

AĞIR SİLAHLARIN GERİ TEPME MEKANİZMALARININ TASARIMINDA İÇ BALİSTİK MODELİNİN OLUŞTURULMASI VE KAMA KUVVETİNİN HESAPLANMASI

Didem Gülcihan TUNCER*, Hasan ALLİ**

*didemgulcihanaydin@mynet.com Fırat Üniversitesi-Elazığ

**halli@firat.edu.tr Fırat Üniversitesi-Elazığ

ÖZET

Bağımsız Hidro-pnömatik tip geri tepme mekanizmalarının iç balistik modelinin oluşturulması ve seçilen ağır silah sisteminin atış verileri kullanılarak kama kuvvetinin belirlenmesinde kullanılmak üzere MATLAB simülasyonun ve kullanıcı arayüzünün geliştirilmesi.

Anahtar Sözcükler: Geri Tepme Mekanizmaları, Kama Kuvveti, Simülasyon, Matematiksel Model

ABSTRACT

Mathematical Modeling of independent Hydro-pneumatic recoil mechanisms and Development of MATLAB simulation and user interface for determining breech force of the chosen weapons using system's shooting data.

Keywords: Recoil mechanisms, breech force, Simulation, Mathematical Modeling

1.GİRİŞ

Namlu çapı 60 kalibreden (0,6 inç veya 15 mm) büyük olan silahlar ağır silahlar olarak adlandırılırlar. İkinci Dünya Savaşı sırasında ve savaşı takip eden yıllarda ağır silahlar çeşitli biçimlerde sınıflandırılmışlardır. Ağır silahlar bugün kullanılan sınıflandırmaya göre tanklar, toplar, obüsler, havanlar ve roketatarlar olarak ayrılırlar.[3]

Tank ve obüs gibi ağır silahlarda, atışlar esnasında barutun patlamasıyla hazne içerisinde büyük bir basınç oluşmakta ve bu basınç neticesinde gövdeye etki eden büyük kuvvetler oluşmaktadır. Geri tepme mekanizmaları, bu tip ağır silahlarda oluşan yüksek balistik kuvvetlerin taşıyıcı yapıya kuvvetin etkisinin azaltılmış bir biçimde etki etmesini sağlarlar.

Bunun yanısıra geri tepme mekanizmaları ile hem destek yapının daha hafif olması hem de ikinci mühimmatın otomatik olarak hazneye yerleştirilmesi sağlanır. [3]

2. GERİ TEPME MEKANİZMA SİSTEMLERİ

2.1. Geri Tepme Mekanizmalarının Amacı

Geri tepme mekanizmasının amacı; çok kısa bir süre (5–20 ms) içerisinde barutun yanması ile hazne içerisinde oluşan yüksek balistik kuvvetlerin daha uzun bir zaman aralığında (0,2–0,5 s) ve şiddeti düşürülmüş bir kuvvet olarak araca iletilmesini sağlamaktır.[5] Bu yüzden geri tepme sistemlerinden beklenen onların dinamik özelliklerinden faydalanılarak kısa sürede oluşan tepe kuvvetleri uzun zaman aralığında düşük kuvvetlere dönüştürmektir.

Silah uygulamalarında kullanılan birçok geri tepme mekanizmaları ve onları oluşturan birçok alt parçaları vardır. Geri tepme mekanizması, silah performansını ve ağırlığını doğrudan etkilediği için duruma uygun biçimde tasarlanması gerekmektedir. Doğru geri tepme mekanizması tipinin ve alt parçaların seçimi sistem gereksinimlerine bağlıdır. Yeni tasarlanan silahlardan yüksek performansa sahip olmaları ve aynı zamanda helikopterle de kolaylıkla taşınabilecek kadar hafif olmaları istenmektedir. Geri tepme mekanizmaları aşağıdaki üç temel kısımdan oluşur:

- Geri tepen parçaları durduran frenleme sistemi
- Geri tepen parçaların atış pozisyonuna getiren sistem
- Yerine gelmede hız ayarlayan yastıklama sistemi

Geri tepme fren sistemi; bir hidrolik silindir ve piston mekanizmalarından oluşur.

Yerine getirme sistemi; bir reküperatör ve yerine getirme silindir kompleksinden oluşur. Bu sistemde reküperatör enerji depolayıcı olarak kullanılır. Mekanizmanın geri yerine gelmesi bu reküperatör tarafından depolanan enerji ile sağlanır. Pnömatik olan tiplerde ise, gazın sıkıştırılmasıyla sağlanır.

