

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BÜYÜK KALİBRE MÜHİMMATTA KULLANILAN BARUTLARIN
GEOMETRİK ŞEKLİNİN DEĞİŞİMİNİN, NAMLU İÇ BASINCI VE
NAMLU ÇIKIŞ HIZI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Funda YILDIRIM

FİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2013**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BÜYÜK KALİBRE MÜHİMMATTA KULLANILAN BARUTLARIN GEOMETRİK ŞEKİL DEĞİŞİMİNİN NAMLU İÇ BASINCI VE NAMLU ÇIKIŞ HIZI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Funda YILDIRIM

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KABAK

Bu tez çalışmasının amacı Matematiksel optimizasyon metodu kullanarak barut geometrisi tasarımı yapmak ve halen üretimi devam eden bir barutun performansını yalnızca geometrisini değiştirerek artırmaktır. Bu çalışma kapsamında aynı örgü kalınlığına sahip farklı barut tiplerinin (küresel, silindirik, 1, 7, 19, 37 delikli silindirik barutlar) ve her bir barut tipi için örgü kalınlığı değişiminin etkileri incelenmiştir. Elde edilen namlu çıkış hızı ve basınç değerleri “PRODAS” yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Bu namlu çıkış hızından ve basınç değerlerinden “MATLAB Optimizasyon Sekmesi”nde lineer olmayan regrasyon methodu kullanılarak optimum örgü kalınlığı hesaplanmıştır. Barut tane geometrisi tasarımında en etkin parametre örgü kalınlığıdır. Örgü kalınlığı, barutun tane çapına ve varsa delik çapına bağlıdır. Örgü kalınlığı azaldıkça basınç ve namlu çıkış hızı değerleri artar. Sevk barutunun boyutlarında herhangi bir değişiklik yapmadan, simetrik delikler açılarak örgü kalınlığı değeri değiştirilebilir. Sonuç olarak yanma süresi boyunca progresif bir yanma elde edilebilir. Böylece bir sevk barutunun barutun kimyasal bileşiminde herhangi bir değişim yapmadan performansı yalnızca tane geometrisini değiştirerek artırılabilir. Bu çalışmada örnek olarak aynı silah ve mühimmatta 1 ve 7 delikli sevk barutu yerine 37 delikli bir sevk barutu kullanıldığında namlu çıkış hızının 472 m/s yerine 500 m/s olduğu görülmüştür. Optimum örgü kalınlığı 0.305 mm olarak bulunmuştur.

Şubat 2013, 64 Sayfa

Anahtar Kelimeler: İç balistik, sevk barutu, mühimmat

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECT OF GEOMETRIC CHANGES OF PROPELLANTS WHICH USED IN LARGE CALIBER WEAPONS ON BARREL PRESSURE AND MUZZLE VELOCITY.

Funda YILDIRIM

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Engineering Physics

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet KABAK

The aim of this study is to design of propellant geometry bu using optimization method and to improve the perofomance of any gun propellant which has been produced by changing only geometry of propellant. In this study the effects of some constant web thickness values for different propellant types (ball, cylindrical and, 1, 7, 19, 37 perforated cylindrical propellants) were investigated and the effects of variable web thickness values within each propellant type were investigated. Resulting muzzle velocity and pressure values were determined by using “PRODAS” software. From these muzzle velocity and pressure values, optimum web thickness value was calculated with non-linear regression method by using “MATLAB Optimization Tool”. In conclusion, web thickness was found as the most important parameter for propellant grain shape design. Web thickness depends on grain diameter and grain perforation diameter. When web thickness value decreases pressure and muzzle velocity increases. Without changing propellant size, web thickness value can be decreased by opening symmetric perforations. Consequently, progressive burn can be obtained during the burning process. Without changing chemical composition of propellants, the performance of propellant can be increased by changing only its geometry. In this study, when 37 perforated propellant was used as the specimen instead of 1 and 7 perforated propellants, muzzle velocity value was found instead of as 472 m/s as 500 m/s for same gun and same ammunition. For optimum web thickness value was found as 0.305 mm and perforation diameter value was found as 0.14 mm.

February 2013, 64 pages

Key Words : Interior ballistics, propellant, ammunitio

TEŞEKKÜR

Araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Mehmet KABAK'a (Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü), çalışmalarımda yazılım ve donanım konusunda destek sağlayan MKE Kurumu'na, yüksek lisans eğitimim süresince desteklerini esirgemeyen MKE Kurumu Yöneticilerine ve tüm iş arkadaşlarıma, balistik konusunda yardımlarını esirgemeyen Fizik Yüksek Mühendisi Erkan TİRYAKİ'ye, maddi ve manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili eşim Mehmet YILDIRIM'a ve sevgili abim İlker KOÇ'a tüm hayatım boyunca doğrularıyla ve yanlışlarıyla beni yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

FUNDA YILDIRIM
Ankara, Şubat 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2.KURAMSAL TEMELLER.....	2
2.1 Balistik Bilimi	2
2.2 Balistik.....	3
2.3 İç Balistik	4
2.4 Ateşli Silahlar	6
2.5 Mühimmat	7
2.5.1 Kovan	9
2.5.2 Ateşleyici	10
2.5.3 Mermi	10
2.5.4 Patlayıcı maddeler.....	12
2.5.5 Tapa.....	13
2.5.6 Busterler.....	13
2.5.7 Kara Barut.....	14
2.5.8 Sevk barutları.....	14
2.5.9 Büyük kalibre mühimmat barutları.....	18
2.6 Enerji Dağılımı	20
2.6.2 Enerji denklemi	21
2.6.3 Hal Denklemi	24
2.6.4 Kütle fraksiyonu yanma hızı	25
2.6.5 Hareket denklemleri	26
2.6.6 Kütlece yanma hızı.....	26
2.6.7 Yanma yüzey alanı	27
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	28
3.1 Sayısal İntegrasyon Yolu ile İç Balistik Simülasyonu.....	28
3.1.1 Çeşitli barut tipleri için örgü kalınlığı.....	28

3.1.2 Form fonksiyon denklemleri	29
3.1.3 Newton-Rapshon Yöntemi	30
4.ANALİZLER.....	33
4.1 Amaç.....	33
4.2 Analizler Öncesi Yapılan Çalışmalar	34
4.3 İç Balistik Analiz Sonuçlarının Gerçek Atış Sonuçları İle Karşılaştırılması	38
4.4 En Etkili Barut Geometrisi Tasarım Parametresinin Belirlenmesi	42
4.4.1 Altı farklı barut tipi için örgü kalınlığı (delikler arası mesafe “w” nin) ve tane çapı değişiminin namlu içi maksimum basınca ve hıza etkisi	42
4.4.2 Altı farklı barut tipi için örgü kalınlığının (tane delik çapının) değişiminin namlu içi maksimum basıncı ve hızı üzerindeki etkisi	46
4.4.3 Altı farklı barut için tane ve tane delik çapı değişimlerinin namlu içi maksimum basıncı ve hızı üzerindeki etkisi	49
4.4.4 Altı farklı barut için barut uzunluğu değişiminin namlu içi maksimum basıncı ve hızı üzerindeki etkisi	51
4.5 Aynı Örgü Kalınlığına Sahip Farklı Barutların Basınç Ve Hız Oranları	54
4.6 Optimizasyon	55
5.TARTIŞMA VE SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ.....	64

SİMGELER DİZİNİ

a	Mermi ivmesi, m/s^2
a_0	Boyutsuz denklem sabiti, boyutsuz
A	Merminin alanı m^2
b_i	i 'ninci barut taneciğinin co-volume değeri, m^3/kg
c_{vi}	i 'ninci barut tanesinin sabit hacim altında öz ısı değeri, $j/g^\circ K$
c_{pi}	i 'ninci barut tanesinin sabit basınç altında öz ısı değeri, $j/g^\circ K$
c_i	i 'ninci barut tanesinin ilk ağırlığı, kg
c_i	i 'ninci ateşleyici tanesinin ilk ağırlığı, kg
d_i	i 'ninci barut tanesinin delik çapı, m
dt	Artan zaman aralığı, $^\circ K$
dT	Artan sıcaklık aralığı, $^\circ K$
dx	Merminin hareketi ile artan uzaklık, m
D_i	i 'ninci barut tanesinin dış çapı, m
f_i	S_i ve z_i arasındaki fonksiyonel ilişki
F_a	Mermi üzerindeki kuvvet, N
F_f	Mermi üzerindeki sürtünme kuvveti, N
F_i	i 'ninci barutun kuvveti, j/g
F_i	Ateşleyicinin kuvveti, j/g
g	Yerçekimi kuvvet sabiti, m/s^2
L_i	i 'ninci barut tanesinin uzunluğu, m
m_i	i 'ninci barut tanesinin spesifik kütlesi. g/cm^3
m	Merminin ağırlığı, kg
n	Barut sayısı
N_i	i 'ninci barut tanelerinin delik sayısı
P	i 'ninci barutun yanması sonucunda oluşan uzay basıncı, MPa
P_b	Merminin dip basıncı, MPa
P_i	i 'ninci barut tanesinin yanması sonucunda oluşan basınç, MPa
P_i	Ateşleyici basıncı, MPa
P_0	Kama basıncı, MPa
P_r	Direnç basıncı, MPa

Q	Barut yanması sonucunda salınan toplam enerji, j
r_i	i'ninci barutun lineer yanma hızı, m/s
R_i	r_i ve P arasındaki fonksiyonel ilişki
S_i	Kısmi yanmış i'ninci barut tanesinin yüzey alanı, m^2
S_{gi}	Yanmamış i'ninci barut tanesinin yüzey alanı, m^2
t	zaman, s
T	Barut gazlarının sıcaklığı, °K
T_{0i}	i'ninci barut tanesinin adiabatik alev sıcaklığı, °K
T_{0l}	Ateşleyicinin alev sıcaklığı, °K
u_i	Herhangi bir zamanda i'ninci barut tanesinin örgü kalınlığının iki katı ($2w$), m
U	Barut gazlarının iç enerjisi, j
v	Merminin hızı, m/s
V_c	Merminin arkasında kalan hacim, m^3
V_{gi}	i'ninci yanmamış barutun hacmi, m^3
V_0	Yanma odasının (silah haznesi) hacmi, m^3
w	Örgü kalınlığı, m
W	Merminin yaptığı iş
x	Merminin aldığı yol, m
z_i	Yanmış i'ninci barutun kütle fraksiyonu
z_l	Yanmış ateşleyicinin kütle fraksiyonu
α	Yanma hızı exponenti, Boyutsuz
β	Yanma hızı katsayısı, cm/s/bar
γ	Öz ısı oranı, Boyutsuz
δ	Pidduck-Kent Sabiti, Boyutsuz
ρ	Barut Yoğunluğu , kg/m^3

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Namlu içinde gaz basıncı ve hızın değişimi grafiği.....	6
Şekil 2.2 5.56 mm mühimmat ailesi	7
Şekil 2.3 12.7 mm silah mühimmatı	8
Şekil 2.4 Tank, top ve obüs ve havan mühimmatı	8
Şekil 2.5 Büyük kalibre mühimmat	9
Şekil 2.6 Kovan.....	10
Şekil 2.7 Mermi ve bölmeleri.	10
Şekil 2.8 Mühimmat sevk çemberi.....	11
Şekil 2.9 Tapa.....	13
Şekil 2.10 Buster kullanımı ile şok dalgasının yükseltgenmesi	13
Şekil 2.11 Barut çeşitleri	18
Şekil 2.12 7 Delikli barut	19
Şekil 3.1 Analizlerde kullanılan toplar için iç balistik programı algoritması	32
Şekil 4.1 M1 mühimmatı prodas katı modeli.....	34
Şekil 4.2 M1 mühimmatı kesit modeli.	35
Şekil 4.3 İç balistik ara yüzü	36
Şekil 4.4 “Baer-Frankle” iç balistik bölümü analiz hazırlama menüsü	36
Şekil 4.5 Silah özellikleri menüsü.....	37
Şekil 4.6 Barut parametreleri menüsü	38
Şekil 4.7 PRODAS ile yapılan analiz sonucu	39
Şekil 4.8 M1 barutu için basınç zaman grafiği	39
Şekil 4.9 M1 barutu için hız zaman grafiği.....	40
Şekil 4.10 M1 barutu için basınç-yol grafiği	41
Şekil 4.11 Tasarım analizi.....	42
Şekil 4.12 Örgü kalınlığı (tane çapı) değişimine karşı basınç değişim grafiği	45
Şekil 4.13 Örgü kalınlığı (tane çapı) değişimine karşı hız değişim grafiği	45
Şekil 4.14 Örgü kalınlığı(tane delik çapı) değişimine karşı basınç değişim grafiği	47
Şekil 4.15 Örgü kalınlığı (tane delik çapı)değişimine karşı hız değişim grafiği	47
Şekil 4.16 Delik çapına karşı basınç değişim grafiği	49
Şekil 4.17 Delik çapı değişimine karşı hız değişim grafiği	51

Şekil 4.18 Barut uzunluğu değişimine karşı basınç değişim grafiği.....	52
Şekil 4.19 Barut uzunluğu değişimine karşı hız değişim grafiği	52
Şekil 4.20 Her bir barut tipine karşın basınç hız oranı.....	54
Şekil 4.21 Amaç fonksiyonunun yazıldığı M-file dosyası.....	57
Şekil 4.22 Eğri uydurma (curve fitting) fonksiyonları.....	58
Şekil 4.23 Lineer olmayan kısıtlayıcı fonksiyon M-file dosyası	59
Şekil 4.24 MATLAB optimizasyon menüsü.....	59
Şekil 4.25 MATLAB Sınır koşulları menüsü	60
Şekil 4.26 MATLAB optimizasyon sonuç menüsü	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Patlayıcı çeşitleri	12
Çizelge 4.1 Barut tanecik özellikleri	38
Çizelge 4.2 Özet iç balistik sonuçları	41
Çizelge 4.3 Örgü kalınlığı ve tane çapı değişimlerinin namlu içi basıncına ve namlu çıkış hızına etkisi	44
Çizelge 4.4 Delik çapı değişimleri ile elde edilen hız ve basınç değerleri	48
Çizelge 4.5 Çap ve delik çapı değişimi ile elde edilen basınç ve hız değerleri	50
Çizelge 4.6 Tane uzunluk değişimi ile elde edilen basın ve hız değerleri	53
Çizelge 4.7 Barut tiplerinin basınç ve hız oranları	54

1. GİRİŞ

Silah sistemlerinin menzili mühimmatın namludan çıkış hızına bağlıdır. Mühimmatın namlu çıkış hızı, ise barutun yanmasıyla namlu içinde oluşan basınç ve açığa çıkan enerjiye bağlıdır. Namlu içinde barutun yanması sonucunda oluşan bu basınç, namlunun maksimum dayanım basıncını geçmemelidir.

Barutlar diğer patlayıcılara göre daha düşük ve kontrol edilebilir yanma hızına sahip oldukları için, namlu içindeki bir mermiyi namlunun dayanım basıncını aşmadan istenilen hıza ulaştırarak sistemden dışarı iterler. Bu nedenle bu tür patlayıcılara genel olarak sevk barutu adı verilir.

Namlu haznesi içinde barut ateşlendiği zaman, namlu içindeki basınç yükselir ve mermi namlu çıkışına doğru hareketine başlar. Barut enerjisinin mermi üzerinde en etkili kullanımı, barutun tamamen yanmasıyla hızla maksimum operasyon basıncına ulaşması ve bu basınçta olabildiğince uzun süre kalmasıyla sağlanabilir. Çünkü mermi namlu içinde namlu çıkışına doğru hareket ettikçe mermi ardında kalan namlu haznesindeki boş hacim artar ve bu durum basıncın azalmasına neden olur. Barutun yanması sonucunda oluşan basıncın olabildiğince hızlı bir şekilde maksimum değerine ulaşip bu değerde mümkün olduğu kadar uzun süre kalması ideal koşullarda istenilen bir durumdur (Muldoon 1977). Barut performansını artırmak için yapılan tüm çalışmalar bu duruma yaklaşmayı amaçlar. Böylelikle daha düşük namlu içi basınç değeri ile mermiye daha yüksek namlu çıkış hızı kazandırılabilir.

İtke sistemlerinde kullanılan barut taneciğinin tasarımı silah ve mühimmatın balistik etkisinin geliştirilmesinde oldukça etkin rol oynar.

2.KURAMSAL TEMELLER

2.1 Balistik Bilimi

Balistik; kökeni Latince fırlatmak anlamına gelen “ballistra “ kelimesinden türetilmiştir. Balistiğin tarihi ilk kez barut kullanımı ile başlamaktadır. Çinlilerin X. yüzyılın başlarında güherçile esaslı barut kullandıkları, XII. yüzyılda Müslüman Endülüslerin, İspanya’da, kolayca tutuşabilen tozlarla uğraştıkları Hindistan’da, eski Sanskritçe yazılara göre XIII. yüzyılda barut kullanılmış olduğuna dair görüşler ileri sürülmüştür. Ancak, barutun önce kimler tarafından bulunduğu ve hangi amaçla kullanıldığı tam olarak netlik kazanamamıştır.

Bugünkü anlamda balistik biliminin temelleri 1800’lü yılların ortalarında ortaya çıkmıştır. Bu tarihlerde belirlenen prensipler daha sonraki yıllarda giderek geliştirilmiş ve 20. yüzyılın başlarında balistik bir bilim olarak ortaya çıkmıştır. 1835 yılında Londra’da Hery Goddard adlı bir polis, mermi çekirdeği mukayesesi yapan ilk kişi olmuştur. Olaydan elde edilen ve çentik taşıyan mermi çekirdeği ile kendisinin döktüğü ve hepsinde aynı çentiği taşıyan mermi çekirdeklerinin benzerliğini karşılaştırarak katilin yakalanmasını sağlamıştır.

1863 yılında Amerikan iç savaşında Virginia Chancellorsville’de Komutan General Stonewall Jackson’un umulmadık bir şekilde yaralanıp ölmesi olayında, elde edilen mermi çekirdeğinin, şekli ve çapından tanımı yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda mermi çekirdeğinin, 67 kalibre (0.675 inç çaplı) ve yuvarlak şekilli olduğu görülmüş, bu tip mermi çekirdeklerinin yalnızca eski tip piyade tüfeklerinde kullanıldığı sonucuna varılarak, General Stonewall Jackson’un kendi askerlerinden biri tarafından kazara vurulduğu anlaşılmıştır.

1900’lerin ilk yıllarında balistik bilimi, mermi çekirdekleri ve mermi kovanlarının, atıldığı silah ile ilişkilendirilmesine olanak sağlayacak seviyeye ulaşmıştır. 1909–1923 yılında Paris Üniversitesi’nde Adli Tıp Profesörü olan V. Balthazard, mermi çekirdeklerinin belli bir silahtan atıldığını tanımlayan bir yöntem yayınlamıştır. Bu

yöntemde deneme atışlarından elde edilen ve olaydan gelen mermi çekirdekleri üzerindeki set izlerinin fotoğrafları çekilmiş ve büyütülerek karşılaştırılmıştır. Balthazard, aynı zamanda silahın iğnesi, tırnağı, çıkartıcısı, mermi yatağının arka yüzünün (tabla) bıraktığı izlerin karşılaştırılmasına dayanan yöntemle, fotoğraflar yardımıyla kovanın hangi silahtan atıldığının tespit edilebileceğini ileri sürmüştür.

1925 yılında Newyork'ta, mermi kovanı ayırımında ilk defa mukayese mikroskobu kullanılmış olup, günümüzde halen standart bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Daha sonra aynı kişiler namlunun içini inceleyen ve setlerin kıvrımını ölçmeye yarayan 'Helixometer''i geliştirmişlerdir. Adli balistik terimi de, o dönemlerde Goddard tarafından kullanılmıştır. Bu yıllardan itibaren balistik bilimi teknoloji ile birlikte hızla ilerlemiştir (Gündüzer 2012).

2.2 Balistik

Günümüzde balistik mühimmatın namlu içindeki hareketini (iç balistik), namlu dışındaki hareketini (dış balistik) ve hedef (terminal) üzerindeki etkisini incelemek üzere 3 gruba ayrılmış bir bilim dalıdır. Bilgisayarların donanımsal ve yazılımsal olarak hızla gelişmesiyle balistik hesaplamalarından elde edilen sonuçlar ile saha çalışmalarından elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın çıkmakta ve bu balistiğe olan ilgiyi artırmaktadır. Mühimmatın;

- Namlunun içindeki hareketini inceleyen bilim dalına **iç balistik**,
- Namludan çıkıp hedefe çarpana kadar geçen süre içinde geçen olayları inceleyen bilim dalına **dış balistik**,
- Hedefteki etkinliğini inceleyen bilim dalına ise **hedef balistiği** adı verilir.

İç (Internal) Balistik; ateşli silahların tetiği çekildikten sonra, mermi çekirdeğinin namluyu terk edinceye kadar geçen sürede, mermi kovanının, mermi çekirdeğinin durumunun incelenmesi, kapsül ve kapsülün ateşlenmesi, barut, barutun yanma hızı, yivler, yiv sayıları, mermi çekirdeğinin hızı, namlu boyutları gibi konuları inceler. Bir namlunun tasarımı iç balistik denklemlerin çözümü ile yapılmaktadır. Bu denklemler sevk barutunun yanması ile açığa çıkan enerji denklemleridir (Anonymous 1992).

Dış (Eksternal) Balistik; mermi namluyu terk ettikten hemen sonra merminin hedefe çarpıncaya kadar geçen zaman içinde meydana gelen olaylarla, yani merminin yörüngesi ve bu yörünge üzerindeki hareketi ile ilgilenir. Hava direnci, yer çekimi etkisi, merminin düşüşü, yörüngesinden sapması, kendi etrafında dönmesi ve dengesi dış balistiğin konuları arasındadır (Anonymous 1992).

