

**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAVUNMA TEKNOJİLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KATI SEVK YAKITLARININ YAŞLANMAYA BAĞLI BALİSTİK
PERFORMANSLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

ERGUN TIRAK

EYLÜL 2017

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında Ergun TIRAK tarafından hazırlanan KATI SEVK YAKITLARININ YAŞLANMAYA BAĞLI BALİSTİK PERFORMANSLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Zühtü Onur PEHLİVANLI
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan	: Prof. Dr. Hacı SAĞLAM	_____
Üye (Danışman)	: Yrd. Doç. Dr. Zühtü Onur PEHLİVANLI	_____
Üye	: Prof. Dr. Recep ÇALIN	_____
Üye	: Doç. Dr. Ayşegül Ülkü METİN	_____
Üye	: Doç. Dr. Ercan DEĞİRMENCİ	_____

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Sevgili Anneme

ÖZET

KATI SEVK YAKITLARININ YAŞLANMAYA BAĞLI BALİSTİK PERFORMANSLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

TIRAK, Ergun

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Bölümü, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Zühtü Onur PEHLİVANLI

Ortak Danışman: Doç. Dr. Ercan DEĞİRMENCİ

Haziran 2017, 86 sayfa

Katı sevk yakıtın yanma enerjisiyle tahrik edilen konvansiyonel mermi, namlu içinde ivmelenerek ilerler ve namlu ucunda belli bir dönü ve öteleme enerjisine ulaşır. Mermi, enerjisinin tamamını namlu içinde ve sevk yakıtından alır. Bu nedenle sevk yakıtlarının yanma karakteri, mermi performansını ve menzilini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada; yeni imal edilmiş ve aynı kafilde imalatı gerçekleştirilmiş 300-800 mikron tane aralığında küresel geometrili çift bazlı katı sevk yakıtları numuneleri kullanılmıştır. 5.56 x 45 mm, 7.62 x 51 mm ve 9 x 19 mm cinslerinden her birinden 1 kg olmak üzere toplam 3 kg yakıt numunesi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yakıt numunelerinden biri grup referans numunesi olarak ayrılmıştır. Kalan numuneler her cins sevk yakıtı 5 yıl, 10 yıl ve 20 yıl olmak üzere STANAG 4582 'ye göre yaşlandırılmıştır. Yakıt numunelerinin tamamının; ağırlıkları, geometrik boyutları, kalorileri belirlenmiştir. Kapalı basınç bomba kabında yakıt numuneleri yakılarak yanma hızları ölçülmüştür. Deneyler sonucunda; yakıtların yaş farkları arttıkça kütle kaybına uğradıkları, tane geometrilerinde bozulmalar görülmüştür. Yaşlı yakıtlarda yanmanın daha hızlı, kararsız ve yüksek basınçlarda çıktığı deneysel olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yanma Hızı, Katı Sevk Yakıtı, Yanma hızı ölçümü, İç Balistik, Kapalı Bomba Kabı, Yapay yaşlanma



ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SOLID PROPELLANT DEPENDS ON AGING OF BALLISTICS PERFORMANCE

TIRAK, Ergun

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Defence Technologies, Master's Thesis

Supervisor: Asst. Assoc. Dr. Zühtü Onur PEHLİVANLI

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ercan DEĞİRMENÇİ

May 2017, 86 pages

Conventional solid propellants drive the necessary propelling force to accelerate the projectile to achieve the desired spin and launch velocity at the muzzle of a gun. One of the most important design parameters that affect the bullet performance and the range is burn rate of solid propellant. The bullet takes all of its energy in the barrel and propellant. In this study, double base propellants with spherical geometric grains of the size of 320-800 μm from a same lot are investigated. Experiments were carried out using a total of 3 kg of fuel sample, 1 kg each of 5.56 x 45 mm, 7.62 x 51 mm and 9 x 19 mm. One of the fuel samples is separated as a group reference sample. The remaining samples were aged according to STANAG 4582, with 5 years, 10 years and 20 years for all types of fuel. As part of the experiments, all of the solid propellant samples were weighed, geometric dimensions and calories were measured. As a result of experiments; It is seen that the fuels are subject to mass loss as the age differences increase and that the grain geometries are distorted. In older fuels, combustion is faster, more unstable and higher pressures have been experimentally determined.

Key Words: Burn rate, Solid Propellant, Burning rate measurement,
Internal Ballistics, Closed Bomb, Artificial aging

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamn hazırlanması esnasında deęerli dűőünce ve önerilerini paylaşan, bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren ve destekleyen, görűőme günlerinde bütün iőlerini ayarlayarak beni misafir eden, belirlediđimiz mekânlarda buluşmayı kabul eden, tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Zűhtű Onur PEHLİVANLI' ya,

Bu araştırmanın konusunun belirlenmesi aşamasından, son şeklini almasına kadar bana içten ve destekleyici yaklaşımıyla yol gösteren, akademik fikirlerini benimle paylaşan ve çalıőmalarımı titizlikle takip ederek, bu zor süreçte beni yönlendiren her gereksinim duyduğumda zamanını ayıran, bilgisini ve deneyimini paylaşan sevgili hocam Doç. Dr. Ercan DEĞİRMENCİ 'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Literatür Taraması.....	2
1.2.1. Balistiğin Tanımı ve Sınıflandırılması.....	3
1.2.2. Dış Balistik.....	4
1.2.3. Hedef Balistiği.....	7
1.2.4. İç Balistik.....	7
1.2.5. Kapalı Bomba Basınç Kabı.....	9
2. MATERYAL VE YÖNTEM	11
2.1. Sevk Barutları.....	11
2.1.1. Karabarut.....	13
2.1.2. Nitroselülozlu Sevk Barutları.....	14
2.1.3. Nitrogliserinli Sevk Barutları.....	15
2.1.4. Diglikollü Sevk Barutları.....	16
2.1.5. Nitroguanidinli Sevk Barutları.....	17
2.2. İç Balistik Performans Kontrolü.....	17
2.2.1. Enerjinin Dağılımı.....	18
2.2.2. Sevk Yakıtı Tanecik Boyutu Etkileri.....	18
2.2.3. Tanecik Yapılandırılması.....	23
2.2.4. Sevk Yakıtı Tanelerinin Şekilleri.....	24
2.2.5. Sevk Barutu Doldurma Yoğunluğu.....	25
2.2.6. Sevk Barutlarının Nem ve Sıcaklıklarının Yanmaya Etkisi.....	27

2.3. Sevk Barutlarının Yanma Kanunları.....	28
2.3.1. Vieille Yanma Kanunu.....	28
2.3.2. Sevk Yakıtı Temel Denklemler.....	31
2.4. Yanma Hızı Matematiksel Modellemesi.....	33
2.5. Katı Yakıt Yanma Hızı Ölçüm Yöntemleri	34
2.5.1. Azot Ortamında Katı Yakıt Yanma Hızı Ölçümü.....	34
2.5.1.1. Strand Burner	35
2.5.2. Ultrasonik Dalga İle Katı Yakıt Yanma Hızı Ölçümü.....	35
2.5.2.1. Kapalı bomba	36
2.6. Ölçü Aletleri.....	37
2.6.1. Basınç Ölçümleri.....	39
2.6.1.1. Kroşe Göstergesi	39
2.6.1.2. Pioze Elektrik Basınç Göstergesi.....	40
2.6.1.3. Gerinim Ölçer	40
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
3.1. Kapalı bomba test cihazı teknik özellikleri.....	41
3.1.1. Kapalı Bomba (Soğutma Ünitesi ile Beraber)	41
3.1.2. Kafa kompleksi	42
3.1.3. Egzoz Vana Sistemi	42
3.1.4. Ateşleme Kontrol Konsolu.....	43
3.1.5. Kistler Sinyal Şartlandırıcı.....	43
3.1.6. Veri Toplama Sistemi	43
3.2 Kapalı Bomba Sisteminde Gerçekleştirilen Operasyonlar.....	44
3.2.1. Sevk Yakıtı.....	46
3.2.2. Basınç Sensorü	49
3.2.3. Ateşleme sistemi	49
3.2.4. Kapalı Bomba Kabı Yüklemei	50
3.3. Yapay Yaşlandırma.....	52
3.3.1. Yakıtların Kimyasal Stabilizesi.....	53
3.3.2. Etkin Stabilizatör Miktarının Belirlenmesi	54
3.3.3. Sevk Yakıtları Stabilizatör Kullanımı.....	55
3.4. Yapay Yaşlandırma Operasyonları	56
3.4.1. Yapay Yaşlanmanın Teorik Hesaplanması	58

3.4.2. Sevk Barutlarının Yapay Yaşlanma Prosesine Hazırlanması	60
3.4.3. Isıtma Blokları.....	61
3.4.4. Sevk Yakıtlarının Isıtma Bloklarına Yerleştirme İşlemi.....	62
3.4.5. Sevk Barutlarının Difenilamin Oranlarının Belirlenmesi	64
3.4.6. Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC)	64
3.4.7. Sevk Yakıtlarının Yaşlanmalarının Fiziksel Olarak Gözlenmesi	66
4. SAYISAL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	68
5. SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ.....	86