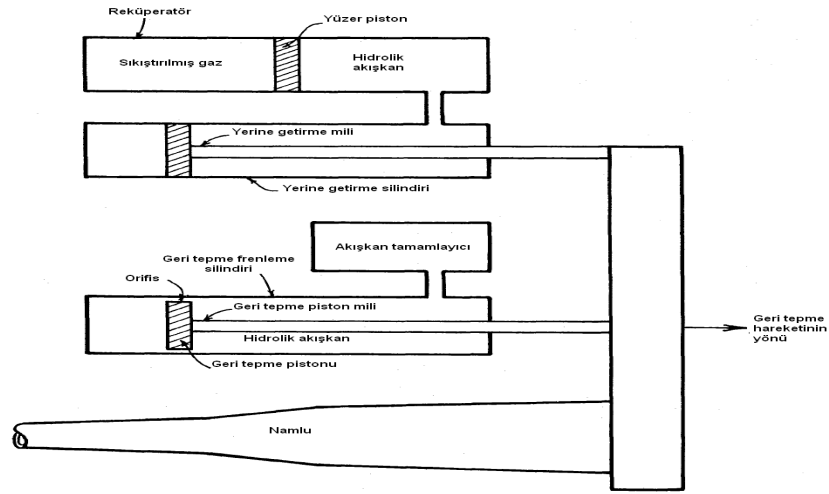
Yastıklama sistemi; geri tepme freni benzer biçimde çalışmaktadır. Ondaki farkı daha düşük enerji seviyesinde çalışmasıdır. Sistemde yastıklama olmazsa mekanizma yerine gelirken çok kuvvetli bir çarpma oluşur ve bu da silaha zarar verir. Yastıklama sistemi olmayan silahlarda yastıklama işlevini kayan yüzeyler ile conta ve keçelerde meydana gelen sürtünme kuvveti yerine getirmektedir.

2.1.1. Bağımsız Tip Hidropnömatik Tip Geri Tepme Mekanizmaları

Hidropnömatik tip geri tepme mekanizmaları; frenleme sistemlerinde akışkan kısılmasını ve reküperatörlerinde sıkıştırılmış gaz(genellikle kuru azot) kullanırlar. Yerine getirmede kullanılan yastıklama sistemi ise frenleme sistemi ile bütünleşik veya ayrı olabilir. Geri tepme anında gaz sıkışır ve enerji depolar. Yerine gelme esnasında ise gaz genişler ve geri tepen parçaları başlangıç pozisyonu olan atış durumuna geri getirir.

Hidropnömatik mekanizmalar bağımlı veya bağımsız olarak iki tiptirler. Şekil 2.1'de bağımsız tip bir mekanizma gösterilmiştir. Bağımsız tip mekanizmalarda reküperatör, frenleme sisteminden ayrıdır. Frenleme sisteminin ve reküperatörün piston milleri doğrudan geri tepen parçalara bağlıdır. Frenleme silindirindeki akışkanın bir taraftan diğer tarafa doğru olan orifisten akışı gerekli durdurma kuvvetini sağlar. Ayrıca geri tepme esnasında geri

tepme silindirindeki akışkan reküperatöre dolarak gazı sıkıştırır. Yerine gelme durumunda ise tam tersi olur ve silah tekrar atış pozisyonunu alır. Reküperatördeki gaz ve hidrolik akışkan bir yüzer piston ile birbirlerinden ayrılmışlardır.



Şekil 2.1 Bağımsız tip hidropnömatik geri tepme mekanizmasının şematik gösterimi [7].

3. GERİ TEPME MEKANİZMALARININ BAŞLANGIÇ TASARIMLARI

3.1. Geri Tepme Dinamiği

Geri tepme mekanizmasının başlangıç tasarımında silah mekanizmasının destek kısmının hareket etmediği varsayılır ve geri tepme hareketini tanımlamak için bir serbestlik dereceli model kullanılır. Bir serbestlik dereceli model geri tepme hareketinin olduğu yöndeki ötelenme yer değiştirmesini (doğrusal hareket) tanımlar. Bu modelde destek yapının rijit bir şekilde yere sabitlendiği varsayılır.

3.2. Hareket Denklemleri

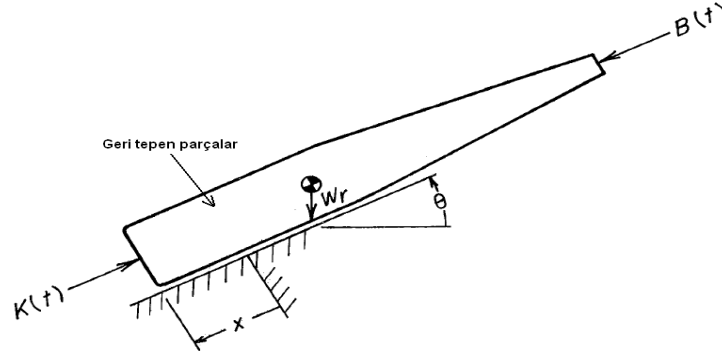
Atış yapılır yapılmaz geri tepme mekanizması geri tepen namlu ve diğer parçaları durdurucu etkiye sahip kuvveti uygulamaya başlar. “L” mesafesi ateşlemeden sonra geri tepen parçaların hareket mesafesidir. Geri tepen parçalar L mesafesine ulaştıktan sonra anlık olarak dururlar ve atış pozisyonunu almak için tekrar ileri doğru hareket ederler. Hareketin bu ikinci kısmı yerine gelme hareketi olarak tanımlanır.