Hedef (Terminal) Balistiği; Mermi çekirdeğinin hedefe çarptığı andan itibaren hedef içinde veya dışında merminin duruncaya kadar yaptığı delme gücü veya enerjisini çarptığı cisme iletmesi gibi etkiler ile ilgilenir(Anonymous 1992) .

2.3 İç Balistik

Sevk barutunun ateşlenmesinden sonra merminin namludan ayrılana kadar geçen olayları inceleyen bilim dalı olduğu önceki bölümde belirtilmiştir. İç balistik hesaplamalarının amacı sevk barutunun yanması ile açığa çıkan gazların neden olduğu basıncın maksimum değerini belirlemek ve merminin silah namlusundan istenilen hız değeri ile çıkmasını sağlamaktır.

Barutta depolanmış enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürerek merminin dışarı itilmesi iç balistik hesaplamalar için fiziksel bir temel oluşturmaktadır.

Mermiye yüksek hız kazandırabilmek için kuvvet gerekmektedir. Bu kuvvetin enerji kaynağı, kolayca oluşturulabilmeli, kolayca aktarılabilmesi ve güvenli bir şekilde uygulanabilmesi yeteneğine sahip olmalıdır. Çeşitli zamanlarda bu kuvveti elde etmek için patlayıcı yerine sıkıştırılmış hava, manyetik kuvvet veya merkezci kuvvet kullanılması önerilmesine rağmen şu ana kadar kimyasal patlayıcılar dışında herhangi bir enerji kaynağının kullanımı yaygınlaşmamıştır.

Ateşli silahların iç balistiği kimyasal enerji kaynaklarından, bu kaynakların içeriklerinden, enerji yayılımını kontrol eden ve içerik aktivitelerini yöneten yardımcı aparatlardan oluşmaktadır. Bunlara ek olarak topların mekanik çalışma sistemi iç balistik için bir inceleme alanıdır.

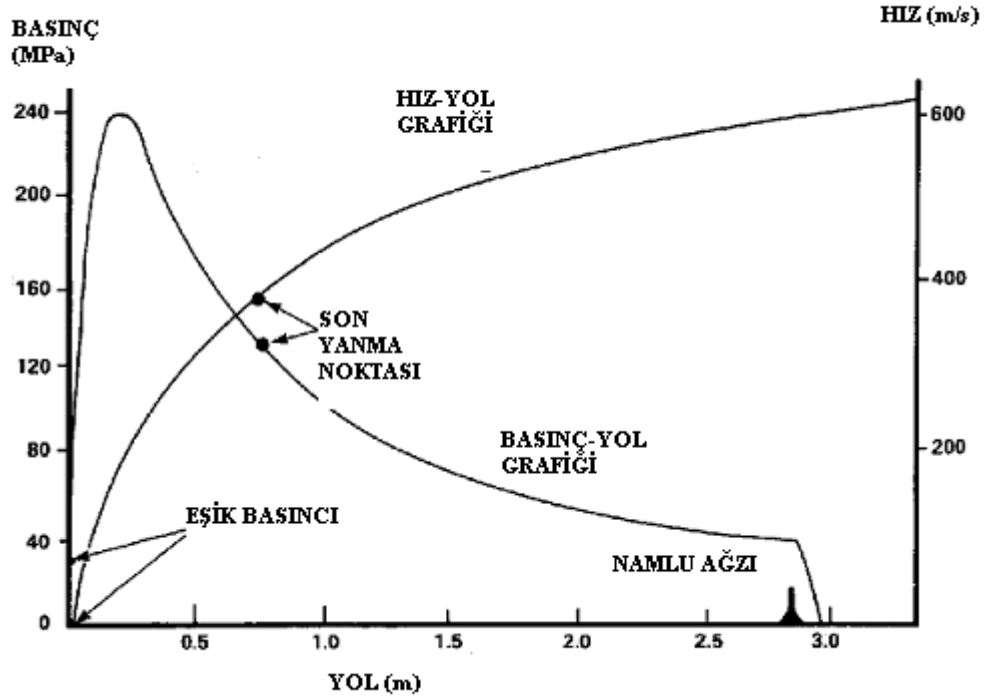
Mermiyi namlu içinden yüksek hızla dışarıya itilmesini sağlayan kimyasal enerji kaynağının ürün olarak gaz açığa çıkarması gerekmektedir. Bu nedenle silahlar, askeri alanda kullanılmayan diğer makinelere göre, çok fazla sıcaklık ve basınç altında çalışabilecek şekilde tasarımlanırlar.

Birim ağırlık başına düşen enerjinin termodinamik özellikleri, çevre sıcaklığı gibi kontrol edilemeyen parametrelerin ayrışma mekanizmasına etkisi, toplam enerjinin önemli bir kısmının dönüştüğü kinetik enerjiye sahip gazların dinamik özellikleri gibi sevk barutu ile ilgili pek çok farklı yönden çalışmalar yapılmaktadır. Merminin namlu içindeki hareketi yalnızca basit Newton yasalarının bir uygulaması değildir. Yüksek sıcaklıkta baruttan salınan gaz merminin namlu çıkışına doğru hareket etmesini sağlar. Yüksek sıcaklıktaki gazların akışı namlu iç yüzeyinde sürtünmeye ve namlu metali ile kimyasalların etkileşmesine neden olur.

Gazlar yanan her bir sevk barutu parçasının yüzeyinden ayrı ayrı yayılarak haznede basınç oluştururlar. Sonuçta yeterli basınç sevk çemberinin namlu yiv ve setlerine sürtünmesinden kaynaklanan sürtünme kuvvetini aşabilecek seviyeye ulaştığında mermi hızla ivmelenir. Bu basınç değerine **eşik basıncı** denir.

Şekil 2.1’de namlu içindeki basıncın ve mermi hızının namlu uzunluğuna bağlı değişimi görülmektedir. İç balistik hesaplamalarında Şekil 2-1 gibi grafiklerden yararlanılır (B-GL-306-006/FP-001,1992).

Kısacası iç balistik barut tarafından üretilen gazların etkisiyle hareket eden mühimmatın karakteristik davranışlarıyla ilgili uygulamalı mekanik dalı olarak tanımlanır. Bilimsel uygulamalarının büyük bir çoğunluğu hala deneysel düzeydedir. İç balistik fiziksel ve kimyasal temeller üzerine kurulmuş bir daldır. Maalesef karmaşık, incelikli, anlaşılması güç bir daldır. Teorik sonuçlar incelenirken deneysel sonuçlarında göz ardı edilmemesi gerekmektedir.



Şekil 0.1 Namlu içinde gaz basıncı ve hızın değişimi grafiği

İç balistik bilimi üzerine yapılan çalışmalar 1743 yılında balistik sarkacın keşfi ile başlamıştır. Bu nedenle balistik bilimi üzerine geniş bir literatür yapılandırması bulunmaktadır.

2.4 Ateşli Silahlar

Mühimmatı dışarı belli bir hızda atan mekanizmalardır. Tüm silah sistemlerinde barutun kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesini sağlayan kapalı bir hazne (yanma odası) ve harekete başlayan mühimmatın hızlandığı yer olan silah namlusu bulunmaktadır. Silah sistemlerinde bulunan bu iki alt sistem iç balistik hesaplamaları açısından önem arz etmektedir.

Barut ateşlendiği zaman her bir barut taneciği yüzeyinden salınan gazlar ile silahın yanma odasında hızla artarak maksimum değere ulaşan bir basınç elde edilir. Bu basınç değeri namlunun dayanım basıncını geçmemelidir. İç balistik uzmanları bu basınç değerine göre silah tasarımları yapmaktadır.

Maksimum basınç değerine kadar basınç düzenli bir şekilde artar. Maksimum basınç değerine namlu içinde çok kısa bir yol aldıktan sonra ulaşılır. Mühimmatın hareket etmesiyle silahın yanma odası hacmi artar ve basınç değeri zamanla tekrar azalmaya ba lar. Bu noktadan sonra basınç, zamanla d  er ve namlu ağzında silaha ve kullanılan baruta göre maksimum basıncın %10 u ile %30 u arasında bir değere d  er. Böylece namlu ağzı boyunca ivmelenmeye devam eder. Oluşan gazın büyük bir miktarı namlu boyunca gitmek yerine geriye kama payına doğru bo alırlar. Bu gazların oluşturduğu kuvvet geri tepme kuvveti olarak bilinir. Gazların boşalma hızı ancak barutun yanma hızı ile kontrol altında tutulabilir. Silahın geri tepme kuvveti hesabı ise bir diğer iç balistik konusunu olu urmaktadır.

2.5 Mühimmat

Patlayıcı veya diğer kimyevi maddeleri içeren, personele, malzemeye veya askeri hedeflere zarar vermek için bir silaha yerleştirilerek atılan veya havadan bırakılan malzemelere mühimmat denir.

M himmatlar da tıpkı silahlar gibi kullanım amaçlarına göre birçok çeşidi bulunmaktadır. Mühimmat; küçük kalibre, orta kalibre, büyük kalibre olmak üzere üç farklı şekilde sınıflandırılır.

Küçük Kalibre Silah Mühimmatı 5.56 mm ile 12.7 mm arasındaki çapa sahip m himmatlardır ( ekil 2.2). **Orta Kalibre** Silah Mühimmatı 12.7 ile 40.0 mm arasındaki çapa sahip m himmatdır ( ekil 2.3). **Büyük Kalibre** Silah Mühimmatı 60.0 mm ve üstü çapa sahip m himmatlardır ( ekil 2.4). Tank, top, obüs, havan gibi ateşli silahlardan atılırlar.



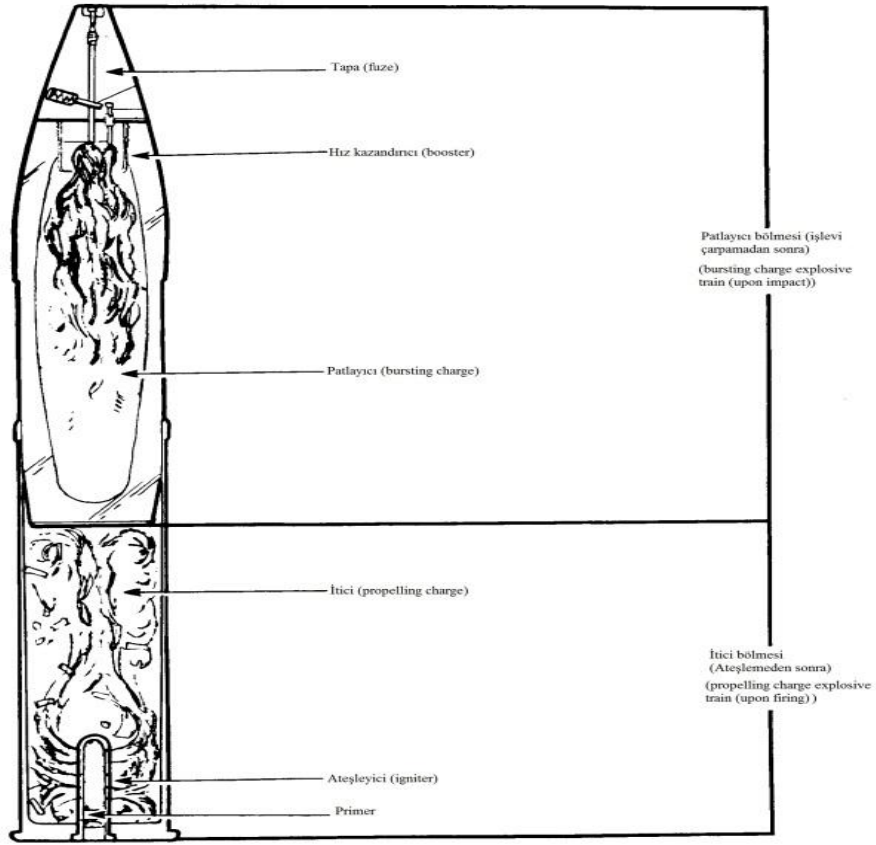
Şekil 0.2 5.56 mm mühimmat ailesi



Şekil 0.312.7 mm silah mühimmatı



Şekil 0.4 Tank, top ve obüs ve havan mühimmatı



Şekil 0.5 Büyük kalibre mühimmat

Büyük kalibre mühimmat iki alt sistemden meydana gelmektedir. Bunlar sevk sistemi ve mermi kompleksidir. Sevk sistemi barut, kovan ve ateşleyiciden, mermi kompleksi ise gövde, patlayıcı kimyasallar, tapa ve busterden oluşmaktadır. Mermi kompleksinin ağırlığı iç balistik hesaplamalarda etkili olan önemli bir faktördür (Şekil 2.5).

2.5.1 Kovan

Sevk barutunun bulunduğu merminin alt bölgesine tutturulan metal malzemedir. Ateşlemenin ardından kovan sistemi ile mermi birbirinden ayrılır. Modern mühimmatlarda artık metal kovan yerine yanar kovan veya modüler barut sitemi kullanılmaktadır (Şekil 2.6).



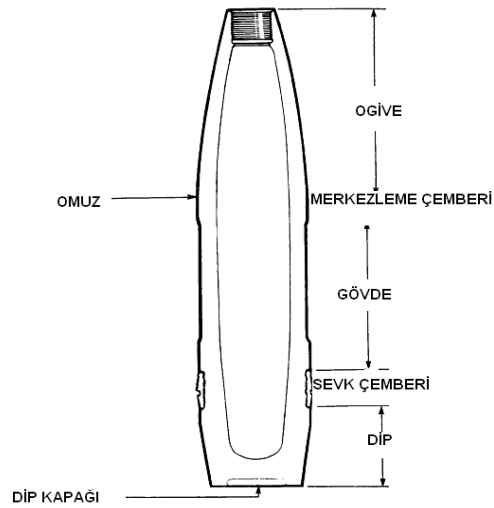
Şekil 0.6 Kovan

2.5.2 Ateşleyici

Primer patlayıcı olarak bilinen ateşleyiciler, barutun yanması için gereken ilk ateşlemeyi sağlamakla görevlidirler. Sevk barutlarına göre daha yüksek hızda yanan patlayıcı grubundadırlar. Bazı mühimmatlarda ateşleyici olarak bilinen en eski barut olan ilkel barut olarakta, adlandırılan kara barut kullanılmaktadır.

2.5.3 Mermi

Mermi kompleksi tapasız olarak şekil 2.7’de gösterilmektedir. Her bir bölümün açıklaması ise aşağıda verilmektedir.



Şekil 0.7 Mermi ve bölmeleri

- **Ogive:** Merminin önünde ona aerodinamiğini veren eğimli kısımdır. Burun direnci üretir.

- **Omuz:** Merkezleme çemberinin ogive ile karşılaşma noktasıdır.
- **Merkezleme Çemberi:** Omuzun hemen gerisinde dikkatlice işlenmiş namlunun üzerindeki alanda devam eden bölümdür. Mermiyi namluda merkezleyerek namlunun titreşimini ve sallanmasını engeller.
- **Gövde:** Merminin en büyük parçasıdır. Merminin yükünün bulunduğu bölümdür.
- **Dip:** Sevk çemberinin arkasında genel olarak konik şeklinde olan merminin dip bölümüdür.
- **Dip Kapağı ve Dip Tamponu:** Dip kapağı tahrip (Patlayıcı HE) mermilerinde küçük deliklerden veya yarıklardan sıcak gazların içeri girmesini engelleyen kaynaktır.
- **Sevk Çemberi:** Merminin namlu yiv ve setlerine tam olarak oturmasını, sevk barutunun yanmasıyla açığa çıkan gazların dışarı kaçmasına engel olan banttır. Ayrıca merminin kararlı dönü hareketi yapmasını sağlar. Yivli teçhizatlardan ateşlenmeye elverişli tüm mermilerde sevk çemberi bulunmaktadır. Bir mermi üzerinde sevk çemberinin varlığı, mermi harekete başlamadan önce basıncın yeterli değere ulaşmasını sağlamak için direnç kuvvetine neden olur. Sevk çemberi malzemesinin namluda aşındırma yapmaması için yeterli yumuşaklıkta, fakat soyulmayacak kadar sert olması gerekmektedir. Bu nedenle sevk çemberi malzemesi olarak bakır, altın kaplama, sentetik kauçuk veya naylon tercih edilmektedir (Şekil 0.8).



Şekil 0.8 Mühimmat sevk çemberi

2.5.4 Patlayıcı maddeler

Patlayıcılar, ısı, vurma/çarpma, sürtünme ve şoka tabi olduğunda çok hızlı bir şekilde bozunarak yüksek sıcaklık ve basınçta gaz üreten ve bu sırada yüksek genlikli ses dalgaları oluşturabilen maddelerdir. Yüksek patlayıcılar tarafından üretilen gazlar, orijinal malzeme hacminin 10.000 katına kadar genişleyebilir. Patlayıcı enerjisini, enerji üreten bir tesis ile karşılaştırıldığında; 550 MW/yıl enerji üreten bir tesis için (1MW = 238 kcal/s) üretilmiş enerji:130900 kcal/s dir. 1 kg patlayıcı (1000 kcal/kg) 1 m'lik kolona yerleştirilmiş ise 4000 m/s hızla patlayan patlayıcı 4800000 kcal/s ısı açığa çıkarır. Bu durumda 1 kg patlayıcının patlama sırasında açığa çıkardığı enerji, enerji üreten bir tesisin yılda ürettiği enerji miktarının 37 katıdır. Patlayıcıların temelini oluşturan kimyasallar içeriklerine göre çizelge 2.1'de verilmektedir (Anonymous 1992).

Çizelge 0.1 Patlayıcı çeşitleri

Malzeme	Test Miktarı (g)	Yoğunluk (g/m ³)	Patlama Hızı (m/s)
TNT	475	1.56	6 900
Amonyum nitrat		0.90	2 700
Nitrogliserin	58 7	1.60	7 700
Nitroselüloz	487	1.20	7300
PETN	612	1.70	8 300
Tetryl	540	1.71	7 850
Picnic acid	479	1.70	7 350
Explosive "0"	368	1.63	7150
Nitro guadin	368	1.55	7650
ROX	590	1.70	8 350
Composition B	53.0	1.66	7800
Tcxpex	582	1.81	7 600
Composition A-3	51.0	1.59	8100
Composition C-3	530	1.60	7 625
Composition C-4	557	1.59	8 040
Mercury fulminate	221	4.17	5400
Oazodmitrophenol	456	1.58	6900
HMX	604	1 84	9124

2.5.5 Tapa

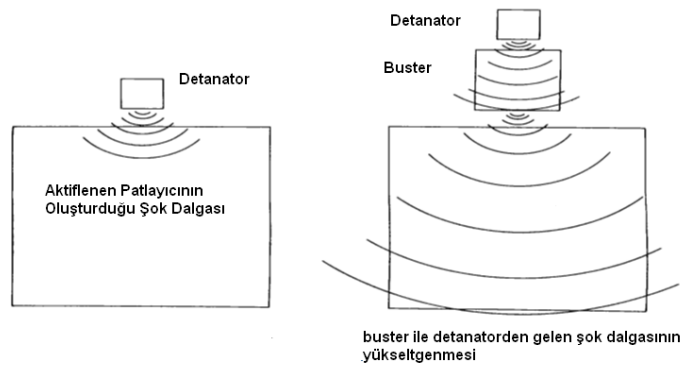
Mermi içindeki patlayıcıyı veya kimyasalın aktive olmasını sağlayan başlatıcıdır. Kullanım amaçlarına göre zaman ayarlı, çarpma, elektronik veya gecikmeli olarak çeşitlendirilmişlerdir (Şekil 2.9).



Şekil 0.9 Tapa

2.5.6 Busterler

Busterlar nispeten (çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilere karşı) duyarsız yüksek patlayıcılardır. Başlatıcı tarafından küçük bir uyarı verilerek ana patlayıcının aktive olması için gereken şok dalgasının oluşmasını sağlarlar. Busterler tapa ile birleştirilmiştir. Birçok buster tipi namlu güvenlik mekanizması sağlar.



Şekil 0.10 Buster kullanımı ile şok dalgasının yükseltgenmesi

Busterler genellikle bir veya daha fazla patlayıcı ile katılanmış buster barutu içerirler. Tapanın aktive olmasıyla oluşan patlama dalgasını şekil 2.10'daki gibi yükselterek mermi gövdesi içindeki patlayıcının aktive olmasını sağlar.

2.5.7 Kara Barut

En az iki veya daha fazla farklı inorganik bileşikten oluşan ve ilkel barut olarak da adlandırılan bu barutlar, takriben %75 potasyum nitrat, %15 odun kömürü ve %10 kükürtten ibaret fiziksel bir karışımdır. Öğütölüp karıştırılıp, preslenerek katı bir kütle haline getirildikten sonra tekrar kırılır elekten geçirilir, grafitle cilalanarak ambalajlanır.

Kara barut çok kolay tutuşan bir maddedir. Açık alev, kapsül alevi veya elektrik kıvılcımı tutuşması için yeterlidir. Kara barut yanma sırasında kendi hacminin 300 katı kadar gaz ürün verir. Tutuşma sıcaklığı 457 °C olup, yeteri şiddette bir darbe ile örneğin 5 kg çelik silindirin 1 m mesafeden düşürülmesinde tutuşabilir.

Yanma ürünlerinde CO, H₂S gibi zehirli maddeler bulunduğundan yakıldığında ortamın havalandırılması gerekmektedir. Nemli ortamlar olmadığı sürece sonra kara barut oldukça kararlıdır. 12 °C'ye kadar ısıtıldığında bir değişikliğe uğramaz, ancak 70 °C'den itibaren kükürt uçmaya başlayacağından bileşimi değişir. Yoğunluğu 1.72–1.77 g/cm³ tür.

Kara barut yüzyıllardır kullanılmasına rağmen günümüz koşullarında mermileri hızlandırmak için yeterli performansa sahip değildirler. Çünkü mermi hareketi sırasında düzensiz balistiğe neden olurlar. Çok fazla duman üretilir kalıntı bırakırlar. Neme karşı çok duyarlıdır. Bu nedenlerden dolayı günümüzde kara barutun yerini modern tipte sevk barutları almıştır.

