

Silah türlerinde önde gelenlerden bir tanesi de tabanca fişeklerini kullanan ve omuzdan ateşlenen otomatik tabancalardır. Yapısı itibari ile kısa tüfeklerdir. Amaçları kısa mesafe kullanım durumlarında ve meskûn mahal operasyonlarında hem atış gücü hem de portatiflik sağlamaktır. Dünya tarafından ‘SMG (submachine gun)’ olarak adlandırılır.

İlk otomatik tabanca 1918 yılında Theodor Bergmann tarafından MP18 adı ile geliştirildi. 9x19 Parabellum fişek ile çalışan bu silah I. Dünya Savaşında kullanılan tek otomatik tabancadır. Otomatik olarak çalışan bu silah döneminde oldukça dikkat çekmişti.(*Submachine gun - Wikipedia, 2018*)



Şekil 1.2 MP18 İlk Otomatik Tabanca

Otomatik tabancalar meskûn mahalde, kentsel alanlarda olması muhtemel çatışmalarda kullanılır. Bu tip durumlarda silahın isabet yüzdesinden çok hedefe kısa sürede çok sayıda atış yapmak amaçlanır. Bu durumda otomatik tabancalar bu amaç için oldukça elverişlidir. Ayrıca kullanılan tabanca fişekleri saldırı tüfeklerinde kullanılan fişeklere göre daha yavaş ve daha az delici olduğundan sivillerin bulunduğu ortamlarda riski en aza indirir.(*Submachine gun - Wikipedia, 2018*)

Meskûn mahal operasyonları 100m'ye kadar olan mesafelerde, gruplar arasında gerçekleşen çatışmalardır. Genellikle gruplardan birisi suç unsuru olup kapalı bir alanda ev, okul, alışveriş merkezi veya dar yerleşim bölgeleri gibi bir alana konuşlanırlar. Güvenlik kuvvetleri, suçun ve suçlunun bertaraf edilmesi için bölgeye zorla girer ve unsurları etkisiz hale getirir. Dünyada bu tür operasyonlar CQC/CQB olarak isimlendirilir.(*Close-quarters combat - Wikipedia, 2011*)



Şekil 1.3 Polis Özel Harekât Ekibi Meskûn Mahal Operasyonu

Otomatik tabancalar genellikle zırh delici özelliği olmayan fişeklerle çalışırlar. Bu durumda çelik yelek gibi vücut zırhlarını delemeyebilirler. Bu onlar için bir dezavantaj olsa da bazı otomatik tabanca modelleri zırh delici tabanca mermilerine özel olarak tasarlanıp üretilmişlerdir. Buna MP7 örnek olarak verilebilir. Yine de tabanca fişekleri dolayısıyla otomatik tabancalar saldırı tüfeklerine nazaran menzilde ve isabette yetersiz kalmaktadır. Kullanımı menzil açısından özellikle sınırlıdır.(*Submachine gun - Wikipedia, 2018*)



Şekil 1.4 HK MP7 Otomatik Tabanca

1.2. Bazı Kilitleme Mekanizmaları

Ateşli silahlarda ilkel modellerden buyana temel prensip barutun alev alarak mermi çekirdeğine hız kazandırmasıdır. Kazandığı hız ile mermi çekirdeği hedefe doğru yol alır. İlkel tüfeklerde önce namlu barutla doldurulur ve ardından mermi çekirdeği yani misketi veya şekil vermiş kurşunu namlu ağzından namlu dibine iteklenerek sıkıştırılır ve patlamanın etkisi artırılmaya çalışılırdı. İlkel silahlarda namlu ağzından dolun yapıldığı için namlunun atıştan sonra açılmasına gerek kalmıyordu ve oldukça basit şekilde çalışıyordu. Daha sonraları bu doldurma işlemi yavaş kalmaya başladı, barut ve mermi çekirdeğini bir arada tutan kompleks bir yapı icat edildi. Günümüz fişekleri bu çabuklaşma ihtiyacına cevap olarak doğdu ve birçok amaçta fişek tasarlandı. Otomatik tabancalar bulunabilirliği yüksek, imalatı kolay ve ucuz olduğundan dolayı genellikle 9x19 Parabellum fişegini kullanırlar. Neredeyse aynı avantajlara sahip ve oldukça yaygın farklı fişeklerde kullanılmaktadır. 9mm fişek George Luger tarafından 1902 yılında tasarlandı. O günden buyana birçok ülkenin standart tabanca fişegi oldu.(Curtis, 2010)



Şekil 1.5 Fişegin Kesit Resmi

Gelişen mermi teknolojisiyle birlikte silahlarda gelişim göstermeye başladı. Kompleks haline gelen fişeklerin kullanıldıktan sonra kovanın silahtan tahliyesi ve dolu fişegin atım yağına sürülmesi çeşitli mekanizmalar ile sağlanmaya başlandı. Aynı zamanda silahın güvenli ve performanslı çalışması için kilit mekanizmaları icat edildi. Bu kilit mekanizmaları tüm silah sistemleri için kullanılmaya başlandı. İlkel tüfeklerde bu kilit mekanizmalarına ihtiyaç yoktu çünkü namlu zaten tek yönlüydü. Gaz ve fişek tek bir ağızdan çıkabiliyordu.

Kompleks fişekler ile silahlar gitgide pratikleşmeye başladı. İngilterede 'Bolt Action' şeklinde tabir edilen sürgülü mekanizmalı silahlar geliştirildi. Namlu içerisine sürülen fişek, mekanizmanın el ile sürülerek kitlenmesiyle çalışır. Sürgülü mekanizmalı tüfekler eski tip silahlara göre oldukça pratik ve isabetlilerdir.



Şekil 1.6 Mauser, Bolt Action Tüfek



Şekil 1.2 Mauser Mekanizması

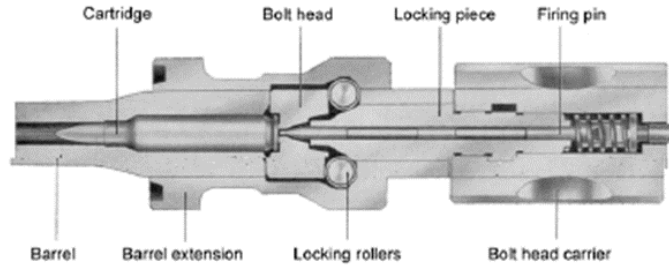
Sürgülü mekanizmalı tüfeklerin, mekanizma kilitlerinin otomatik açılması sağlanarak döner kilitli mekanizmalar icat edilmiştir. Bu silahların mekanizmaları bir tahrik mekanizması ile hareket ettirilerek mekanizma kilidinin kendisinin açması sağlanmaktadır. Zamanlama olarak ele alacak olursak; tetik çekilir, horoz serbest kalır ve iğneye vurur, iğne hızlanarak fişegin kapsülüne vurur, kapsül alev alır ve barutu ateşler, barut yanarak sıcak gaz meydana getirir, genişleyen sıcak gaz çekirdeği namlu içerisinde hareket ettirerek fırlatır, namlu üzerinde bulunan gaz deliğinden gaz odasına sıcak gaz dolar(gaz-piston tahrik mekanizmalı bir tüfek olduğunu varsayarsak), gaz odasında genişleyen gazlar pistonu hareket ettirir, piston mekanizmayı harekete geçirir, mekanizma geriye çıkarken kovani silahın dışına atar ve horozu tekrar kurar, mekanizmanın geri hareketiyle sıkışan irca yayı mekanizmayı geri yerine itekler ve bu sırada mekanizma şarjörden dolu bir fişegi atım yatağına sürer ve kilitleri kapatır. Silah böylece ikinci bir

atıma hazır hale gelir. Bu sisteme örnek olarak birçok silah gösterilebilir. Bazılarını sayacak olursak; MPT76, AK47, AR15, G36, TAR21, SCAR, CZ BREN gibi silahlar söylenebilir. Döner kilitli mekanizmalar otomatik tabancalarda da kullanılmaktadır.



Şekil 1.3 Döner Kilitli DI AR15 Mekanizması

Silindir gecikmeli geri tepme prensibi ile çalışan dünya üzerinde gösterilecek silahların sayısı fazla değildir. Ama az olmasına karşın oldukça popüler ve üretim adedi olarak fazla olan silahlar vardır. Bunların en ünlüleri Alman HK firmasına aittir. Türk ordusunun da uzun yıllar kullandığı G3 ve MP5 bu kilit-geciktirme sistemiyle çalışmaktadır. Bu sistemde de amaç döner kilitle aynıdır. Çekirdek namluyu terk edinceye kadar mekanizma kapalı kalmalıdır. Böylece hem güvenli hem isabetli atışlar yapılır. Döner kilitten farkı ise mekanizmanın kitleme işlemini iki adet silindir ile yapıyor olmasıdır.



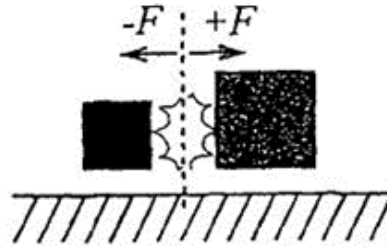
Şekil 1.9 Silindir Gecikmeli Mekanizma

Silahlarda tasarıma göre birçok farklı kilit ve tahrik mekanizmaları mevcuttur. Bu kilit mekanizmaları arasında bahsedilenler, tasarlanıp kullanılmış olanlar arasında kullanılmaya devam edenlerdir. Bazı tasarımlar gerek maliyet gerekse sistemin kullanılabilirliği açısından diğerlerinden geri planda kaldığından silah tasarımlarında tercih edilmemiştir. Bazı kilit mekanizmaları ise ucuz ve sağlıklı çalıştığından dolayı günümüz silahlarında çokça kullanılmaktadır.

1.3. Kütle Gecikmeli Geri Tepme

Kütle gecikmeli geri tepme prensibi ile çalışan silahlarda geometrik olarak herhangi bir kilit bulunmaz. Dönerek veya silindirik kilitlemeli olarak çalışmaz. Genellikle tek parça bir kütle, kütlelerinin verdiği avantajla çalışır. Öyle ki daha önce döner kilit bölümünde bahsettiğimiz, silahın çalışma zamanlaması ve çalışma olayları bu tip mekanizmalı silahlar içinde geçerlidir. Bu tip silahların farkı, gaz-piston mekanizması gibi bir tahrik mekanizmasına ihtiyaç duymamasıdır. Eğer zamanlama ve çalışma olaylarından bahsedecek olursak; tetik çekilir, horoz düşer ve iğneye hız kazandırır, iğne kapsülü ateşler ve barut alev alır, çekirdek namludan geçerek hedefe yol alır, patlama etkisi ile mekanizma açılır ve strok sonuna giderken boş kovana atar, horozu kurar, sıkışan irca yayı mekanizmayı yerine itekler ve mekanizma yerine giderken şarjörden fişek olarak atım yatağına sürer ve silah atışa hazır hale gelir.

Bu mekanizmada kilit bulunmama sebebi mekanizmanın külesinden dolayı harekete, çekirdeğe göre geç başlamasıdır. Yani patlama gerçekleştikten sonra çekirdek namludan çıkıncaya kadar mekanizma harekete geçmez. Geçmeme sebebi külesinin çekirdeğe göre çok büyük olmasıdır. Bu durum momentumun korunumu ile açıklanabilir. Başlangıçta hareketsiz olan m_1 ve m_2 kütlelerinin arasında itici kuvvet oluşur. Zıt yönlere v_1 ve v_2 hızlarıyla harekete başlarlar. Kütleler aynı doğrultuda hareket ederler ve sürtünmesiz oldukları varsayılır. Bu durum aşağıdaki denklemde gösterilmiştir. (Mizuno ve ark., 1999)



Şekil 1.10 Patlamanın Şematik Gösterimi

Huğlu Savunma'nın makineli tabancası Mohaç da bahsedilen prensibi kullanarak çalışmaktadır. Silahın mekanizmasında herhangi bir kilit bulunmamaktadır ve mekanizma sahip olduğu ktle ile geciktirme sağlamaktadır.