Geri tepme hareketinde üç kuvvet etkilidir;

- Beşik Kuvveti; bu kuvvet mühimmata hareketi verecek olan patlayıcının patlaması sonucu oluşan basınçtan dolayı oluşur ve kısa süreli olarak etki eder. Geri tepme hareketini başlatan kuvvet de bu kuvvettir.
- Yerçekimi Kuvveti; Bu kuvvet geri tepen parçaların farklı namlu atış açılarında aldıkları pozisyona göre ağırlıklarından dolayı oluşan bir kuvvettir. Geri tepen parçalar atış pozisyonunda sabit kaldıkları için yer çekiminin oluşturduğu kuvvet de sabittir.
- Net Durdurucu Kuvvet; ateşleme yapılır yapılmaz mühimmat ilerlemeye başlar, oluşan gaz basıncı ve ağırlık birleşeninden dolayı geri tepen parçalar geriye doğru hareket etmeye başlarlar. Bu harekete karşı sürtünme kuvveti ve geri tepme

mekanizması tarafından direnç oluşturulur, böylece durdurucu bir kuvvet ortaya çıkar.

Şekil 3.1’de geri tepen parçaların hareketini ifade etmekte kullanılan bir serbestlik dereceli model gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Geri tepen parçaların bir serbestlik dereceli modeli [7]

Newton'un hareket denkleminde tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılır;

$$m_r \left[\frac{d^2 x(t)}{dt^2} \right] = B(t) - K(t) + W_r \sin \theta, N \quad (3.1)$$

$x(t)$: Parçaların hareket mesafesi	(m)	$B(t)$: Kama kuvveti	(N)
θ : Namlu atış (eğim) açısı	(rad)	$K(t)$:Durdurucu kuvveti	(N)
W_r : Geri tepen parçaların ağırlığı	(N)		

4. İÇ BALİSTİK MODELLEME

İç balistik modellemede üç tane temel tasarım fonksiyonu vardır. Bunlar; şarj tasarımı, namlu ve beşik tasarımı ile geri tepme mekanizması tasarımlarıdır. Bu tasarım fonksiyonlarından geri tepme mekanizmasını tasarlamak için iç balistik modelde geri tepme kuvveti-zaman grafiği önceden tahmin edilir. Bu tahmini grafik mühimmatın namlu içindeki durumunu ve gaz boşaltma durumu ile geri tepme mekanizmasının dinamiğini bir kuvvet girişi olarak içerir. Ağız baskısının frenleme kuvveti etkisi gaz boşaltma zaman aralığında kullanılır. Kama kuvveti-zaman grafiği gerçek kama kuvvetinin grafiğine yaklaşımda bulunabilmek için gereklidir. Ayrıca bu grafik geri tepen parçalara etki eden momentumun bulunmasını da sağlar.

4.1. Kama Kuvvetini Etkileyen Faktörler

Kama kuvvetinin belirlenmesinde kullanılacak analitik denklemleri geliştirebilmek için geri tepme mekanizması tasarımına etki eden faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Geri tepme mekanizmalarının tasarımında mühimmat hızı ve maksimum gaz basıncına göre işlem yapılır.

4.1.1. Namlu İçerisindeki Periyot:

Geri tepme mekanizmasının tasarımında ve dinamik analizinde; kama kuvveti ile mühimmat hareketi arasında bir bağıntıya ihtiyaç vardır. Bunu sağlamak için ampirik bir denklem olan LeDuc eşitliği kullanılır. Mühimmatın namlu içerisindeki hareketi esnasında zamana bağlı olarak yaklaşık hızını veren LeDuc eşitliği;[1]

$$v' = \frac{au}{b+u}, m/s \quad (4.1)$$

dir. Burada a ve b aşağıdaki gibi ifade edilen LeDuc parametreleridir.

$$a = v'_0(Q+1), m/s \quad (4.2)$$

$$b = QU_0, m \quad (4.3)$$

Bu parametrelerde kullanılan ve birimsiz olan Q da,

$$Q = \left(\frac{27 P_M}{16 P_e} - 1 \right) - \sqrt{\left(\frac{27 P_M}{16 P_e} - 1 \right)^2 - 1} \quad (4.4)$$

dir ve buradaki P_M/P_e ise,

$$\frac{P_M}{P_e} = \frac{2gU_0P_MA}{v'^2_0 \left(W_p + \frac{W_c}{2} \right)} \quad (4.5)$$