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Nitrogliserinli barutların, nitrogliserin yüzdeleri ve 1 kg.'nın ısı değeri..	16
2.2. Sevk yakıtının yanma enerjisinin yaklaşık dağılımı	18
2.3. α , β ve γ 'nin değerleri	30
3.1. Kapalı ateşleme testlerinin koşullarının karşılaştırılması	45
3.2. Sevk Yakıtlarının Fiziki-Kimyevi Teknik özellikleri	47
3.3. Sevk Yakıt Analizi	58
3.4. Yaşlandırma İşlemi Test Zamanları	59
3.5. Yaşlandırma işlemi uygulanan sevk yakıtlarının miktarı.....	61
3.6. Sevk Yakıtlarındaki Difenilamin miktarları.....	66
4.1. 5.56 x 45 mm Sevk Yakıtının Anova Analizi	73
4.2. 7.62 x 51 mm Sevk Yakıtının Anova Analizi	74
4.3. 9 x 19 mm Sevk Yakıtının Anova Analizi	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Ballista	4
2.1. Basınç-Yol ilişkisi.....	19
2.2. Çok delikli barut tanesi	19
2.3. 90 mm 'lik M6 top barutu	21
2.4. 105 mm 'lik obüs barutu	21
2.5. 155 mm 'lik M6 top barutu	21
2.6. 203 mm 'lik M1 obüs barutu.....	22
2.7. Tek ve çok delikli barut tanelerinin yanması	22
2.8. Tanecik yapılandırmasının basınç-yol eğrisine etkileri	23
2.9. Barut tanelerinin şekilleri	24
2.10. Çeşitli barut tiplerinin yanma yüzeylerinin yüzdelerine oranları.....	25
2.11. Yanma başlangıcındaki ve sonundaki küp tane geometrisi	29
2.12. Yanma Hızı Diyagramı	33
2.13. Ultrasonik dalga sinyali ve akustik basıncın veri analizi işletim sistemi... 36	
2.14. Gerinim ölçer parçaları	40
3.1. Kapalı bomba ölçümü şematik görünümü	44
3.2. Deneyde kullanılan yaşlandırılmış sevk yakıtı numuneleri	48
3.3. Sevk yakıtlarının Hassas Tartımı	48
3.4. Kistler Basınç Sensörü	49
3.5. Ateşleme Sisteminde kullanılan karabarut.....	50
3.6. Kapalı Bomba Haznesi.....	51
3.7. Kapalı Bomba veri dönüştürücü ve işletim sistemi.....	51
3.8. Isıtma tüpleri gramaj tartımı	60
3.9. Hazırlanan Isıtma Tüpleri	61
3.10. HBA Isıtma Bloğu	61
3.11. Isıtma Bloklarına Yerleştirilen Barutlar.....	62
3.12. Yaşlandırma prosesi	63
3.13. Isıtma Bloklarından Boşaltılan Barutlar.....	63
3.14. Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC).....	65

3.15. Sevk Yakıtlarının Mikroskop ile Gözlenmesi.....	66
3.16. Sevk Yakıtlarının Fiziksel Şekilleri	67
4.1. 9 x 19 mm Sevk Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Yanma Hızı.....	70
4.2. 9 x 19 mm Sevk Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Canlılığı	71
4.3. 5.56 x 45 mm Sevk Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Yanma Hızı.....	71
4.4. 5.56 x 45 mm Sevk Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Canlılığı	72
4.5. 7.62 x 51 mm Sevk Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Yanma Hızı.....	72
4.6. 7.62 x 51 mm Sevk Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Canlılığı	73
4.7. 5.56 x 45 mm Sevk Yakıtının Kapalı Bomba Yanma Dataları.....	76
4.8. 7.62 x 51 mm Sevk Yakıtının Kapalı Bomba Yanma Dataları.....	77
4.9. 9 x 19 mm Sevk Yakıtının Kapalı Bomba Yanma Dataları.....	78



SİMGELER DİZİNİ

K_0	Denge sabiti
Q	Tepkimenin verdiği ısı
R	Genel gaz sabiti
Δ	doldurma (imla) yoğunluğundaki denge sabiti
C_z	Üretilen yakıt gazı kütlesi
V_0	ilk hız
M_g	Yanan gaz kütlesi
T	Gazın mutlak sıcaklığı (K°)
P_{max}	Maksimum gaz basıncı
P	Gazın basıncı (kg / m^2)
P_0	Atmosfer basıncı (kg/cm^2)
V_0	Deney bombasının iç hacmi
V_c	Gazın işgal ettiği hacim
V_1	Yanma odası ilk hacmi
dV	Gaz hacminin değişimi,
dp	Gaz basınç değişimi
α, β, γ	Barutun biçimine bağlı katsayılar
ϕ ve n	Kimyasal yapılara bağlı sabitler
η	covolume (m^3 / kg)
$\frac{de}{dt}$	Yanma hızı
B	Balistik verim
λ	Kuvvet sabiti
t_m	Test süresi
T_m	Test sıcaklığı
E_1	yüksek sıcaklık aralığının aktivasyon enerjisi
E_2	düşük sıcaklık aralığının aktivasyon enerjisi
P_1	Isı Akış limitleri

KISALTMALAR DİZİNİ

BR	Burn Rate
CBDAC	Closed Bomb Data Acquisition
CI	Etilcentralit
CII	Metilcentralit
DPA	Difenilamin
HBA	Heating Blocks For Accelerated Aging
HFC	Heat Flow Calorimetry
HPLC	High-Performance-Liquid Chromatography
NC	Nitrocellulose
NG	Nitroglycerine
NODPA	N-Nitrodifenilamin
STANAG	Standardization Agreement
XLCB	Excel Closed Bomb

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Son yıllarda mühimmatların hizmet ömürleri problemleri daha fazla ilgi kazanmaya başladı. Dünyadaki ekonomik bütçe kesintileri yüzünden askeri güçler maliyet azaltımına gitmek zorunda kaldı. Yakıtların raf ömürlerini arttırmak için daha fazla çaba sarf edilmeye başlandı. Sevk yakıtlarının performans ve kimyasal etkinliği farklı yüklemeler altında değişmektedir. Bununla birlikte, kimyasal yaşlanma, oksidasyon, termal veya oksijen gibi farklı kaynaklardan oluştuğundan raf ömrünün değerlendirilmesi sırasında en önemli sorunlarından biri yaşanmaktadır. Birçok araştırmacı katı sevk yakıtlarının yaşlanmasına neden olan kimyasal reaksiyonları araştırmıştır, ancak katı sevk yakıtlarının kinetik davranışlarını inceleyen çalışmalar bulunmamaktadır. Sevk yakıtlarının yaşlanmasının balistik performanslarını etkilerini araştırmak için yaşlı sevk yakıtlarına ihtiyaç vardır. Doğal olarak yaşlandırılmış sevk yakıtlarının azlığı nedeniyle, yakıtları karakterize etmek için genellikle termal olarak hızlandırılmış yaşlanma verileri kullanılır.

Sevk yakıtlarının yüksek basınçlı ortamlarda (10-200 MPa büyüklüğünde) yanması esnasında namludaki yanma oranı, önemli balistik karakterlerden biridir. Yanma bir silah içinde kapalı bir hacimde gerçekleştiğinde, kapalı gazların sıcaklığı ve basıncı arttıkça yanma hızı da hızla artar. Efektif bir silah tasarlamak için ağırlık, boyut karakteristiği, basınç yükselme oranı ve maksimum basınç uygun sınırlarla sınırlandırılmalıdır. Sevk yakıtı tasarımcıları bu etkileri (temel yakıt bileşenlerin seçimi, yanıcı geciktiriciler ilavesi, boyut seçimi ve yakıt taneciklerinin şekli ve yanma oda hacmi gibi) kontrol ederek ayarlar.

Bu çalışmada; yeni imal edilmiş ve aynı kafiilde imalatı gerçekleştirilmiş 300-800 µm tane aralığında küresel geometrili çift bazlı katı sevk yakıtları numuneleri kullanılmıştır. 5.56 x 45 mm, 7.62 x 51 mm ve 9 x 19 mm cinslerinden her birinden 1 kg olmak üzere toplam 3kg yakıt numunesi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yakıt numunelerinden bir grup referans numunesi olarak ayrılmıştır. Kalan numuneler

her cins sevk yakıtı 5 yıl, 10 yıl ve 20 yıl olmak üzere STANAG 4582 'ye göre yaşlandırılmıştır. Yakıt numunelerinin tamamının; ağırlıkları, geometrik boyutları, kalorileri belirlenmiştir. Sevk yakıt numuneleri yaş gruplarına ayrıldıktan sonra 12 saat boyunca 292 K test sıcaklığında şartlandırılmıştır. Şartlandırmalar boyunca sevk yakıtının nem seviyesi ve sıcaklığı kontrol edilerek, izlenmiştir.

Kapalı bomba testleri, yanma oranı bilgisi elde etmek için kullanılan iyi bir yöntemdir. Bu deneyler gaz üretim oranlarını ölçer. Eğer iç balistik analizin temel varsayımları tam olarak karşılanırsa, yanma oranı bilgisi test koşulları doğru olarak çıkarılabilir. Bu çalışmada kullanılan sevk yakıtları küresel geometrili 320-800 µm aralığındaki tanecikler olduğundan, kapalı bomba hacmi standarda uyularak 200 cm³'lük seçilmiştir. Kullanılan kapalı bombanın teknik parametreleri, basınç ölçüm sistemi ve veri toplama zinciri (amplifikatör, A / D dönüştürücü ve bilgisayar) ile sağlanmaktadır. Ayrıca araştırma metodolojisi, STANAG 4115 (Ed.2) de tanımlananla aynı olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Ateşleme sistemi, bir güç kaynağı ve ateşleme malzemesinden oluşmaktadır. Ateşleme malzemesi olarak 2g kara barut kullanılmıştır.