şekil 1.4 Huğlu Savunma Mohaç Makineli Tabanca

Yapılan çalışmadan ktle gecikmeli mekanizmanın ağırlığı ve fişek bilgileri kullanılarak mekanizmanın teorik hızı momentum korunumundan hesaplanmıştır. Atış deneyleri yapılarak ağır çekim kamera kayıtları üzerinden deneysel geri tepme hızları ölçülmüştür. Ayrıca silah mekanizmasının matematiksel modeli Lagrange metodu ile modellenmiş ve Matlab/Simulink ortamında imal edilen gerçek sönüm yay katsayılarına göre hızları elde edilmiştir. Hesaplanan teorik ve deneysel hızlardan hız ve enerji karşılaştırmaları yapılmıştır. Sönüm mekanizmasında kullanılan farklı rijitlikteki yayların etkisi altındaki deneysel ve teorik hesaplanan mekanizma hızları karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yapılan çalışmada ok ve yayın tarih boyunca süreçleri araştırılmış olup derinlemesine bir bilgi verilmiştir. Bu araştırmadan anlaşılacağı üzere insanoğlunun tarih sahnesinin en başından beri menzilli silahlara ilgisi gösterilmektedir. Menzilli silahlara olan ilgi ve menzilli silahların işlevselliği özellikle onu diğerlerinden çok daha fazla öne çıkararak gelişimini hızlandırmıştır.(O'Driscoll ve Thompson, 2018)

Menzilli silahların gelişmesinde tek etken olan barutun tarihteki gelişimi ve daha önceleri ne sebeple kullanıldıkları hakkında bilgi verilmiştir. Ateşli silahlarla ilgili yapılan çalışmada silahların çalışmasının anlaşılması için barutun bu süreçteki yeri bilinmelidir. Silahtaki geri tepmenin nedeni ve silahı çalıştıran baruttur. Bu durumda barut ateşli silahlardaki yakıttır. (Gray ve ark., 1982)

Ateşli silahların tarih boyunca gelişimi web sitede açıklanmıştır. Gelişimin güncel tarihte de devam etmesi ateşli silah tarihinden anlaşılmaktadır. Tarih boyunca ateşli silah insanoğlu tarafından geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Yaptığımız çalışmada ateşli silahların geliştirilmesi üzerinedir. (*History of the firearm - Wikipedia*, 2021)

Otomatik tabancaların gelişim süreci hakkında bilgi verilmiştir. Bu süreçte otomatik tabancaların kullanım alanları değerlendirilmiştir. Otomatik tabancaların atalarından buyana gelişimleri açıklanmıştır. Doğru yerde kullanıldığında ne kadar etkili olduğu açıktır. Dolayısıyla geliştirilen sistemin tasarımında dikkat edilmesi gereken durumlar belirlenmiştir. Bu durumlar neticesinde geri tepmesi az olan bir silahın diğerlerinden öne çıkacağı aşikardır. (*Submachine gun - Wikipedia*, 2018)

Otomatik tabancaların kullanımının en yaygın olduğu meskûn mahal operasyonları hakkında bilgi verilmiştir. Kullanılmaya aday olan Mohaç makineli tabancanın özelliklerinin anlaşılması açısından önemli bir noktadır. Meskûn mahal operasyonlarında kullanıcının atış esnasında geri tepme ve ona bağlı şahlanma yüzünden atış hattının bozulmaması veya az bozulması önemli bir özelliktir. (*Close-quarters combat - Wikipedia*, 2011)

Atış deneylerinde kullanılan fişek MKE 9x19mm'dir. Bu fişekle ilgili bilgiler çalışmada aktarılmıştır. Dünya çapında pek çok alanda kullanılan ve oldukça yaygın olan bu fişek silahı çalıştırdığından dolayı oldukça önemlidir. Atış deneylerinde de belirtilen fişek kullanılmıştır. (Curtis, 2010)

Kütlenin ölçülebilmesi için yeni bir yöntem geliştiren bu çalışmada yerçekimsiz ortamda yapılan deneyler sunularak referans kütle yardımı ile hedef kütle değeri belirlenmiştir. Mekanizma kütlesi çekirdek kütlesi ve çekirdek hızı çalışmamızda bilindiğinden teorik mekanizma hızı yapılan çalışmada ki gibi momentumun korunumundan hesaplanabilir. (Mizuno ve ark., 1999)

Çalışmamız 9x19mm fişeğin özelliklerinin bilinmesiyle gerçek değerler üzerinden devam edecektir. Bu durumda üretici firma MKE'nin üretici olarak sunduğu fişeğin dataları çalışmamızda kullanılacaktır. En doğru değere ulaşılması için gerçek veriler kullanılmalıdır.(9 mm x 19 Tabanca Fişeği (Parabellum), 2021)

Mühendisler için fizik konusunda önemli kaynaklardan olan bu eserde gerekli hesaplamalar için belirlenen denklemler kullanılmıştır.(Serway ve ark., 2002)

Makine elemanları konusunda mühendis ve mühendis adayları için oldukça önemli bir yere sahip olan bu eserde çalışma için imal edilmiş olan sönüm yaylarının yay sabitleri için gerekli denklem kullanılmıştır.(Budynas ve Nisbett, 2015)

Bu çalışmada silahların geri tepmesini azaltan muzzle breake gibi parçaların etkinliği hakkında bilgi edinebilmek için silah geri tepmesinin ölçen bir düzenek üzerinde çalışılmıştır. Sonuçların teorik hesaba çok yakın olduğu belirtilmiştir. Sistemin imalatı ve bu süreç sunulmuştur.(Canfield-Hershkowitz ve ark., 2013)

Çalışmada bazı tüfeklerin geri tepmesi araştırılmış ve taklit bir geri tepme simule edilmiştir. Geri tepmenin kullanıcı tarafından algılanması kullanıcının fiziksel özelliklerine göre değişmektedir.(FEDARAVIČIUS ve ark., 2016)

Yapılan çalışmadan namlu çıkış hızı ve geri tepmenin dengelenmesi konusunda çalışılmıştır. (Cheng ve ark., 2019)

Basınçlandırılmış gaz kullanarak ateşli silahın geri tepmesi yapay olarak oluşturulmaya çalışılmıştır.(LUKÁČ ve ark., 2017)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Mohaç makineli tabancasının en küçük namlu boyuna sahip olan modeli üzerinden ağır çekim kamerada atış deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler le ilgili bilgiler bu başlık altında incelenecektir. Ayrıca teorik dataların incelemesi de bu başlık altında ele alınacaktır. Deney silahında mekanizma hareketinin kamera kayıtlarından incelenmesi için Şekil 3.1'deki gösterilen pencereler açılmıştır.



Şekil 3.1 Mohaç Deney Silahı

3.1. Ağır Çekim Kamerada Deney Bilgileri

Atış deneylerinde Photron Fastcam Nova S9 model kamera kullanılmıştır. Deney esnasında silahın yatay ile paralel olması sağlanmıştır. Paralelliğin sağlanması için su terazisi Şekil 3.2'deki gibi kullanılmıştır.



Şekil 3.2 Su Terazisinin Kullanımı

Kamera kayıtları üzerinden yapılacak ölçümlerin sağlıklı olması için kameranın silaha paralel ve dik şekilde olması gerekmektedir. Bu sebeple kamera ayağında bulunan su terazilerinden faydalanılmıştır. Şekil 3.3’de kamera ayağının su terazileri bu durumu göstermektedir.



Şekil 3.3 Kamera Su Terazileri

Şekil 3.4’de deney ortamı gösterilmektedir. Deney atışları 9x19mm MKE fişekleri ile Huğlu Savunma poligonunda yapılmıştır.



Şekil 3.4 Deney Ortamı

Atışların ağır çekim video kayıtları alınırken videoların karışmaması için kodlandırma yöntemi belirlenmiştir. Kodlar Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Atış Durumu	Video Kod Adı
Yalnız Silah ile Atış	Y1
1.Sönüm Yayı ile Atış	S1
2.Sönüm Yayı ile Atış	S2
3.Sönüm Yayı ile Atış	S3
4.Sönüm Yayı ile Atış	S4
5.Sönüm Yayı ile Atış	S5
6.Sönüm Yayı ile Atış	S6
7.Sönüm Yayı ile Atış	S7
8.Sönüm Yayı ile Atış	S8
9.Sönüm Yayı ile Atış	S9

Tablo 3.1 Video Kod Adları

Deneyde silahının mekanizma kompleksine ait olan mekanizma bloğu parçası tüm atışlarda özdeştir. Silahın çalışmasını sağlayan irca yayları özdeştir. Sönüm mekanizmasının sönüm yayı hariç tüm parçaları özdeştir. Deneyde tüm değişkenler özdeş tutularak sadece sönüm yayı değiştirilmiştir. Şekil 3.5’de bu mekanizmalar gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Farklı Sönüm Yaylarına Sahip Mekanizma Blokları

3.2. Yalın (Sönümsüz) Silah

3.2.1. Yalın Silahın Mekanizma İlk Hızının Teorik Hesaplanması

Sönüm mekanizmasına sahip olmayan yani sadece irca yayına sahip olan mekanizmanın hızının hesabı teorik olarak hesaplanarak deneysel verilerle karşılaştırılacaktır. Bu durum daha önce bahsedilen momentumun korunumu ile hesaplanacaktır. Patlama anında başlangıçta hareketsiz olan m_1 ve m_2 kütlelerinin arasında itici kuvvet oluşur. Zıt yönlere v_1 ve v_2 hızlarıyla harekete başlarlar. Kütleler aynı doğrultuda hareket ederler ve sürtünmesiz oldukları varsayılır. Bu durum aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.(Mizuno ve ark., 1999)

$$m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot 0 = m_1 \cdot V_1 - m_2 \cdot V_2 \quad (3.1)$$

$$m_1 \cdot V_1 = m_2 \cdot V_2 \quad (3.2)$$

Burada;

m_1 : Mekanizma Kütlesi

m_2 : Çekirdek Kütlesi

V_1 : Mekanizma Hızı

V_2 : Çekirdek Hızı

Çekirdek kütlesi için deneyde kullanılan MKE 9x19mm mühimmatının çekirdek kütlesi hesaba katılacaktır.(*9 mm x 19 Tabanca Fişegi (Parabellum)*, 2021) Bu durumda çekirdek kütlesi 8g olarak alınabilir.

Çekirdek hızı için deney silahında ilk hız ölçümü yapılmıştır. İlk hız ölçümüne göre çekirdek hızı 380m/s olarak alınabilir.

Hassas dijital terazi ile mekanizmanın hareket eden parçalarının kütlesi ölçülmüştür. Mekanizma kütlesi 574g olarak hesaba alınacaktır.

Bu durumda;

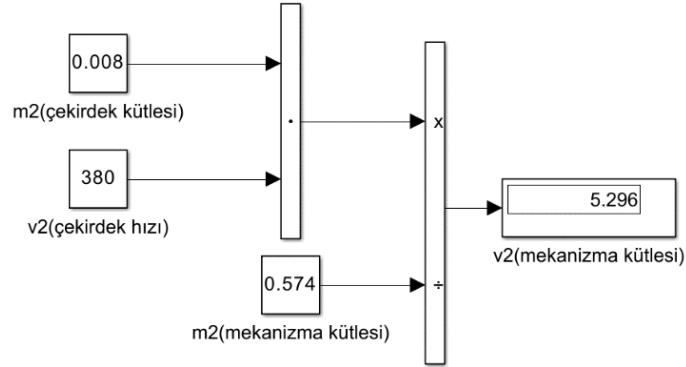
m_1 : 574g (0,574Kg)

m_2 : 8g (0,008Kg)

V_1 : Mekanizma Hızı

V_2 : 380m/s

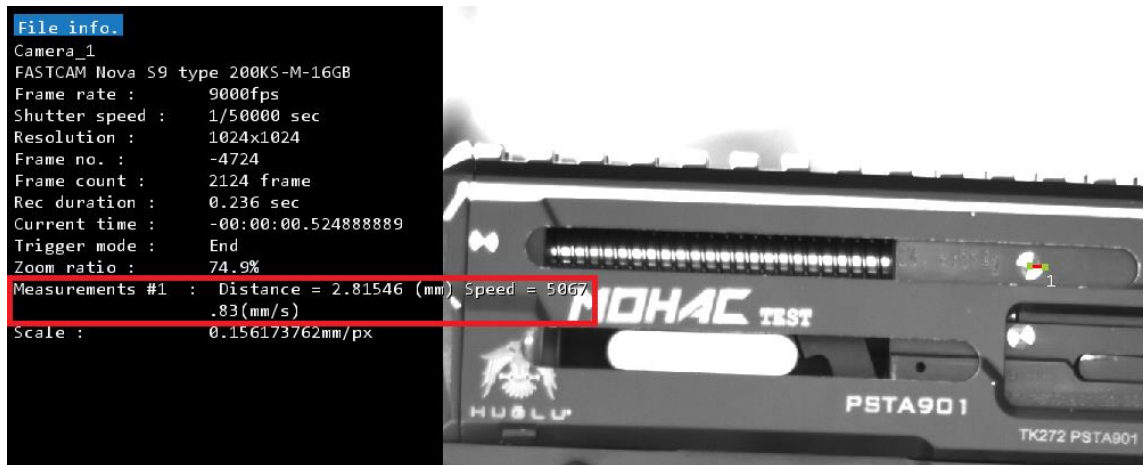
Mekanizma teorik hızı Denklem 3.2'den 5,29m/s olarak hesaplanmıştır. Bu hesap Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Şekil 3.6'da model gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Yalın Silahın Simulink Ortamında Denklem 3.2'den Teorik Hız Modeli