2.5.8 Sevk barutları

Sevk barutu dış ortamdan oksijen almaksızın kısa zamanda 300–800 m/s arasında yanma hızına sahip olan, yanma sıcaklığı (2000°C) ve yanma enerjisi (1000 kcal/kg) ile gaz basıncı (5000 kg/cm²) veren maddelerdir. Sevk barutların ortak özelliği yandıkları

yeri tahrip etmeden bir kütleye hız verebilmeleridir. Sevk barutlarının tutuşma sıcaklığı 175–200°C arasındadır. Sevk barutları kendi hacminin 800 katına kadar gaz oluşturabilirler. Yandıkları yeri tahrip etmeden bir kütleye hız verebilirler. Stabilizesi çok iyi, nem ve suya karşı dayanıklıdır. 30–40 yıl süre ile bozulmadan muhafaza edilebilirler.

Silah sisteminin yanma odasında sevk barutunun kimyasal enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Isı enerjisi, oluşan gazlarının basıncının da artırması ile kinetik enerjiye dönüşüp, itki kuvvetini oluşturarak merminin hareketlenmesini sağlar. Bu nedenle sevk barutu iç balistikteki olayları etkileyen en önemli faktördür. İdeal bir sevk barutu:

- Düşük sıcaklık ve basınçta mermiye maksimum hız sağlayacak şekilde düzenli ve hızlı yanma sağlamalıdır.
- Flaşsız ve dumansız olmalıdır.
- Zehirli olmamalıdır.
- Silahta aşınma yapmamalıdır.
- Atmosfer koşullarından ve sıcaklık değişkenliklerinden etkilenmemelidir.
- Hidroskopik olmamalıdır. Hidroskopi; havadan nem soğurma eğilimidir.
- Nemden etkilenmeyen bir barut daha uzun süre depolama şartlarına sahiptir.
- Stabil olmalıdır. Stabilizer; barutun kendinden ateşlenmesini engellemek için kullanılan kimyasal katkılardır. (U.S. Army Defense Ammunition Center Logistics Review and Technical Assistance Office 1998)

Birçok barut bileşiminde yakıt elemanı ile onu oksitleyen ve katalizör olarak görev yapan bileşikler barutun içine bağlayan plastizer olarak adlandırılan kimyasal katkı maddeleri bulunmaktadır.

Piobert yanma yasası (paralel katmanlar yanma yasası) evrensel olarak tüm balistikçiler tarafından barutun yanmasını açıklayan bir yasa olarak kabul edilmiştir. Parçacıkların tüm yüzeyinin eş zamanlı tutuşması ve paralel tabakaların yer alması vasıtasıyla yanma meydana gelir. Yanan sevk barutu parçaları namludan toptan dışarı atılır. Yanmamış tanelerin şekilleri korunmuş olarak bulunur. Başka bir deyişle eş zamanlı ateşleme

tanelerin tüm yüzeylerinin yanan paralel tabakalarının yerini alır. Tıpkı sabunun su içerisinde erimesine benzetilirse yanma olayı daha net açıklanabilir. Sabun geometrik şeklini koruyarak zamanla azalır. Benzer şekilde barut yanması sırasında geometrik şeklinin değişmeden zamanla azalması Piobert yanma yasası olarak açıklanmaktadır.

Tarihçesi geçen yüzyılın ortalarında nitro selülozun keşfinden sonra başlamıştır. Nitro selüloz (NC) nitrat ve sülfat asitlerinden oluşur. Çözünürlüğü yüksek olan oniki azotlu ve çözünürlüğü az olan onüç azotlu iki tür nitro selülozun belirli oranlarda karışımına şartname hükümlerine göre yeterli ortamlarda difenilamin, dibutil ftalant, santralit, dinitrotoluen ve gerekli başka katkı maddeleri eklenerek hamur haline getirilir. Kütle özel kalıplı preslerden geçirilerek biçimlendirilir. Kesme, kurutma ve gerekirse cilalamadan geçirilerek bir süre olgunlaşmaya bırakılır. Nitroselüloz (NC) jelâtinli sevk barutlarının bilinen en iyi örneğidir. İmalat sırasında NC genellikle alkol veya eter gibi uçucu çözücülerle jelâtinize edilmiş bir karışımdır. Nitrasyon sürecinde NC'nin çökmesine neden olabilecek asitleri dengeleyecek katkılar eklenir. Elde edilen bu plastik kütle, hidrolik extraksiyon presleme yöntemi ile şerit, silindirik, boru gibi şekillere dönüştürülür. Hafif silah mühimmatı için pul, silindirik küresel topçu mühimmatı için tek ve çok delikli silindirik çubuk şerit biçimlerde, havan mühimmatı için dairesel ya da kare yapraklar halinde, roket mühimmatı için çubuk yıldızlı delik, rozet delikli haç kesitli gibi değişik formatlarda şekillendirilebilir. Kaliteli üretilmiş bir sevk barutu bozulmadan 50 yıl bile depolanabilir.

Bu sevk barutlarına nitroguadin (güvenlik sebebiyle picrite) eklenerek erozyon azaltılmaya çalışılır. Nitroguadine soğuk patlayıcıdır. Nitrojen içeriği bakımından zengindir. Kimyasal ayrışma sırasında yüksek nitrojen içeriği daha kapsamlı daha soğuk daha enerjik gazlar oluşturur. Bu barutların yanma reaksiyonları yavaş olduğu için flaş azalır. Ayrıca dengeleyici olarak da rol oynar. Sevk barutların namlu ömrünü uzattığı söylenebilir. Bu tür barutların dezavantajı sıcaklığın düştüğü ortamlarda yanma sonucu ortaya çıkan enerji azalır ve daha fazla baruta gereksinim duyulur.

Bazı barut bileşimlerinde ise yanma yüzeyindeki yanma hızını artıran geciktirici gibi verilen kimyasal katkılar bulunmaktadır (Anonymous,1992).

Çizelge 2.2 Sevk barutu kimyasal bileşikleri

Amaç	Hidros. azaltıcı	Stabilizer	Plastiser	Geciktirici	Alev Sıcaklığı Azaltıcı	Flash azaltıcı	Namlu erozyon azaltıcı	Elektriksel iletkenlik artırıcı	Yanma Hızı Kontrolü	Oksijen Kaynağı	Nem Önleyici Kaplama
Malzeme											
Nitrogliserin	X		X							X	
Nitroguadin					X	X	X				
Dinitrotoluen	X		X	X			X		X		X
Metalsentralit			X	X			X		X		
Etilsentralit	X	X	X	X	X	X	X		X		X
Difenilamin		X									
Dibutiloftalat	X		X	X	X	X	X		X		
Dietilfatalat						X	X		X		
Baryumnitrat						X					
Potasyum nitrat						X					
Potasyumperclorat						X			X	X	
Potasyumsülfat						X					
Grafit								X			

Büyük kalibre mühimmat barutları genel anlamda yukarıdaki birçok katkı kimyasalı ile birlikte Nitroselüloz içeren barutlardır. Sevk barutu yalnız Nitroselüloz kimyasalına dayandığında tek bazlı barut olarak adlandırılır. Başka tipi çift bazlı olarak adlandırılan çoğunlukla Nitroselüloz ve nitrogliserin kimyasallarından oluşur. Üç bazlı sevk barutu ise nitroguadin nitrogliserin ve nitroselüloz kimyasallarından oluşan sevk barutlarıdır.

Genel olarak sevk barutu tane olarak bilinen küçük geometrik parçacıklardan yapılmıştır. Bu danelerin tümünün ağırlığı **barut hakkı** olarak adlandırılır. Barut hakkı ateşleme sıcaklığına getirildiğinde sevk barutunun kompleks molekülleri yanarak daha basit barut gazlarına dönüşür. Her bir barut taneciğinin dış yüzeyi ateşleyiciden aldığı ısı tarafından ateşleme sıcaklığına getirilir. Ateşleme olduğu zaman sevk barutunun her bir parçası tüm yüzeyinden yanar ve gazlar yüksek sıcaklıkta namlu içinde yayılırlar (1700 °C den 3000 °C dereceye kadar).

2.5.9 Büyük kalibre mühimmat barutları

Büyük kalibre mühimmat barutları çeşitli organik ve inorganik katkıların bulunduğu temel yapı taşı nitroselüloz olan yanma hızları kontrol edilebilir patlayıcılardır. Yanma hızını kontrol etme sevk barutunun kimyasal bileşimi ya da taneciğin geometrik şeklini değiştirmekle mümkün olmaktadır. Daha büyük yüzey alanı bir sevk barutunda daha fazla gaz açığa çıkmasına neden olur. Farklı tip silahlar için farklı şekillerde sevk barutu imal edilir. Büyük kalibre mühimmat için üretilen bazı barutların geometrileri şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 0.11 Barut çeşitleri

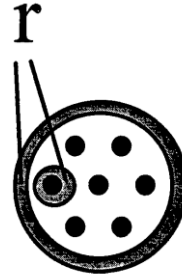
Silindirik (cord) : Silindirik şekle sahip barutlarda yanma zamanı silindirin çapına (D) bağlıdır. Yanma dışardan içe doğru olduğundan yanma yüzeyi zamanla azalır (silindirin yüzey alanlarının azalmasından dolayı). Kararlı ve sürekli bir basınç elde edilemez. Bu

şekildeki barutlarda yanma eylemleri regressive (gerileyen) olarak adlandırılır. Genellikle hafif silah mühimmatlarında kullanılmaktadırlar (Anonymous 1992).

Tek Delikli Silindirik: Bu tipteki barutların yanma sırasında dış yüzeyleri küçülür (dıştan içe yanma), iç yüzeyleri ise büyür (içten dışa doğru yanma). Toplam yüzey alanı sabit kalacağı için silindirik barutlara göre daha kararlı ve sürekli bir basınç elde edilebilir. Bu taneciklerin yanma eylemleri de nötr olarak kabul edilir. Ağır silah mühimmatlarında kullanılmaktadırlar (Anonymous 1992).

Çok Delikli Silindirik: Çok delikli barut taneciklerinin yanması sırasında toplam yüzey alanı artar. Sonuç olarak biriken basınç süreklilik gösterir. Bu parçacıkların yanma eylemleri progressive (ilerleyen) olarak adlandırılır (Anonymous 1992).

Progresiflik: barut tane progresivitesi yanma olayı tamamlandıktan sonra yanmamış yüzey alanının yanmış yüzey alanına bölünmesi ile elde edilir (Anonymous 1992).



Şekil 0.12 7 Delikli barut

Şekil 0.12’de 7 delikli barutta yanmış yüzeyler arası mesafe r ile gösterilmektedir. Gölge alanı yanmış yüzey alanını göstermektedir. Bu tür barutlarda yanma olayı $r = \text{web}/2$ olana kadar devam eder. Tanecik yüzey alanı dış yüzey alanı, delik yüzey alanı, her iki ucundaki alanı olmak üzere üç parçaya bölünmüştür.

$$A_0(\text{Dış Yüzey}) = \pi(D - 2r)(L - 2r)$$

$$A_p = \pi(pd + 2r)(L - 2r)n$$

$$A_e = \left(\frac{\pi}{2}\right)[(D - 2r)^2 - n(pd + 2r)^2]$$

$$r = f(\text{fraksiyon}) \times \text{web}/2$$

$$d = \text{Dış Çap}$$

r = yanmış yüzeyler arası mesafe

L =barut uzunluğu

p_d =delik çapı

n =delik sayısı

PROGRESİVİTE $P=[A_0(r)+A_p(r)+A_e(r)]/[A_0(0)+A_p(0)+A_e(0)]$

Yanma olayı ile katı barutun gaza dönüşmesi gerçekleşir. Yanma olayı barutun yüzeyinde gerçekleşir. Gazın yayılım hızı barutun yüzey alanının yanma miktarına bağlıdır. Bu nedenle barutun şekli çok büyük önem taşımaktadır (Anonymous 1992).

Top barutlarının taneleri genel olarak silindirik biçimli, tek ya da çok delikli olmaktadır. Boyutları ise kullanıldıkları silahlara dolayısıyla barut hakkı miktarına göre değişmektedir.

Barut geometrisi "web thickness" örgü kalınlığı diye bilinen nicelik ile karakterize edilir. Burada örgü kalınlığı için "w" sembolü kullanılacaktır. Örgü ilk barut taneciğinin en küçük kalınlığıdır (Anonymous 1965).

Silah sistemlerine ait iç balistik analizleri yapılırken ne kadar gazın salındığı, ne kadar katı barut kaldığı takip edilmek zorundadır. Çünkü kullanılan tüm denklemlerde yanma hızını, basınç ve sıcaklık kadar salınan gaz hacminin de etkilediği görülmektedir.

Yanan sevk barutunun basınç gelişimi seçilen sevk barutunun şekli, büyüklüğü, kullanım miktarı ve kimyasal bileşimi ile kontrol edilir. Bütün bu anlatılanlar mermi yatağının boyutu, merminin ağırlığı ve merminin yüzey alanı ile silahın hazne hacmi namı boyunun doğrudan ilgilendirmektedir. Bu sebepten bir sevk barutu bir silaha ve mühimmata uygun olurken başka bir silaha ve mühimmata uygun olmayabilir. İdeal olanı bir sevk barutunun yalnız bir silahta ve mühimmatta kullanılmasıdır.

2.6 Enerji Dağılımı

Barutun yanması ile açığa çıkan enerjinin namı içinde dağılımı çizelge 2.3'te verilmiştir (Anonymous 1965).

Çizelge 2.3 Barutun yanması sonucunda açığa çıkan enerjinin dağılımı

	Toplam %
Merminin Harekete Geçmesi	32.0
Sevk Çemberi ile Namlu Yüzeyi Arası Sürtünmesi	2.0
Barut Gazları Hareketi	3.0
Topta ve Mermide Isı Kaybı	20.0
Gazların Duyarlılığı ve görünmeyen Isı Kaybına	42.0
Geri Tepme Parçalarının Hareketi ve Mermi Dönüsü	1.0
Toplam	%100

2.6.2 Enerji denklemi

İç balistik hesaplamalarda kullanılan matematiksel denklemlerin temeli enerji korunumu yasasına dayanmaktadır. Çünkü namlu içindeki hareket yanan barut tanelerinin enerjisinin mermiye aktarılması ile meydana gelmektedir. Açığa çıkan bu enerjinin ancak bir kısmı mermiye hız kazandırabilmektedir. Bu nedenle hareket denklemlerinde enerji kayıpları hesaba katılmalıdır.

Toplam Enerji=Barut Gazlarının İç (ısı) Enerjisi+ Kinetik Enerji+Diğer Enerji kayıpları

$$Q = U + W + \text{Kayıp} \quad (2.1)$$

Barutun yanması sonucunda açığa çıkan toplam enerji aşağıdaki denklemle verilebilir;

$$Q = \sum_{i=1}^n c_i Z_i \int_0^{T_{0i}} c_{vi} dT \quad (2.2)$$

Ortamın ısınması için harcanan (ısı) enerji;

$$U = \sum_{i=1}^n c_i Z_i \int_0^T c_{vi} dT \quad (2.3)$$

Mermiye aktarılan kinetik enerji;

$$W = A \int_0^x P_b dx \quad (2.4)$$

U, W ve Q ifadeleri denklem 2.1 de yerine yerleştirilirse;

$$\sum_{i=1}^n c_{iZ_i} \int_{T_0}^{T_{0i}} c_{vi} dT = \sum_{i=1}^n c_{iZ_i} \int_0^T c_{vi} dT + A \int_0^x P_b dx + \text{Kayıp} \quad (2.5)$$

Sistemin c_{vi} öz ısı değeri değişimi T ile T_{0i} arasında olduğu için denklem 2.5 aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\sum_{i=1}^n c_{iZ_i} \int_T^{T_{0i}} c_{vi} dT = A \int_0^x P_b dx + \text{Kayıp} \quad (2.6)$$

Eşitliğin solundaki integral çözülürse;

$$\sum_{i=1}^n c_{iZ_i} c_{vi} (T_{0i} - T) = A \int_0^x P_b dx + \text{Kayıp} \quad (2.7)$$

Sonuç olarak T yalnız bırakılırsa sıcaklık eşitliği elde edilir.

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n c_{iZ_i} c_{vi} T_{0i} - A \int_0^x P_b dx - \text{Kayıp}}{\sum_{i=1}^n c_{iZ_i} c_{vi}} \quad (2.8)$$

Barut yanması sonucunda oluşacak enerji barutun oluşturacağı basınç kuvveti ile ilgilidir. Her bir barut tanesinin oluşturacağı kuvvet aşağıdaki denklem ile tanımlanır. Barutun oluşturduğu kuvveti barut miktarı başına düşen enerji olarak tanımlanmaktadır. (Grollman ve Nelson 1977)

$$F_i = m_i R T_{0i} \quad (2.9)$$

Katı barutun yanması sonucunda oluşan gazın sabit basınç altındaki öz ısısının, sabit hacim altındaki öz ısısına oranıdır. (Grollman ve Nelson 1977). Barutun öz ısısı aşağıdaki denklemdeki gibidir:

$$c_{pi} - c_{vi} = m_i R \quad (2.10)$$

c_{pi} = Sabit basınç altında i 'ninci barutun öz ısısı

c_{vi} = Sabit hacim altında i 'ninci barutun öz ısısı

γ = Barut Öz ısı Oranı

$$\gamma_i = \frac{c_{pi}}{c_{vi}} \quad (2.11)$$

Her iki denklem birleştirilirse;

$$c_{vi}(\gamma_i-1)=m_i R \quad (2.12)$$

$$T_{0i} = \frac{F_i}{(\gamma_i-1)} \quad (2.13)$$

olarak bulunur.

2.8 ve 2.12 denklemi birleştirildiğinde ise enerji denklemi;

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{F_i c_i z_i}{\gamma_i - 1} + A \int_0^x P_b dx - \text{Kayıp}}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i c_i z_i}{\gamma_i - 1} T_{0i}} \quad (2.14)$$

şekline dönüşür. Birçok problem için ateşleyicinin tamamının t=0 anında yanmış olduğu kabulü yapıldığı için ateşleyicinin etkisi denklem 2.14'e aşağıdaki şekilde eklenir.

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{F_i c_i z_i}{\gamma_i - 1} + \frac{F_i c_i}{\gamma_i - 1} + A \int_0^x P_b dx - \text{Kayıp}}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i c_i z_i}{\gamma_i - 1} T_{0i} + \frac{F_i c_i}{\gamma_i - 1} T_{0i}} \quad (2.15)$$

F_i =Ateşliyi olarak kullanılan patlayıcının kuvveti

c_i =ateşleyici olarak kullanılan patlayıcının ağırlığı

Yapılan iş merminin kazandığı toplam kinetik enerjiye eşit olur.

$$A \int_0^x P_b dx = \frac{1}{2} \frac{W_p}{g} v^2 \quad (2.16)$$

Sevk çemberinin neden olduğu sürtünmeden kaynaklı enerji kaybı;

$$E_{pr} = A \int_0^x P_r dx \quad (2.17)$$

Eşitlik son şeklinde 2.18 denkleminde gösterilmiştir.

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{F_i c_i z_i}{\gamma_i - 1} + \frac{F_i c_i}{\gamma_i - 1} - \frac{v^2}{2g} W_p + \sum_{i=1}^n C_i - A \int_0^x P_r dx - \text{Kayıp}}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i c_i z_i}{\gamma_i - 1} T_{0i} + \frac{F_i c_i}{\gamma_i - 1} T_{0i}} \quad (2.18)$$

2.6.3 Hal denklemi

Merminin tabanında etkili olan dip basıncı bazı denklem serilerinden hesaplanır. Öncelikle gaz sıcaklığı enerji denklemlerinden hesaplanmaktadır.

İdeal gaz denklemi;

$$P_i V_i = m_i R T \quad (2.19)$$

Burada V_i i. barut gazının kütlesi başına düşen hacmidir. V_c ise barut gazlarının bulunacağı mermi ardında kalan hacim olarak tanımlanır.

$$V_c = V_0 + A x - \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\rho_i} (1 - Z_i) - \sum_{i=1}^n C_i Z_i b_i \quad (2.20)$$

V_0 =Silah haznesinin boş hacmi

ρ_i =i.katı barutun yoğunluğu

b_i =i. Barut tanesinin kovolum (eş hacim) değeri

$$V_i = \frac{V_c}{C_i Z_i} \quad (2.21)$$

Barut kuvveti ve ideal gaz denklemi ile birlikte yukarıdaki denklem (2.21) birleştirilirse i. barutun yanması sonucunda ortaya çıkan ortalama uzay basıncı denklemi;

$$P_i = \frac{F_i C_i Z_i T}{V_c T_{0i}} \quad (2.22)$$

şekline dönüşür.

b_i (co- volume) değeri T ile T_{0i} aralığında sabit kabul edilirse toplam basınç her bir barut tanesinin yanması sonucunda ortaya çıkan basıncın toplamı olarak alınır.