Bu araştırmanın amacı, yaşlanmanın balistik performans üzerindeki etkilerini daha kalitatif bir şekilde kavranması ve silah sevk yakıtlarının iç balistik özelliklerini emniyetli kullanımına ilişkin göstergeler sağlayan bir dizi parametrenin seçilmesidir. Bu amaçla çift bazlı küresel geometrili tabanca barutlarının çeşitli özellikleri yapay yaşlanmadan önce ve sonra belirlenmiştir. Yapay yaşlandırılan ve referans olarak bırakılan yakıtlar kapalı bomba kabında yakılarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yakıtların yaşlandıkça yanma hızlarının arttığı ve kararsızlaştığı görülmüştür.

1.2. Literatür Taraması

Balistik çalışmaları 14.yüzyıla kadar karmaşık değildi. Fırlatma düzenekleri; kas gücü, sapan veya elastiki kuvvetlerden enerji sağlayan mancınık ve yaylardan oluşuyordu. 1346 yılında İngilizler Fransızlara karşı silah sistemiyle fırlatılan mermiler kullanmaya başlayınca, iç balistik çalışmaların temellerini atmış oldular. O tarihlerde dökme demir ve bronzdan imal edilen top tasarımları, yüksek kalitede yivli-setli çelik malzemelere

kadar ilerleyerek gelmiştir. Bu ilerleme, daha büyük mermileri hızları arttırılarak atmayı ve çeşitli tahrik sistemleri kullanarak daha uzun menzillere ulaşma fikrini ortaya çıkardı. Mermilerin yüksek hızlara çıkması bugün muazzam bir kuvvet gerektirir. Kullanılan enerji kaynağı bu kuvvetleri destekleyebilecek, taşınması kolay ve güvenli imal edilecek nitelikte olmalıdır. Çeşitli zamanlarda bu enerji kaynağını sağlamada patlayıcılara alternatif olarak basınçlı hava, elektromanyetik kuvvet, merkezkaç kuvvetleri düşünülmüştür ancak; şimdiye kadar kimyasal patlayıcılardan sağlanan bu enerji diğer hiçbir alternatiften elde edilememiştir [1].

İç balistik; kimyasal bir enerji kaynağının çalışmasını, çalışma sürecini, enerji salınımını kontrol etmek ve yönlendirme eylemini gerçekleştirecek aparatları kapsamaktadır. Bunların hepsi silah ve aksesuarlarının mekanik işleyişinde etkilidir.

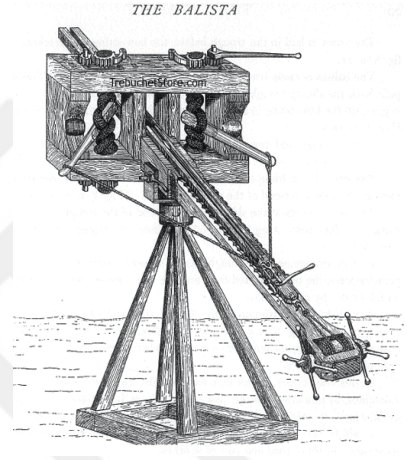
Merminin namlu içinde hareketini inceleme çalışmaları Newton yasalarındaki noktasal kütle esas alınarak açıklamak mümkündür ancak; sevk yakıtlarının yanmasıyla ortaya çıkan yüksek sıcaklık, mermi hareketi hesaplama çalışmalarını karmaşık hale getirmektedir. Bu şekilde üretilen gaz hareketi merminin kendisinin de hareketini etkilemektedir. Merminin namludan geçişi mekanik olarak gerinim yaratıp, namlu içinde kayma sürtünmesi oluşturmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki gazların geçişi, üretilen yüksek basınç oluşumuna ek olarak metal ile kimyasal etkileşimi sonucu namluyu ısıtmaktadır [1].

1.2.1 Balistiğin Tanımı ve Sınıflandırılması

Balistik, uzaya fırlatılan cisimlerin, özellikle mermilerin, gerek bir silahın içindeki, gerekse dışındaki hareketlerini ve hedef üzerindeki etkisini inceleyen bilimdir. Bir başka deyişle, mermilerin itme kuvvetini, uçuşunu ve çarpma etkisini inceleyen bir bilimdir [2]. Günümüzde balistik üç ana bölüme ayrılmıştır. Bu bölümler; Dış Balistik, İç Balistik, Hedef Balistiği.

1.2.2. Dış Balistik

Tarih öncesi insanların taş fırlatmaları dış balistiğin ilk örnekleridir. Daha hızlı ve güçlü fırlatmanın sağlayacağı avantajlardan dolayı sapan ve mızraklar yapılmıştır. Daha sonra ok yapılmış ve okun kurulmasında kullanılan yay "ballista" adını almıştır. Ballista kelimesi Yunanca da fırlatma anlamına gelen "ballein" kelimesinden gelmektedir. Ballista çok daha büyük okların fırlatılması için kullanılmıştır [3].



Şekil 1.1. Ballista

Leonardo da Vinci (1452-1519) çalışmaları ilk modern ordu mühendisliğinin yolunu açmıştır. Leonardo da Vinci gerek saldırı ve gerekse de savunma amaçlı; piyade tüfeği, havan, top, çeşitli tank ve deniz altı gibi birçok silah sisteminin tasarımını yapmıştır. Da Vincinin, kuşları incelemesi ve uçuş için basınç merkezlerinin önemini ortaya çıkarması ile aerodinamik olayların ilk teorik temellerini ortaya atmıştır. (1562-1642)

Galileo; Aristotelian' ın hareket teorisini çürütmüş ve hareketin bilimsel temellerini başarılı bir şekilde ortaya koymuştur. Aristotelian' ın teorisine göre; ateş, hava, su ve dünyanın etkileri hariç nesnelere tahrik kuvveti almadan hareket etmezler. Hava ve ateşin yukarıya kaldırma, su ve dünyanın aşağıya çekme özelliklerinin olması bunların

doğal özelliklerindedir şeklinde açıklamaktadır. Ancak bu teori fırlatılan okların uçuşunu açıklayamamaktadır. Bunun üzerine açıklanmayan olayları cebri hareket diye yeni bir ifade açıklamaya çalışmıştır.

Galileo, fırlatılan mühimmatın parabolik yörüngesini çıkarmıştır. Galileo'nun öğrencisi Evangelista Torrecelli; fırlatılan mühimmatın uçuş yörüngesini modellemiş ve yörüngenin parabolik yapısı ile çalışmıştır. 1537'de Niccolo Tartaglia zamanında, top namlusu yükselişinin çeyrek açısında mermi yörüngesi tam olarak ölçülmüştür. Namlu çıkış hızının kaba bir şekilde ölçümü Galileo'nun ölümünden sonraki yüzyılda yapılmıştır [3].

Mühimmatın gerçek menzilin Galileo'nun parabolik yörüngesinden çok daha kısa menzilli olduğu daha sonraları öğrenilmiştir. Ancak; Galileo hava direncinin mühimmatın hareketini kısıtlayacağını biliyordu ve direnci ihmal etmişti. Mühimmatın; ağırlığının, hızının ve geometrik şeklinin havada uçuş hareketini hızlandırıcı veya yavaşlatıcı yönde düşüşüne sebep olacağını tartışmaya açmıştır. Galileo'nun çalışmaları, Isaac Newton (1642-1727) tarafından düzeltilmiştir. Newton belki balistiğin modern temellerini atan en önemli bilim adamıdır. Newton'un "Temel Matematiğin Doğal Felsefesi" adlı kitabında dinamik üzerinde çalıştığı görülür [3].

Newton, iki ciltlik bu kitabından birisinde katı cisimlerin hareketini, diğerinde ise sıvıların hareketini incelemiştir. Bu iki konu da modern balistiği birinci derecede ilgilendirmektedir. Yazar, top arabalarından yatay olarak ateşlenen mühimmatın hareketini yer çekimi yönünden incelemeye başlamıştır. Barut yanma hızının sürekli arttığını gösteren Newton, buradan da mühimmatın ateşleme anından uçuşunu tamamlayıncaya kadar olan hareketini hesaplamıştır [3].

İsviçreli Leonhard Euler (1707-1783) çalışmalarında Newton'un balistik çalışmaları en önemli yeri tutar. Top mermilerinin uçuş menzilini hesaplayabilmek için çeşitli mesafelerde deneysel çalışmalar yapmıştır. Euler balistik konusunda ilk analitik çalışandır. 1742'de Benjamin Robins balistik sarkacı icat etmiş ve bu sarkaç ile eski silahların namlu ağzı çıkış hızlarını tespit etmiştir. Namlu çıkış hızları 76 m/s 'den 518 m/s 'ye kadar olan hızlardaki mühimmatların hızlarını ölçmüştür. Benjamin;

Newton'un bulduğu serbest düşüşün, düşme hızının karesi ile orantılı olma şartını düşük ve yüksek hızlı mühimmatlarda denemiş ve sonuçta 244 m/s hızlara kadar çok iyi sonuçlar elde etmesine rağmen, özellikle 336 m/s hızlarda hava direncinin de çok olması nedeniyle sapmalar çok daha fazla olmuş ve iyi sonuçlar elde edememiştir [3].

Mühimmat uçuş yörüngelerine ait deneysel yöntemlerin tam ve doğru olarak belirlenmesi 19. yüzyılda yapılmıştır. Bu dönemde namlu çıkış hızı ile namlu büyüklüğünün uyumlu hale getirilebilmesi için iç balistik olayları incelenmeye başlanmıştır. Havan mühimmatının uçuşunun gerçek zamanının tespitini Charles Wheatstone (1802-1875) elektrik devresi kullanarak yapmıştır. Bu çalışma Francis Bashforth (1865-1870, 1878-1880) 'ın elektrikselsel kronografi yöntemi ile top mühimmatlarının yörüngesini hesaplamasına yardımcı olmuştur [3].