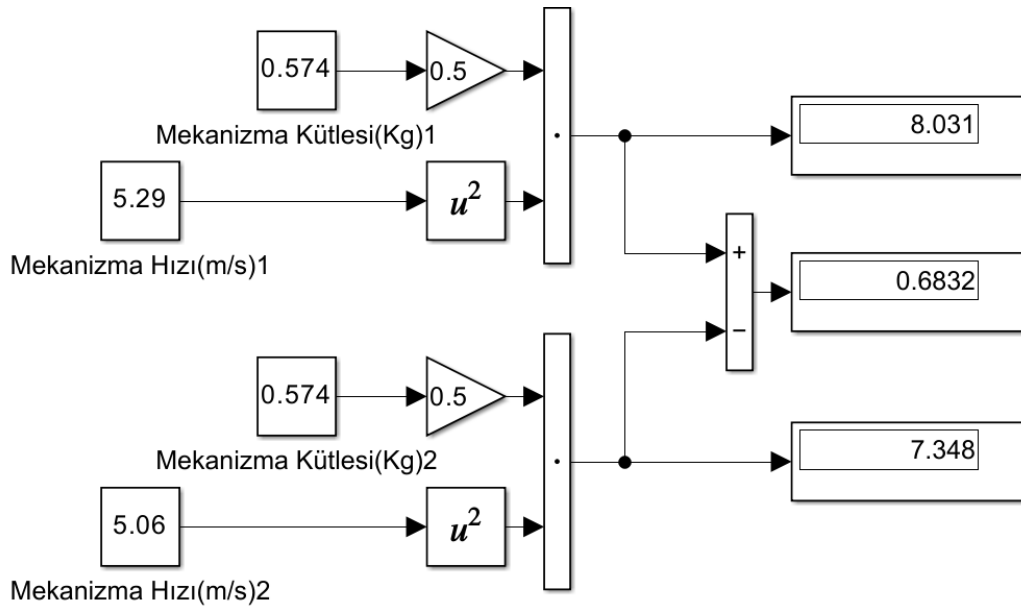
3.2.2. Yalın Silahın Mekanizma İlk Hızının Deneysel Hesaplanması

Mekanizmanın sürtünmelerin önemsenmediği ortamdaki teorik hızı bir önceki başlıkta 5,29m/s olarak hesaplanmıştır. Mekanizmanın gerçek ilk hızı, ağır çekim kamerada Bölüm 3.1'de bahsedilen şartlar altında video kaydına alınmıştır. Ardından Photron Fastcam Viewer (PFV) programında video kaydı (Y1) kullanılarak hız ölçümü yapılmıştır. Bu durumda Şekil 3.7'de gösterildiği gibi mekanizmayı 2,81mm boyunca yaptığı ortalama ilk hızı 5,067m/s olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.7 Yalın Silahın PFV da Mekanizma İlk Hızının Hesaplanması

Bu durumda, teorik ve deneysel mekanizma hızları hesaplandığına göre bu hızların karşılaştırılması yapılabilir. Öyle ki Matlab/Simulink ortamında kinetik enerji(Serway ve ark., 2002) formülü modellenerek her iki durum için denklem çözdürülmüştür. Şekil 3.8’de görüleceği üzere 0,68J enerji farkı ortaya çıkmaktadır. Deneysel olarak yapılan ölçümde 2,81mm boyunca yapılan ortalama hız ölçümünde mekanizmanın horozu bir miktar geriye yatırdığı göz önünde bulundurulacak olursa belirlenen enerji farkı beklenen bir durumdur. Neticede mekanizma horozu yatırmak için bir miktar enerji harcamıştır.



Şekil 3.8 Yalın Silahta Teorik ve Deneysel İlk Hızlardan Hesaplanan Enerji Farkı

3.2.3. İrca Yay Sabitinin Hesaplanması

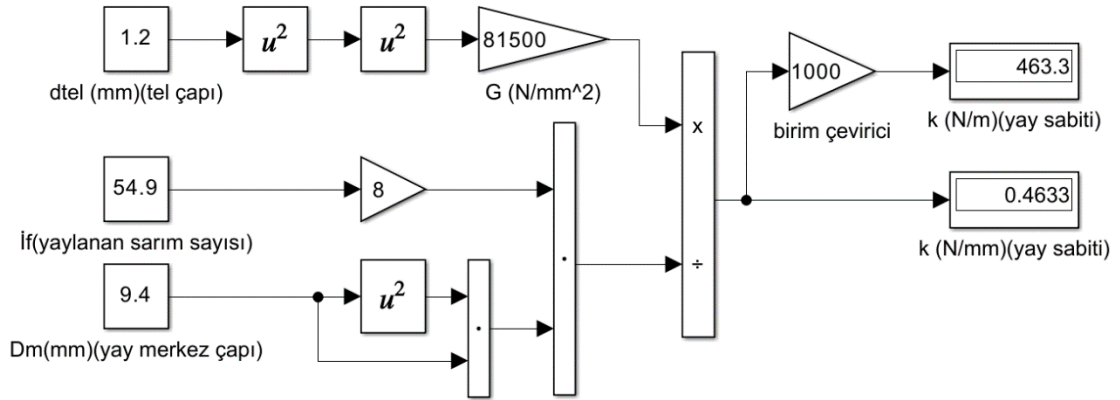
Silah mekanizmasının hareket denkleminin modellenmesi için irca yay sabitinin hesaplanarak modele eklenmesi gerekmektedir. Bu durumda yayın geometrik verilerinden yola çıkarak yay sabiti denkleminde irca yayının hesabı yapılır. (Budynas ve Nisbett, 2015) İmal edilen irca yayının geometrik verileri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

YAY ADI	d_{te1}	D_m	D_i	D_a	L_0	L_1	L_2	L_{strok1}	L_{strok2}	L_{b1k}	\dot{I}_g	\dot{I}_f
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-	-
İRCA YAYI	1,20	9,40	8,20	10,60	224,00	154,60	79,30	69,40	144,70	67,68	56,40	54,90

Tablo 3.2 İrca Yayının Geometrik Verileri

Denklem 3.3’de yay sabiti denklemi gösterilmiştir.(Budynas ve Nisbett, 2015) Bu denklem Matlab/Simulink ortamında modellenerek irca yay sabiti hesaplandı. İrca yayının sabiti Şekil 3.9’da da görüldüğü üzere 463,3N/m hesaplanmıştır.

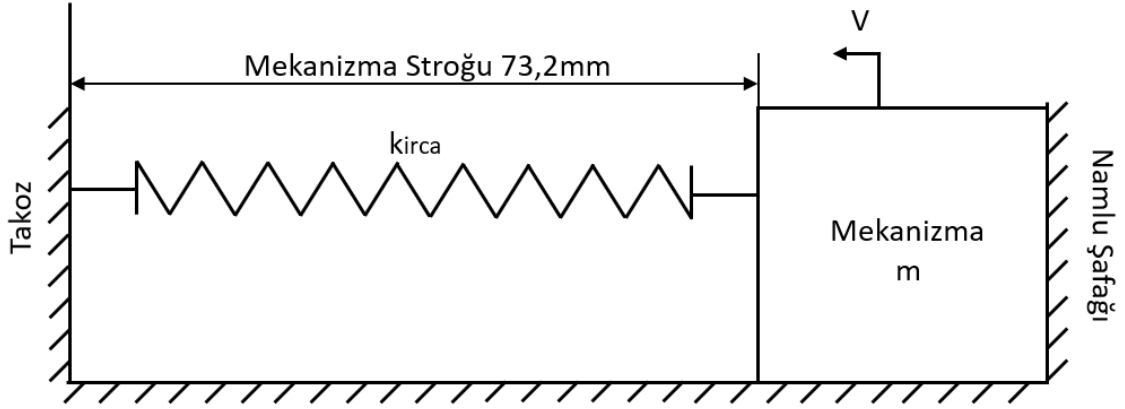
$$k = \frac{d_{tel}^4 \cdot G}{8 \cdot \dot{I}_f \cdot D_m^3} \quad (3.3)$$



Şekil 3.9 İrca Yay Sabiti Matlab/Simulink Modelinden Hesabı

3.2.4. Yalın Silah Mekanizmasının Hareket Denklemi

Silah mekanizmasının hareket denklemi ile mekanizmanın deneysel ilk hızı kullanılarak mekanizmanın strok sonundaki çarpma hızı belirlenecektir. Mekanizmanın geriye çarpma hızı ile sönüm mekanizmasına sahip olmayan yalın silah mekanizmasının çarpma enerjisi belirlenebilir.



Şekil 3.10 Yalın Silah Mekanizmasının Şematik Gösterimi

Şekil 3.10'da m , mekanizmanın kütlesi k_{irca} , irca yay sabiti ve V (\dot{X}) mekanizmanın ilk hızıdır. Bu durumda Lagrange metodu için sistemin toplam kinetik ve potansiyel enerjilerini yazalım. Lagrange " L " hareket denklemleri, sistemin potansiyel enerjisi " V " ve kinetik enerjisi " T " arasındaki fark olarak tanımlanır.

$$L = T - V \quad (3.4)$$

$$T = \frac{1}{2} m \dot{X}^2 \quad (3.5)$$

$$V = \frac{1}{2} k_{irca} X^2 \quad (3.6)$$

Denklem 3.4'de " T " ve " V " yerine koyularsa,

$$L = \frac{1}{2} m \dot{X}^2 - \frac{1}{2} k_{irca} X^2 \quad (3.7)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{X}} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial X} \right) = 0 \quad (3.8)$$

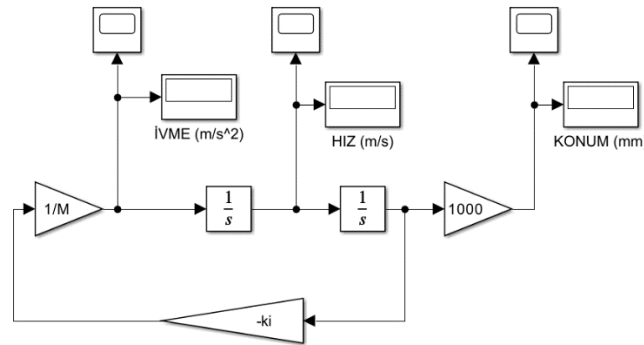
$$\left(\frac{\partial L}{\partial X} \right) = -k_{irca} X \quad (3.9)$$

$$\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{X}} \right) = m \dot{X} \quad (3.10)$$

$$\frac{d}{dt} (m \dot{X}) = m \ddot{X} \quad (3.11)$$

$$m \ddot{X} + k_{irca} X = 0 \quad (3.12)$$

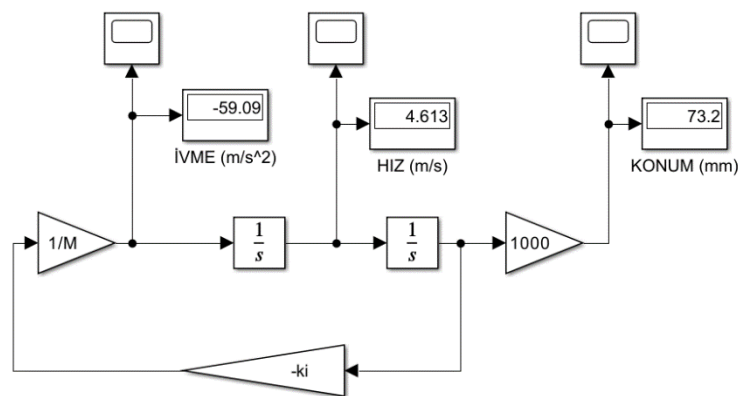
Denklem 3.12'da hareket denklemi gösterilmiştir. Hareket denklemi Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Matlab modeli Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Yalın Silah Mekanizması Hareket Denkleminin Matlab/Simulink Modeli

3.2.5. Yalın Silah Mekanizmasının Teorik Çarpışma Hızı

Yalın silahın hareket denklemi bir önceki başlıkta bulunarak Matlab/Simulink modeli oluşturulmuştur. Hareket denkleminde $k_{irca} = 463,3N/m$, $m=0,574Kg$ ve mekanizmanın deneysel ilk hızı $V=5,06m/s$ olarak tanımlanır. Matlab ortamında mekanizmanın hareket mesafesi (X) üzerinden mekanizma çarpışma hızı hesaplanır. Öyle ki mekanizma 73,2mm mesafedeyken mekanizma hızı okunur. Şekil 3.12'den de görüleceği üzere hareket denklemi belirtilen değerler doğrultusunda çözdürüldüğünde mekanizmanın çarpışma hızı 4,613m/s olarak hesaplanır.