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = \frac{T}{V_c} \sum_{i=1}^n \frac{F_i C_i Z_i}{T_{0i}} + \frac{F_1 C_1}{T_{01}} \quad (2.23)$$

Denklem 2.23'de verilen ortalama uzay basıncı P herhangi bir zamanda barutun yanma fraksiyonuna göre hesaplanır. Bu ilişki barutun yanma hızı ile ilişkilidir. Ancak toplam basınç silah kamasından mermi dibine kadar sürekli değişmektedir. Bu nedenle

hesaplamalarda iki basınç birbirinden farklı olmaktadır. Bu basınç gradienti problemi Lagrange balistik problemi olarak tanımlanmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar Pidduck- Kent tarafından yapılmıştır. Pidduck-Kent çözümü Vinti ve Kravitz tarafından geliştirilmiştir (Winti ve Kravitz 1949).

$$P_b = \frac{p}{1 + \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{W_p \delta}} \quad (2.24)$$

Kama basıncı P_0 genellikle deneysel iç balistik çalışmalar sonucunda ölçülebilmektedir.

$$P_0 = \frac{P_b}{1 - a_0 \cdot n'^{-1}} \quad (2.25)$$

$$\frac{1}{a_0} = \frac{2n' + 3}{\delta} + \frac{2(n' + 1)}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{W_p}} \quad (2.26)$$

Ateşleyiciden dolayı oluşan basınç

$$P = P_1 = \frac{F_1 C_1}{V_c} \quad (2.27)$$

2.6.4 Kütle fraksiyonu yanma hızı

Hem denklem 1.22 hem denklem 1.17 yani cebirsel denklemler olan enerji ve hal denklemlerinin çözümleri lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemlerin çözümleridir. kütle fraksiyonu yanma hızı denklemi katı barutun yanma hızının yada yanma sonucu ortaya salınan barut gaz miktarını açıklamaktadır.

$$\frac{dz_i}{dt} = \frac{S_i r_i}{V_{g_i}} \quad (2.28)$$

$$S_i = f_i(z_i) \quad (2.29)$$

$$r_i = \beta_i(P)^\alpha \quad (2.30)$$

2.6.5 Hareket denklemleri

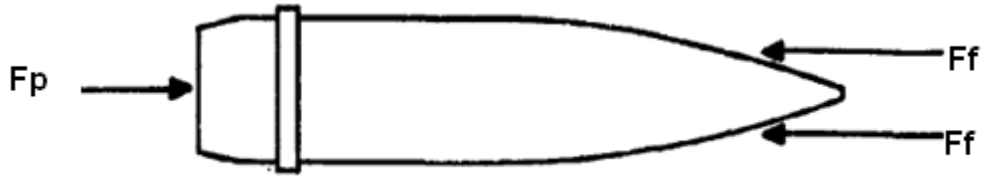
Bir cisme etkiyen F-kuvveti cismin m-kütlesi ve kazandığı a-ivme ile doğru orantılıdır:

$$F=ma \quad (2.31)$$

Aynı zamanda kuvvet A-yüzeyine uygulanan P-basıncıyla da doğru orantılıdır:

$$F_p=P_bA \quad (2.32)$$

Yukarıdaki denklemler birleştirilirse, namlu içindeki mermiye etkiyen kuvvetler



Sürtünme kuvveti

$$F_f=P_rA \quad (2.33)$$

$$a=\frac{A(P_b-P_r)}{m} \quad (2.34)$$

$$v = \int_0^t a dt \quad (2.35)$$

$$x = \int_0^t v dt \quad (2.36)$$

2.6.6 Kütlece yanma hızı

Kütlece yanma hızı aynı zamanda ortama salınan gaz kütlelerinin hızıdır:

$$\frac{dc}{dt} = \rho S B P^a \quad (2.37)$$

2.6.7 Yanma yüzey alanı

Yanma yüzey alanı aşağıdaki denklemle verilebilir:

$$S = \frac{2C}{\rho w} \quad (2.3)$$

3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Sayısal İntegrasyon Yolu ile İç Balistik Simülasyonu

Sayısal çözüm yöntemi, istenilen hassasiyette ve belirli sayıda ardışık tekrar işleminden (iterasyon) sonra matematiksel probleme çözüm getirir. Sayısal çözüm yöntemleri, aritmetik ve mantıksal işlemlerden oluşur. Bu işlemlerin tümüne, ALGORİTMA ismi verilir. Algoritma, belirli sayıda işlemten sonra probleme çözüm getirir. Özet olarak, sayısal yöntemler, matematiksel problemlerin aritmetik işlemlerle çözülebilmesi için geliştirilen tekniklerin genel ismidir.

İç balistik analizlerde merminin namlu içinde hareketi sırasında oluşan mermiye ait hız, çizgisel ve açısal ivme, mermi ardında oluşan basıncı hesaplanabilir. Bu çalışmada yapılan analizlerde iç balistik simülasyonları için modifiye edilmiş Baer–Frankle (Baer ve Frankle 1962) metodu kullanılmıştır. İç balistik denklemlerin çözümleri oldukça zor ve zaman alıcıdır. Çünkü farklı kimyasal ve geometrik yapıdaki barutların, silah ve mermi özelliklerinin etkisi iç balistik denklem çözümlerini daha karmaşık bir hale dönüştürmektedir. Bu nedenle bilgisayar yazılımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada analizlerde kullanılan Baer – Frankle kodunda kullanılan algoritma şekil 3.1’de verilmektedir.

3.1.1 Çeşitli barut tipleri için örgü kalınlığı

Çok delikli, tek delikli bar silindirik ve küresel barut tanelerinde web değerleri aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır. Çok delikli barutlarda delikler tane yüzeyine simetrik olarak yerleştirilmektedir. Aşağıdaki denklemlerde delik sayısına ve barutun şekline göre örgü ağ kalınlıkları verilmektedir (Anonymous 1965).

- Küresel Barut;

$$w = \frac{D}{2} \quad (3.39)$$

- Silindirik Barut;

$$w = D \quad (3.40)$$

- 1 Delikli Silindirik Barut;

$$w = \frac{1}{2} D - d \quad (3.41)$$

- 7 Delikli Silindirik Barut;

$$w = \frac{1}{4} D - 3d \quad (3.42)$$

- 19 Delikli Silindirik Barut;

$$w = \frac{1}{6} D - 5d \quad (3.43)$$

- 37 Delikli Silindirik Barut;

$$w = \frac{1}{8} D - 7d \quad (3.44)$$

3.1.2 Form fonksiyon denklemleri

- Silindirik Barut Taneciğinin ilk Hacmi

$$V_{gi} = \frac{\pi}{4} (D_i^2 - N_i d_i^2) L_i \quad (3.45)$$

- Kısmi Yanmış Barut Tanesinin Hacmi

$$V_{gi}(1-z_i) = \frac{\pi}{4} [(D_i - u_i)^2 - N_i (d_i + u_i)^2] (L_i - u_i) \quad (3.46)$$

u_i =herhangi belirli bir zamanda yanan barutun herbir yüzeyine ait mesafenin iki katı
(2w)

- Barut Tanesinin İlk Yüzey Alanı

$$S_{g0} = \pi [(D_i + N_i d_i)(L_i) + \frac{D_i^2 - N_i d_i^2}{2}] \quad (3.47)$$

- Kısmi Yanmış Barut Tanesinin Yüzey Alanı

$$S_i = \pi \left[[(D_i - u_i) + N_i(d_i + u_i)](L_i - U_i) + \frac{(D_i - u_i)^2}{2} - \frac{N_i(d_i + u_i)^2}{2} \right] \quad (3.48)$$

- Küresel Tanecik Hacmi Ve Yüzey Alanı Denklemleri

$$V_{gi} = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{D_i}{2} \right)^3 \quad (3.49)$$

$$V_i = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{D_i - u_i}{2} \right)^3 \quad (3.50)$$

$$S_{gi} = \pi D_i^2 \quad (3.51)$$

$$S_i = \pi (D_i - u_i)^2 \quad (3.52)$$

$$V_i = V_{gi}(1 - Z_i) \quad (3.53)$$

3.1.3 Newton-Raphson Yöntemi

Newton- Raphson yöntemini Taylor açılımından çıkarabiliriz ve bu yolla hata analizi de yapılır. tek değişkenli $f(x)$ fonksiyonun x_0 noktasında Taylor açılımını göz önüne alalım.

$f(x)=0$ denkleminin x kökü $[a_0, b_0]$ aralığında olsun. $f(a)*f(b)<0$, $f(x)$ sürekli ve $f(x)=0$ türevlenebilir olsun. $f(x)$ fonksiyonunun $(x_0, f(x_0))$ noktasındaki türevinden yararlanarak $f(x) - f(x_0) = f'(x_0)(x - x_0)$ ifadesi yazılabilir.

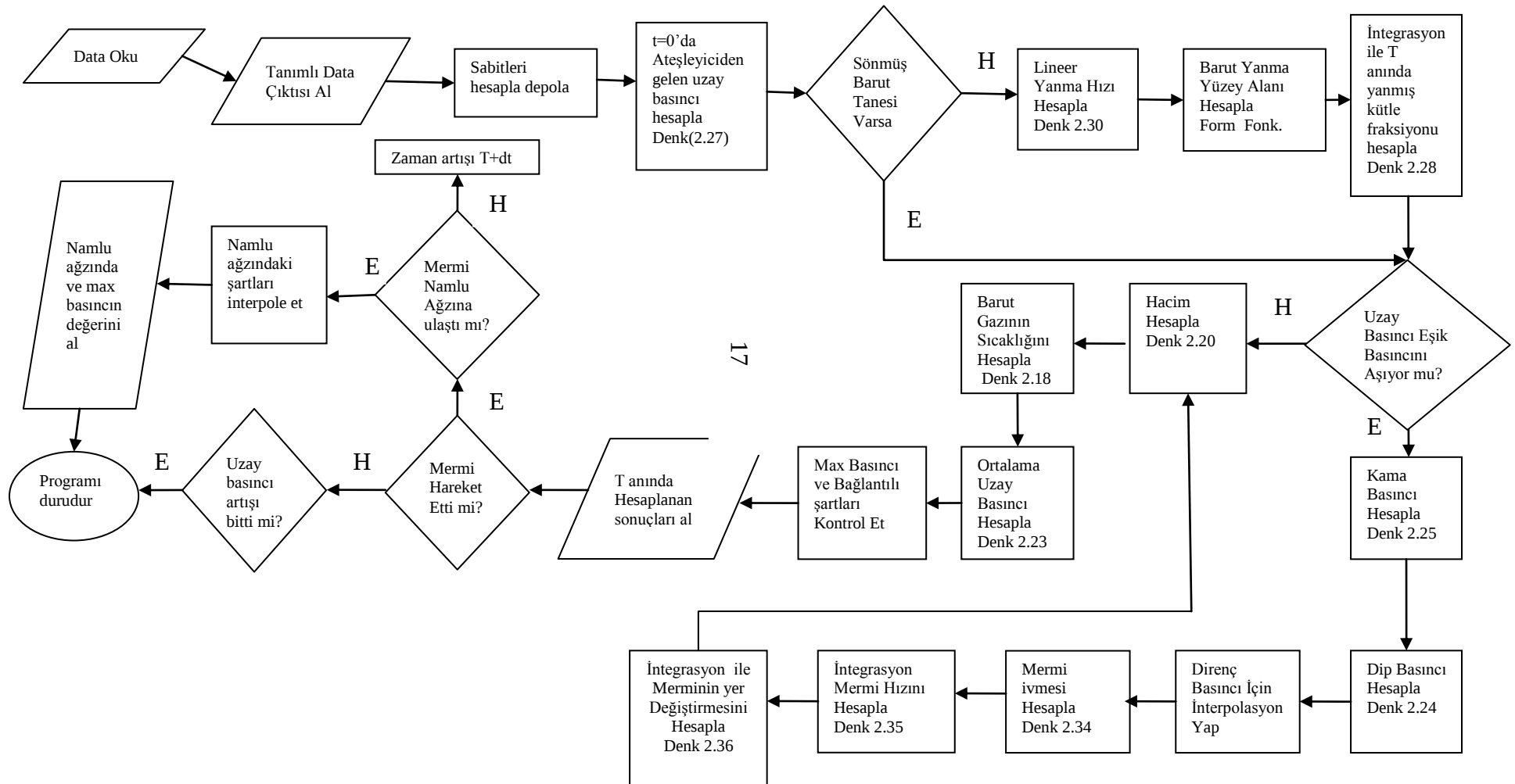
1.) $(x_0, f(x_0))$ noktasından $f(x)$ fonksiyonuna çizilen teğetin x eksenini kestiği yer x_1 olmak üzere $f(x)=0$ olduğundan $-f(x_0) = f'(x_0)(x_1 - x_0)$ $x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$ olarak bulunur.

2.) $(x_i, f(x_i))$ noktasından geçen teğet denkleminde teğetin x eksenini kestiği nokta x_2 olmak üzere:

$$x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)} \quad \text{veya} \quad x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

Böylece $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ dizisi elde edilir. Amaç bu dizinin yakınsak olması ve limitinde $f(x)=0$ denkleminin çözümü olmasıdır. Bu çalışmada numerik denklemin gerçek köklerinin yaklaşık değerlerinin bulunmasına yönelik Newton- Raphson Metodu için aşağıdaki denklemler kullanılır. Denklem 4.43'ün $f(u_i)=0$

$$f_{ui} = \frac{\pi}{4} N_{i-1} u_i^3 - L_i N_{i-1} - 2 D_i + N_i D_i - u_i^2 - \frac{\pi}{4} 2 L_i D_i + N_i d_i + D_i^2 - N_i D_i^2 - u_i + L_i \frac{\pi}{4} D_i^2 - N_i d_i^2 - V_{gi}(1-z_i) \quad (3.54)$$



Şekil 0.1 Analizlerde kullanılan toplar için iç balistik programı algoritması

4. ANALİZLER

Barut taneciklerinin yanması sonucunda oluşan basıncın etkisiyle mermi, silah sisteminden dışarı belli bir hızda çıkabilmektedir. Barutun yanması sonucunda oluşan bu basınç değeri, taneciklerin boyutu, konfigürasyonu, kimyasal birleşimi ve yük yoğunluğuyla ilişkilidir. Silah sistemlerinin performansı deneysel incelemelerde kullanılan basınç -yol veya basınç -zaman grafikleriyle ortaya konur.

Bu çalışmada “PRODAS”. Yazılımının iç balistik segmenti içinde bulunan “Modified Baer-Frankle Interior Ballistic Code” (Şekil 3-1) fonksiyonu kullanılmıştır (Baer ve Frankle 1962). Bu kod yanma sonucunda merminin namlu içinde hareketini sayısal integrasyon yolu ile hesaplamaktadır. Analiz için silah, mühimmat ve barut parametrelerinin programda kullanılması gerekmektedir.

Sayısal integrasyon veya integral alma işlemi, analitik olarak bir integralin alınmasının çok zor veya olanaksız olduğu durumlarda veya bir işlevin değerlerinin sadece belirli noktalarda bilinmesi durumlarında önem kazanır. Ayrıca integrasyon işlemlerini içeren veya gerektiren problemlerin bilgisayarla çözümünde kullanılan programlarda sayısal integrasyon yöntemlerinin kullanılması kaçınılmazdır. Gerçekte analitik integral, sayısal integrale göre çözülebilme kolaylığı ve sonucunun kesinliği ile üstünlük gösterir. Uzunluk, alan, hacim, enerji gibi pek çok büyüklüğün hesabında tek ve çok katlı integrasyondan yararlanılır (Brode ve Enstrom 1970).

4.1 Amaç

Bu çalışmanın amaçları;

- Matematiksel optimizasyon metodu kullanarak barut geometrisi tasarımı yapmak,
- Bir barutun performansını yalnızca geometrisini değiştirerek artırmak,
- Sonuç olarak, silah sistemlerinde kullanılan daha yüksek menzile sahip bir mühimmat elde etmek,

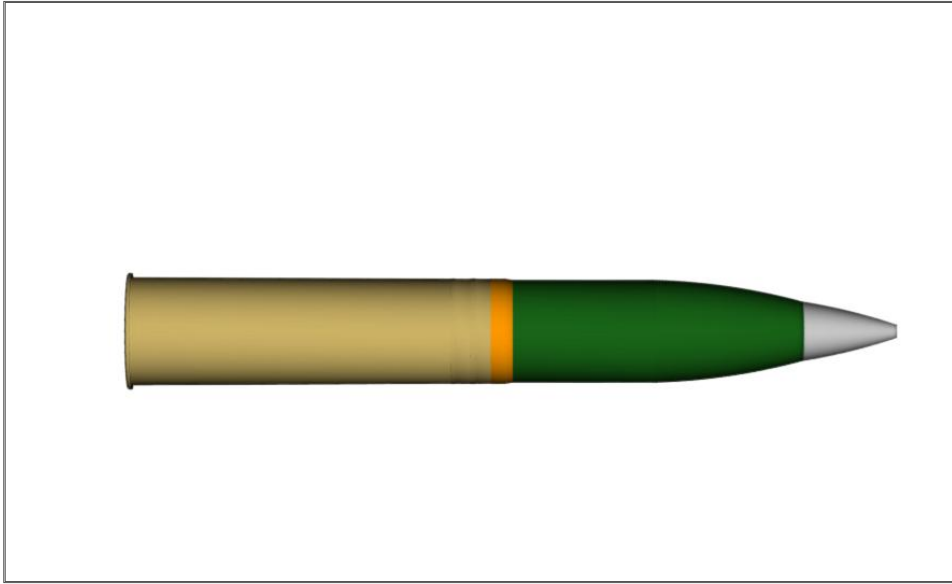
olarak belirlenmiştir.

Analizler beş aşamada gerçekleştirilmiştir.

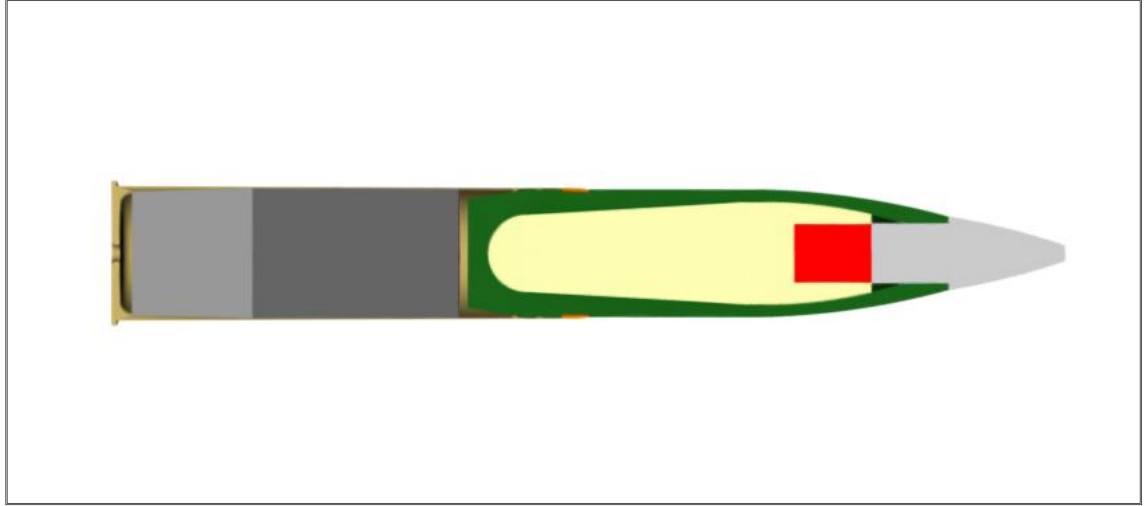
- İlk olarak analizlerde kullanılacak olan M1 mühimmatının katı modeli hazırlanmıştır (Şekil 0.1).
- İlk analiz doğrulama analizidir. Test atışlarında kullanılan silah mühimmat ve barut özellikleri ile aynı girdilere sahip bir analiz yapılarak elde edilen çıkış hızı ve basınç değerleri, gerçek atış değerleri ile karşılaştırılmıştır.
- İkinci analizde ise küresel, silindirik, 1, 7, 19 ve 37 delikli silindirik barut tanelerinin geometrik boyutlarını oluşturan dört farklı değişken parametre için dört farklı analiz yapılarak en etkili barut geometri tasarım parametresi tespit edilmeye çalışılmıştır.
- Bu çalışmada kullanılan barut geometrileri arasından en etkili geometri tespiti için yapılan diğer analiz ise üçüncü aşamayı oluşturmaktadır.
- Son aşamada ise tane boyutlarının tespiti için optimizasyon yapılmıştır.

4.2 Analizler Öncesi Yapılan Çalışmalar

Analizlere başlamadan önce analizlerde kullanılmak üzere M1 mühimmatının katı modeli yazılımın modelleme modülü ile hazırlanmıştır (Şekil 0.1). Modelleme yapılırken mühimmat renklendirilmiştir.



Şekil 0.1 M1 mühimmatı prodas katı modeli



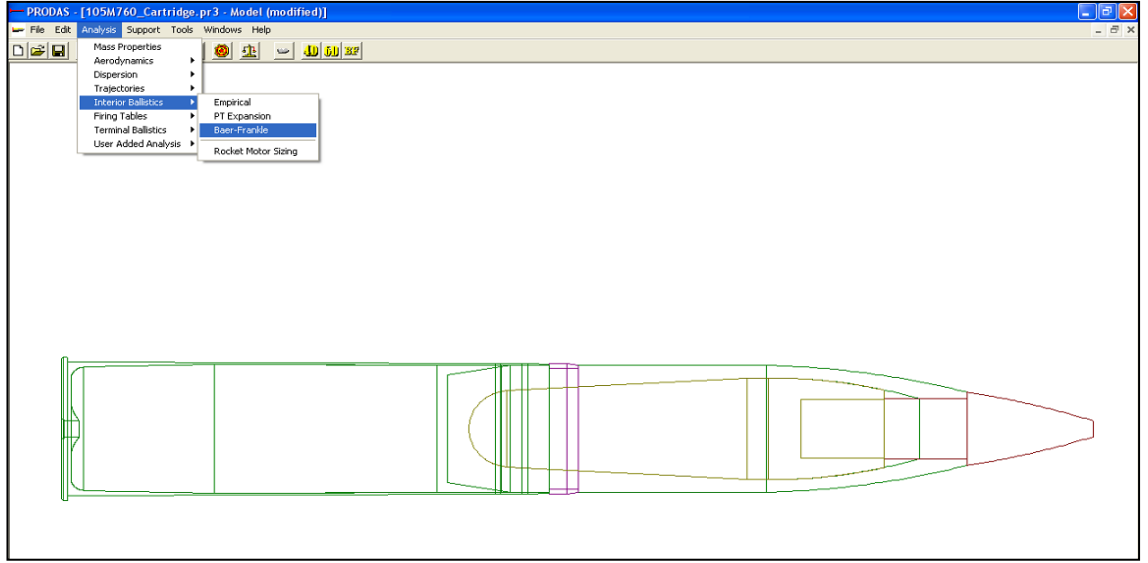
Gövde	
Buster	
Tapa	
Sevk Çemberi	
Patlayıcı	
Kovan	
Barut 1	
Barut 2	

Şekil 0.2 M1 mühimmatı kesit modeli

Şekil 0.2’de kesit modeli gösterilen mühimmatın “barut 1” olarak adlandırılan açık gri renk ile gösterilen bölümünde 1 delikli silindirik M1 barutu, “barut 2” olarak adlandırılan koyu gri renk ile gösterilen bölümünde 7 delikli silindirik M1 barutu bulunmaktadır. Silahın ateşlenmesinden sonra mermi ve kovan ayrılacak, silah mekanizması kovani dışarı atarken oluşan basınç ile mermiyi namlu içinde harekete geçirecektir. Namlu çıkış hızı hesaplanırken yalnızca merminin ağırlığı dikkate alınır.