Avrupa'daki bu deneysel çalışmaların sürmesi uçuş kanunlarını geliştirmiş ve bu sayede havan mühimmatlarının hızları hesaplanmıştır. 18. Yüzyılda üretilen yumuşak geçişli silah namlularının, namlu çıkış hızları düşük ve üretimleri hatalıydı. Bu durum aynı zamanda 19. yüzyıldaki Avrupa savaşlarında kullanılan tüfeklerde de görüldü. 18. Yüzyılda Avrupa ordularında kullanılan topların menzillerinin kısa olmasının sebebi namlu çıkış hızının düşük olması ve namlu temizliğinin sorun olmasıdır. Bu durum yangın çıkarıcı topçu roketlerinin yapılmasına yol açmıştır [3].

Yangın çıkarıcı roketler İtalya ve Almanya'da 14. yüzyılda yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak, 1450'den sonra Avrupa'daki kara savaşlarında kullanılmasına son verilmiştir. Bunun en büyük sebebi üretimde veya kullanmadan önce patlama eğiliminin olmasından dolayıdır. Ancak bu roketler Orta Doğuda kullanılmaya devam etmiştir. Hindistan'da yapılan roketler hatalı ve 3-5 kg.lık çelik tüplerden yapılmaktaydı. Bu roketler o kadar etkileyiciydi ki, Hindistan'daki İngiliz orduları bu silah sistemiyle oldukça zor mücadele etmişlerdir. İngiliz William Congreve (1772-1828) yaptığı çalışmalar ile yangın çıkarıcı bu roketlerin menzilini 3 km. 'ye kadar geliştirmiştir. Napolyon zamanında Avrupa ordularının tamamında bu yangın çıkarıcı roketler görülmüştür [3].

1855’de Amerikalı William Hale roketlerin uçuşunda dönme kararlılığını geliştirdi. Balistik kuvvetlerin hesaplanmasında yerçekimi ve aerodinamik direnç kuvvetleri yanında artık mühimmatın kendi eksenini etrafındaki dönüş kararlılığını da incelenmeye başlanmıştır. 20. Yüzyıl boyunca matematiksel denklemlerin kullanılması, fırlatılan cisimlerin uçuşu ile ilgili tüm aerodinamik kuvvet etkilerinin tanımlanmasına sebep olmuştur. Uçuş testleri rüzgâr tünellerinde, ateşleme testleri ise laboratuvarlarda yapılarak teorik değerler ile pratik bulgular zaman zaman doğrulanmıştır.

1.2.3. Hedef Balistiği

Merminin hedef üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak bilimsel incelenmesidir. İlk zamanlarda silah sistemlerinin etkinliğini arttırmak için basit bir şekilde silahın çapı büyütülmekteydi. Zırhların gelişmeye başlaması ve hava araçlarının savaş alanlarında önemli yer tutması zırh delici aygıtların gelişmesine sebep olmuştur. Metalürji alanındaki bu gelişmeler daha tok yapıları malzemelerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Her alanda olduğu gibi balistik ölçüm aygıtlarının ölçme kapasiteleri çok yüksek basınçları ölçebilecek şekilde gelişmiştir. Milisaniye seviyesinde ölçüm alma yeteneklerinin kazanılması, terminal balistiğin daha hızlı gelişmesine sebep olmuştur. II. Dünya savaşının başlamasından günümüze kadar olan gelişmelerde yüksek patlayıcıların yapılması başarılı, vuruş kapasiteleri artırılarak hedef üzerinde; büyük oranlarda yaralanma, parçalanma ve şiddetli hasar meydana getirilmiştir. Son yıllardaki nükleer silahların ölümcül etkilerinin araştırılmaya başlanması ile terminal balistik, bu silahların da kapsama alanına gelmiştir [3].

1.2.4. İç Balistik

İç balistik prosesi temel olarak, sevk yakıtı içerisindeki kimyasal enerjiyi kinetik enerjisine dönüştüren bir ısı motoru olarak düşünülebilir [4]. İç balistiğin tarihçesi kara barutun kullanılmaya başlanması ile başlamasına rağmen, ilk inceleme tarihi henüz tam olarak tespit edilememiştir. 1346 yılında İngiltere ile Fransa arasındaki savaşta kullanıldığı bilinmektedir. 18. Yüzyıl sonlarında kara barut; % 75 oranında sodyum

veya potasyum nitrat oksitleyici olarak, % 15 oranında karbon(odun kömürü) temel yanıcı olarak, %10 oranında ise kükürt karışımından oluşmaktaydı. Barut, ilk defa 1578 'de Bourne tarafından test edilmiştir. Barut balistiğinin ölçülmesi ilk defa 17 yüzyılda İtalyan Luys ve İngiliz William Eldred ile Nathaniel Nye tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar ile farklı yükseliş açılarında atış menzilleri tespit edilmiştir. 1742'de Benjamin Robins balistik sarkacı icat etmiş ve bu sarkaç ile silahların namlu ağzı çıkış hızlarını tespit etmiştir. "Yeni Atış Tekniği Prensipleri" adlı kitabında iç balistiğin temel problemlerini incelemiş ve basınç değerleri için namlu çıkış hızlarını hesaplamıştır. 1792'de Amerikalı Count Rumfort ilk defa deneysel olarak barut gazının basıncını ölçmüştür. Deney sonuçlarından gaz basıncı ile gaz yoğunluğu arasında ilişki olduğunu tespit etmiştir. Rumfort' un basınç, yoğunluk ilişkisi ve barut tam olarak yandıktan sonra merminin harekete geçeceği kabul edilerek yapılan, 18. yüzyıl sonundaki çalışmalarda basınç değişimi ile atış mesafesinin değişimi hesaplanmıştır. Basınç, mühimmat uçuş yörüngesinin hesaplanması sonucundan namlu ağzı çıkış hızı hesaplanarak deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [3].

Fransız Piobert 1839' da kendisine ait yanma kanununu açıklamıştır. Bu kanun yalnızca kara barut için geçerli olmuş ancak iki veya daha çok bazlı barutlar ile paralellik göstermektedir. Piobert namlu içindeki gaz hareketlerinin yaklaşık çözümünü vermiştir, aynı zamanda bu konu ile ilgili olarak Lagrange' de Fransız devrimi boyunca ilgilenmiştir. Ayrıca Piobert silah sistemleri üzerindeki etki tepki kuvvetleri üzerinde de çalışmıştır. 1857' de Amerikalı General Rodman tarafından barut gazı basıncını basınç masterları kullanarak ölçmeyi başarmıştır. Kama tarafına açılan bir çentiğe bakır veya kurşun doldurulduktan sonra, ateşleme yapılıyor ve gaz basıncının etkisi ile ezilen bakır veya kurşunun ezilme miktarından maksimum gaz basınç kuvvetini hesaplamıştır. Aynı zamanda bu deney ile kapalı kap içindeki basınç, yoğunluk ilişkisini de ortaya çıkarmıştır [5].

1860 'da Andrew Noble tarafından masterlar geliştirilmiş ve bu masterlar ile daha doğru basınç ölçümleri yapılmıştır. Noble ile Frederick Abel sabit hacimde basınç – yoğunluk ilişkisini ifade etmişlerdir. Barutun yanma enerji eşitliği 1864 ' de Resal tarafından verilmiştir. Bu ifade iç balistiğin termodinamik modelinin temelini oluşturmaktadır [3].

II. Dünya savaşı sonrasında karmaşık matematiksel modeller ortaya çıkmıştır. Ancak birçok sadeleştirmeden dolayı bu modeller kullanılmaya elverişli olmamıştır. Bilgisayar programlarının gelişmesi ile silah sistemleri daha doğru hesaplanmıştır [3]. Tarihteki ilk modern sevk maddesi olan nitrogliserin, Alman kimyacı Christain Schonbein tarafından 1845’ de keşfedilmiştir. Nitrogliserin geride çok az katı atık bırakacak şekilde tam olarak yanabilmektedir. Kara barut ile mukayese edildiğinde ise nitrogliserinin atık miktarı kara barutun yarısından daha azdır. 1884’ de Fransız fizikçi Paul Vieille alkol karışımı ile nitrogliserini belli bir formda sevk barutunu iyi sonuç verecek şekilde üretmiştir. Vieille’ nin yapmış olduğu bu sevk barutu Fransız ordusunda Poudre adı altında kullanılmaya başlanmıştır. Nitrogliserin yerine, eter ve alkol karışımından yeni bir sevk barutunu Alfred Nobel üretmiştir. Nitrogliserin ve vazelin karışımı aseton ile nitrogliserini Abel İngiltere’de kalıplamıştır. Elde edilen bu yeni sevk barutu şeklinden dolayı kordayt adı verilmiş ve 1891’den beri de halen İngiliz ordularında kullanılmaya devam etmektedir.

Robert Goddard 1926 ‘da ilk defa sıvı roket yakıtlarını denemiştir. Bu gelişme, çok büyük tepkiler verebilen sıvı ve hibrit sevk yakıtlarının gelişme sürecinin başlangıcını oluşturmuştur. Roketlerde ve tapalarda kullanılan katı sevk barutları genellikle II. Dünya savaşı boyunca gizli tutulmuştur. Sıvı yakıtlar, roket ve füzelerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [5].