Şekil 3.12 Yalın Silah Mekanizması Hareket Denkleminin Matlab/Simulink Modeli Hesabı

3.2.6. Yalın Silah Mekanizmasının Deneysel Çarpışma Hızı

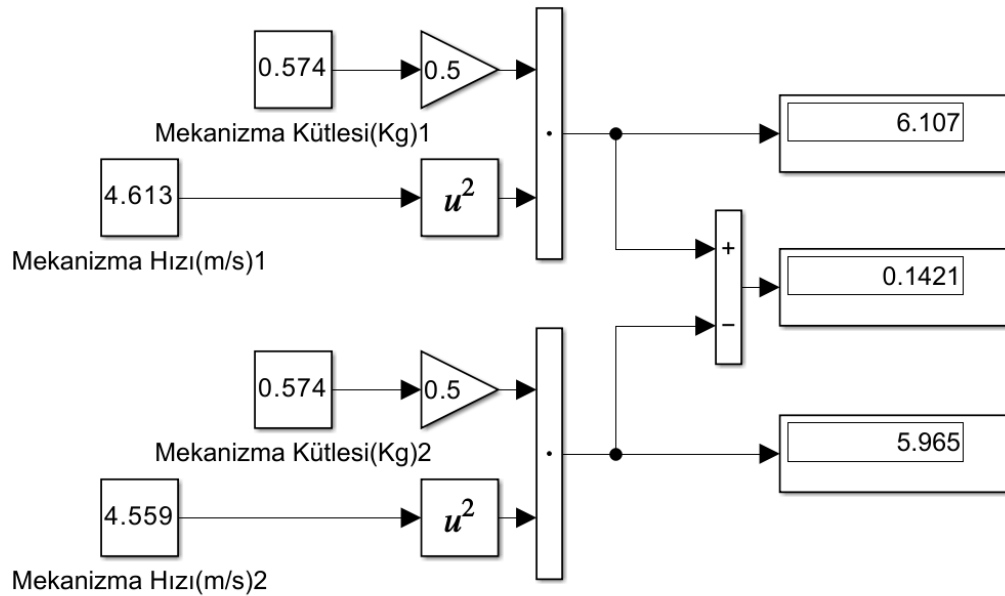
Yalın silahın hareket denklemi üzerinden deneysel ilk hızını kullanarak mekanizmanın çarpışma hızını bir önceki bölümde hesapladık. Ağır çekim video kamera kaydını kullanarak silah mekanizmasının çarpışmadan hemen önceki deneysel çarpışma hızı PFV programı kullanılarak hesaplanır. Şekil 3.13'de görüleceği üzere yalın silah mekanizmasının deneysel çarpışma hızı 4,559m/s olarak hesaplanır.



Şekil 3.13 Yalın Silah Mekanizmasının Deneysel Çarpışma Hızı

3.2.7. Yalın Silah Mekanizmasının Deneysel ve Teorik Çarpışma Enerjileri

Yalın silahın deneysel ve teorik çarpışma hızları hesaplanmıştır. Bu durumda kinetik enerji formülü kullanılarak silah mekanizmasının teorik ve deneysel çarpışma enerjileri hesaplanabilir. (Serway ve ark., 2002)



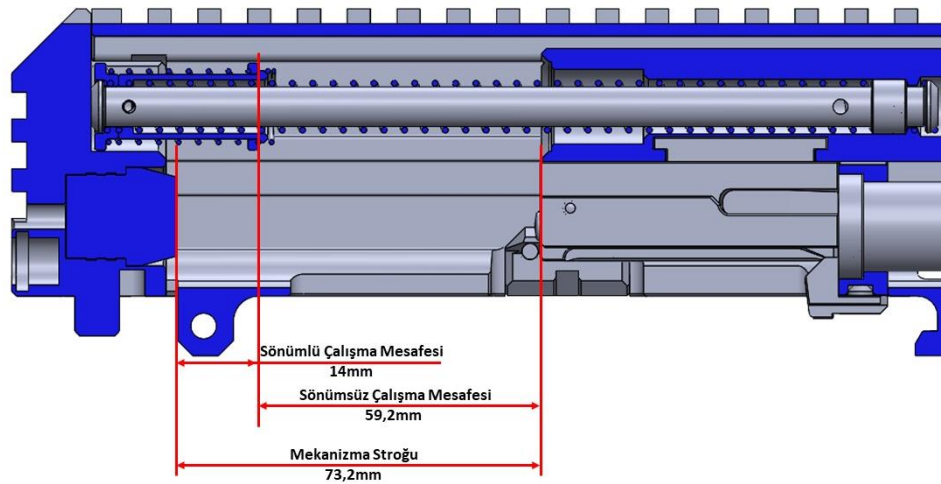
Şekil 3.13a Yalın Silah Mekanizmasının Deneysel ve Teorik Hızlarına Göre Çarpışma Enerji Farkları

Yalın silah üzerinden yapılan teorik ve deneysel hız hesaplamaları üzerinden yalın silahın teorik hıza göre çarpışma enerjisi Şekil 3.13a'dan da görüleceği üzere 6,107J, deneysel hıza göre 5,965 J olarak hesaplanmıştır.

3.3. Sönümlü Silah

3.3.1. Sönüm Mekanizması

Silahın içerisine belli bir strokta çalışacak ikinci bir tepme yayı yerleştirilmiştir. Bu yayı yerinde tutan ve atış döngüsünde çalışmasını sağlayan parçalar bütününe sönüm mekanizması adı verildi. Sönüm mekanizmasının amacı, silah mekanizmasının sahip olduğu kinetik enerjiyi çarpışmadan önce emmek ve çarpışma enerjisini azaltmak. Bu demek oluyor ki çarpışmadan önce silah mekanizmasının hızı azalır. Bu durumu daha açık ifade etmek gerekirse mekanizmanın çarpışmasına belli bir mesafe kalınca sönüm mekanizması devreye girerek mekanizmanın frenlemesini sağlıyor. Bu işlem gerçekleştirilirken silahın standart çalışması engellenmemelidir.

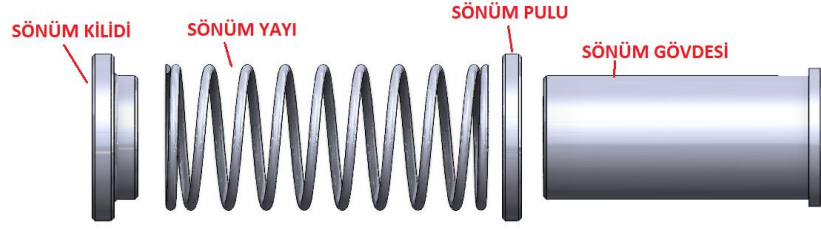


Şekil 3.14 Silah Kesiti

Şekil 3.14'de de görüldüğü üzere silah mekanizması üst gövde içerisinde 'mekanizma stroğu' boyunca hareket eder. Patlama gerçekleşip hareket başladığında ilk bölüm olan 'sönümsüz çalışma mesafesinde' silah sadece irca yayı kuvveti ile çalışır. Bu mesafede silah mekanizması boş kovani fırlatır ve şarjör arkasına geçer. Sönüm mekanizmasının bu bölümde çalıştırılması silahın sağlıklı çalışmasına engel olabilir.

Silah mekanizması şarjör arkasına geçtikten sonra kalan mesafe ise ‘sönümlü çalışma mesafesidir’. Bu mesafede sönüm mekanizması silah mekanizmasına temas etmeye başlar ve silah mekanizması geri gedikçe sönüm yayını sıkıştırır. Bu durumda silah mekanizması kinetik enerjisini sönüm mekanizmasının yayına aktarır.

Sönüm mekanizması silah mekanizmasının irca miline montajlanmaktadır. Sönüm mekanizması silahta montajlı değilken de silah çalışabilir. Silahın irca mili montajı esansında Şekil 3.15’de gösterilen sönüm mekanizmasının parçaları montaja dahil edilir.



Şekil 3.15 Sönüm Mekanizmasının Parçaları

Sönüm gövdesi, sönüm yayının ve sönüm pulunun merkezlenmesini sağlayan parçadır. Sönüm pulu, silah mekanizmasına temas eden ve sönüm yayını sıkıştıran parçadır. Sönüm yayı, silah mekanizmasının kinetik enerjisini depolayan parçadır. Sönüm kilidi ise irca mili üzerinde komple halinde sistemi bir arada tutan ve sönüm yayının dayanarak işlevini yerine getirmesini sağlayan parçadır. Sönüm mekanizmasının parçaları özellikle kayar otomat tezgahında hızlı bir şekilde üretilebilir. Karmaşık geometrilerden kaçınılarak tasarlanmıştır. Ayrıca silahın sahra sökümünde komple bütünlüğünü kaybetmez ve kullanıcıyı yay kuvvetini zorlama ihtiyacına düşürmez. Şekil 3.16’da sönüm mekanizmasının silah mekanizmasına montajlanmış hali gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Sönüm Mekanizmasının Montajlanmış Hali

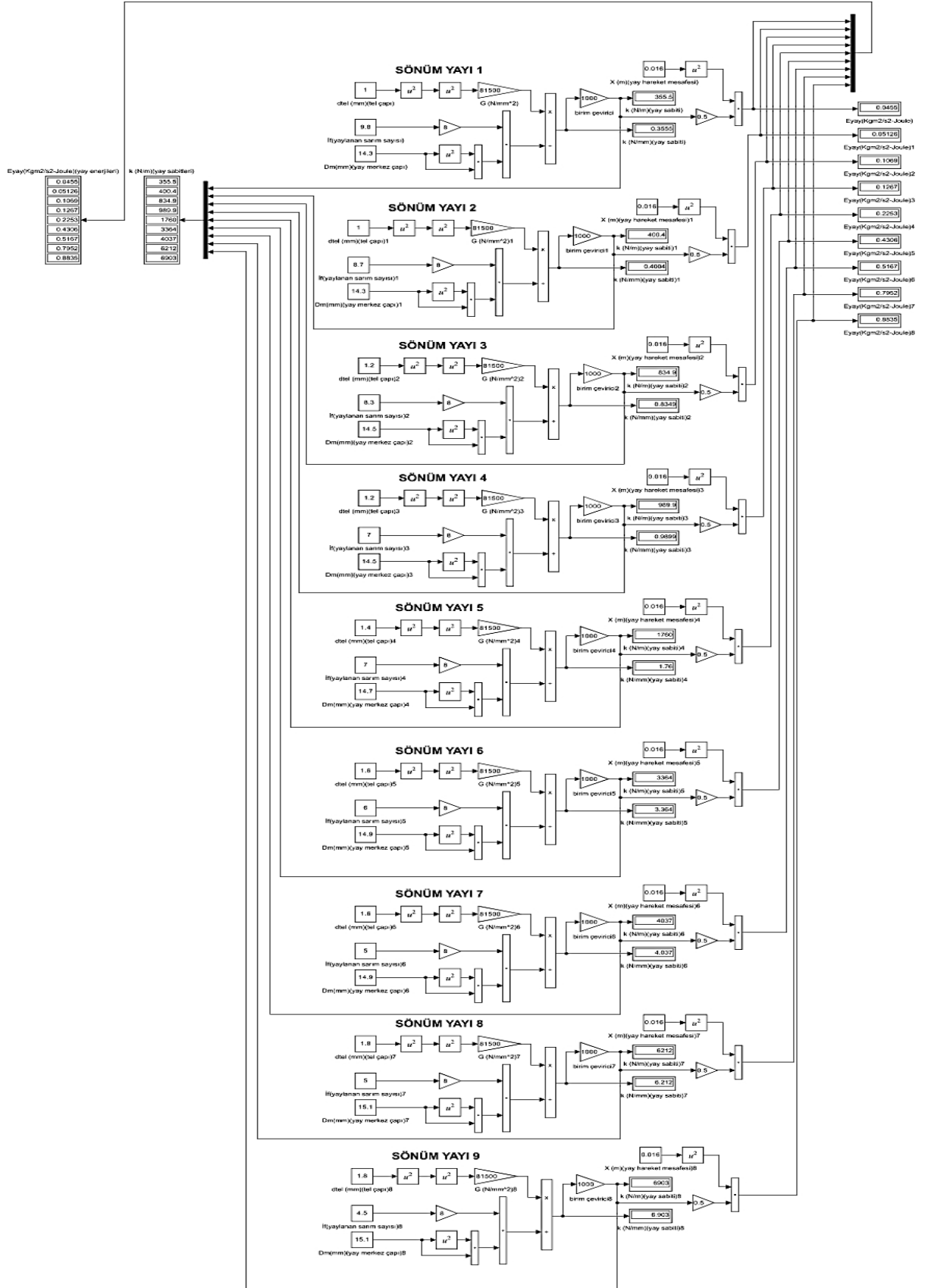
3.3.2. Sönüm Yay Sabitlerinin Hesaplanması

Başlık 3.1’de bahsedilen şartlar altında ağır çekim kamera önünde atış deneyleri her yay için özdeş şartlarda gerçekleştirilerek PFV programında mekanizma hızları hesaplanmıştır. Bu hızların incelenmesinden önce deneyde kullanılan yayların bilgileri değerlendirilecektir.

Atış deneylerinde 9 farklı yay kullanılmıştır. Tablo 3.3’de imal edilip deneyde kullanılan sönüm yaylarının geometrik verileri sunulmuştur. Sönüm yayları geometrik koşulları sağlamak maksadı ile bazı sınırlar dahilinde tasarlanmıştır. Öncelikle tüm yayların iç çapı 13,3mm, yüksüz boyu ise 34mm olmalıdır. Ayrıca yayın blok boyu 12,5mm’den küçük olmalıdır.