İç balistik hesaplama yapabilmek için hazırlanan mermi modelinde tapa buster gövde ve patlayıcı ağırlıklarının gerçek değerler ile birebir olması gerekmektedir. Ayrıca sevk çemberinin neden olduğu direnç kuvvetinin neden olduğu etki yine iç balistik hesaplamalar açısından önemlidir. Bu yüzden sevk çemberi boyut ve malzemesi dikkatli seçilmelidir.

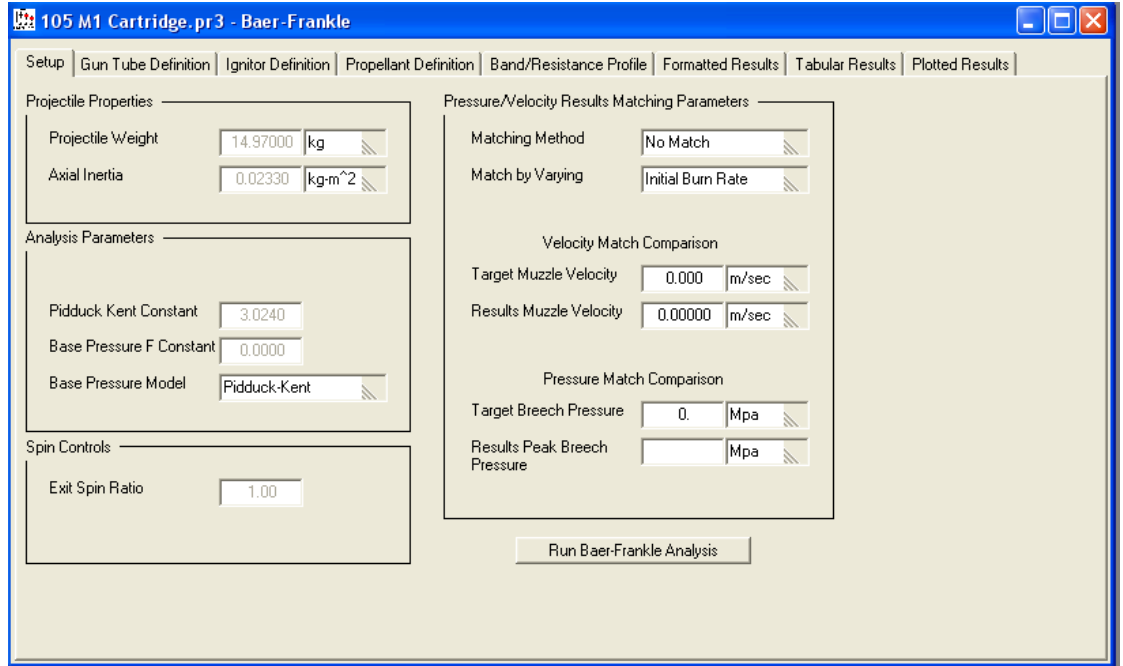
Modelleme yapıldıktan sonra iç balistik analiz yapılabilmesi için iç balistik analiz ara yüzüne geçilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 0.3 İç balistik ara yüzü

Baer-Frankle iç balistik bölümü analiz hazırlama menüsünde hedef basınç ve hedef çıkış hızı değerleri elle girilmiştir. Bu hedef değerler için yazılımın integrasyon hesabı yapması beklenmektedir (

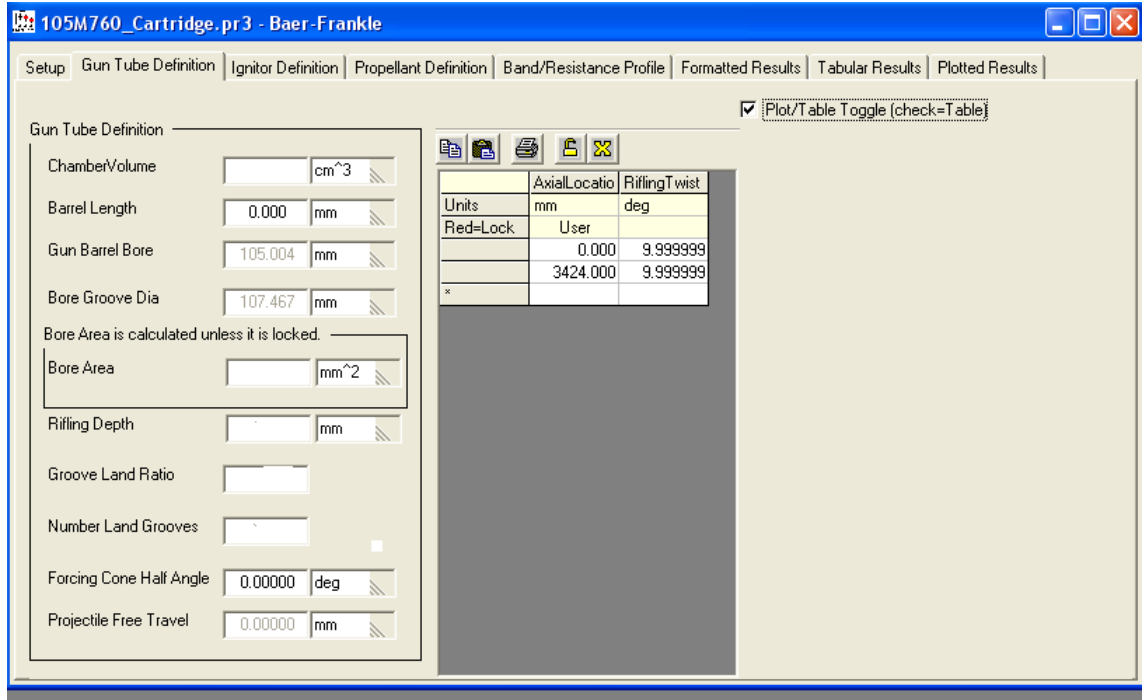
Şekil 0.4). Mermiye ait ağırlık, eksenel simetri gibi fiziksel özelliklerin değeri mermi modelinden otomatik olarak bu menüye gelmektedir.



Şekil 0.4 “Baer-Frankle” iç balistik bölümü analiz hazırlama menüsü

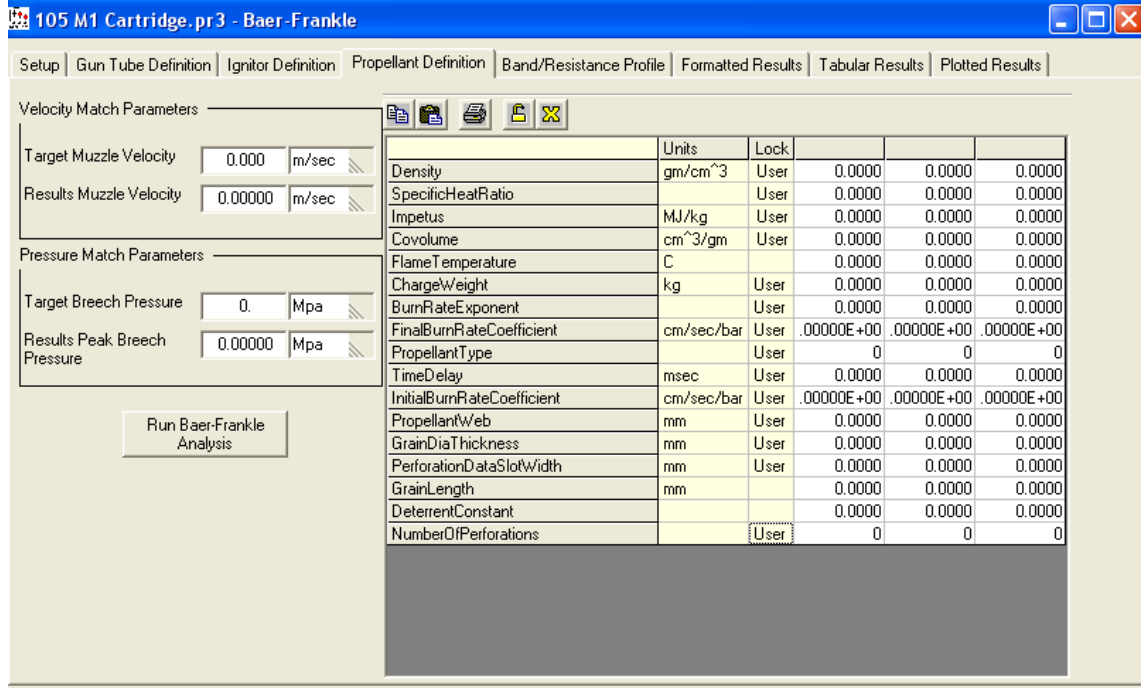
Analiz sonuçlarının test atışları ile doğrulanabilmesi için aynı özellikte silah sistemi kullanılması gerekliliği bulunmaktadır. Bu nedenle analiz girdisi olarak verilen silah sisteminin hazne hacmi, namlu boyu, namlu çapı, yiv ve set sayısı değerleri, test atışlarında kullanılan silah sisteminin değerleri ile aynıdır (Şekil 4.5)

Gerçek atışta kullanılan mermi özellikleri burada analiz yapılırken kullanılmış ve çalışma boyunca yapılan analizlerde aynı değerler kullanılmıştır. 24 kalibrelik 105 mm çapında bir silah sistemi kullanılmaktadır. 24 kalibrelik bir silah sisteminin namlu uzunluğu 1990 mm'dir.



Şekil 0.5 Silah özellikleri menüsü

Daha sonra ateşleyici ve barut parametreleri menülerinden gerçek barut parametre değerleri girilmiştir (Şekil4.6)



Şekil 0.6 Barut parametreleri menüsü

4.3 İç Balistik Analiz Sonuçlarının Gerçek Atış Sonuçları İle Karşılaştırılması

Bu bölümde test atışlarından elde edilen sonuçlar ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Test atışlarında kullanılan mermi ve barut parametreleri değerleri PRODAS yazılımında girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Analiz ve test atışlarında kullanılan barutun geometrik boyutları çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 0.1 Barut tanecik özellikleri

Barut tipi	1 Delikli	7 Delikli
Tanecik Çapı (mm)	1.0398	3.414
Tanecik Uzunluğu (mm)	8.89	8.89
Delik Çapı (mm)	0.254	0.254
Örgü Kalınlığı (mm)	0.3929	0.663
Delik sayısı	1	7

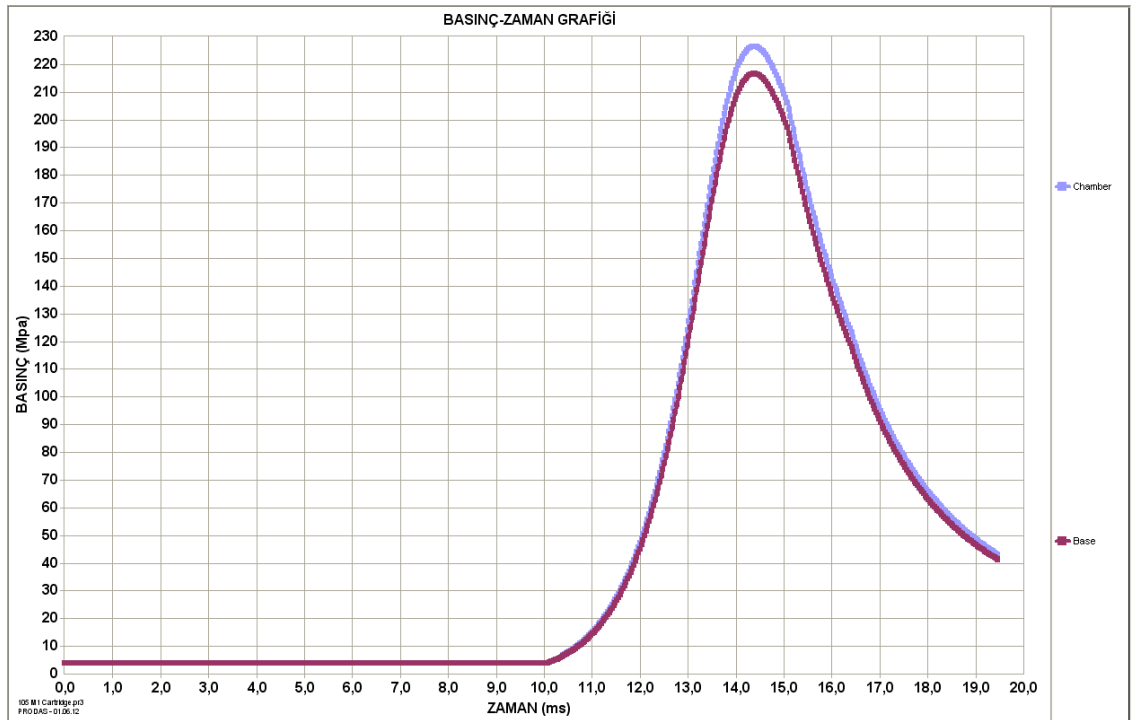
Velocity Match Parameters	
Target Muzzle Velocity	472.400 m/sec
Results Muzzle Velocity	474.43300 m/sec

Pressure Match Parameters	
Target Breech Pressure	224. Mpa
Results Peak Breech Pressure	226.41800 Mpa

Run Baer-Frankle Analysis

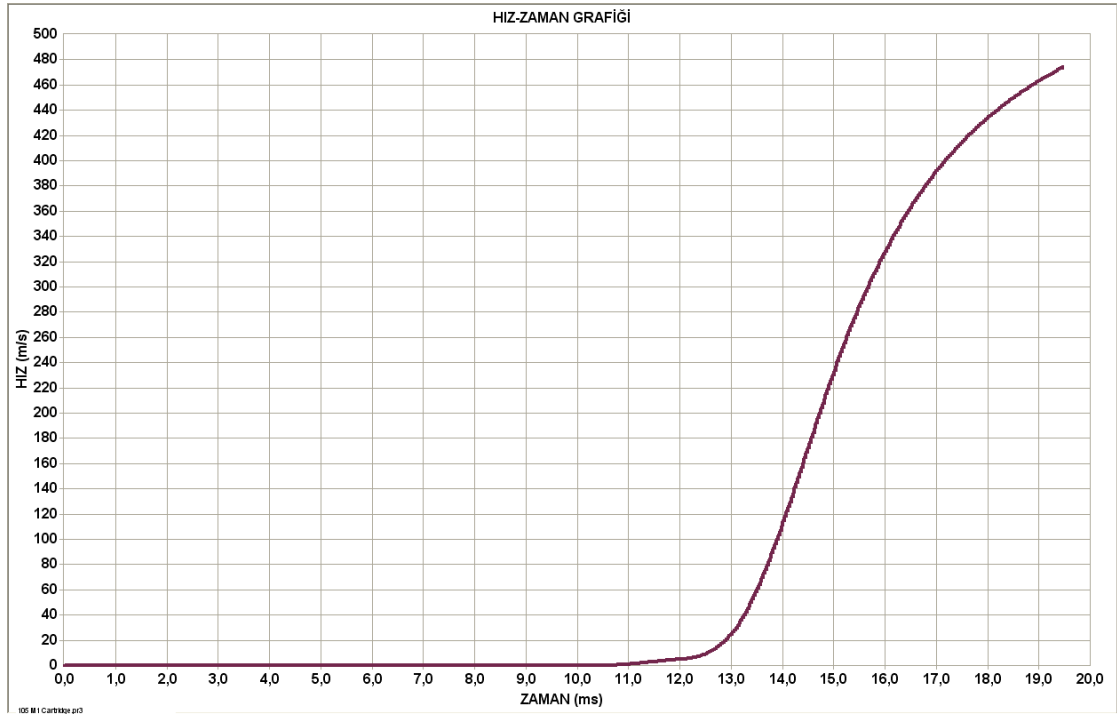
Şekil 0.7 PRODAS ile yapılan analiz sonucu

7 delikli ve 1 delikli M1 barutu kullanılarak yapılan test atışlarından elde edilen namlu içi basınç değeri 224 Mpa ve simülasyon ile elde edilen basınç değeri ise 226 Mpa olarak bulunmuştur (Şekil 4.7,4.8). Benzetişim yaparak elde edilen sonuç gerçek değere çok yakındır. Benzer şekilde test atışları sonucunda merminin namlu çıkış hızı 472 m/s ve benzetişim sonucunda elde edilen değer ise 474 m/s dir (Şekil 4.7,Şekil 4.9). Test atışları ile benzetişim arasındaki farklılıklar bazı parametrelerin daha benzetişim işleminde kullanılmasını gerektirmektedir.



Şekil 0.8 M1 barutu için basınç zaman grafiği

Şekil 0.8 grafiği, merminin namlu içinde hareketi boyunca zamana bağlı basınç değişimini göstermektedir. Mermi namlu içinden yaklaşık 19.5 ms gibi çok kısa bir zamanda çıkmaktadır. Şekilde iki farklı basınç-zaman eğrisi görülmektedir. Bu grafiklerden mavi eğri namlu haznesindeki basınç değişimini, kırmızı eğri ise mermi ardında kalan basıncı göstermektedir. Mermiye itme kuvveti veren de mermi ardındaki basınç değeridir.



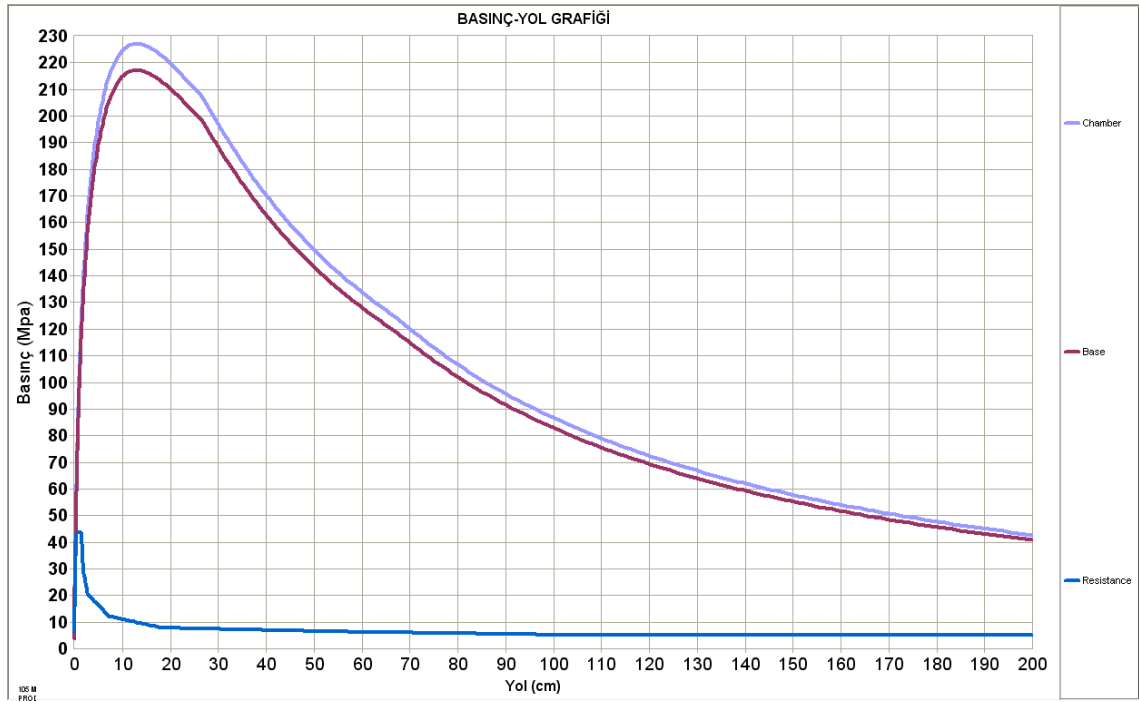
Şekil 0.9 M1 barutu için hız zaman grafiği

Şekil 0.9 merminin kazandığı kinetik enerji ile oluşan hız değerinin zamanla değişimini gösteren grafik. Grafikten görüldüğü üzere mermi hareketine 12 ms'den sonra başlamaktadır. Basınç zaman grafiğinde ise basıncın 10 ms sonra artmaya başladığı görülmektedir. Merminin basınç artışı ile aynı anda harekte başlayamamasının nedeni mermi ardında kalan basınç değerinin oluşturduğu kuvvetin sevk çemberi ile namluyüzeyi arasında kalan direnç kuvvetini ancak bu sürede geçerek mermiyi hareket ettirebilmesidir. Bu basınç değerinin eşik basıncı olarak adlandırıldığı daha önceki bölümlerde anlatılmıştır. Bu analiz için eşik basıncının grafikten 40 MPa değerinde olduğu tespit edilmiştir.