1.2.5. Kapalı Bomba Basınç Kabı

Yeni roketler, füze silahları ve yüksek mukavemetli malzemelerin gelişmesiyle, yakıtların yüksek basınçlar altında yüksek yanma oranı ve istikrarlı çalışma gereksinimleri ortaya çıktı [6]. Bir kinetik enerji kesici kullanan jet motoru gibi, Anti-tank mühimmatları, çift itki sistemli roket motorları 10 MPa veya daha fazla basınç altında çalışırken; kullanılan yanma oranları 50-250 mm / s'dir. [7]. Katı roket motorunun çalışma basıncı üzerine geliştirme çalışmaları önemli bir teknik yaklaşımdır. Uygun motor iç balistik tasarımı için, seçilen farklı basınçlar altında yakıt gazının yanma hızı karakteristiği araştırılmalıdır. Şu anda, uluslararası yakıt yanma

oranı için test yöntemleri; akustik emisyon yöntemi [8]–[10], kapalı bomba yöntemi [11], ultrasonik test yöntemi ve x-ray yöntemi ana yöntemlerdir. Bu yöntemler esas olarak 20 MPa'nın altında yanma oranları belirler; daha yüksek basınç için bazı ölçüm metotları ([12], [13]) kullanılır. 5-45 MPa altındaki kompozit yakıtların yanma oranı Fransız ONERA tarafından kullanılan ve SNPE [14] tarafından geliştirilen kapalı tip ultrasonik yöntemle test edilebilir. Bu metot, yüksek basınç ($P \leq 25$ Mpa) altında yakıtları yanma oranını ölçen başarılı bir test tekniğidir. Sabit hacim yöntemi, yanma hızı ve yanma hızı özelliklerine 10-80 Mpa 'lık bir test basıncı uygulanır. Numunenin kaptaki yanma süresi genellikle 10-100 ms arasındadır. Sabit hacimli yakma prensibi (Wang) tarafından önerildi. Sabit hacimli yakma metodu basit teçhizat, kolay test etme ve düşük maliyet avantajlarına sahiptir.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Sevk Barutları

Bu bölümde; mermilere namli ağızlarında sahip oldukları ilk hızları sağlayan, roket ve jetlerin hareket etmesine neden olan enerjinin kaynağı durumunda bulunan, sevk barutları ve ayrıca askeri alanda kullanılan önemli patlayıcı maddeler hakkında özet bilgi verilecektir.

Genel olarak sevk barutları da patlayıcı maddeler sınıfında olup bunların tepkimeleri düşük hızlarda oluşur. Bu nedenle sevk barutlarının tepkimelerine patlama ya da infilak yerine daha doğru olarak yanma, demek gerekir. Sevk barutlarının (düşük hızlı patlayıcı maddelerin) yanma hızları 0.01 ~ 1 m/s arasındadır. Yüksek hızlı patlayıcı maddelerin patlama hızları ise 2000 ~ 9000 m/s arasındadır. Hızlar için bu belirlemeler açık havadaki tepkimelere göre yapılmıştır. Sevk barutları kapalı yerlerde özel ateşleme düzenleriyle ateşlendiğinde bunlar da yanma yerine patlama biçiminde tepkime gösterebilirler [15].

Sevk barutları, bünyelerinde kimyasal enerjiyi saklayan, bir alev veya kıvılcım etkisiyle ve dışardan bir oksitleyiciye lüzum kalmaksızın, gaz ve yüksek ısı meydana getirerek ayrışan (yanan) kimyasal bileşim ya da karışımdır. Sevk barutlarının yanması esnasında dışarıdan bir oksitleyiciye gereksinim duymayışları, lüzumlu oksijeni bünyelerinde bulundurmalarındandır. Bu durum ise sevk barutlarının ısıl değerlerinin dışarıdan oksijen alarak yanan bazı yakıtlara nazaran daha düşük olmasına neden olur. Mukayese edebilmek için aşağıda ısıl değerler verilmiştir [15].

Kara barut	685 kcal/kg
Benzin	10026 kcal/kg
Nitrogliserin	1478 kcal/kg
Asetilen	12030 kcal/kg

Sevk barutları içinde oksijen genellikle hidrokarbon grubuna doğrudan doğruya bağlı değildir. Hidrokarbon grubuna azot vasıtasıyla bağlıdırlar. Sevk barutlarının yanmaları

sonunda meydana gelen enerji, hidrojenin veya karbonun yanmasından oluşan enerjiden 1/10 ~1/35 daha azdır.

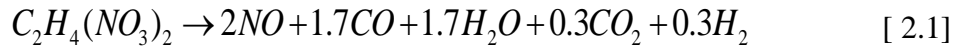
Sevk barutlarının yanma hızları yanma basınçlarına bağlı olarak değişir. Basıncın artması yanma hızını artırır. Basınç azaldıkça yanma hızı da düşer. Diğer taraftan sevk barutlarının yanma süreleri;

- barutun cinsine,
- barut tanelerinin biçim ve boyutlarına,
- barutun nem ve sıcaklığına,
- barutun yandığı yerin durumuna,
- barutu tutuşturan maddenin alev gücüne

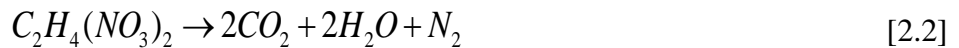
bağlı olarak değişir.

Sevk barutlarının yanması esnasında ani olarak meydana gelen barut gazı, genellikle karbon (C) , azot (N) kükürt (S),hidrojen (H) ve oksijenin (O) çeşitli bileşikleri ihtiva eder. En fazla meydana gelen bileşikler CO₂ ve H₂O dur. Ancak sevk barutlarının yanma basınçlarına ve dolayısıyla hızlarına bağlı olarak, yanma ya da patlama biçiminde oluşan tepkimeler sonundaki ürünleri miktar ve adet olarak farklı olabilmektedir. Örnek olarak nitroglikol için yanma ve patlama sonucu oluşan ürünler aşağıda gösterilmiştir [15].

Yanma;



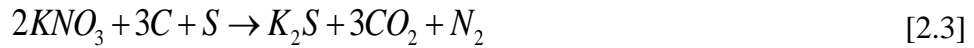
Patlama;



En iyi sevk barutunu bulmak amacıyla insanlar yaklaşık 1200 yıldan bu yana uğraşı içindedirler ve ilk olarak 1242 yılında kara barut Roger Bacon adlı bir papaz tarafından bulunmuş olup o zamanların savaşlarında daha ziyade gürültü çıkartmak için kullanılmıştır. Biz burada kara baruttan başlayarak bugüne dek kullanılan sevk barutlarını inceleyeceğiz [15].

2.1.1. Karabarut

Çok eskiden beri bilinen bir barut tipi olup, bugün sevk barutu olarak kullanılmamaktadır. Güherçile adı ile de bilinen karabarut; Karbon ve Kükürttten oluşan bir karışımdır. % 75 oranında sodyum veya potasyum nitrat oksitleyici olarak, % 15 oranında karbon (odun kömürü) temel yanıcı olarak, %10 oranında ise kükürt karışımında bulunur. Askeri alanda kullanılan kara barutlarda oksitleyici olarak daha çok potasyum nitrat (KNO_3) kullanılır. Nitro selülozlu sevk barutlarının bulunmasına kadar yegâne sevk barutu ve patlayıcı madde kara baruttu. Kara barut $300\text{ }^\circ\text{C}$ ' in üzerindeki sıcaklıkta aniden yanar ve yüksek sıcaklık meydana getirir ($3000 \sim 3800\text{ }^\circ\text{C}$). Bu durum silah namlularında aşırı ısınmaya neden olur. Kara barut genellikle küçük, küre biçimine yakın biçimde taneler halinde olup, taneler grafitle cilalanmıştır. Rutubet çekicidir ve rutubet alınca hemen bozulur. Kuru olarak muhafaza edildiği sürece özelliğini uzun süre muhafaza eder. Sıcaklık, sürtünme veya kıvılcımla ateşlenebildiği için en tehlikeli patlayıcı ya da yanıcı maddedir. Kara barutun tam olarak yanma denklemi aşağıdaki gibidir.



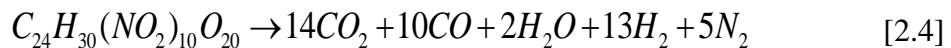
Ancak bu tepkime (reaksiyon) tam olarak meydana gelmez ve denklemin sağ tarafında K_2CO_3 (potasyum karbonat) ve K_2SO_4 (potasyum sülfat) görülür. Katalizör olan S reaksiyon sıcaklığını $340\text{ }^\circ\text{C}$ ' dan $300\text{ }^\circ\text{C}$ 'a düşürür. Denklemin sağ yanında görülebilecek K_2CO_3 ve K_2SO_4 katı maddelerdir. Kara barutun aşağıda sıralanan özellikleri nedeniyle sevk barutu olarak kullanılması uygun bulunmamıştır [15].

K_2CO_3 ve K_2SO_4 silahın namlusunda birikir ve her atımdan sonra namlunun temizlenmesi gerekir. Tepkime sonucu meydana gelen gaz miktarı azdır ve dolayısıyla mermiye ilk hızı kazandıracak enerji yüzdesi düşüktür. Kara barut kullanılarak 365 m/s' nin üzerinde ilk hız elde edilmesi çok güçtür. Tane büyüklüğü homojen olmadığından yanma hızının kontrolü zordur. Ağız alevi ve duman fazladır. Yanma hızı düşüktür. Nem çekicidir dolayısıyla depolama ömrü azdır [15], [16].

Kara barut sevk barutu olarak kullanılmamakla beraber, ateşleme zincirinde sevk barutunu tutuşturma ara elemanı olarak, tapalarda geciktirme elemanı olarak, ders atış mermilerinde gözetleme hakkı olarak, tahrip işlerinde ateşleyici olarak, manevra ve merasim kovanlarında barut hakkı olarak, alev azaltıcı ve diğer özel maksatlar için kullanılmaktadır.