YAY ADI	d_{tel}	D_m	D_i	D_a	L_0	L_1	L_2	L_{strok1}	L_{strok2}	L_{blk}	\dot{I}_g	\dot{I}_f
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-	-
Sönüm Yayı 1	1,00	14,30	13,30	15,30	34,00	28,50	12,50	5,50	21,50	11,30	11,30	9,80
Sönüm Yayı 2	1,00	14,30	13,30	15,30	34,00	28,50	12,50	5,50	21,50	10,20	10,20	8,70
Sönüm Yayı 3	1,20	14,50	13,30	15,70	34,00	28,50	12,50	5,50	21,50	11,76	9,80	8,30
Sönüm Yayı 4	1,20	14,50	13,30	15,70	34,00	28,50	12,50	5,50	21,50	10,20	8,50	7,00
Sönüm Yayı 5	1,40	14,70	13,30	16,10	34,00	28,50	12,50	5,50	21,50	11,90	8,50	7,00
Sönüm Yayı 6	1,60	14,90	13,30	16,50	34,00	28,50	12,50	5,50	21,50	12,00	7,50	6,00
Sönüm Yayı 7	1,60	14,90	13,30	16,50	34,00	28,50	12,50	5,50	21,50	10,40	6,50	5,00
Sönüm Yayı 8	1,80	15,10	13,30	16,90	34,00	28,50	12,50	5,50	21,50	11,70	6,50	5,00
Sönüm Yayı 9	1,80	15,10	13,30	16,90	34,00	28,50	12,50	5,50	21,50	10,80	6,00	4,50

Tablo 3.3 Sönüm Yayları



Şekil 3.18 Çoklu Yay Sabiti Hesaplayıcı

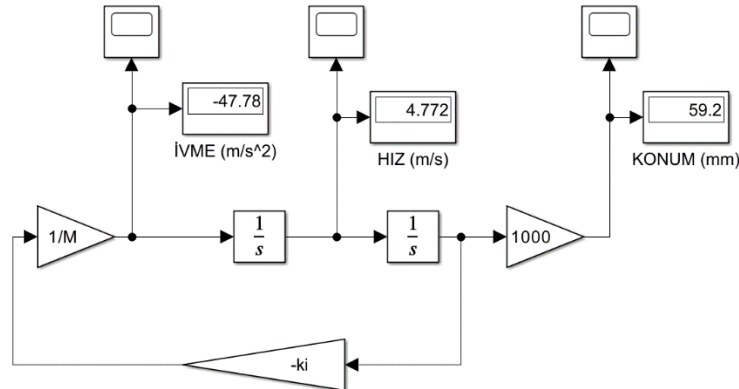
3.3.3. Sönümlü Silah Mekanizmasının Hareketinin İncelenmesi

Sönümlü silah mekanizmasının takoza çarpma hızını hesap edebilmek için strok boyunca ki hareket ikiye bölünerek incelenecektir. Öncelikle Şekil 3.14’de gösterilen 59,2mm’lik sönümsüz çalışma mesafesindeki hareket incelenerek silah mekanizmasının 59,2mm sonundaki hızı deneysel ve teorik olarak hesap edilecektir. Hesap edilen bu hız silah mekanizmasının sönüm mekanizmasına çarptığı andaki ilk hızı olacaktır. Silah mekanizması sönüm mekanizmasına çarptığı andan sonra Şekil 3.14’de gösterilen 14mm uzunluğundaki sönümlü çalışma mesafesinin hareketi incelenecektir. Bu hareket için yeni hareket denklemi oluşturularak sönümlü silah mekanizmasının strok sonundaki takoza çarpma hızı hesap edilebilir.

3.3.4. Silah Mekanizmasının Sönüm Mekanizmasına Teorik Çarpma Hızı

Sönümsüz çalışma mesafesinde geçeli olan hareket denklemi 3.2.4. başlıkta ele alınarak Denklem 3.12’de sunulmuştur. Sönümsüz çalışma mesafesinde geçerli olan hareket denkleminin Matlab/Simulink modeli Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Şekil 3.11’de gösterilen Matlab modelinde mekanizmanın ilk hızı 3.2.2. başlıkta deneysel olarak hesaplanan ve silah mekanizmasının deneysel ilk hızı olan 5,067m/s kullanılarak 59,2mm sönümsüz çalışma mesafesinin sonundaki silah mekanizmasının hızı 4,772m/s olarak hesaplanarak Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Sönümlü Silah Mek. Sönüm Mekanizmasına Teorik Çarpma Hızı

3.3.5. Silah Mekanizmasının Sönüm Mekanizmasına Deneysel Çarpma Hızı

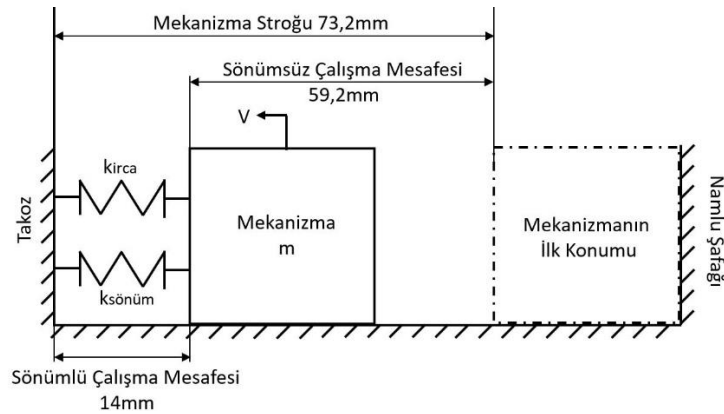
Sönümlü silah mekanizmasının 59,2mm sonundaki sönüm mekanizmasına çarpma hızı atış deneylerinden hesap edilebilir. Bu durumda herhangi bir sönüm yayı takılı olan silah mekanizmasının ağır çekim video kamera kayıtları PFV programındaki ilk hız Şekil 3.20’de gösterildiği gibi 4,721m/s olarak hesap edilebilir. PFV programında hesap edilen bu deneysel hız teorik hız ile uyduğu görüldüğünden teorik hesabın doğruluğu anlaşılmıştır.



Şekil 3.20 Sönümlü Silah Mek. Sönüm Mekanizmasına Deneysel Çarpma Hızı

3.3.6. Sönümlü Silah Mekanizmasının Hareket Denklemi

Sönüm mekanizmasına sahip olan silah mekanizmasının Şekil 3.14’de gösterilen 14mm’lik sönümlü çalışma mesafesinde geçerli olan hareket denklemi Lagrange metodu ile belirlenecektir. Buradaki amaç sönüm mekanizması ile çalışan silahın takoza çarpışma hızını ve kuvvetini teorik olarak belirlemektir. Farklı sönüm yayları etkisindeki silah mekanizmasının çarpışma hızlardan çarpışma enerjileri belirlenerek en etkin sönüm yayı belirlenecektir.



Şekil 3.21 Sönümlü Silah Mekanizmasının Şematik Gösterimi

Şekil 3.21’de m , mekanizmanın kütlesi k_{irca} , irca yay sabiti $k_{sönüm}$, sönüm yay sabiti ve $V(\dot{X})$ mekanizmanın 3.3.5. başlıkta hesap edilen silah mekanizmasının sönüm mekanizmasına çarpma hızıdır. Bu durumda Lagrange metodu için sistemin toplam kinetik ve potansiyel enerjilerini yazalım. Lagrange “ L ” hareket denklemleri, sistemin potansiyel enerjisi “ V ” ve kinetik enerjisi “ T ” arasındaki fark olarak tanımlanır.

$$L = T - V \quad (3.14)$$

$$T = \frac{1}{2} m \dot{X}^2 \quad (3.15)$$

$$V = \frac{1}{2} k_{irca} X^2 + \frac{1}{2} k_{sönüm} X^2 \quad (3.16)$$

$$L = \frac{1}{2} m \dot{X}^2 - \frac{1}{2} k_{irca} X^2 - \frac{1}{2} k_{sönüm} X^2 \quad (3.17)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{X}} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial X} \right) = 0 \quad (3.18)$$

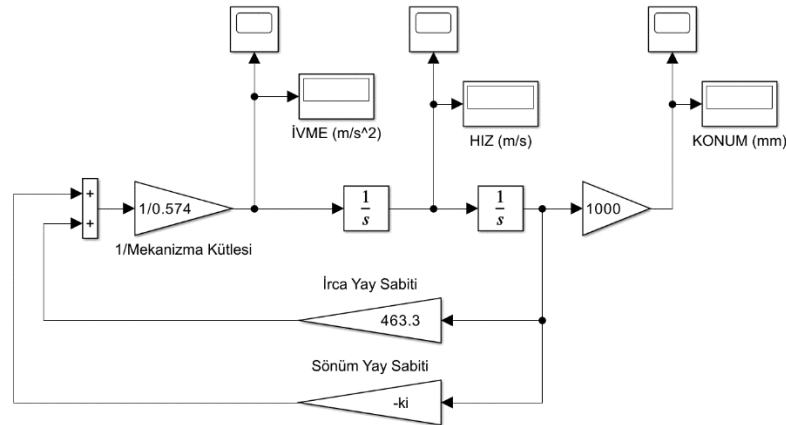
$$\left(\frac{\partial L}{\partial X} \right) = -k_{irca} X - k_{sönüm} X \quad (3.19)$$

$$\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{X}} \right) = m \dot{X} \quad (3.20)$$

$$\frac{d}{dt} (m \dot{X}) = m \ddot{X} \quad (3.21)$$

$$m \ddot{X} + k_{irca} X + k_{sönüm} X = 0 \quad (3.22)$$

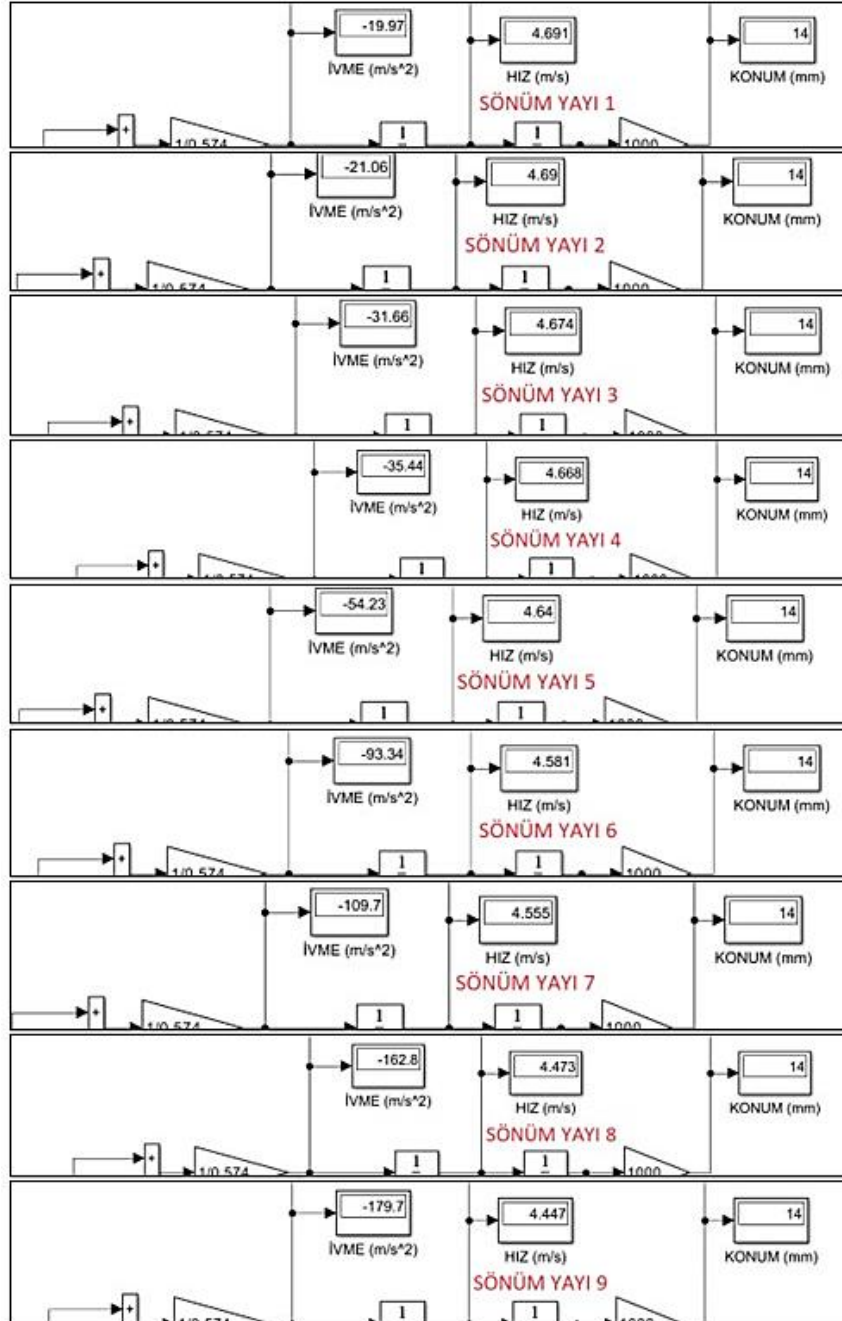
Denklem 3.22’de Şekil 3.14’de gösterilen 14mm’lik sönümlü çalışma mesafesin de geçerli olan hareket denklemini gösterilmiştir. Hareket denklemini Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Matlab modeli Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.22 Sönümlü Silah Mekanizması Hareket Denkleminin Matlab/Simulink Modeli

3.3.7. Sönümlü Silah Mekanizmasının Takoza Teorik Çarpma Hızı

Başlık 3.3.6’da hesaplanan hareket denkleminin Şekil 3.22’de gösterilen Matlab/Simulink modeli kullanılarak Tablo 3.4’de belirtilen tüm sönüm yayları için model çözdürülmüştür.