A	:Namlu kesit alanı, m^2	P_M	:Tepe hazne basıncı, Pa
v'_0	:Mühimmat namlu hızı, m/s	U_0	:Namlu boyu, m
W_c	:Patlayıcı ağırlığı, N	g	:Yer çekimi ivmesi $9.81 m/s^2$
W_p	:Mühimmatın ağırlığı, N	u	:Mühimmatın namlu içi katetiği yol, m

dir. Mermi hızını ve kama kuvvetini merminin aldığı yol cinsinden belirleyebilmek için a ve b Eş. 4.1'de yazılırlarsa,

$$v' = \frac{au}{b+u} = \frac{v'_0(Q+1)u}{QU_0+u}, m/s \quad (4.6)$$

elde edilir. Kama kuvveti ile mühimmat hareketi arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir:

$$B = \left(\frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_p} \right) F, N \quad (4.7)$$

veya

$$B = \left(\frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{g} \right) \frac{a^2 bu}{(b+u)^3}, N \quad (4.8)$$

Eş. 4.8'de a ve b yerlerine yazılırsa,

$$B = \left[\frac{\left(W_p + \frac{W_c}{2} \right) v'_0 (Q+1)^2}{g} \right] \left[\frac{QU_0 u}{(QU_0 u + u)^3} \right], N \quad (4.9)$$

elde edilir. Maksimum kama kuvveti $u = b/2$ iken veya Eş. 3.38'den $u = QU_0/2$ iken oluşur. Bu durumda maksimum kama kuvveti,

$$B_M = \frac{4}{27} \left[\frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{g} \right] \frac{v'_0 (Q+1)^2}{QU_0}, N \quad (4.10)$$

olur. Eş. 4.8 ve Eş. 4.9'den kama kuvveti aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$B = B_M \left[\frac{27Q^2 U_0^2 u}{4(QU_0 + u)^3} \right], N \quad (4.11)$$

Böylece kama kuvveti u ve U_0 ın fonksiyonu olarak belirlenmiş olur. Mermi yolu ile zaman arasında bir bağıntı kurmak aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$v' = \frac{du}{dt} = \frac{au}{b+u}, m/s \quad (4.12)$$

$$dt = \left(\frac{b+u}{au} \right) du, s \quad (4.13)$$

Mermi namludan çıkarken $t=t_0$ da $u=U_0$ ile Eş. 3.48'in entegrali alınırsa,

$$t = t_0 - \left[\frac{b}{a} \ln \left(\frac{U_0}{u} \right) + \frac{U_0 - u}{a} \right] = t_0 - \frac{QU_0 \ln \left(\frac{U_0}{u} \right) + (U_0 + u)}{v'_0 (Q+1)}, s \quad (4.14)$$

olur. Bu eşitlikte mermi çıkış zamanı olan t_0 'ı bulmak için geri tepen parçaların momentumları ortalama kama kuvvetinin itmesine eşitlenirse

$$B_e t_0 = \frac{W_r}{g} v_0, kg.m/s \quad (4.15)$$

B_e : Ortalama kama kuvveti, N

t_0 :Mühimmat çıkış zamanı, s olarak elde edilir. Geri tepen parçaların hızı, merminin namlu içindeki hızına bağlı olarak

$$v = \left(\frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_r} \right) v', m/s \quad (4.16)$$

W_r :Geri tepen parçaların ağırlığı, N v :Geri tepen parçaların hızı, m/s
 v' :Mühimmatın namludaki hızı, m/s

ile bulunur. Eğer gerçek kama kuvveti tarafından yapılan iş ortalama kama kuvveti tarafından yapılan işe eşit olduğu düşünüldüğünde [8]

$$B_e U_0 = \int_0^{U_0} B du, J \quad (4.17)$$

olur ve Eş. 4.11'deki B , bu eşitlikte yazılırsa,

$$B_e = \frac{27 B_M Q^2 U_0}{4} \int_0^{U_0} \frac{udu}{(QU_0 + u)^3}, N \quad (4.18)$$

bulunur. Bu eşitlikteki entegralin değeri,

$$\int_0^{U_0} \frac{udu}{(QU_0 - u)^3} = \frac{1}{2U_0 Q(Q+1)}, N$$

dir ve Eş. 4.18'de yerine yazılırsa,

$$B_e = \left(\frac{27}{8} B_M \right) \frac{Q}{(Q+1)^2}, N \quad (4.19)$$

elde edilir. Eş. 4.16'den merminin namludan çıkış zamanı,

$$t_0 = \frac{W_r v_0}{g B_e}, s \quad (4.20)$$

dir ve Eş. 4.19'daki B_e bu eşitlikte yerine yazılırsa,

$$t_0 = \frac{8 W_r v_0 (Q+1)^2}{27 g B_M Q}, s \quad (4.21)$$

ve $v' = v'_0$ yapılarak Eş. 4.17'den v_0 burada yerine yazılırsa merminin namluyu terk ediş süresi aşağıdaki gibi bulunur:

$$t_0 = \frac{8 \left(W_p + \frac{W_c}{2} \right) v_0' (Q+1)^2}{27 g B_M Q}, s \quad (4.22)$$