2.1.2. Nitroselülozlu Sevk Barutları

Kara barutun sevk barutu olarak kullanılmasına engel olan sakıncaları ortadan kaldırmak için çalışmalar sürdürülmüş ve kara baruta göre daha iyi bir sevk barutu olan nitroselülozlu barut bulunmuştur. Nitroselülozlu barutlar, pamuğun nitrik aside batırılmasıyla elde edilir. Nitroselülozlu barutların ana maddesi nitroselüloz olup bu nedenle bu barutlara tek bazlı barutlar denir. Barutlar, tek fazlı, çift fazlı, üç bazlı olarak anıldığında 'baz' kelimesi ve önündeki sayı (tek, çift, üç) barut terkinde bulunan ara madde sayısını gösterir. Nitroselülozlu barutlar su altında da yanabilirler. Nitroselülozlu barutların detonasyon hızlarının azaltılması için, aseton ve benzeri eriyiklerde eritilir ve jelatinize edilir. Bu durumda barutlara istenen biçimler verilebilir. Alev azaltıcı olarak bazı tuzlar yanma hızını düşürmek için, depolama ömrünü arttırmak için difenilamin barutun terkinde bulunan maddelerdir. Nitroselülozlu barutlar (dumansız barutlar) arkalarında artık bırakmazlar, buna karşılık kısmen nem alabilirler. Nitroselülozlu barutlar tam olarak yandığında reaksiyon ürünleri aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi oluşur.



1 kg lık dumansız barut açık havada (1 atm basınç ve 0 °C sıcaklıkta) yandığında ~900 lt gaz ve ~ 1000 Kcal ısı oluşur. Dumansız barutun yanma hızı 0,1 / 18 cm/s dir. Kara barutta ise aynı miktarın yanması ile 300 cm³ gaz ve 700 Kcal ısı oluşur. Nitroselülozlu barutlarla, büyük çaplı silahlarda 600/700 m/s lik ilk hız elde etmek mümkündür. Ancak bu ilk hız yeterli olmayabilir. Bu nedenle daha iyi sevk barutu bulma çalışmaları sürdürülmüş ve nitrogliserinli barutlar bulunmuştur [15], [16].

2.1.3. Nitrogliserinli Sevk Barutları

Nitrogliserinli sevk barutları, gliserin ve nitrik asidin bileşmesinden meydana gelir. Kapalı formülü C₃H₅N₃O₉ olan nitrogliserin renksiz bir sıvı olup yüksek hızlı patlayıcı bir maddedir. Nitrogliserin 19. asırda Alfred Nobel tarafından kullanılabilir şekilde sokulmuştur. Sevk barutu olarak kullanılabilmesi için, yanma hızının azaltılması, kuvvetlendirilmesi içinde oksijen yönünden zengin katkı maddeleri ile birleştirilmesi gerekir. Nitrogliserin nitroselülozlu barutlar gibi jelatinize edilir ve nitroselülozla karıştırılıp kurutulursa kırılğan olmayan, yanma hızı düşük bir madde elde edilir. Bu maddelerin yanma sonucu oluşturduğu enerji nitroselülozlu barutlara nazaran daha fazladır. Bu madde de çift fazlı bir sevk barutu olan nitrogliserinli baruttur. Netice olarak ana maddeleri nitroselüloz ve nitrogliserin olan bu sevk barutu yüksek enerjili olması sebebiyle silah namlularını büyük ölçüde aşındırır. İmalatı oldukça güçtür. Bu sakıncalarından ötürü daha iyi bir sevk barutu geliştirme çabaları sürdürülmüştür ve soğuk barut diye adlandırılan barut tipleri bulunmuştur. Aşağıdaki cetvelde değişik silahlarda kullanılan nitrogliserinli barutların yüzdeleri ile 1 kg barutun ısıl değeri gösterilmiştir. Nitrogliserin yüzdesinden geri kalan miktar nitroselüloz ve diğer katkı maddeleridir [15].

Çizelge 2.1. Nitrogliserinli barutların, nitrogliserin yüzdeleri ve 1 kg.'nın ısı değeri
[15]

Sevk Barutunun Kullanıldığı Silahın Cinsi	Barut terkiibindeki Nitrogliserin Yüzdesi	Yanma sonucu oluşan Isı Kcal/kg
Toplar	25~28	800~840
Obüs ve Havanlar	40	1000~1250
Roketler	25~30	800~1000

2.1.4. Diglikollu Sevk Barutları

Isıl değerleri düşük olan sevk barutları kullanıldığında silah namlularının ömrü belirgin biçimde artar. Bu nedenle nitrogliserinli sevk barutları yerine ısı değeri daha düşük olan maddeler bulunmuştur. Bu maddelerin en önemlisi diglokoldinitrattır. Diglokoldinitrat'ın ısı değeri daha da düşürülerek elde edilen sevk barutlarına, “soğuk barutlar” denilmektedir. Soğuk barutlar kullanılarak silah namlularının ömürleri büyük ölçüde arttırılmıştır. Nitrogliserin yerine %23~36 diglikoldinitrat kullanılarak elde edilen diglikol'lu sevk barutları yardımıyla, büyük ve küçük çaplı toplarda namlu ağzı alevini yok etmek ve mermi için yüksek ilk hız elde etmek mümkün olmaktadır. Bu barut çift esaslı bir barut olup esas maddeleri diglikoldinitrat ve nitroselülozdur [15].

Diglikollu barutların üstünlükleri; imalatları, nitrogliserinli barutlara nazaran daha kolaydır. Depolama ömürleri nitrogliserinli barutlara nazaran daha uzundur. İmalatları daha az tehlikelidir.

Diglikollu barutların sakıncaları; diglokoldinitrat, nitrogliserinden daha uçucu olduğundan sıcak havalarda barut tanelerinin birbirine kaynaması ve dolayısıyla farklı yanma yüzeyleri meydana getirmesidir. Tanelerin birbirine yapışması olayı + 40 °C 'ın üzerindeki sıcaklıklarda başlar.

Obüs ve havanlarda kullanılan diglokollu barutlarda diglikoldinitrat miktarı %35-36 olup , barutun asıl ısı değeri 1030 – 1050 Kcal/kg dır. Toplarda kullanılan diglokollu

barutlarda diglikoldinitrat miktarı % 22 – 26 olup bu barutun ısıl değeri 690 – 800 Kcal/kg dır [15].

2.1.5. Nitroguanidinli Sevk Barutları

Toplarda kullanılmakta olan sevk barutlarından en ilgi çekici olanları nitroguanidinli sevk barutlarıdır. Bu barutlar 3 bazlı barutlar olup esas maddeleri nitroselüloz, diglikoldinitrat ve nitroguanidinlidir. Bu tip barutlarda ısıl değeri düşük olduğundan “soğuk nitroguanidinli” barutları adını alır. Soğuk diglokollu barutlara nazaran, kullanıldıkları namlularda namlu ömrü yaklaşık iki kat artar. Bugün nitroguanidinli sevk barutları orta çaptan büyük çapa kadar her nevi silahta namlu aşınması ve namlu ağız alevinin azaltılması yönünden en iyi sonuç vermektedir. Bu tip barutların duman miktarı biraz fazla ise de namlu alevi kolayca bastırılabilir [15].

2.2. İç Balistik Performans Kontrolü

Gaz basıncı ve mermi hızı arasındaki istenilen teknik özellikleri için gereken iç balistik özellikleri genel anlamda elde edilmesine rağmen, tüm değişkenleri belirleme ve değerlendirme anlamında iç balistik temel sorunları devam etmektedir. Çözüm teorik analiz, ayrıntılı ve titiz deneylere dayalıdır.

Prosesle ilgili temel değişkenler şunlardır:

- a)Barutun kimyasal birleşimindeki farklılıklar,
- b)Reaksiyon hızındaki farklılıklar,
- c)Ateşleme karakteristikleri,
- d)Tanecik Geometrisi,
- e)Doldurma yoğunluğu,
- f)Çevresel faktörler,

Kimyasal bileşimin basınç ve sıcaklık etkileri, yanma üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Silah tasarımında çevresel faktörlerin parametre etkileri düşünülmelidir [1].

2.2.1. Enerjinin Dağılımı

Orta kalibreli bir silah mekanizmasında sevk yakıtının tamamen yandığını varsayarsak oluşan enerji dağılımı aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

Çizelge 2.2. Sevk yakıtının yanma enerjisinin yaklaşık dağılımı [1]

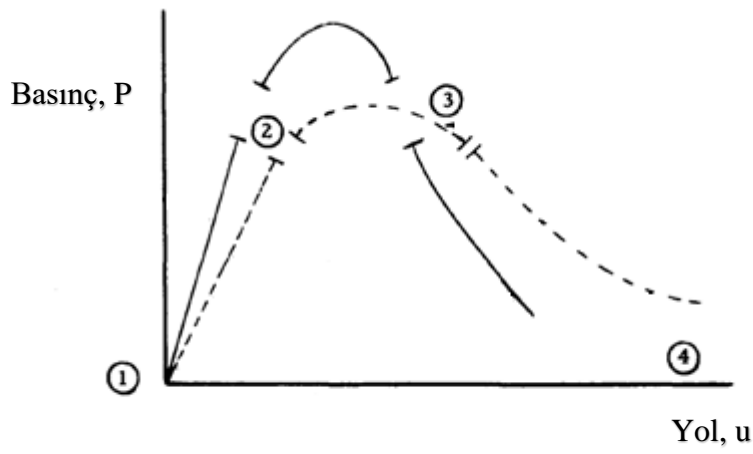
HARCANAN ENERJİ	TOPLAM (%)
Merminin hareketi	32
Merminin dönüşü	0.14
Mermi üzerindeki sürtünme	2.17
Geri tepme mekanizma hareketi	0.12
Sevk yakıtı gazlarının hareketi	3.14
Mermi ve Silahtaki ısı kaybı	20.17
Sevk yakıtlarındaki ölçülebilen ve gizli ısı kayıpları	42.26
Sevk Yakıtı potansiyel enerji (Q)	100

2.2.2. Sevk Yakıtı Tanecik Boyutu Etkileri

Sevk yakıtlarının uygun ateşleme sistemiyle ateşlendiğini varsayarsak; basınç-zaman ve basınç-hareket eğrileri; tane birleşimi, tane boyutu, tane yapılandırılması ve yükleme yoğunluğu gibi çeşitli değişkenlere bağlıdır. Son tasarım parametreleri tüm faktörleri kapsamına rağmen, en önemli temel faktör; bağımsız değişkenlerin etkilerini dikkate almaktır.