Şekil 3.23 Sönümlü Silah Mekanizmasının Takoza Teorik Çarpma Hızları

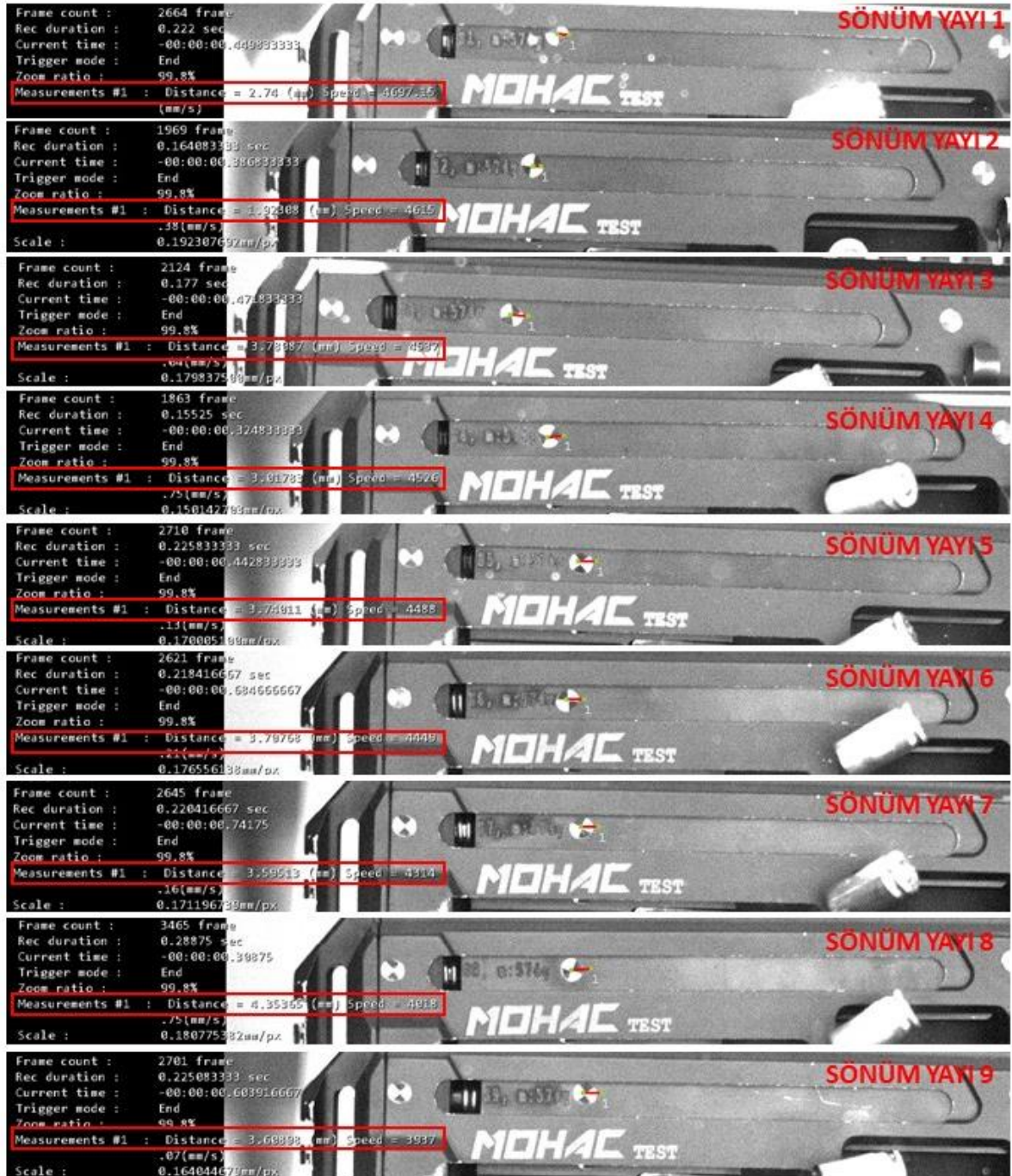
Şekil 3.23’de sönüm yayları etkisindeki silah mekanizmalarının teorik takoza çarpma hızları Simulink modelinden gösterilmiştir. Tablo 3.5’de sonuçlar sunulmuştur.

Yay Adı	Mekanizma Hızı (m/s)
Sönüm Yayı 1	4,691
Sönüm Yayı 2	4,690
Sönüm Yayı 3	4,674
Sönüm Yayı 4	4,668
Sönüm Yayı 5	4,640
Sönüm Yayı 6	4,581
Sönüm Yayı 7	4,555
Sönüm Yayı 8	4,473
Sönüm Yayı 9	4,447

Tablo 3.5 Sönümlü Silah Mekanizmasının Takoza Teorik Çarpma Hızları

3.3.8. Sönümlü Silah Mekanizmasının Takoza Deneysel Çarpma Hızı

Başlık 3.1'de bahsedilen şartlar altında her sönüm yayı ile atış deneyi gerçekleştirilerek ağır çekim kamerada video kayıtları çekilmiştir. PFV programında silah mekanizmasının takoza çarpma hızı hesaplanmıştır. 9 farklı sönüm yayı silahta takılı iken yapılan atışlarda çekilen ağır çekim videolarından 9 farklı ölçüm Şekil 3.24'de gösterilmiştir.



Şekil 3.24 Sönümlü Silah Mekanizmasının Takoza Deneysel Çarpma Hızları

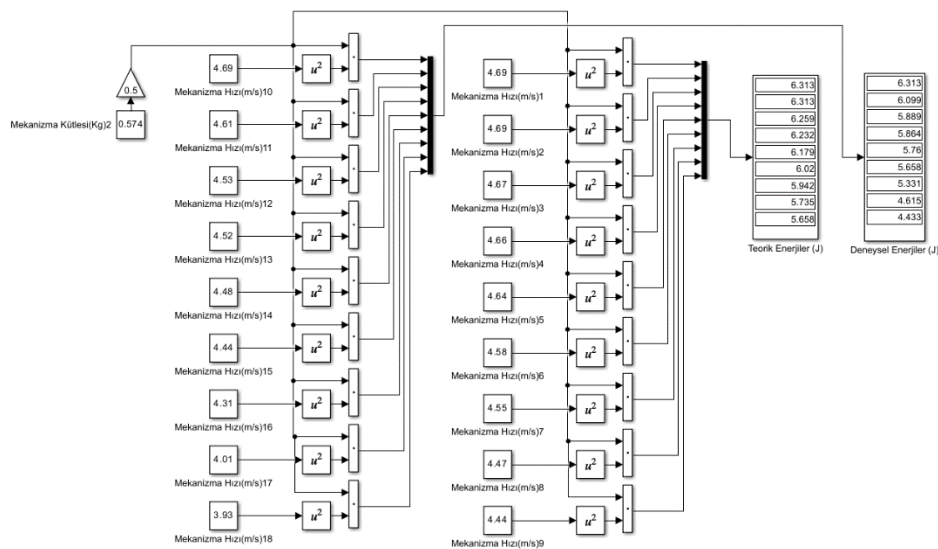
Yay Adı	Mekanizma Hızı (m/s)
Sönüm Yayı 1	4,697
Sönüm Yayı 2	4,615
Sönüm Yayı 3	4,537
Sönüm Yayı 4	4,526
Sönüm Yayı 5	4,488
Sönüm Yayı 6	4,449
Sönüm Yayı 7	4,314
Sönüm Yayı 8	4,018
Sönüm Yayı 9	3,937

Tablo 3.6 Sönümlü Silah Mekanizmasının Takoza Deneysel Çarpma Hızları

Atış deneyleri sonucunda silah mekanizmalarının sönüm etkisindeyken yapılan deneysel hız ölçümleri Tablo 3.6’de gösterilmiştir.

3.3.9. Sönümlü Silah Mekanizmasının Deneysel ve Teorik Çarpma Enerjileri

Mekanizmaların sönüm etkisindeyken çarpışmadan hemen önceki hızları teorik ve deneysel olarak hesaplandı. Çarpışmadan hemen önceki hızları kullanarak çarpışmadan hemen önceki kinetik enerjileri kinetik enerji formülü ile hesaplanmıştır.(Serway ve ark., 2002) Mekanizmaların hem teorik hem de deneysel çarpışma hızları kullanılarak kinetik enerjilerini hesaplayan Matlab/Simulink modeli Şekil 3.25’de gösterilmiştir.



Şekil 3.25 Enerji Hesaplayıcı

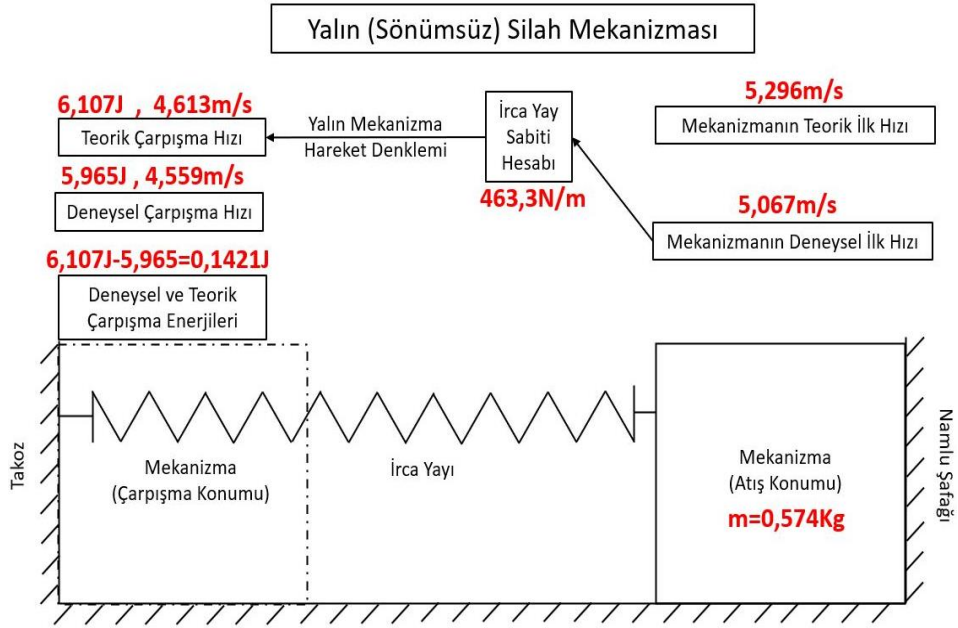
Mekanizmalar sönüm etkisindeyken hesaplanan, çarpışmadan hemen önceki deneysel ve teorik kinetik enerjiler Tablo 3.6’da gösterilmiştir.

Atış Durumu	Deneysel Mek. Enerjisi (J)	Teorik Mek. Enerjisi (J)
1.Sönüm Yayı ile Atış	6,313	6,313
2.Sönüm Yayı ile Atış	6,099	6,313
3.Sönüm Yayı ile Atış	5,889	6,259
4.Sönüm Yayı ile Atış	5,864	6,232
5.Sönüm Yayı ile Atış	5,760	6,179
6.Sönüm Yayı ile Atış	5,658	6,020
7.Sönüm Yayı ile Atış	5,331	5,942
8.Sönüm Yayı ile Atış	4,615	5,735
9.Sönüm Yayı ile Atış	4,433	5,658

Tablo 3.7 Sönüm Etkisindeki Mekanizmaların Takoza Deneysel ve Teorik Çarpışma Kinetik Enerjileri

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bölüm 3.2’de sönüm mekanizmasına sahip olmayan silah mekanizmasının öncelikle momentumun korunumundan teorik ilk hızı hesaplandı. Ağır çekim video kamera kayıtlarından deneysel ilk hızı da hesaplandı. Ardından silah mekanizmasının imal edilen irca yayının geometrik verilerine göre irca yay sabiti hesaplandı. Hesaplanan verilerin kullanılacağı hareket denklemi Lagrange metodu ile hesaplandı ve Matlab/Simulink ortamında hareket denklemi modellendi. Mekanizma kütlesi, irca yay sabiti ve deneysel ilk hız kullanılarak model çözdürüldü ve teorik çarpışma hızı hesaplandı. Bu hızın kıyaslanması için ağır çekim video kaydından mekanizmanın deneysel çarpışma hızı hesaplandı. Hesaplanan teorik ve deneysel çarpışma hızları kullanılarak Matlab/Simulink ortamında modellenen kinetik enerji formülü ile enerjiler hesap edildi. Uygulanan adımlar ve hesaplama sonuçları Şekil 4.1’de sunulmuştur.