M1 barutu için yapılan analizler sonucunda çizelge 4.2’de verilen merminin namlu içinde aldığı toplam yol, namludan çıkış süresi ve maksimum basınca ulaşma süresi, maksimum basınca ulaştığı ana kadar merminin aldığı yol, ortalama namlu içi sıcaklığı, merminin kazandığı ivme, namlu çıkışında toplam itme gibi iç balistik sonuçlar verilmiştir

Çizelge 0.2 Özet iç balistik sonuçları

	P_{max}	Muzzle
Zaman (ms)	14.37	19.46
Yol (mm)	127.83	1980
Hız (m/s)	157.2	474.4
İvme (G s)	12523	2197
Kuyruk basıncı (Mpa)	226	43
Dip basıncı (Mpa)	217	41
Ortalama sıcaklık (K)	2250	1569
Kütle Fraksiyonu Barut 1	0.736	1
Kütle Fraksiyonu Barut 2	0.406	0.977
Toplam İtme (N – s)		8185.2



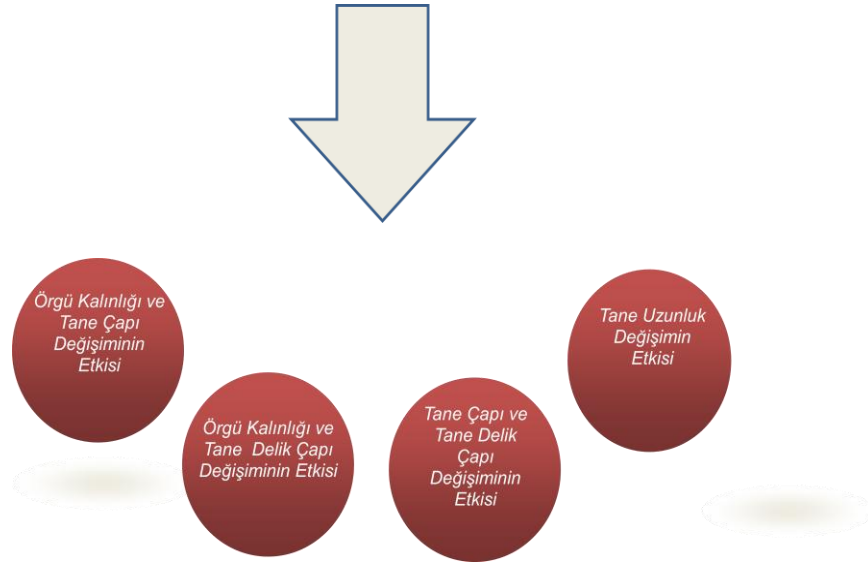
Şekil 0.10 M1 barutu için basınç-yol grafiği

Şekil 4.10 merminin namlu içinde aldığı yol boyunca namlu haznesi, mermi arkası ve direnç basınç değişimini vermektedir.

4.4 En Etkili Barut Geometrisi Tasarım Parametresinin Belirlenmesi

Dört farklı değişken parametre (tane çapı, delik çapı, örgü kalınlığı, tane uzunluğu) için dört farklı analiz yapılarak (test verilerine en yakın değerleri bulabilmek için) en etkili parametre tespit edilmeye çalışılmıştır (Şekil 0.11). Bu amaçla silindirik ve küresel barutlarının tasarımında çeşitli geometrik parametreler kullanılmıştır.

Küresel barutlar için tane çapı ve örgü kalınlığı (Şekil 0.11), silindirik barutlar için tane (silindir) çapı, örgü kalınlığı (delikler arası ve delikler ile tane yüzeyi arası mesafe) ve tane boyu (silindirin boyu), delikli silindirik barutlar için ise tane (silindir) çapı, delik çapı, tane boyu (silindirin boyu), örgü kalınlığının (delikler arası mesafe) namlu içindeki basınca ve mermi hızına etkileri incelenmiştir.



Şekil 0.11 Tasarım analizi

4.4.1 Altı farklı barut tipi için örgü kalınlığı (delikler arası mesafe “w” nin) ve tane çapı değişiminin namlu içi maksimum basınca ve hızı etkisi

Çalışmanın bu kısmında örgü kalınlığı değişiminin (w) namlu iç basıncı (P) ve namlu çıkış hızları (v) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Örgü kalınlığı (w) silindirik ve küresel

barutlarda ϕ ap veya delik ϕ apına bağlıdır. Bu kısımda küresel, silindirik ve delikli silindirik barutların tane ϕ apı (D) değiştirilerek bu barutlara ait örgü kalınlıkları değiştirilmiştir. Barut uzunlukları ve varsa delik ϕ apları sabit tutulmuştur. Yapılan analizler sonucunda bulunan basınç ve hız değerleri Çizelge 0.3'te gösterilmiştir. Her bir barut tipi için örgü kalınlığına karşı basınç ve hız değerlerinin grafiklerinden bu değişimin etkisi incelenmiştir (şekil 4.12,4.13).

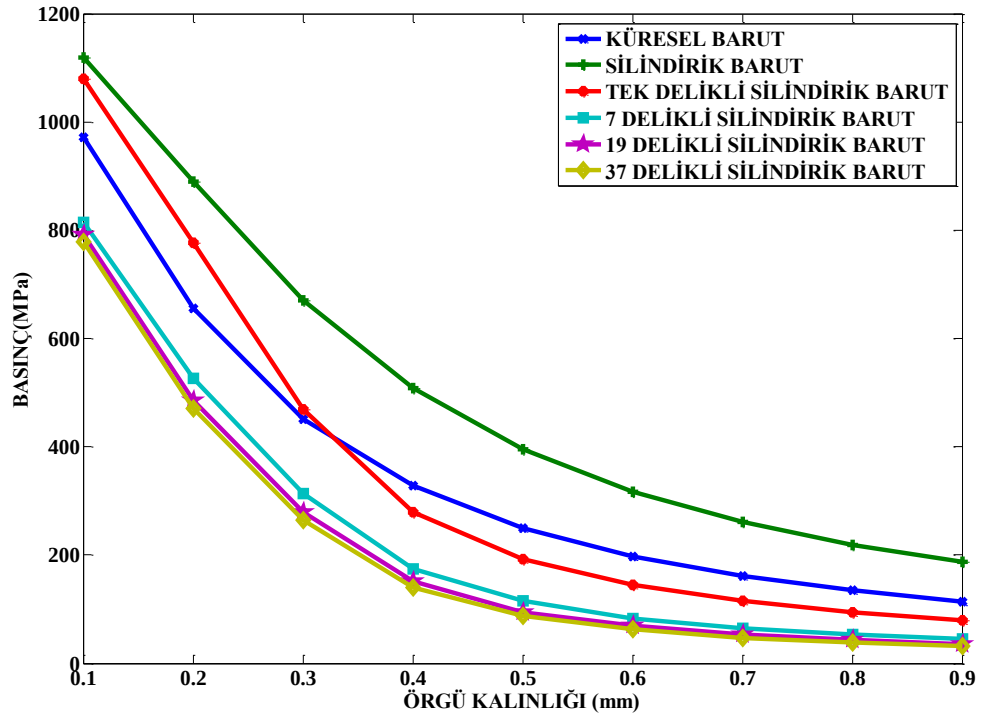
şekil 4.12'de aynı kimyasal içeriğe sahip ve aynı miktarda farklı tipte altı barutun aynı koşullarda yanması sonucunda oluşan gaz basınç değer değişimleri farklı örgü kalınlıkları için verilmektedir. Bu grafikten örgü kalınlığı arttıķa (delikler arası mesafe arttıķa/deliklerin sayısı azaldıkķa) aynı zamanda barut tanesinin (silindirik veya küresel) ϕ apı artınca basınç değerlerinin azaldığı görülmektedir (şekil 4.12'in sağ alt tarafına doğru).

Bu analizlerden çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise küresel ve tek delikli silindirik barutların yanmaları sırasında ortaya çıkan basınç ve hız değişimlerinin belli bir örgü kalınlığı değerinde keşişmeleridir (şekil 4.12,4.13 'deki mavi ve kırmızı renkli eğriler). Bu keşişim değerinden sonra tek delikli silindirik barut küresel baruta göre daha düşük hız ve basınç ortaya çıkarmaktadır. Tek delikli silindirik barut nötr bir yanma yüzeyine sahiptir. Yani yanma süresince toplam yanma yüzey alanı değişmemektedir.

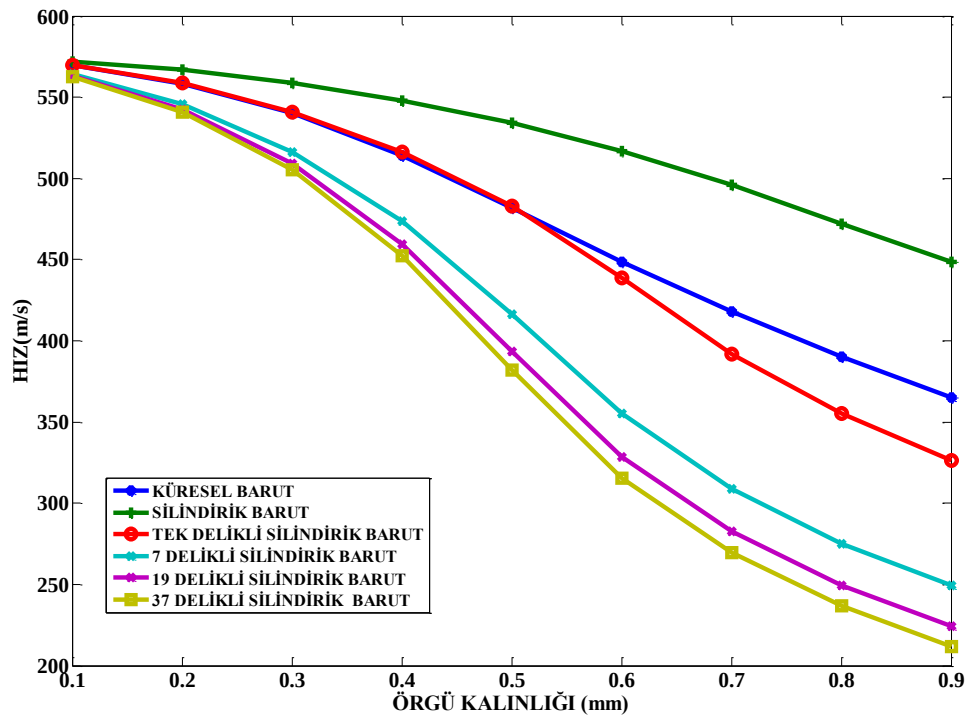
Progresif yada ilerleyen yanma yüzey alanına sahip çok delikli silindirik barutlarda toplam yanma yüzeyi yanma süresince artmaktadır. Bu nedenle aynı örgü kalınlığına sahip 37 delikli silindirik barut 19 delikli silindirik baruta göre, 19 delikli silindirik barut 7 delikli silindirik baruta göre, 7 delikli silindirik barut tek delikli silindirik baruta göre, tek delikli silindirik barut ise silindirik baruta göre daha düşük basınç meydana getirmektedir.

Çizelge 0.3 Örgü kalınlığı ve tane çapı değişimlerinin namlu içi basıncına ve namlu çıkış hızına etkisi

KÜRESEL BARUT				SİLİNDİRİK BARUT					1 DELİKLİ SİLİNDİRİK BARUT					7 DELİKLİ SİLİNDİRİK BARUT					19 DELİKLİ SİLİNDİRİK BARUT					37 DELİKLİ SİLİNDİRİK BARUT								
D	w	Pmax	Vmuz	L	D	w	Pmax	Vmuz	L	D	d	w	Pmax	Vmuz	L	D	d	w	Pmax	Vmuz	L	D	d	w	Pmax	Vmuz	L	D	d	w	Pmax	Vmuz
mm	mm	MPa	m/s	mm	mm	mm	Mpa	m/s	mm	mm	mm	mm	Mpa	m/s	mm	mm	mm	mm	MPa	m/s	mm	mm	mm	mm	Mpa	m/s	mm	mm	mm	mm	MPa	m/s
0,2	0,1	971,653	569,575	8,89	0,1	0,1	1118,77	571,723	8,89	0,4	0,2	0,1	1079,50	569,569	8,89	1,15	0,25	0,1	815,059	564,441	8,89	1,85	0,25	0,1	790,915	563,164	8,89	2,55	0,25	0,1	778,240	562,458
0,4	0,2	654,845	558,502	8,89	0,2	0,2	889,260	566,826	8,89	0,6	0,2	0,2	777,298	558,562	8,89	1,55	0,25	0,2	526,323	545,889	8,89	2,45	0,25	0,2	485,754	542,410	8,89	3,55	0,25	0,2	469,940	540,760
0,6	0,3	451,287	540,207	8,89	0,3	0,3	670,449	558,911	8,89	0,8	0,2	0,3	469,000	540,800	8,89	1,95	0,25	0,3	313,187	516,490	8,89	3,05	0,25	0,3	279,155	509,028	8,89	4,15	0,25	0,3	264,350	503,337
0,8	0,4	327,822	513,878	8,89	0,4	0,4	508,147	548,011	8,89	1,0	0,2	0,4	278,854	516,088	8,89	2,35	0,25	0,4	174,211	473,537	8,89	3,65	0,25	0,4	150,840	459,470	8,89	4,95	0,25	0,4	140,317	452,360
1,0	0,5	249,652	481,617	8,89	0,5	0,5	395,458	534,125	8,89	1,2	0,2	0,5	192,460	483,091	8,89	2,75	0,25	0,5	114,612	416,501	8,89	4,25	0,25	0,5	93,445	393,639	8,89	5,75	0,25	0,5	88,350	381,987
1,2	0,6	197,499	448,681	8,89	0,6	0,6	317,050	516,944	8,89	1,4	0,2	0,6	144,779	438,999	8,89	3,15	0,25	0,6	83,463	355,200	8,89	4,85	0,25	0,6	68,847	328,750	8,89	6,55	0,25	0,6	62,300	315,648
1,4	0,7	160,901	417,803	8,89	0,7	0,7	260,686	495,794	8,89	1,6	0,2	0,7	114,922	391,596	8,89	3,55	0,25	0,7	64,915	308,911	8,89	5,45	0,25	0,7	52,712	282,477	8,89	7,35	0,25	0,7	47,425	269,681
1,6	0,8	134,442	390,049	8,89	0,8	0,8	219,260	472,221	8,89	1,8	0,2	0,8	94,000	355,394	8,89	3,95	0,25	0,8	52,710	274,870	8,89	6,05	0,25	0,8	42,622	249,446	8,89	8,15	0,25	0,8	38,008	236,625
1,8	0,9	114,436	365,281	8,89	0,9	0,9	187,849	448,799	8,89	2,0	0,2	0,9	80,000	326,590	8,89	4,35	0,25	0,9	44,420	249,163	8,89	6,65	0,25	0,9	35,544	224,120	8,89	8,95	0,25	0,9	31,610	211,710



Şekil 0.12 Örgü kalınlığı (tane çapı) değişimine karşı basınç değişim grafiği



Şekil 0.13 Örgü kalınlığı (tane çapı) değişimine karşı hız değişim grafiği

Grafiklerin detayla incelenmesi ile her bir barut tipi için örgü kalınlığı arttıkça namlu içinde oluşan maksimum basıncın belli bir optimum değere kadar azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.13’de ise örgü kalınlığı arttıkça (delikler arası mesafe arttıkça/delik sayısı azaldıkça) merminin namlu çıkış hızı da azalmakta olduğu görülmektedir. Yani örgü kalınlığı ile namlu içi basınç ve merminin namlu içindeki hızı ters orantılıdır (baruttaki örgü aralıkları arttıkça basınç ve hız azalmaktadır)

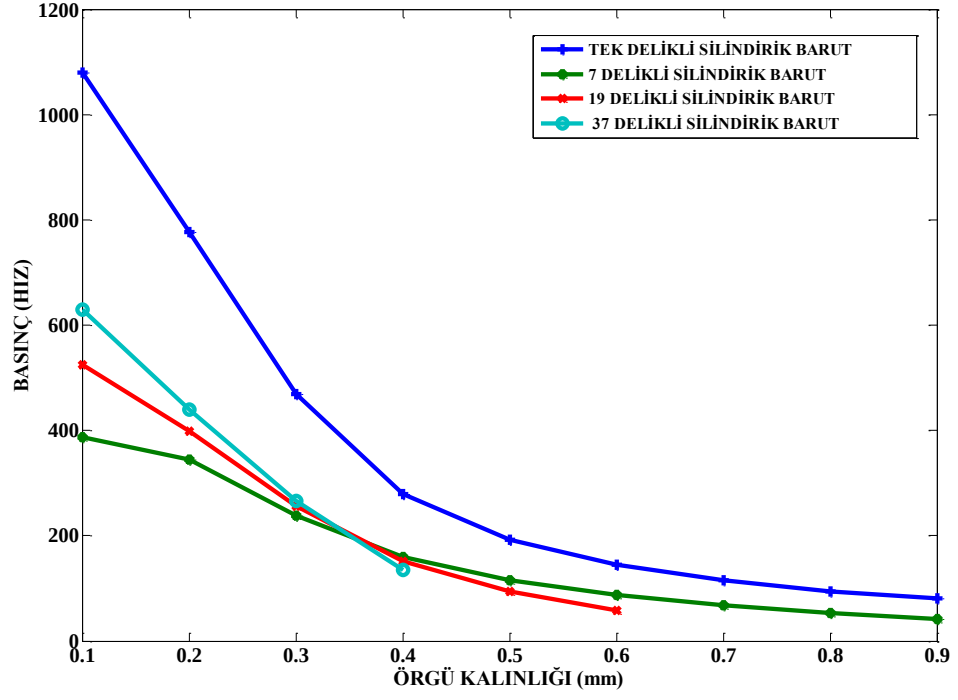
4.4.2 Altı farklı barut tipi için örgü kalınlığının (tane delik çapının) değişiminin namlu içi maksimum basınç ve hızı üzerindeki etkisi

Bu analizde ise yine örgü kalınlığı değişiminin namlu içi basınç ve merminin namlu çıkış hızına etkileri incelenmiştir. Ancak bu çalışmada tane çapı (küre çapı veya silindirin çapı) sabit tutulup, delik çapı değiştirilerek örgü kalınlıkları değiştirilmiştir. Burada küresel ve silindirik barutların delikleri olmadığı için analizlerde kullanılmamışlardır. Elde edilen sonuçlar çizelge 4.4’de verilmektedir.

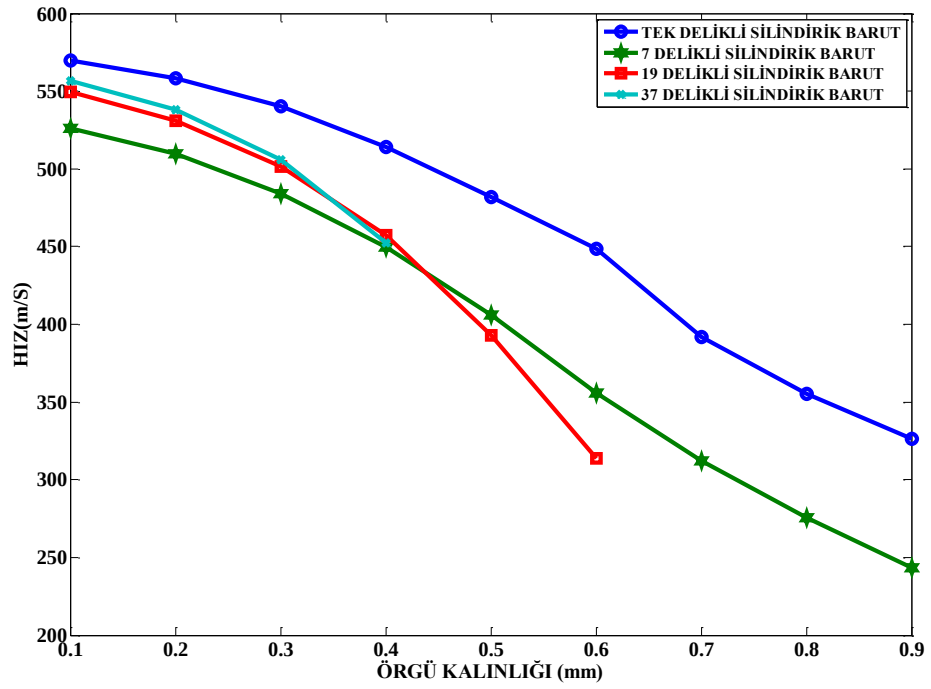
Şekil 4.14,4.15’de örgü kalınlığının basınç ve hız üzerine etkisi verilmiştir. Grafiklerdeki basınç ve hız değerleri karşılaştırıldığında delik çapı küçük olan barut daha düşük basınç ve düşük hız değerleri vermektedir.

Şekil 4-14 de aynı koşullarda olan dört farklı tipte barutun namlu içinde yanmasını farklı örgü kalınlıklarına ve çaplarına göre değişimleri verilmektedir. Örgü kalınlığı arttıkça (delikler arası mesafe arttıkça/deliklerin sayısı azaldıkça) barut tanesinin (silindirik veya küresel) çapı artınca basınç değerleri azalmaktadır (Şekil 4.14’ün sağ alt tarafına doğru). Şekil 4.15’de ise deliklerin çapı arttıkça merminin namlu çıkış hızı da azalmakta olduğu görülmektedir. Yani örgü kalınlığı ile namlu içi basınç ve merminin namlu içindeki hızı ters orantılıdır (baruttaki örgü aralıkları arttıkça basınç ve hız azalmaktadır).

Buradan örgü kalınlığını, barutun çap değerini değiştirmeden delik çapını değiştirerek sevk barutunun performansına etkisi olacağı sonucuna ulaşılabilir.