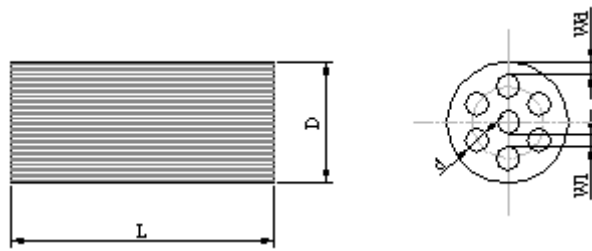
Sevk yakıtı bileşimi (tek bazlı, çift bazlı, üç bazlı, vb.) içeriklerine göre azalan, nötr ve artan yanma olarak sınıflandırılırlar. Deneysel araştırmalarda basınç-zaman ilişkisi kullanılmasına rağmen, silah sistemlerinin performansını genellikle basınç-yol grafiği gösterir.

Sevk barutlarının başlangıç yanma oranları, birim hacme düşen dolumdaki tüm tanecik sayılarının maruz kaldığı alana bağlıdır. Bu nedenle toplam maruz kalınan tutuşma sıcaklığını hesaba katmadan, tek etkili faktörü bulmak oldukça zordur. Basınç-yol eğrisi grafiğinin çeşitli değişkenler tarafından etkilendiği Şekil 2.1. de gösterilmiştir. Buradaki basınç-yol eğrisi için 1 ve 2 bölgeleri ateşleme karakteristiği ve maruz kalınan yanma alanı etkilerine göre belirlenirken; 3 ve 4 bölgelerinin öncelikle tanecik yapılandırması etkisi altında olduğu görülmektedir.



Şekil 2.1. Basınç-Yol ilişkisi [1]

Top barutlarının taneleri genel olarak silindirik biçimli tek ya da çok delikli olmaktadır. Boyutları ise kullanıldıkları silahlara, dolayısıyla barut hakkı miktarlarına göre değişmektedir [15].



Şekil 2.2. Çok delikli barut tanesi [1]

Çok delikli barut tanelerinde ortalama tane boyu L ise ortalama tane çapı D arasında;

$$\frac{L}{D} = 2.10 \div 2.50 \quad [2.5]$$

Tek delikli barut tanelerinde ise bu oran;

$$\frac{L}{D} = 3.0 \div 6.0 \quad [2.6]$$

Ortalama tane çapı D ile ortalama delik çapı d arasında çok delikli barut tanelerinde oran;

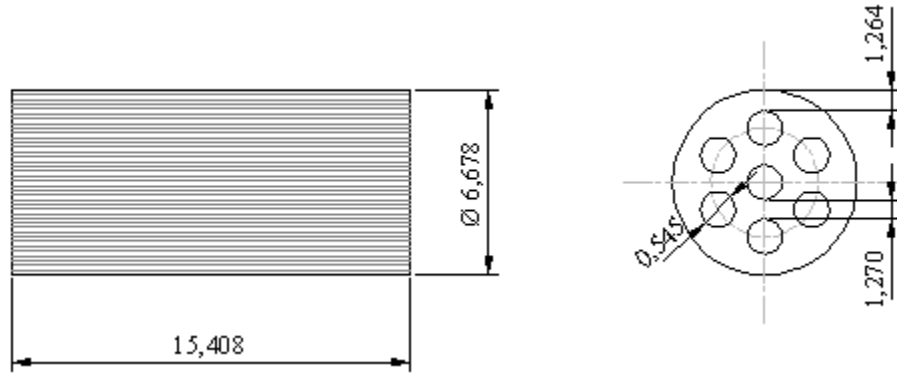
$$\frac{L}{D} = 5.0 \div 10.0 \quad [2.7]$$

Tek delikli tanelerde bu oran ise;

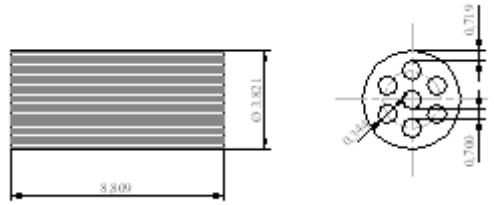
$$\frac{D}{d} \cong 3.0 \quad [2.8]$$

Çok delikli tanelerde dıştaki ortalama et kalınlığı W_d ile içteki ortalama et kalınlığı W_i arasındaki fark ortalama et kalınlığının % 15 inden fazla olmamalıdır. Bir barut kafilesi kalite kontrole sunulacağı zaman barut tanelerinden en az 30 adeti alınarak boyutları mikrometre veya ölçme mikroskobu altında çok sağlıklı bir biçimde ölçülerek (tane boyları, tane çapları, delik çapları, et kalınlıkları 0.025 mm hassasiyetle ölçülmelidir) ortalama değerler bulunur. Çok delikli tanelerde delik sayısı genellikle 7 dir.

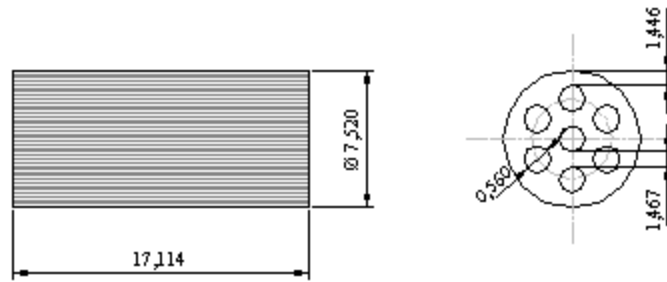
Aşağıda 90 mm, 105 mm, 155 mm, ve 203 mm 'lik toplara ait çok delikli barut taneleri ve yaklaşık olarak boyutları gösterilmiştir [15], [16].



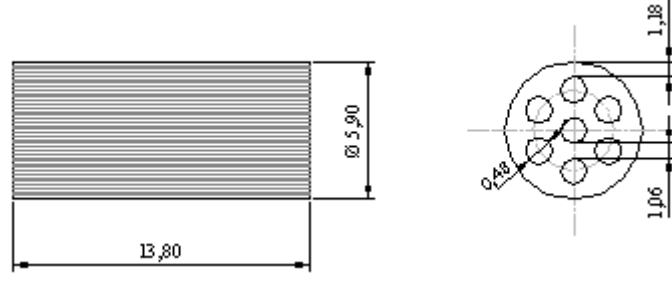
Şekil 2.3. 90 mm ‘lik M6 top barutu [15]



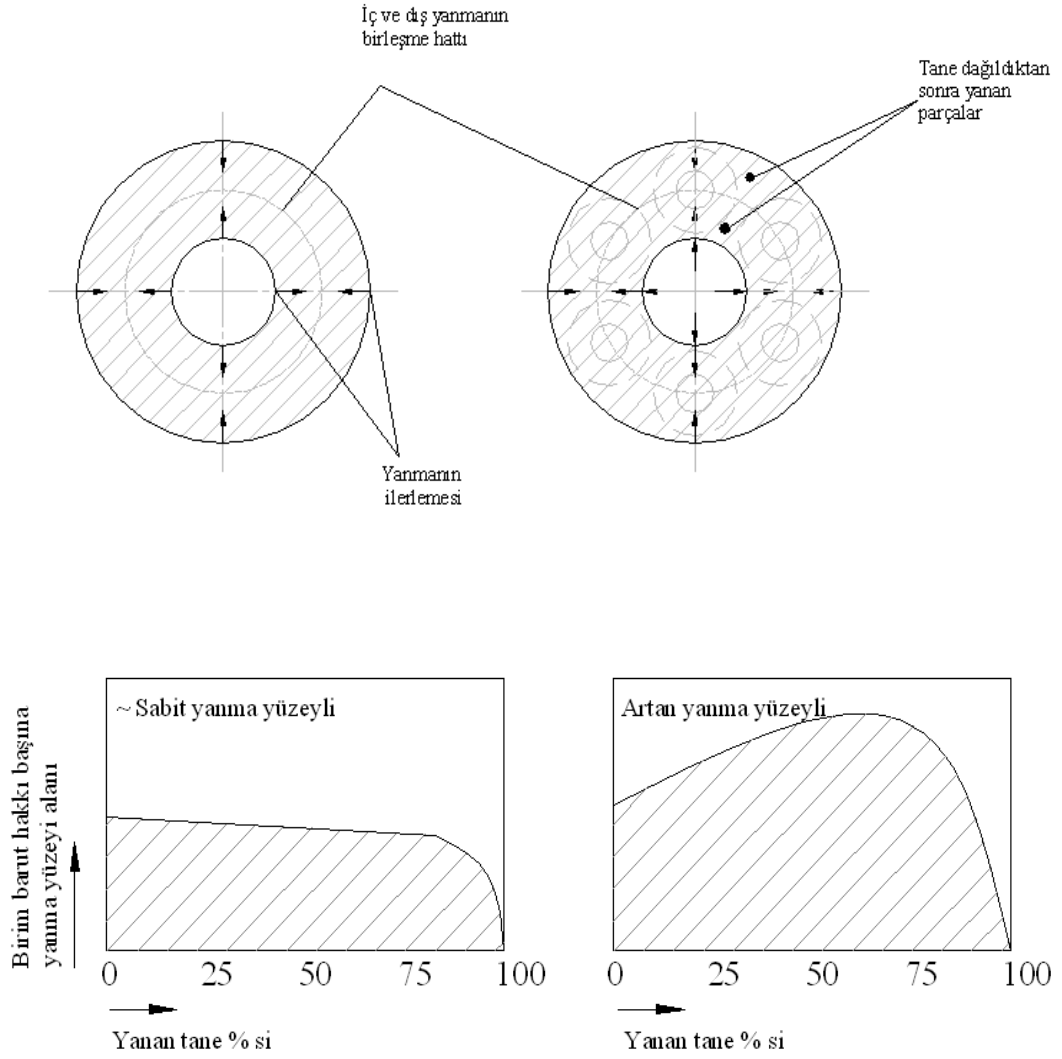
Şekil 2.4. 105 mm ‘lik obüs barutu [15]