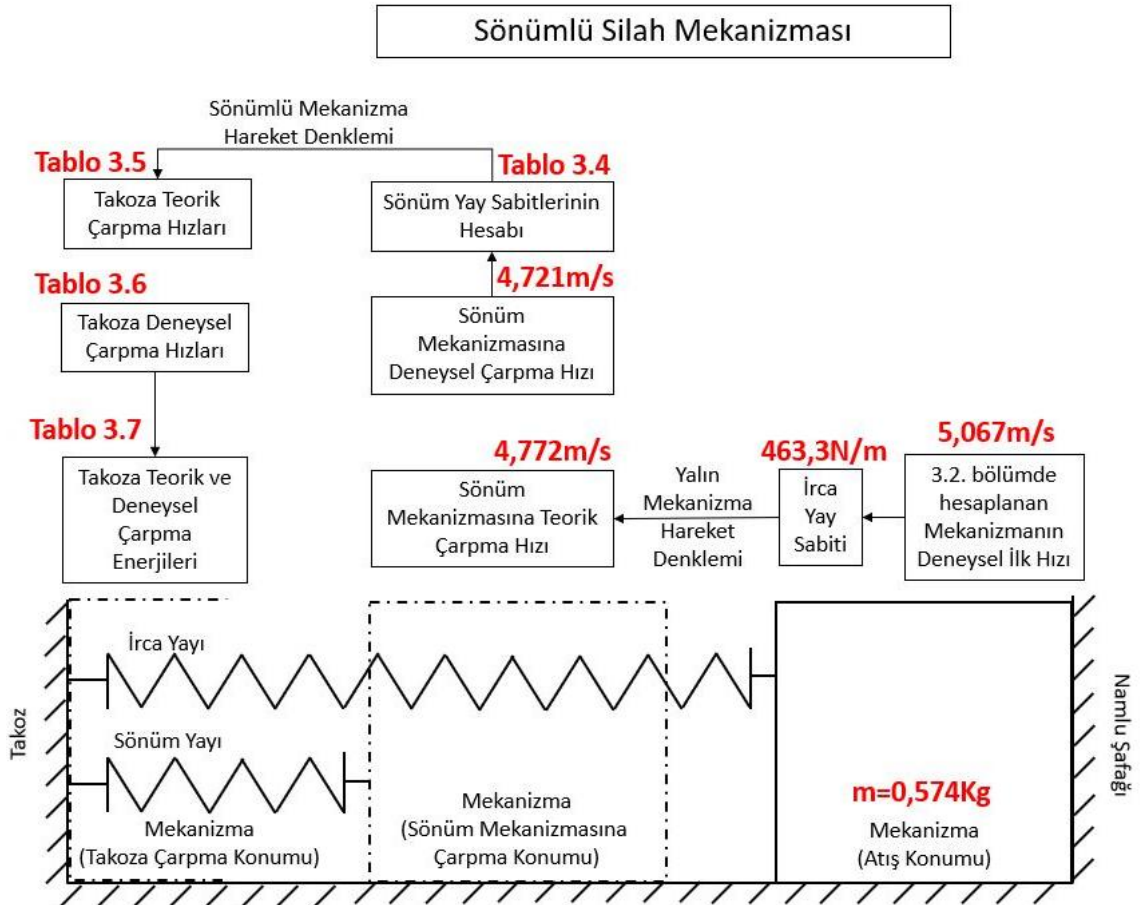


Şekil 4.1 Yalın (Sönümsüz) Silah Mekanizmasının Adımları

Bölüm 3.3’de sönüm mekanizmasına sahip olan silah mekanizmasının hesaplamaları yapılmıştır. Öncelikle silah mekanizmasının sönüm mekanizmasına çarpma hızı belirlenmelidir. Bundan dolayı hareket iki adımda incelenmiştir. İlk adımda silah sönümsüz mekanizma gibi davranacağından bölüm 3.2’de hesaplanan mekanizmanın deneysel ilk hızı ve irca yay sabiti kullanılarak yalın mekanizma hareket denklemi sönüm mekanizmasına olan mesafe kadar çözdürülür. Bu durumda sistemin

bize vereceği hız cevabı mekanizmanın sönüm mekanizmasına teorik çarpma hızıdır. Ardından aynı mesafe için deneysel hız ölçümü yapıldı. Silah mekanizmasının sönüm mekanizmasına teorik ve deneysel çarpma hızlarının çok yakın olduğu belirlenmiştir.

Hareketin ikinci kısmında sönüm mekanizması devreye girer. Bu durumda sönüm yaylarının yay sabitleri hesaplanmıştır. Lagrange metodu ile iki yay etkisindeki silah mekanizmasının hareket denklemi hesap edilerek Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Sönüm mekanizmasına deneysel çarpma hızı, irca yay sabiti, sönüm yay sabiti ve mekanizma kütlesi kullanılarak model her yay için ayrı ayrı çözdürülmüştür. Bu durumda sönümlü mekanizmanın takoza deneysel çarpma hızları bulunmuştur. Ardından atış deneylerinde çekilen ağır çekim video kayıtları kullanılarak sönümlü mekanizmanın takoza deneysel çarpma hızları hesap edilmiştir. Daha sonra deneysel ve teorik hızlar kullanılarak sönümlü mekanizmanın takoza deneysel ve teorik çarpma enerjileri hesaplanmıştır. Uygulanan adımlar ve hesaplama sonuçları Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.2 Sönümlü Silah Mekanizmasının Adımları

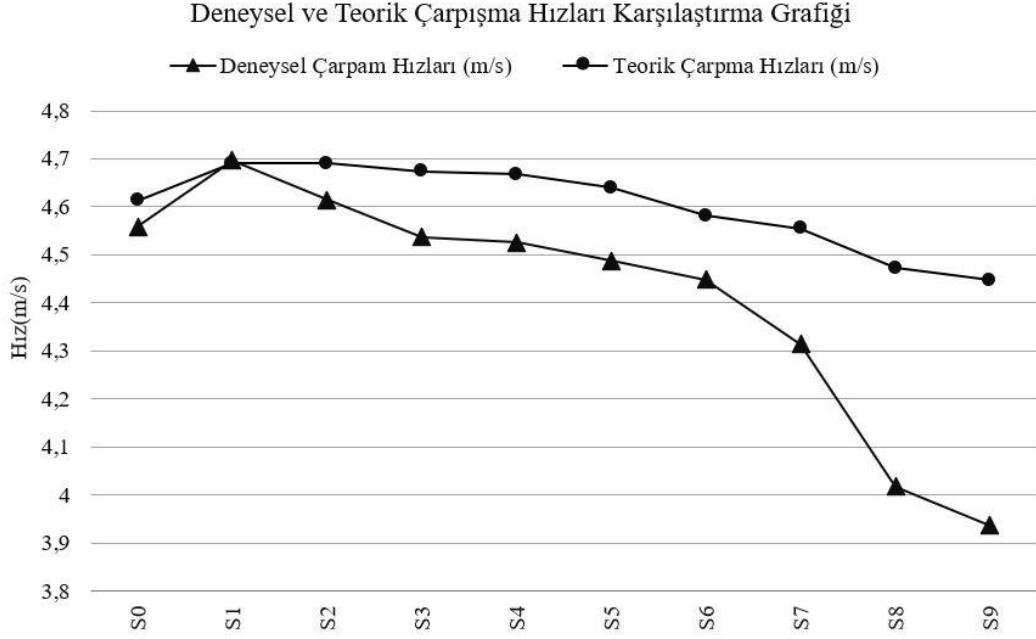
Tablo 4.1’de tüm hesaplama sonuçları ve enerji farkları sunulmuştur. S0 satırı sönümsüz silahı temsil etmektedir.

Atış Durumu	İrca Yayı (N/m)	Sönüm Yayı (N/m)	Takoz Teorik Çarpma Hızı (m/s)	Takoz Deneysel Çarpma Hızı (m/s)	Takoz Teorik Çarpma Enerjisi (J)	Takoz Deneysel Çarpma Enerjisi (J)	S0’ a Göre Teorik Hız Farkı (m/s)	S0’ a Göre Deneysel Hız Farkı (m/s)	S0’ a Göre Teorik Enerji Farkı (J)	S0’ a Göre Deneysel Enerji Farkı (J)	S0’a Göre %’ce Teorik Kinetik Enerji Azalması	S0’a Göre %’ce Deneysel Kinetik Enerji Azalması
S0	463,3	-	4,613	4,559	6,107	5,965	-	-	-	-	-	-
S1	463,3	355,5	4,691	4,697	6,313	6,313	-0,078	-0,138	-0,206	-0,348	-3,37	-5,83
S2	463,3	400,4	4,690	4,615	6,313	6,099	-0,077	-0,056	-0,206	-0,134	-3,37	-2,25
S3	463,3	834,9	4,674	4,537	6,259	5,889	-0,061	0,022	-0,152	0,076	-2,49	1,274
S4	463,3	989,9	4,668	4,526	6,232	5,864	-0,055	0,033	-0,125	0,101	-2,05	1,693
S5	463,3	1760	4,640	4,488	6,179	5,760	-0,027	0,071	-0,072	0,205	-1,18	3,437
S6	463,3	3364	4,581	4,449	6,020	5,658	0,032	0,110	0,087	0,307	1,425	5,147
S7	463,3	4037	4,555	4,314	5,942	5,331	0,058	0,245	0,165	0,634	2,702	10,63
S8	463,3	6212	4,473	4,018	5,735	4,615	0,140	0,541	0,372	1,350	6,091	22,63
S9	463,3	6903	4,447	3,937	5,658	4,433	0,166	0,622	0,449	1,532	7,352	25,68

Tablo 4.1 Sonuçlar

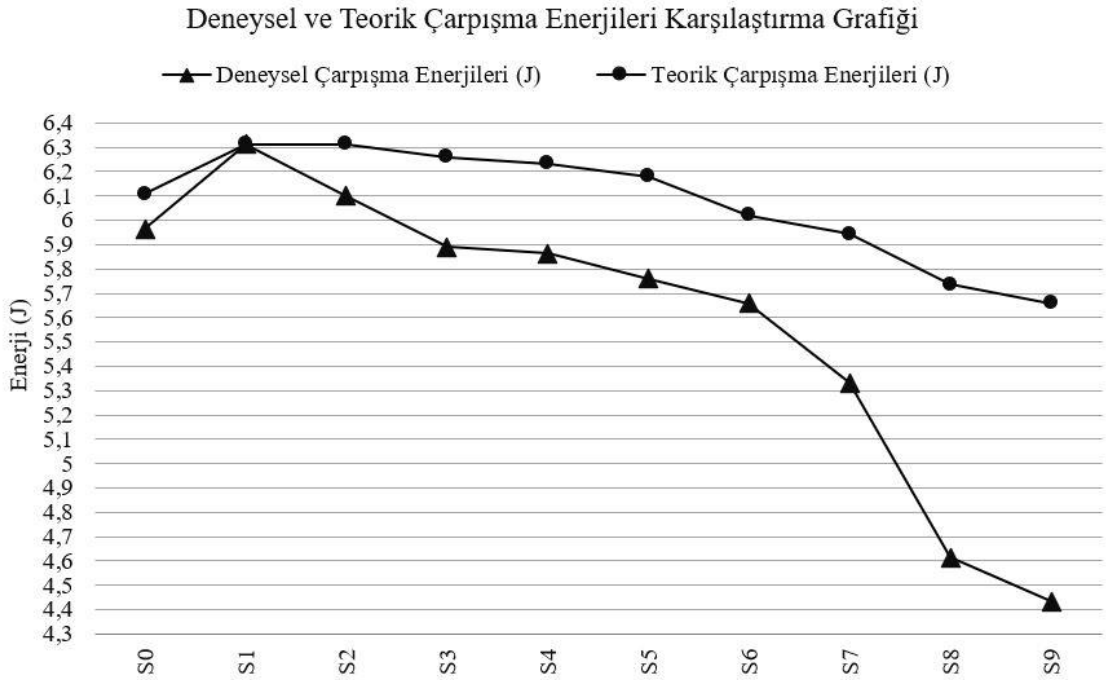
Tablo 4.1’de görüleceği üzere ölçüm hatalarından meydana gelebilecek küçük farklardan dolayı hız farkları negatif işaretli çıkmıştır. Negatif işaretli değerler ‘0’ olarak değerlendirilebilir.

Grafik 4.1’de silah mekanizmasının takoz parçasına deneysel ve teorik olarak hesaplanmış çarpışma hızları sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere 1,2,3,4 ve 5. Sönüm yaylarının mekanizmanın çarpışma hızlarında herhangi bir etkisi yoktur. Mekanizmanın çarpışma hızını kayda değer bir miktarda azaltamamışlardır. Bu yayların mekanizmanın hareketine göre oldukça yumuşak kaldığı hem teorik olarak hem de deneysel olarak görülmektedir.