Şekil 0.14 Örgü kalınlığı(tane delik çapı) değişimine karşı basınç değişim grafiği



Şekil 0.15 Örgü kalınlığı (tane delik çapı)değişimine karşı hız değişim grafiği

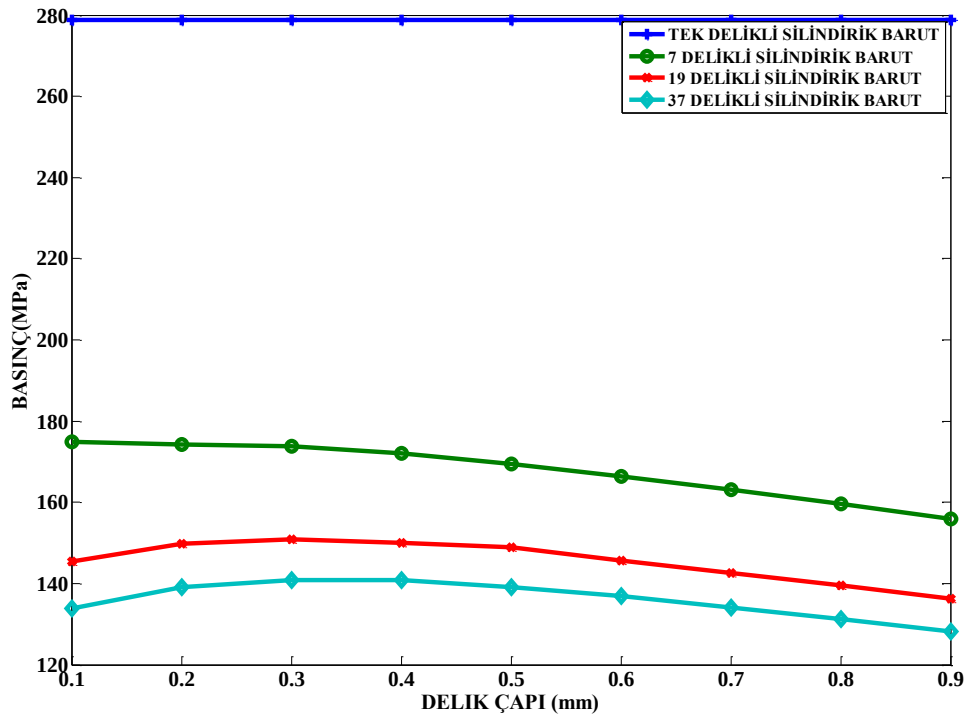
Çizelge 0.4 Delik çapı değişimleri ile elde edilen hız ve basınç değerleri

1 Perforation Cylindrical Propellant						7 Perforation Cylindrical Propellant						19 Perforation Cylindrical Propellant						37 Perforation Cylindrical Propellant					
L	D	d	w	P _{max}	V _{muz}	L	D	d	w	P _{max}	V _{muz}	L	D	d	w	P _{max}	V _{muz}	L	D	d	w	P _{max}	V _{muz}
8,89	4,0	3,8	0,1	1083,390	560,097	8,89	4,0	1,20	0,1	387,772	526,148	8,89	4,0	0,68	0,1	524,324	549,323	8,89	4,0	0,4571	0,1	630,002	556,506
8,89	4,0	3,6	0,2	834,667	552,106	8,89	4,0	1,0667	0,2	344,851	509,774	8,89	4,0	0,56	0,2	398,682	530,96	8,89	4,0	0,3429	0,2	438,872	537,827
8,89	4,0	3,4	0,3	570,87	540,266	8,89	4,0	0,9333	0,3	237,761	484,144	8,89	4,0	0,44	0,3	256,361	501,452	8,89	4,0	0,2286	0,3	266,669	505,929
8,89	4,0	3,2	0,4	373,031	524,546	8,89	4,0	0,80	0,4	159,675	449,423	8,89	4,0	0,32	0,4	150,912	457,112	8,89	4,0	0,1143	0,4	134,698	452,177
8,89	4,0	3,0	0,5	277,855	504,662	8,89	4,0	0,6667	0,5	115,486	406,076	8,89	4,0	0,20	0,5	94,180	393,016						
8,89	4,0	2,8	0,6	225,596	479,777	8,89	4,0	0,5333	0,6	87,139	355,575	8,89	4,0	0,08	0,6	58,470	313,89						
8,89	4,0	2,6	0,7	193,165	448,546	8,89	4,0	0,40	0,7	67,520	312,095												
8,89	4,0	2,4	0,8	171,255	415,317	8,89	4,0	0,2667	0,8	53,064	275,517												
8,89	4,0	2,2	0,9	155,563	389,062	8,89	4,0	0,1333	0,9	41,940	243,466												

4.4.3 Altı farklı barut için tane ve tane delik çapı değişimlerinin namlu içi maksimum basıncı ve hızı üzerindeki etkisi

Bu analizde örgü kalınlığı ve barut uzunluğu sabitlenerek dört farklı delikli barut için delik ve çap değişiminin basınç ve hız üzerindeki etkileri incelenmiştir. Örgü kalınlığının sabit tutulması amacıyla delik çapı ile çap değişimi her bir barut için 3-41,3-42,3-43,3-44 formüllerinden örgü kalınlığı çap ve delik çapı hesaplanarak elde edilmiştir.

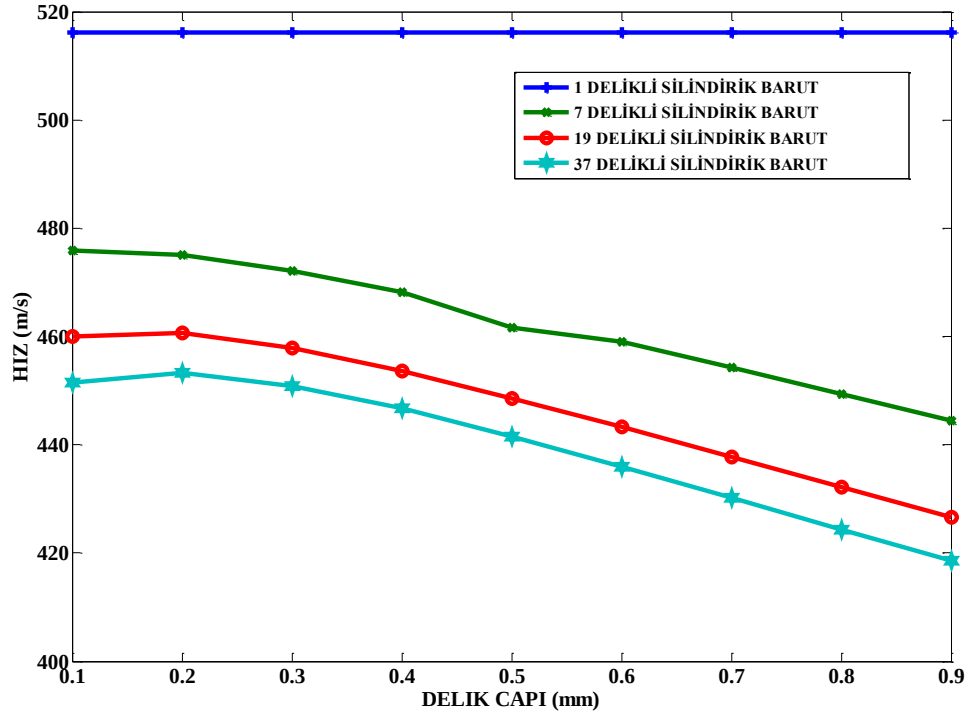
Şekil 4.16,4.17 deki grafiklerde tek delikli nötral barut için örgü kalınlığı değişimi olmaksızın barut çap ve delik çap boyutları değişiminin basınç ve hız üzerinde hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Regresif barutlar için ise çok etkin olmayan bir değişim bulunmaktadır.



Şekil 0.16 Delik çapına karşı basınç değişim grafiği

Çizelge 0.5 Çap ve delik çapı değişimi ile elde edilen basınç ve hız değerleri

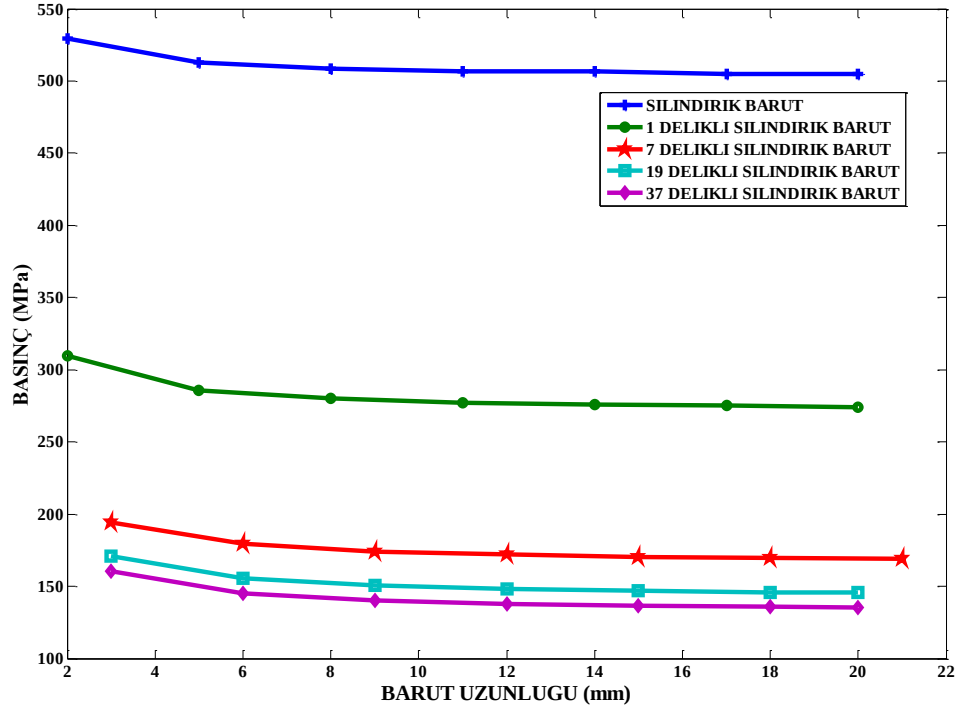
1 Delikli Silindirik Barut						7 Delikli Silindirik Barut						19 Delikli Silindirik Barut						37 Delikli Silindirik Barut					
L	D	d	w	Pmax	Vmuz	L	D	d	w	Pmax	Vmuz	L	D	d	w	Pmax	Vmuz	L	D	d	w	Pmax	Vmuz
8,89	0,9	0,1	0,4	278,854	516,088	8,89	1,9	0,1	0,4	174,94	475,910	8,89	2,9	0,1	0,4	145,468	460,057	8,89	3,9	0,1	0,4	133,8	451,472
8,89	1,0	0,2	0,4	278,854	516,089	8,89	2,2	0,2	0,4	174,32	475,040	8,89	3,4	0,2	0,4	149,828	460,611	8,89	4,6	0,2	0,4	139,09	453,284
8,89	1,1	0,3	0,4	278,854	516,090	8,89	2,5	0,3	0,4	173,85	472,040	8,89	3,9	0,3	0,4	150,918	457,827	8,89	5,3	0,3	0,4	140,93	450,840
8,89	1,2	0,4	0,4	278,854	516,091	8,89	2,8	0,4	0,4	172,14	468,251	8,89	4,4	0,4	0,4	150,092	453,627	8,89	6,0	0,4	0,4	140,84	446,700
8,89	1,3	0,5	0,4	278,854	516,092	8,89	3,1	0,5	0,4	169,43	461,572	8,89	4,9	0,5	0,4	148,822	448,610	8,89	6,7	0,5	0,4	139,169	441,470
8,89	1,4	0,6	0,4	278,854	516,092	8,89	3,4	0,6	0,4	166,36	459,024	8,89	5,4	0,6	0,4	145,654	443,274	8,89	7,4	0,6	0,4	136,863	435,958
8,89	1,5	0,7	0,4	278,854	516,092	8,89	3,7	0,7	0,4	163,02	454,240	8,89	5,9	0,7	0,4	142,701	437,803	8,89	8,1	0,7	0,4	134,187	430,137
8,89	1,6	0,8	0,4	278,854	516,092	8,89	4,0	0,8	0,4	159,67	449,420	8,89	6,4	0,8	0,4	139,520	432,240	8,89	8,8	0,8	0,4	131,223	424,315
8,89	1,7	0,9	0,4	278,854	516,092	8,89	4,3	0,9	0,4	156,00	444,446	8,89	6,9	0,9	0,4	136,260	426,611	8,89	9,5	0,9	0,4	128,134	418,582



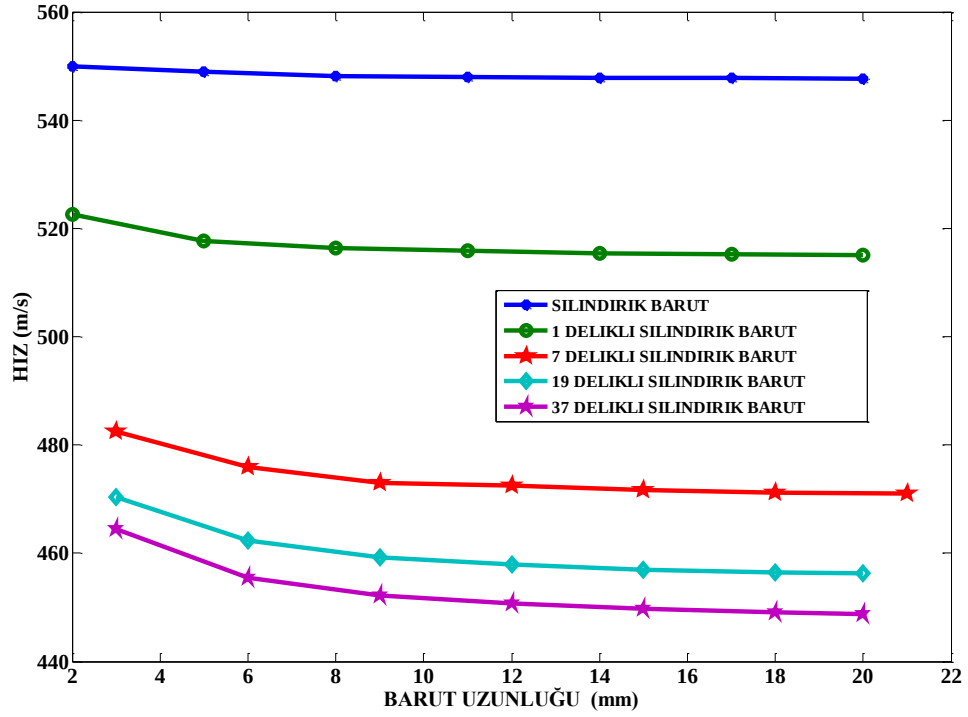
Şekil 0.17 Delik çapı değişimine karşı hız değişim grafiği

4.4.4 Altı farklı barut için barut uzunluğu değişiminin namlu içi maksimum basıncı ve hızı üzerindeki etkisi

Bu çalışmada örgü kalınlığı tanecik çapı ve delik çapı sabitlenerek her bir barut tipi için barut uzunluğu değişiminin basınç ve hız üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aşağıdaki tablo ve grafiklerden de görüldüğü üzere bir barut tanesinin tipi fark etmeksizin uzunluğunu değiştirmek basınç ve hız üzerinde etkili olmamıştır.



Şekil 0.18 Barut uzunluğu değişimine karşı basınç değişim grafiği



Şekil 0.19 Barut uzunluğu değişimine karşı hız değişim grafiği

Çizelge 0.6 Tane uzunluk değişimi ile elde edilen basın ve hız değerleri

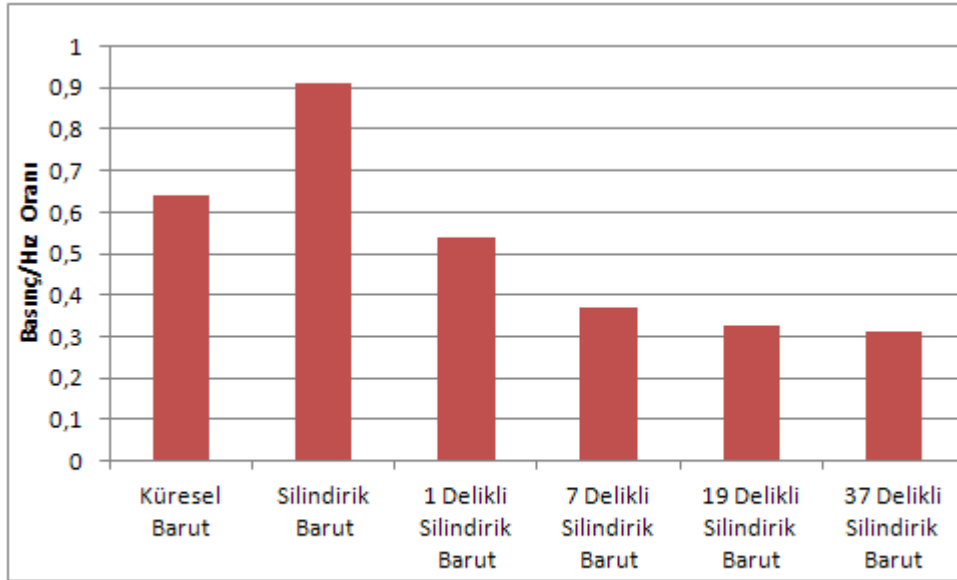
Silindirik Barut						1 Delikli Silindirik Barut						7 Delikli Silindirik Barut						19 Delikli Silindirik Barut						37 Delikli Silindirik Barut					
L	D	w	P _{max}	V _{muz}		L	D	d	w	P _{max}	V _{muz}	L	D	d	w	P _{max}	V _{muz}	L	D	d	w	P _{max}	V _{muz}	L	D	d	w	P _{max}	V _{muz}
2,0	0,4	0,4	529,714	549,916		2,0	1,0	0,3	0,4	309,8	522,600	3,0	2,36	0,25	0,4	194,104	482,542	3,0	3,57	0,25	0,4	170,673	470,349	3,0	5,0	0,25	0,4	160,488	464,452
5,0	0,4	0,4	512,948	548,948		5,0	1,0	0,3	0,4	285,6	517,600	5,0	2,36	0,25	0,4	179,22	475,990	6,0	3,57	0,25	0,4	155,682	462,372	6,0	5,0	0,25	0,4	145,342	455,453
8,0	0,4	0,4	508,796	548,074		8,0	1,0	0,3	0,4	280,1	516,400	9,0	2,36	0,25	0,4	174,24	473,000	9,0	3,57	0,25	0,4	150,685	459,25	9,0	5,0	0,25	0,4	140,434	452,204
11,0	0,4	0,4	506,97	547,902		11,0	1,0	0,3	0,4	277,4	515,800	12,0	2,36	0,25	0,4	172,04	472,440	12,0	3,57	0,25	0,4	148,446	457,974	12,0	5,0	0,25	0,4	137,972	450,654
14,0	0,4	0,4	506,346	547,804		14,0	1,0	0,3	0,4	275,9	515,400	15,0	2,36	0,25	0,4	170,575	471,670	15,0	3,57	0,25	0,4	146,959	456,969	15,0	5,0	0,25	0,4	136,718	449,773
17,0	0,4	0,4	505,09	547,739		17,0	1,0	0,3	0,4	275,0	515,200	18,0	2,36	0,25	0,4	169,599	471,199	18,0	3,57	0,25	0,4	145,975	456,421	18,0	5,0	0,25	0,4	135,729	449,105
20,0	0,4	0,4	504,548	547,675		20,0	1,0	0,3	0,4	274,3	515,000	21,0	2,36	0,25	0,4	168,900	470,956	20,0	3,57	0,25	0,4	145,485	456,209	20,0	5,0	0,25	0,4	135,239	448,715

4.5 Aynı Örgü Kalınlığına Sahip Farklı Barutların Basınç Ve Hız Oranları

Bölüm 4.2 analizlerinin bir sonucu olarak barut geometrisi tasarımında en etkin parametrenin örgü kalınlığı olduğu görülmüştür. Bu çalışmada ise aynı örgü kalınlığına sahip farklı tiplerdeki barutların basınç hız oranları bulunmuştur. Düşük basınçta yüksek hız elde etmek için basınç hız oranının düşük olması beklenmektedir. Çizelge 4.7’den delik sayısının artmasıyla basınç hız oranının azaldığı görülmektedir.

Çizelge 0.7 Barut tiplerinin basınç ve hız oranları

	P _{MAX} (MPa)	V _{MUZ} (m/s)	Oran
Küresel Barut	328,016	513,939	0,638
Silindirik Barut	500,413	548,016	0,913
1 Delikli Silindirik Barut	279,098	516,146	0,54
7 Delikli Silindirik Barut	174,368	473,558	0,368
19 Delikli Silindirik Barut	150,81	459,363	0,328
37 Delikli Silindirik Barut	140,558	452,324	0,311



Şekil 0.20 Her bir barut tipine karşın basınç hız oranı

Şekil 0.20’de küresel barutların silindirik barutlara göre daha iyi performansa sahip olduğu görülmektedir. Bu grafikten delikli silindirik barutlar için delik sayısının artması ile barut performansının arttığı görülmektedir.

4.6 Optimizasyon

Optimizasyon matematiksel olarak, bir fonksiyonun maksimum veya minimum değerini veren durumların bulunması işlemidir şeklinde tanımlanabilir. Optimizasyon tipik olarak bir problemin en iyi sonucunu bulmaya çalışır. Bu nedenle modelleme açısından yönlendirici modeller diye anılırlar. Çünkü en iyi tasarımın nasıl elde edileceğinin planlanmasında kullanılırlar. Mühendislikte optimizasyon verilen koşullar altında en iyi sonucu elde etme işlemidir.

Matematikçiler için ise optimizasyon, "bir probleme en iyi mümkün çözüm bulma süreci olarak" tanımlamaktadır. Matematikte, bu süreç genellikle bir fonksiyonun değerinin verilen kısıtlar altında maksimize veya minimize edilmesinden oluşur. Herhangi bir mühendislik sisteminin tasarımında, imalatında veya bakımında mühendisler birçok aşamada teknolojik ve idari kararlar alırlar. Bunlar:

- Maliyetin minimum olması
- Ağırlığının minimum olması
- Verimin maksimum olması
- Gücün maksimum olması
- Depolanan enerjinin maksimum olması gibi kararlardır.