4.1.2. Gaz Boşaltım Periyodu

Mühimmat namluyu terk ettikten sonra patlayıcı gaz ağız baskısından atmosfere boşalır. Bu gaz kütlesi yüksek bir hıza sahip olduğu için momentuma da sahiptir. Gazın ileri doğru olan momentumu geri tepen parçaların üzerindeki momentuma eşittir. Bundan dolayı gaz boşaltma süreci de modellemeye dahil edilmelidir[2,10,5].

$u=U_0$ da mühimmat namluyu terk ettiği için ;

$$B_0 = P_0 A = \frac{v_0'^2 \left(W_p + \frac{W_c}{2} \right) Q}{g U_0 (Q+1)}, N \quad (4.23)$$

P_0 :Atış öncesi hazne basıncı, Pa

Geri tepen parçaların mutlak yer değiştirmesi x ise mutlak yer değiştirmeye göre geri tepen parçaların mutlak hızı,

$$v = \frac{dx}{dt}, m/s \quad (4.24)$$

dır. Mermi ileri doğru hareket ederken namlu da bir miktar geriye doğru hareket eder. Bu durumda merminin mutlak yer değiştirmesi $u-x$ olur. Merminin namlu içindeki mutlak hızı ise

$$v' = \frac{d}{dt}(u-x), m/s \quad (4.25)$$

x :Geri tepen parçaların hareket mesafesi, m

Eş. 4.24 ve Eş. 4.25 eşitlikleri Eş. 4.14'de yazılıp $t=0$ anında $x=0$ ve $u=0$ başlangıç şartları ile integrali alınır, aşağıdaki denklem elde edilir:

$$W_r x = \left(W_p + \frac{W_c}{2} \right) (u-x), J \quad (4.26)$$

Mermi namluyu $u=U_0$ 'da terk ederken geri tepen parçaların aldığı yol, aşağıdaki gibidir:

$$x_0 = \left(\frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_r + W_p + \frac{W_c}{2}} \right) U_0, m \quad (4.27)$$

Patlama sonrası yapılan kabuller[3,8,9]; Namlu yakınsak- ıraksak nozul, işlem adyabatik

gaz hareketi anlık olarak kararlı.

Süreklilik ve enerji denklemleri kullanılarak ve gazın ideal gaz olduğu varsayımı ile

$$\mu = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} R(T_b - T)}, m/s \quad (4.28)$$

μ :Namluda gazların hızı, m/s
 R :Gaz sabiti, $J/kg.K$

T :Namludaki gaz sıcaklığı, K
 T_0 :Müh. çıkışı kamadaki gaz sıc., K

dir. Burada RT_b patlayıcının karakteristiğidir ve özgül enerji olarak adlandırılır. $RT_b/(\gamma-1)$ patlayıcının birim kütle başına düşen potansiyel enerjidir ve bu değer patlayıcının bir özeliği olduğu için bilinen bir değerdir.

Patlayıcının patlamasıyla namlu haznesinde oluşan basınç,

$$P_b = P_0 \left(1 + \frac{t-t_0}{\phi}\right)^{2\gamma(1-\gamma)}, Pa \quad (4.29)$$

ϕ :Gaz boşaltım süresi, s

γ :Özgül ısıların oranı

$$P_0 = \frac{W_c RT_0}{g\Delta}, Pa \quad (4.30)$$

Δ :Namlu ve hazne hacmi, m^3
merminin namluyu terk ederken ki kama basıncı,

$$\phi = \frac{2\Delta}{A(\gamma-1)} \left[\frac{W_c}{g\gamma P_0 \Delta} \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)} \right]^{1/2} s \quad (4.31)$$

gaz boşaltım zamanını göstermektedir.