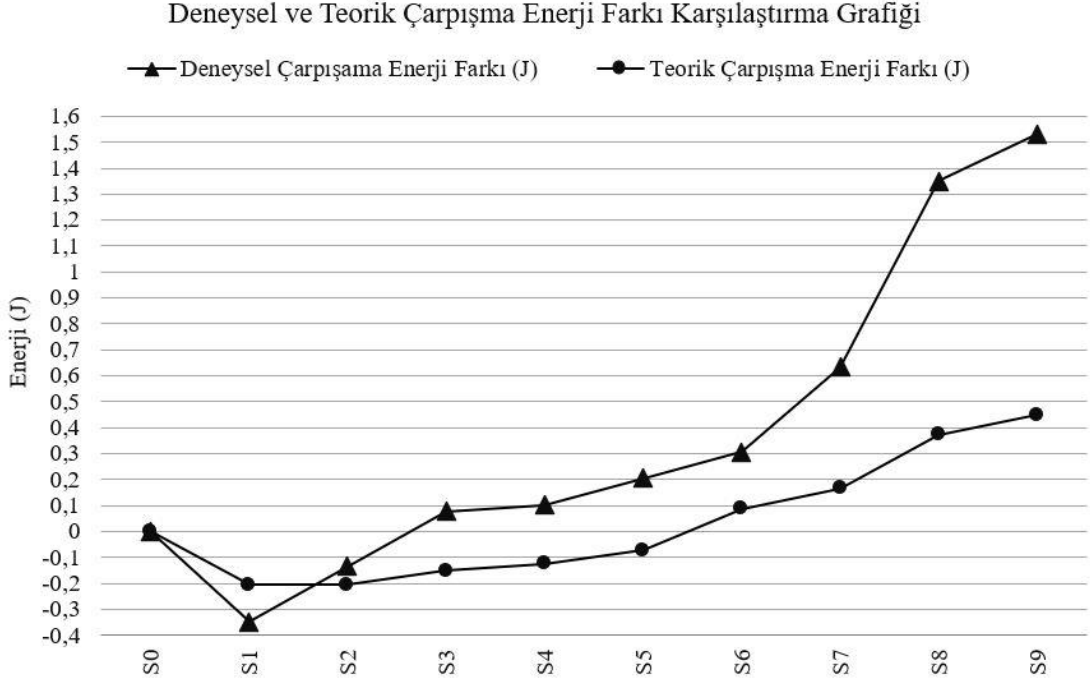
Grafik 4.1 Deneysel ve Teorik Çarpışma Hızları Karşılaştırma Grafiği

Grafik 4.1’ de anlaşılacak diğer bir durum ise özellikle deneysel ölçümde 9.sönüm yayının mekanizmanın çarpışma hızını en çok azalttığıdır. Çarpışma hızı, sönüm mekanizmasına sahip olmayan silah mekanizmasında deneysel ölçümde 4,559m/s iken aynı şartlarda 9.sönüm yayı ile yapılan deneyde hız 3,937m/s’ ye kadar düşmüştür.



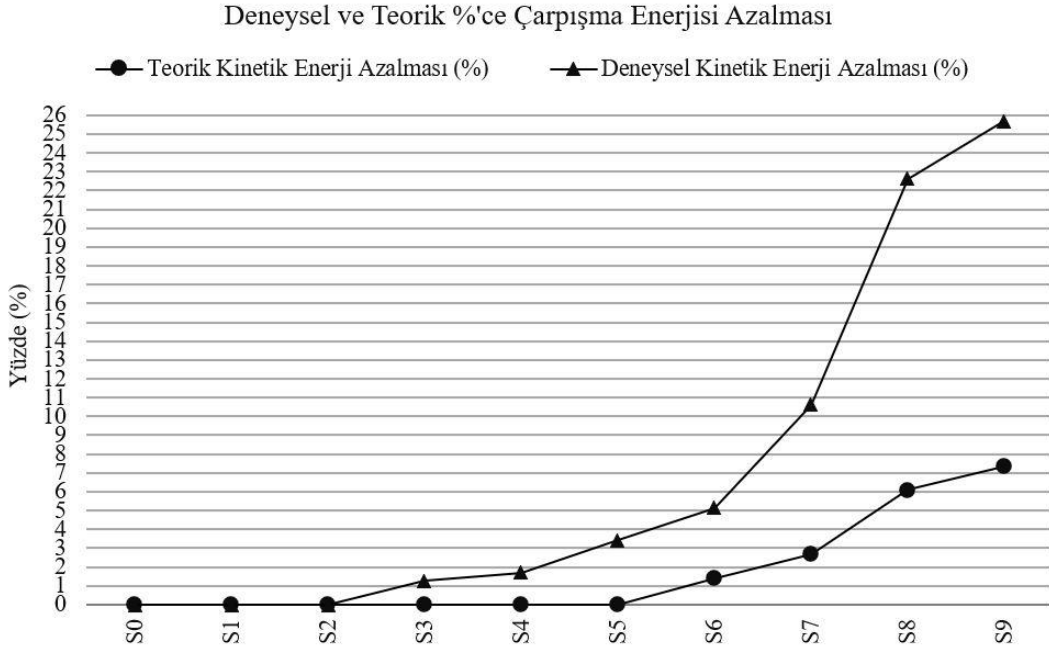
Grafik 4.2 Deneysel ve Teorik Çarpışma Enerjileri Karşılaştırma Grafiği

Grafik 4.2’de silah mekanizmalarının takoz parçasına deneysel ve teorik çarpışma enerjileri sunulmuştur. Grafikten okunacağı üzere sönüm mekanizmasına sahip olmayan silah mekanizmasının çarpışma enerjisi deneysel olarak ölçüldüğünde 5,965J olduğu görülmektedir. Yine deneysel ölçümler baz alındığında 9.sönüm yayının çarpışma enerjisini 4,433J değeriyle en çok azaltan yay olduğu görülmektedir.



Grafik 4.3 Deneysel ve Teorik Çarpışma Enerji Farkı Karşılaştırma Grafiği

Grafik 4.3’de deneysel ve teorik olarak hesaplanan çarpışma enerjilerinin sönüm mekanizmasına sahip olmayan silah mekanizmasının çarpışma enerjisine göre farkları yer almaktadır. Bu durumda daha önce bahsedildiği gibi 1,2,3,4 ve 5. sönüm yaylarının herhangi bir etkisi görülmemektedir. En çok enerji farkı oluşan yay 9.sönüm yayıdır.



Grafik 4.4 Deneysel ve Teorik Çarpışma Enerji Farkı Karşılaştırma Grafiği

Grafik 4.4’de görüleceği üzere daha öncede bahsedildiği gibi teorik hesapta 1. ve 2. sönüm yayında herhangi bir enerji azalması olmamıştır. Deneysel hesaba göre incelenecek olursa 1,2,3,4 ve5. Sönüm yayında herhangi bir enerji azalması olmamıştır. Deneyde kullanılan sönüm yayları arasında deneysel hesaba göre çarpışma enerjisini en çok azaltan yay %25,68 ile 9.sönüm yayıdır.

Çalışmada enerjiler üzerinden çalışılmıştır. Bu durumda kuvvetler hesaplanmamıştır. Enerjiler ile daha anlaşılır sonuçlar ortaya çıkmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Tablo 4.1’de tüm çalışmanın hesapları sunulmuştur. Bu tablo ve sonuç grafikleri incelendiğinde de daha öncede bahsedildiği gibi 9. sönüm yayı mekanizma hızını diğer yaylara göre daha fazla azaltarak mekanizmanın çarpışmadan hemen önce kinetik enerjisini deneysel olarak %25,68 civarlarında düşürmüştür. Bu durumda mekanizmadan kaynaklı geri tepmeyi en fazla azaltan yay 9. sönüm yayıdır.

Başka bir açıdan bakıldığında sönüm yayı mekanizma strok sonuna geldiğinde sıkışıp enerji depolar ve mekanizma kapanmaya başladığında depolanan enerji tekrar mekanizmaya verilir. Mekanizmanın kapanma hızı bu durumda arttıracaktır. Mekanizmanın bir atış döngü süresi bahsedilen durumda kısalmış ve tam otomatik modda dakikadaki atış sayısı artar. Nitekim atış kronometresiyle yapılan ön atış testlerinde tam otomatik modda dakikadaki atış sayısının belirgin düzeyde arttığı tespit edilmiştir. Bu durum askeri otoritelerce bazen olumlu değerlendirilmeyebilir.

Sönüm mekanizması kullanılan silahlarda mekanizmanın çarpışma enerjisi azaldığından dolayı mekanizmanın çarptığı takoz parçası ve takozun takıldığı üst gövde parçasının atışlardaki maruz kaldığı maksimum yük azalacaktır. Azalan yüklerle beraber bahsedilen parçaların ömürleri uzayacaktır. Bu durumda Mohaç’ın gövde ömrü belirgin düzeyde uzar.

Çalışmanın ana amacı olan mekanizmadan kaynaklı geri tepmenin, mekanizmanın çarpışma hızının azalmasıyla azalacaktır. Azalan geri tepmenin kullanıcıya büyük avantajları olmaktadır. Bu avantajlar çerçevesinde kullanıcı atış esnasında daha az bir tepmeyle karşılaşacağı için atış hattı bozulmayacak ve silah isabetli atışlara elverişli olacak. Bu isabet, hedef unsurlarında silahlı olduğu düşünüldüğünde kullanıcı açısından hayati derecede önemli olabilir.

5.2. Öneriler

9. sönüm yayı kullanıldığında atış kronometresi ile yapılan testlerde atış süratinin yüksek olduğundan ve bu durumun olumsuz etki yapacağından bahsedildi. Bu durumlar neticesinde sivil yarı otomatik pazarda 8. ve 9. sönüm yayları kullanılabilir. Bu durum, sivil kullanıcı açısından düşük geri tepmeli silah olarak değerlendirilmesi pozitif bir izlenim bırakacaktır. Ayrıca sönüm mekanizma kompleksinin silahtan ayrı olarak (sonradan montajlana bildiğinden dolayı) satılabileceğinden dolayı silahını özelleştirmek isteyen kullanıcılar açısından faydalı olarak değerlendirilebilir.

Askeri pazarda değerlendirecek olursak 8. ve 9. sönüm yayları kullanılmamalıdır. Atış süratinin artmaması ve mekanizma hatalarının olmaması açısından bu önemlidir. 6. ve 7. sönüm yayları askeri projelerde kullanılabilir. Belirtilen hataların önüne böylece geçilebilir.

Mekanizmadan kaynaklı geri tepmenin daha çok azaltılabilmesi için sönüm yayının 14mm'lik çalışma mesafesinin uzatılarak mekanizma ile sönüm yayının etkileşim süresi uzatılabilir. Bu durum neticesinde frenleme mesafesi uzayacaktır. Dolayısıyla mekanizmanın hızı daha da azalacaktır.

6. KAYNAKLAR

- 9 mm x 19 Tabanca Fişegi (Parabellum) (2021). <https://www.mke.gov.tr/Urunler/9-mm-x-19-Tabanca-Fiseği-Parabellum/145> (Erişim: 14 Ekim 2023).
- Budynas, R. G. ve Nisbett, J. K. (2015) “Shigley’s Mechanical Engineering Design 8th Edition”, 528-529.
- Canfield-Hershkowitz, B., Foster, T. ve Meijer, W. (2013) *Rifle and Shotgun Recoil Test System*.
- Cheng, C., Wang, C. ve Zhang, X. (2019) “A prediction method for the performance of a low-recoil gun with front nozzle”, *Defence Technology*, 15(5), 703-712.
- Close-quarters combat - Wikipedia (2011). https://en.wikipedia.org/wiki/Close-quarters_combat (Erişim: 14 Ekim 2023).
- Curtis, L. (2010) *Introduction to Collecting the 9mm Parabellum (Luger) Cartridge*.
- FEDARAVIČIUS, A., SURVILA, A., PATAŠIENĖ, L. ve SLIŽYS, E. (2016) “Design, Research and Practical Implementation of the Laser Shooting Simulation System for 5.56 mm G-36, 7.62 mm FN MAG and 84 mm Carl Gustaf”, *Problems of Mechatronics. Armament, Aviation, Safety Engineering*, 7(2), 7-18.
- Gray, E., Marsh, H. ve McLaren, M. (1982) *Review A short history of gunpowder and the role of charcoal in its manufacture*, *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE*.
- History of the firearm - Wikipedia (2021). https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=History_of_the_firearm&oldid=1095641707 (Erişim: 14 Ekim 2023).
- LUKÁČ, T., VÍTEK, R., DO DUC, L. ve HORÁK, V. (2017) “DYNAMICAL ANALYSIS OF THE GAS POWERED IMPULSE GENERATOR”, *SCIENTIFIC RESEARCH AND EDUCATION IN THE AIR FORCE*, 19(1), 315-322.
- Mizuno, T., Minowa, J. ve Araki, K. (1999) “Mass measurement based on the law of conservation of momentum”, *Proceedings of the SICE Annual Conference*, 865-868.
- O’Driscoll, C. A. ve Thompson, J. C. (2018) “The origins and early elaboration of projectile technology”, *Evolutionary Anthropology*, 27(1), 30-45.
- Serway, R. A., Beichner, R. J., Jewett, J. W. ve Çolakoğlu, Kemal. (2002) *Fen ve mühendislik için fizik : Mekanik-Mekanik Dalgalar-Termodinamik= Physics : for scientists and engineers*.
- Submachine gun - Wikipedia (2018). https://en.wikipedia.org/wiki/Submachine_gun (Erişim: 14 Ekim 2023).