Bu kararlar belli değişkenlerin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilirse, yapılacak tasarım “optimum tasarım problemi” adını alır.

Tasarım optimizasyonu problemlerinde dikkat etmemiz gereken üç önemli husus vardır. Bunlar:

- Problemin hedefi içeren bir hedef fonksiyonu olacaktır.
- Tasarım değişkenleri olmalıdır.

- Problemdaki sınırlayıcı koşulları tanımlayan kısıtlar olmalıdır.

Amaç Fonksiyonu (Objective Function)

Tasarımı yapılacak veya optimizasyonu yapılacak sistemin iyilik derecesini belirtir. Maksimum veya minimum olacak şekilde tanımlanır. Örneğin minimum ağırlık için amaç fonksiyon: tasarımın hacmi ve özgül ağırlığının çarpımıdır.

Genel itibarıyla hedef fonksiyon:

Minimum (Maximum) $f(x)=(x_1,x_2,x_3,...)$ şeklinde gösterilir.

Tasarım-Problem Değişkenleri (Variables)

Tasarımı yapılacak veya optimizasyonu yapılacak problemin değişkenlerini gösterir. Örneğin minimum hacim için bu parçanın hacmini etkileyen boyutlardır ve bu boyutlar değiştirilerek optimum geometri elde edilmeye çalışılır

$X=X_1,X_2,X_3$ şeklinde tanımlanabilir.

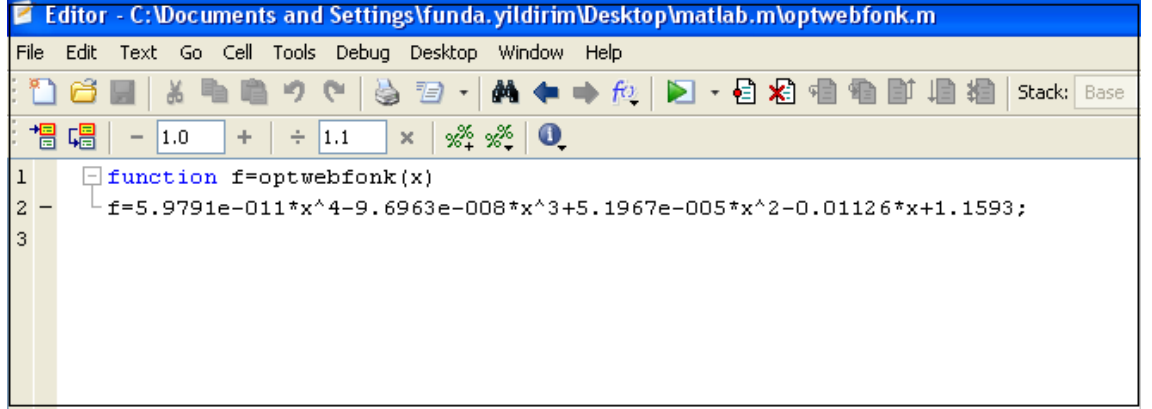
Kısıtlayıcılar (Constraints)

Tasarım veya probleme getirilen sınırlamalara denir. Bir optimizasyon probleminde problemin uygun olduğunu gösteren ifadelere denir. Bu kısıtlayıcılar tasarım değişkenleri üzerinde olabilir. Örneğin; bir geometriyi optimum yapmaya çalışırken boyutlarının belli bir aralıkta olması gibi. Kısıtlamalar tasarım değişkenleri arasında da olabilir. Bunun yanında kısıtlamalar sistemin genel davranışı üzerine de olabilir (Hayaloğlu ve Günden 2010).

Buradaki optimizasyon çalışmasında daha önceki analizlerde performansı en üstün barut olan 37 delikli barutun optimum örgü kalınlığı değeri bulunmuştur. Bu optimizasyon çalışması için 37 delikli silindirik barut için çizelge 4.3’de gösterilen analiz sonuçları kullanılarak amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı fonksiyonlar tanımlanmıştır. Her iki fonksiyonda analiz sonuçlarının “MATLAB” ile veri işlenmesi sonucunda bulunmuştur.

Optimizasyon probleminin çözümüne öncelikle amaç fonksiyonu için Şekil 0.21’deki M-file yazılarak başlanmıştır. Bu M-file içerisinde tasarım değişkenleri $x(1)$, $x(2)$,

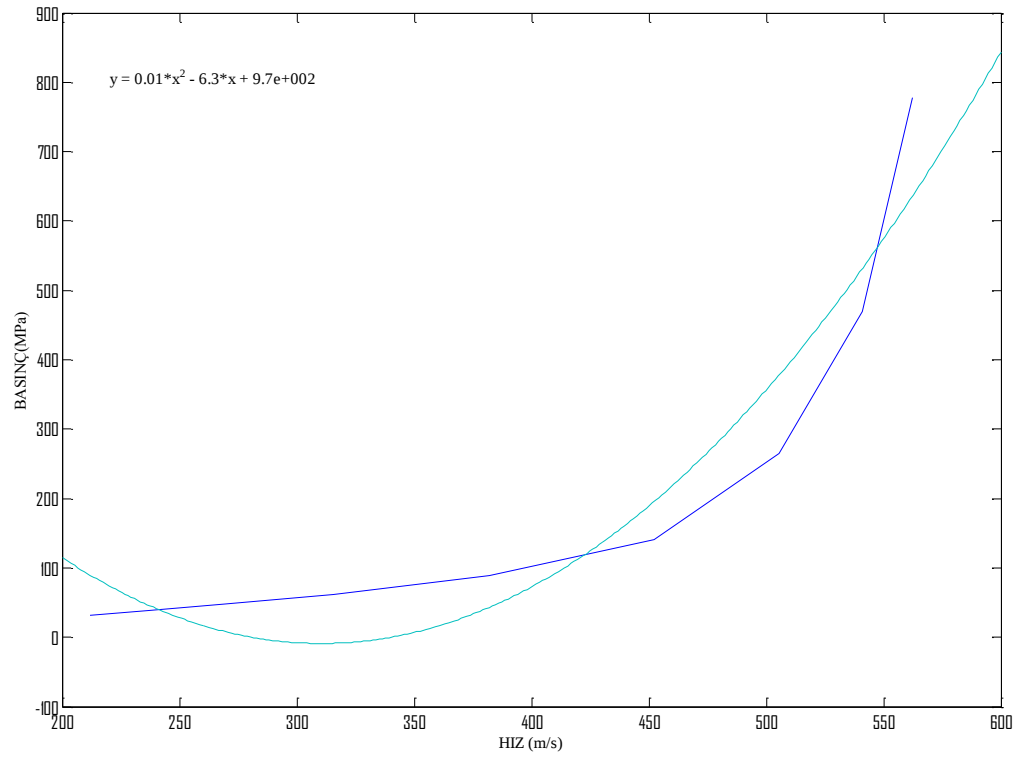
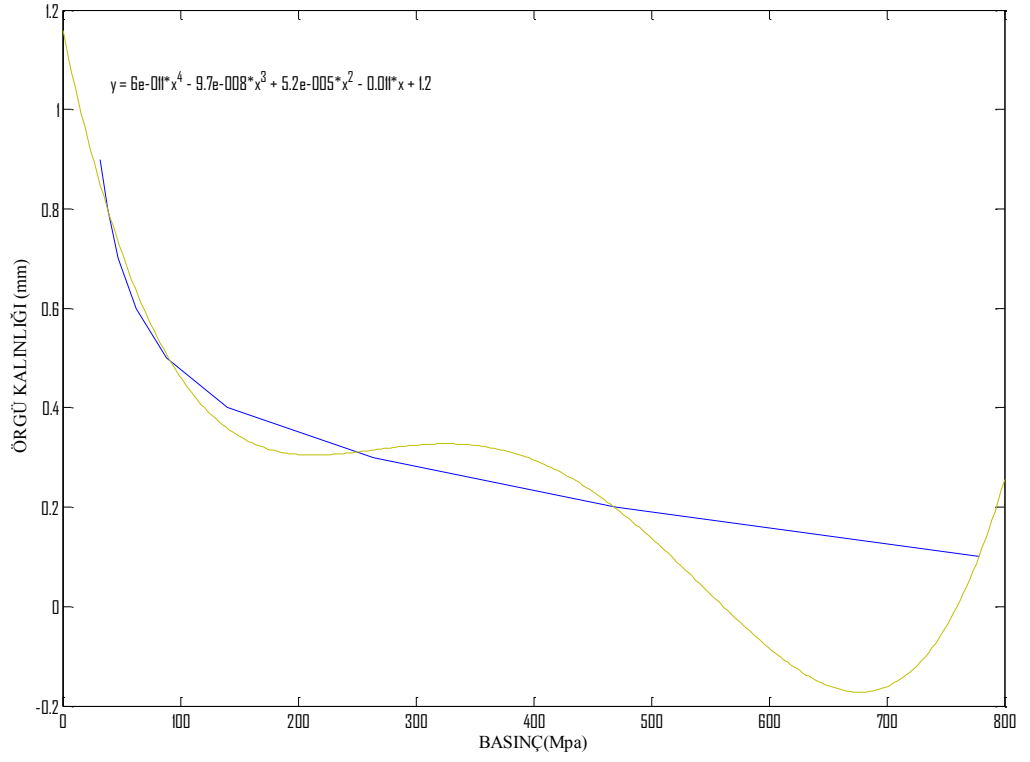
$x(3), \dots$ şeklinde ifade edilir. Bu çalışmada optimum örgü kalınlığı değeri bulunmak istendiği için amaç fonksiyonu olarak, örgü kalınlığının basınç değişimine karşı çizilen Şekil 0.22’de gösterilen grafikten eğri uydurma yöntemi ile elde edilen fonksiyon yazılmıştır. Daha sonra M-file “optwebfonk” ismi ile kaydedilmiştir..



The image shows a screenshot of a MATLAB M-file editor window. The title bar reads "Editor - C:\Documents and Settings\funda.yildirim\Desktop\matlab.m\optwebfonk.m". The menu bar includes File, Edit, Text, Go, Cell, Tools, Debug, Desktop, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations, editing, and execution. Below the toolbar is a numeric keypad with buttons for minus, 1.0, plus, divide, 1.1, multiply, percent, and a help icon. The main editing area shows the following code:

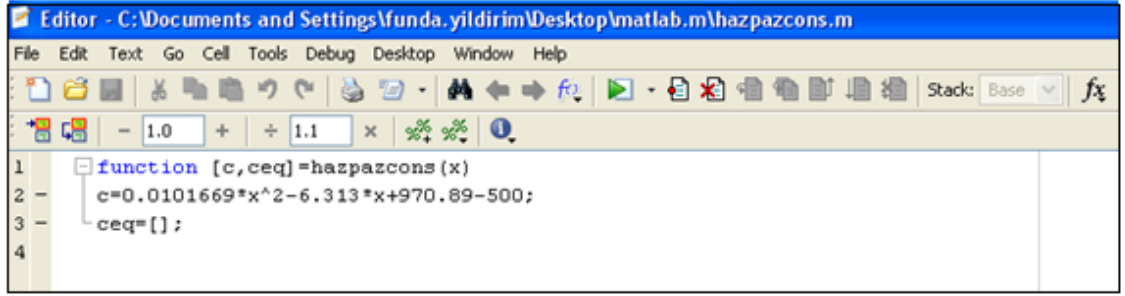
```
1 function f=optwebfonk(x)
2     f=5.9791e-011*x^4-9.6963e-008*x^3+5.1967e-005*x^2-0.01126*x+1.1593;
3
```

Şekil 0.21 Amaç fonksiyonunun yazıldığı M-file dosyası



Şekil 0.22 Eğri uydurma (curve fitting) fonksiyonları

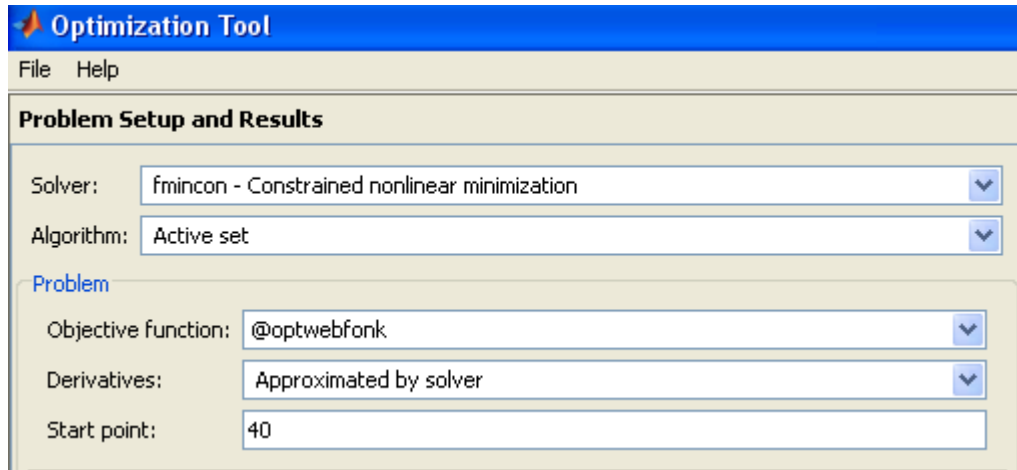
Kısıtlayıcı Fonksiyon



Şekil 0.23 Lineer olmayan kısıtlayıcı fonksiyon M-file dosyası

Lineer olmayan sınırlayıcılar için de tasarım değişkenleri $x(1)$, $x(2)$, $x(3)$, şeklinde ifade edilip sınırlayıcı fonksiyonlar yazılır. Kısıtlayıcı fonksiyonu olarak, örgü kalınlığının hız değişimine karşı çizilen Şekil 0.22’de gösterilen grafikten yine eğri uydurma yöntemi ile elde edilen fonksiyon yazılmıştır. Şekil 0.23’de gösterilen bu M-file da “hazpazcons” ismi ile kaydedilmiştir.

MATLAB m.file dosyası olarak hazırlanan bu fonksiyonlar MATLAB optimizasyon menüsünde kullanılmıştır. Şekil 0.24 MATLAB optimizasyon menüsünde bulunan, programının ‘fmincon’ arşiv fonksiyonu olan matematik programlama yöntemleri kullanarak optimizasyon problemini çözdüğünü göstermektedir



Şekil 0.24 MATLAB optimizasyon menüsü

Daha sonra sınır koşulu olarak gerçek atış değerlerinde elde edilen 226 MPa basınç değeri girilmiştir (Şekil 0.25).

Constraints:			
Linear inequalities:	A:		b:
Linear equalities:	Aeq:		beq:
Bounds:	Lower:		Upper: 226
Nonlinear constraint function:	@hazpazcons		
Derivatives:	Approximated by solver		

Şekil 0.25 MATLAB Sınır koşulları menüsü

En son olarak yukarıda anlatılan değerlere bağlı olarak ‘fmincon’ fonksiyonunun komut ifadesi amaç fonksiyonu dosyasının ve lineer olmayan sınırlayıcılar dosyasının isimleri de yazılarak çalıştırılmıştır.

Run solver and view results

Start
Pause
Stop

Current iteration: 9
Clear Results

```

-----
Optimization running.
Optimization terminated.
Objective function value: 0.30466762768351074

Local minimum possible. Constraints satisfied.

fmincon stopped because the predicted change in the objective function
is less than the default value of the function tolerance and constraints
were satisfied to within the default value of the constraint tolerance.

```

Final point:

213,444

Şekil 0.26 MATLAB optimizasyon sonuç menüsü

Yapılan optimizasyon analizi sonucunda 213 MPa değerindeki basınç ile 500 m/s hız elde edilmiştir (Şekil 0.26).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Oldukça karmaşık ve çözümü güç denklemlerden oluşan iç balistik hesaplamalar için sayısal yöntemlerle çözüm yapılması gerekmektedir. Bir mermiyi namlu içinde hareket ettirebilmek için gereken enerji uygun miktar ve tipte barut ile sağlanmaktadır. Artan teknoloji bilgisi ile barut yerine elektromanyetik hızlandırıcılar kullanılması düşünülmektedir. Ancak bu teknolojinin klasik silah ve mühimmat üzerinde kullanılması henüz söz konusu değildir. Bu nedenle konvansiyonel silah ve mermi performansını artırmak amacıyla barut üzerinde geliştirme çalışmaları halen devam etmektedir.

Silah sistemlerinin menzili ve etkinliği silahta kullanılan mühimmatın namludan çıkış hızına bağlıdır. Mühimmatın namlu çıkış hızı ise namlu boyu, mermi ağırlığı, barut enerjisi vb. birçok değişkenle ilişkilidir.

Bu çalışmada yalnızca barut geometrisine ait değişkenler analiz edilmiştir. Barut tane geometrisi tasarımında en etkin parametre örgü kalınlığıdır. Bu tez çalışmasında küresel, silindirik, 1, 7, 19 ve 37 delikli silindirik barutlar kullanılarak farklı örgü kalınlıklarında namlu içi basınç ve merminin namlu çıkış hızı hesaplanmıştır. Örgü kalınlığı azaldıkça basınç ve namlu çıkış hızı değerinin belli bir optimum noktaya kadar arttığı görülmüştür.

Bu çalışmada halen 3.414 mm çapına ve 0.254 mm delik çapına sahip olarak üretilen 7 delikli M1 barutunun, herhangi bir kimyasal değişim yapılmaksızın, yalnızca farklı bir geometride üretilmesiyle daha yüksek menzile sahip mühimmat elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu tez çalışmasının optimizasyon aşamasında üzerinde çalışılan M1 barutunun 37 delikli silindirik olarak en uygun örgü kalınlığının 0.304 mm olduğu bulunmuştur.

Yapılan çalışmada silah siteminde ve mühimmatta yapısal bir değişiklik öngörülmemiştir. Bu durumda, tek bir atımda kullanılması gereken barut miktarı ile bu barutların kovan içindeki toplam hacminin değişmemesi gerekliliği bulunmaktadır. Bu nedenle barutun delik çapının boyutunun küçültülmesi gerekmektedir. Optimizasyon

aşaması sonucunda barutun 0.304 mm örgü kalınlığını elde edebilmek için gereken delik çapı 0.14 mm olmalıdır. Bu değerin oldukça küçük olması üretim imkânlarını zorlaştırarak maliyetin artmasına neden olacaktır.

Sonuç olarak; silah, mühimmat, barutun miktarı ve kimyasal içeriği değiştirilmeden sadece barutun geometrisi değiştirilerek merminin namlu çıkış hızının 27 m/s artması sağlanmış, mermi menzil değeri ise 11169 metreden 11684 metreye çıkartılmıştır. Bu değerler; barutun kimyasal bileşiminde bir değişim yapmadan, bir sevk barutunun performansının yalnızca tane geometrisi değiştirilerek artırılabilceğini ispatlamıştır.

KAYNAKLAR

- Anonymous. 1965. Engineering Design Handbook Ballistics Series Interior Ballistics of Guns, pp.1-37,USA.
- Anonymous. 1992. Ballistics and Ammunition, Vol(6);pp 27-56,Canada
- Baer, P. G. and Frankle, J. M. 1962. The Simulation of Interior Ballistic Performance of Guns By Digital Computer Program, 66 p, Virginia,
- Bouquet F.and Sprik R. 2010. Solid Propellant Grain Geometry Design, A Model For The Evolution of Star Shaped Interfaces, Universiteit Van Amsterdam, 37 p, Amsterdam.
- Brode H.L. and Enstrom J.E. 1970. Numerical Method For Calculated Interior Ballistics. The Rand Corporation, 12 p, California.
- Grollman, B.B.and Nelson W. C. 1977. Burning Rates of Standard Army Propellants in Strand Burner and Closed Chamber Tests, Ballistic Research Laboratory. BRL, MR 2775; P 30,USA.
- Gündüzer, O.2012. Namlu İçi Balistik Davranışın İncelenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle analizi, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Hayalioğlu, M .S. ve Gönden, Y. 2010. Optimum design of some engineering systems by Using MATLAB Language of Technical Computing MathWorks. Mühendislik Dergisi, Cilt 1 , sayı 1, s 41-47, Diyarbakır.
- Muldoon, A. R. 1977. Projectile Motion and Loads Versus Travel in Gun Tube. AMMRC TR 77-9, 36 p, Watertown Massachusetts.
- Anonymous. 1998. Propellant Management Guide. Army Defense Ammunition Center, 46 P, Illinois.
- Vinti, J. P. and Kravitz. 1949. Tables For The Pidduck-Kent Special Solution For The Motion Of The Powder Gas In A Gun. BRL, Report no 693,p 51, Sidney.
- White, J. 1997. Effect of Propellant Grain Dimensions on Progressivity. Army. Research Labratory, TR 1532, 52 p, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : Funda YILDIRIM
Doğum Tarihi ve Yeri : 1978 Ankara
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dil :İngilizce

Eğitim Durum Kurum Yıl

Lise :Batıkent Lisesi 1993-1997

Lisans : Hacettepe Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi/ 1997-2003
Fizik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı Şubat 2010-Mart 2013

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-2008	Özel Eğitim Kurumu	Öğretmen
2009-.....	MKE Kurumu	Mühendis

Verilen Seminer Konferanslar

F.YİLDİRİM, E.TİRYAKİ, M. KABAK “Optimal Propellant Grain Geometry Design For Large Caliber Projectiles”, 5thInternational Scientific Conference on Defensive Technologies, Belgrad, 2012

F.YİLDİRİM, “Büyük Kalibre Mühimmatı için Optimum Barut Tane Geometri Tasarımı“ 1. Kara Sistemleri Semineri, Ankara, 2012.

Sertifikalar

Balistik Teknolojileri Eğitimi, Savunma Sanayi ve Teknoloji Eğitim Merkezi
Komutanlığı, 2010

MATLAB Based Optimization Techniques, FİGES, 2010