Eş. 4.30 yerine bir düzeltme faktörü ile literatürde yer alan ve daha kompleks bir dinamik model olan aşağıdaki denklem

$$P_0 = \frac{W_c RT_0}{g\Delta} \left(1 + \frac{W_c}{6W_p}\right), Pa \quad (4.32)$$

yazılabilir. Bu durumda Eş. 4.29

$$P_b = \frac{W_c RT_0}{g\Delta} \left(1 + \frac{W_c}{6W}\right) \left(1 + \frac{t-t_0}{\phi}\right)^{2\gamma/(1-\gamma)}, Pa \quad (4.33)$$

halini alır. Ayrıca bu düzeltme ile gaz boşaltım zamanı Eş. 4.31,

$$\phi = \frac{2 \Delta}{A(\gamma - 1)} \left[\frac{1}{\gamma R T_0 \left(1 + \frac{W_c}{6W_p} \right)} \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \right]^{\frac{1}{2}}, s \quad (4.34)$$

olur. Burada dikkat edilecek olursa W_c , W_p 'den çok daha küçüktür dolayısıyla düzeltme faktörü de çok küçüktür. Gaz boşaltım zamanında ağız baskısı olmadan gaz tarafından kamaya aktarılan momentumu G (kama kuvvetinin itmesi) belirlemek için aşağıdaki ifadenin entegrali alınır ve ϕ yerine konulursa (Eş. 4.34'den)

$$G = \frac{W_c}{g} \left(1 + \frac{W_c}{6W_p} \right)^{\frac{1}{2}} (R T_0)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right) \left[\frac{1}{\gamma} \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \right]^{\frac{1}{2}}, kg.m / s \quad (4.35)$$

$\gamma=1,26$ alınarak ve $W_c \ll 6W_p$ olduğu göz önünde bulundurulursa,

$$G = 1.34 \frac{W_c}{g} \left(1 + \frac{W_c}{12W_p} \right) \sqrt{R T_0}, kg.m / s \quad (4.36)$$

elde edilir. T_0 'ı belirlemek için patlayıcının verdiği enerji ile merminin kinetik enerjileri eşitlenirse,

$$\frac{W_c}{g(\gamma-1)} R(T_b - T_0) = \frac{1}{2} (m_{p_{eff}} + m_{c_{eff}}) v_0^2, J \quad (4.37)$$

burada,

$$m_{p_{eff}} = \frac{(1+k)W_p}{g}, kg \quad ; \text{ etkin mermi kütlesi}$$

$$m_{c_{eff}} = \frac{W_c}{3g}, kg \quad : \text{ etkin şarj kütlesini,}$$

$k \approx 1/7$ [10]olan yanıcı gazlardan namluya olan ısı transfer oranını göstermektedir.

Bu değerler Eşitlik 4.37'de yerlerine yazılırlarsa ,

$$R T_0 = R T_b - \left(0.0433 + 0.1486 \frac{W_p}{W_c} \right) v_0^2, m^2 / s^2 \quad (4.38)$$

ve Eş. 4.36'dan

$$G = 1.341 \frac{W_c}{g} \left(1 + \frac{W_c}{12W_p} \right) \sqrt{R T_b - \left(0.0433 + 0.1486 \frac{W_p}{W_c} \right) v_0^2}, kg.m / s \quad (4.39)$$

olur. Gaz boşaltım zamanını G cinsinden bulmak için P_b (Eş. 4.29) Eş. 4.34'de yazılırsa ve Eş. 4.31'in doğrudan integrali alınır,

$$\begin{aligned}
G &= A \int_{t_0}^{\infty} P_b dt = AP_0 \int_{t_0}^{\infty} \left(1 + \frac{t-t_0}{\phi}\right)^{2\gamma/(1-\gamma)} dt \\
&= B_0 \phi \left(\frac{\gamma-1}{\gamma+1}\right), kg.m/s
\end{aligned} \tag{4.40}$$

elde edilir. Burada $B_0 = P_0 A, N$, mermi namludan çıkış anındaki kama kuvvetidir.[10]

$\gamma = 1.26$ ile

$$\phi = \left(\frac{\gamma+1}{\gamma-1}\right) \frac{G}{B_0} = \frac{8.7G}{B_0}, s \tag{4.41}$$

Zamana bağlı olarak gaz boşaltım esnasında geri tepen parçaların hızını belirleyebilmek için denklem 4.29 kullanılarak patlama sonrası ortaya çıkan $P_b A$ kuvveti ile öncelikle kama kuvveti (B) hesaplanır. Bu kama kuvveti hesaplanırken ağız baskısının frenleme kuvveti de hesaba katılmalıdır. Bu işlem yapılırken birimsiz olan verim faktörü β kullanılır[1-10]. Bu durumda;

$$\begin{aligned}
B &= (1 - \beta) P_b A \\
&= (1 - \beta) AP_0 \left(1 + \frac{t-t_0}{\phi}\right)^{2\gamma/(1-\gamma)}, N
\end{aligned} \tag{4.42}$$

Geri tepen parçaların hareket denklemi; parçaların ivmelerinin Eş. 4.42'ye eşitlenerek kütlelerine bölümüyle bulunur.[1-4]

$$\dot{v} = \frac{g(1-\beta)B_0}{W_r} \left(1 + \frac{t-t_0}{\phi}\right)^{2\gamma/(1-\gamma)}, m/s^2 \tag{4.43}$$

$t = t_0$ iken $v = v_0$, entegral alınırsa,

$$v = v_0 + \frac{g(1-\beta)B_0\phi}{W_r \left(\frac{\gamma+1}{1-\gamma}\right)} \left[\left(1 + \frac{t-t_0}{\phi}\right)^{(\gamma+1)/(1-\gamma)} - 1 \right], m/s \tag{4.44}$$

$\gamma = 1.26$ [2] ve Eş. 4.40'tan G yerine yazılırsa,

$$v = v_0 + k \left[1 - \left(1 + \frac{t-t_0}{\phi}\right)^{-8.7} \right], m/s \tag{4.45}$$

Burada, aşağıdaki denklem ile belirlenir:

$$\bar{k} = \frac{Gg}{W_r}(1 - \beta), m/s \quad (4.46)$$

$t=t_0$ iken $x=x_0$ başlangıç şartıyla Eş. 4.45'nin entegrali alınırsa bize geri tepen parçaların hareket mesafesi x 'i verir.

$$x = x_0 + (v_0 + \bar{k})(t + t_0) + \frac{\phi \bar{k}}{7.7} \left[\left(1 + \frac{t - t_0}{\phi} \right)^{-7.7} - 1 \right], m \quad (4.47)$$

Eş. 4.42'de dikkat edilirse $\gamma = 1.26$, alındığında [2] $2\gamma/(1 - \gamma) = -9.69$ olur. Buna göre kama kuvveti,

$$B = (1 - \beta)AP_0 \left(1 + \frac{t - t_0}{\phi} \right)^{-9.69}, N \quad (4.48)$$

olur. t sonsuza giderken B sifira yaklaşır fakat belirli bir zamanda B kesinlikle sıfır değildir. $t - t_0 = \phi$ olduğu durumda B kuvveti mühimmat namludan çıktıktan sonra $2^{-9.69}$ oranında düşer. Bu değer çok düşüktür. Bundan dolayı pratik uygulamalarda 0 olarak alınır. Bunun sonucunda gaz boşaltım zamanının $t - t_0 = \phi$ olduğunda sona erdiği kabul edilebilir [5,7,9] veya

$$t_f = t_0 + \phi, s \quad (4.49)$$

Benzer şekilde, aşağıdaki denklemler elde edilir:

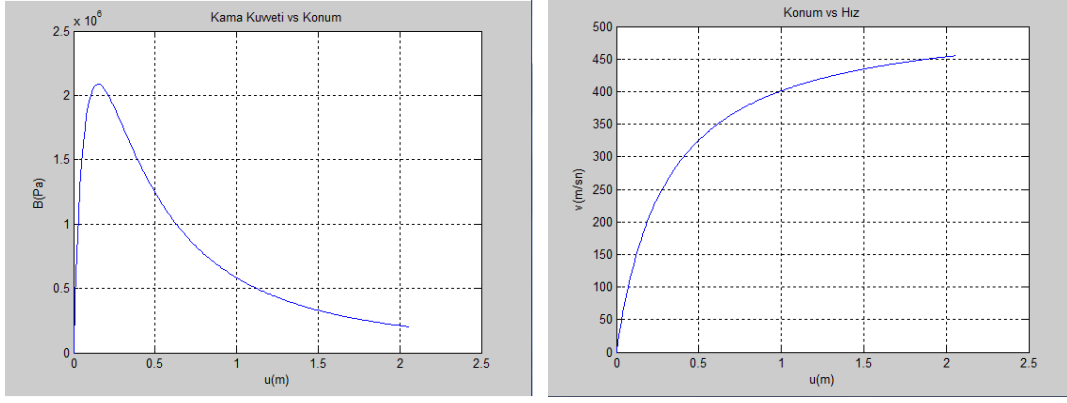
$$P_f = 0.0012P_0, Pa \quad (4.50)$$

$$v_f = v_0 + \bar{k}, m/s \quad (4.51)$$

$$x_f = x_0 + (v_0 + \bar{k})\phi, m \quad (4.52)$$

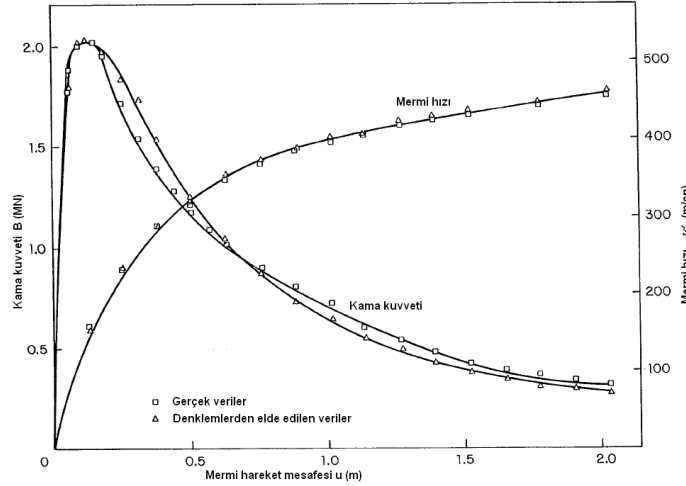
5. SİMULASYON VE SONUÇLAR

Bir önceki bölümde kama kuvveti için çıkardığımız analitik denklemler aracılığı ile 105 mm çekili tip bir obüs için deneysel verileri [6] kullanarak mühimmatın namludan çıkışına kadarki, kama kuvveti, mühimmat namlu içi konumu'nun ve mühimmat hızı, mühimmat namlu içi konumunun birbiri ile ilişkisini grafiklendiren MATLAB çözümü grafiği Şekil 5.1' de verilmiştir.



Şekil 5.1. 105 mm çekili tip bir obüs için hesaplanan mühimmatın namlu içi yoluna karşılık kama kuvveti ve hız grafiği

Şekil 5.2' de eşitliklerin geçerliliğinin kıyaslanması amacı ile deneysel verilerden [6] elde edilen gerçek değerler de gösterilmiştir. Gerçek ve teorik kama kuvvetleri arasında az bir farklılık olsa da grafiklerin altında kalan alanlar (kuvvetlerin yaptığı işler) eşittir. Kuvvetler bakımından teorik olarak elde edilen sonuçlar gerçek sonuçlarla hemen hemen aynıdır.



Şekil 5.2. 105mm çekili tip bir obüs için mermi hareketine göre kama kuvveti ve mermi hızının teorik ve deneysel verilerle karşılaştırılması grafiği

Şekil 5.2'de görülen en önemli özellikten biri de hızın mühimmat üzerine etki eden kuvvetlerin entegrali olduğu için teorik ve deneysel mühimmat hızlarının birbirleriyle aynı olmasıdır. Teorik ve deneysel mühimmat hızlarının aynı olduğu gibi geri tepen parçaların da teorik ve deneysel hızları aynıdır. Geri tepme mekanizmasının tasarımında parçaların hızlarının bilinmesi çok önemlidir. Teorik ve deneysel sonuçlarla elde edilen hızların aynı olması nedeniyle geri tepme mekanizmalarının başlangıç tasarımlarında hesaplanan balistik model kullanılabilir.

Sonuç olarak bu çalışmada, bağımsız hidropnömatik tip geri tepme mekanizmalarının iç balistik modelinin oluşturulması ve seçilen ağır silah sisteminin atış verileri kullanılarak kama kuvvetinin belirlenmesinde kullanılmak üzere MATLAB simulasyonun ve kullanıcı ara yüzünün geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Teorik ve deneysel sonuçların uyumlu olması, geliştirilen matematik modelinin doğruluğunu göstermektedir.

6. KAYNAKÇA

- [1] ÖZTÜRK, A.R. , İç Balistik, MKE., Ankara, NY, 1950.
- [2] AMCP 706-150, **Engineering Design Handbook**, Interior Ballistics of Guns, 1965.
- [3] SCHLENKER, G., Update of Cannon Interior Ballistics, TM RDF 73-1, US Army Weapons Command, (March 1973).
- [4] BAER, D. G., FRANKLE, J. M., The Simulation of Interior Ballistic Performance of Guns by Digital Computer Program, BRL Report 1183, Ballistic Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, MD, (December 1962).
- [5] SEAMANDS, R. E., TOERING, R. J., Selecting Best Recoiling Parts Weight in an Artillery System, Technical Report No. RE-TR-71-19, Rock Island Arsenal, Rock Island, IL, (1971).
- [6] ARORA, J. S., HAUG, E. J., A Guide to Design of Artillery Recoil Mechanisms, Technical Report, US Army Armament Research and Development Command, Dover, NJ, (September 1977).
- [7] UGURAL, A. C. and FENSTER, S. K., **Advanced Strength and Applied Elasticity**, American Elsevier Publishing Co., Inc., 42 Vanderbilt Avenue, New York, NY, (1975).
- [8] DARCOM-P 706-193, **Engineering Design Handbook**, Computer-Aided Design of Mechanical Systems, Part Two, (September 1977).
- [9] DARCOM-P 706-XXX, **Engineering Design Handbook**, Design of Towed Artillery Systems.
- [10] MOODY, J. B., Mathematical Computer Simulation of Compressible Fluid Behavior in Recoil Application (Orifice Design), Technical Note S WERR-T-TN-2-72, Armored Weapons Systems Directorate, Rock Island Arsenal, Rock Island, IL, (April 1972).