Şekil 2.5. 155 mm ‘lik M6 top barutu [15]



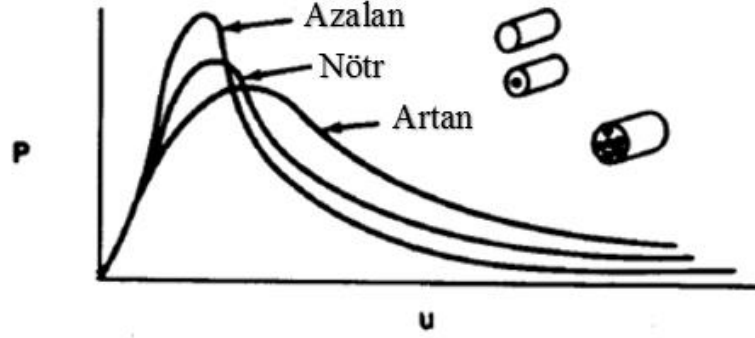
Şekil 2.6. 203 mm 'lik M1 obüs barutu [15]



Ölçek 10/1

Şekil 2.7. Tek ve çok delikli barut tanelerinin yanması [15]

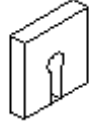
2.2.3. Tanecik Yapılandırması



Şekil 2.8. Tanecik yapılandırmasının basınç-yol eğrisine etkileri [1]

Başlangıç yanma yüzey alanları, bileşim ve yük yoğunlukları aynı olan sevk yakıtlarında, artan yanma olan sevk yakıtı azalan yanma yapılandırmasıyla karşılaştırıldığında maksimum basınca daha geç geldiği ve daha yüksek namlu çıkış basıncına sahip olduğu sonuçlanmıştır. Aynı dolum ağırlığına sahip yakıtlar için eğri altında kalan alanlar hemen hemen eşittir. Başlangıç yüzey alanlarını eşit sağlayabilmek amacıyla azalan yanma yapılandırılması düşünülen tasarımlar, küçük olmalıdır [1].

2.2.4. Sevk Yakıtı Tanelerinin Şekilleri



a. Yaprak (pul) barut



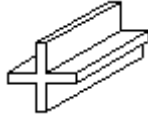
b. Çubuk barut



c. Tek delikli makarna barut



d. 7 delikli boncuk barut



e. Haç barut



f. Yıldız delikli barut



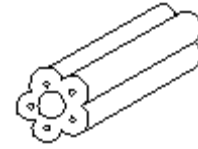
g. Küre barut



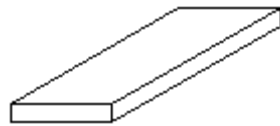
h. Küp barut



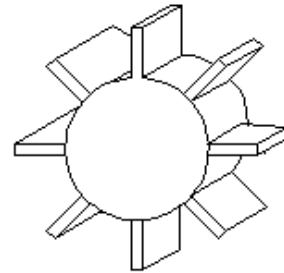
i. Çok delikli özel barut



j. Rozet barut



k. Şerit barut



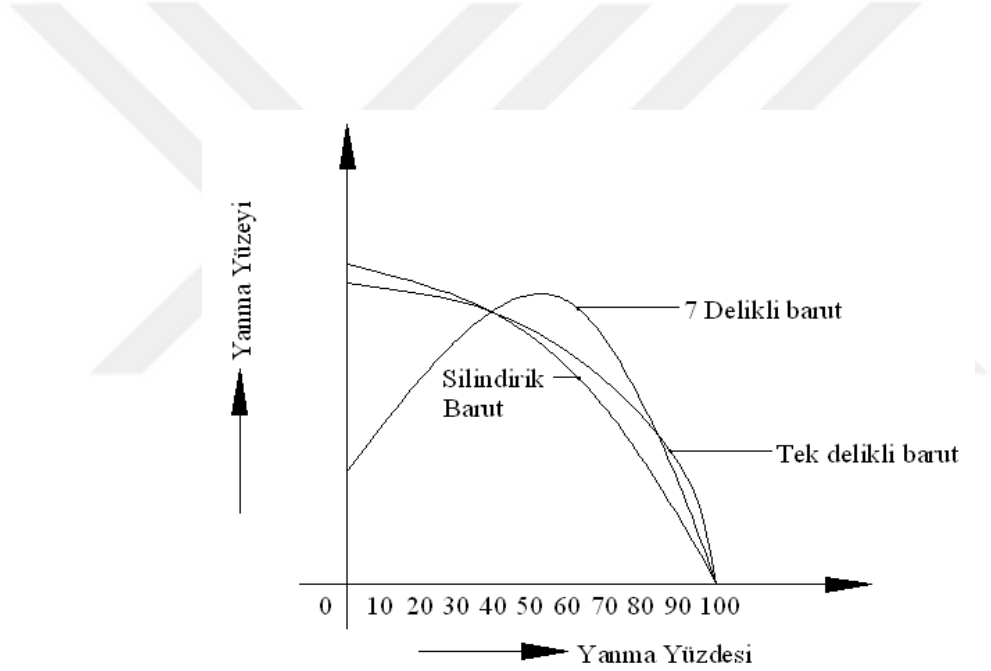
l. Çark barut

Şekil 2.9. Barut tanelerinin şekilleri [15]

Barut taneleri yanma yüzeylerinin durumlarına göre;

- küçülen yüzeyli,
- sabit yüzeyli,
- büyüyen yüzeyli

olmak üzere üç kısma ayrılırlar. Taneleri silindir, küre ve küp biçiminde olan barutlar küçülen yanma yüzeylidir. Ortası delikli barutlar genellikle sabit yanma yüzeylidir. Çok delikli barutlar ise büyüyen yanma yüzeyli barutlardır. Silindirik, tek delikli ve yedi delikli (çok delikli) barutların yanma yüzeylerinin yanma yüzdelere göre değişim grafikleri aşağıda gösterilmiştir [15], [17].



Şekil 2.10. Çeşitli barut tiplerinin yanma yüzeylerinin yüzdelere oranları [15]

2.2.5. Sevk Barutu Doldurma Yoğunluğu

Silahların haznelere bir kovan veya bez kese içinde konulan sevk barutlarının miktarları ile içinde buldukları kovan iç hacmi ya da silahın hazne hacmi (keseli barutlarda) arasında bir bağlantı vardır. Bu bağlantıya doldurma yoğunluğu denir [15].

Doldurma yoğunluğu = Barut miktarı(kg)/Barutun yanacağı yerin net hacmi(lt)

O halde doldurma yoğunluğu birimi kg/lt ' dir. Top ve obüslerde doldurma yoğunluğu 0.50-0.60 arasındadır. Maksimum doldurma yoğunluğu 0.75 olabilir. Hafif silahlarda nitroselülozlu barutlar için doldurma yoğunluğu 0.95'e kadar çıkabilir. Doldurma yoğunluğu arttıkça ilk hız ve basınç artar. Namlu ağzı basıncı da buna bağlı olarak artacağından kayıplar yükselir. Öte yandan doldurma yoğunluğu çok az olursa mermi namluda kalır. O halde en uygun olanı saptanıp kullanılmalıdır. Aşırı doldurma yoğunluklarında sevk barutları yanma yerine patlama yapabilir. Bazen doldurma yoğunluğundan ötürü sevk barutunun bir kısmı yanmadan tane halinde namludan dışarı atılmış olur. Sevk barutlarının yanmalarına etki eden nem, sıcaklık, doldurma yoğunluğuna ilaveten bir de barutun cins ve miktarına göre iyi tutuşmayı sağlayacak alevin yeterli güçte olması şarttır [15].

Çeşitli kalibre ve namlu uzunluklarındaki silah tiplerinin her biri kendine özgü namlu çıkış hızlarına sahiptir. Farklı namlu çıkış hızlarını yakalayabilmek için özel sevk yakıtları gereksinimleri ortaya çıkmaktadır. Farklı namlu boyları içinde yol alan mermi hız tasarımları, her bir tasarım için önemli derecede farklılık gerektirir. Ayrıca, barut haznesinin hacmi ve mermi ağırlığı uygun sevk yakıtı seçimini belirler.

Namlu çıkış enerjisi, doğrudan yakılan sevk yakıt miktarına bağlı olduğundan, potansiyel enerji miktarını arttırmak için mermi formu üzerindeki yapılan işi düşünmek gerekir. Mümkünse, tasarımın izin verdiği maksimum basıncı aşmadan daha yüksek hızlara ulaşmak için daha büyük dolunda yavaş sevk barutu seçilebilir. Verim buna bağlı düşecek, bu yüzden özel amaçlar için dizayn edilmemiş silahlarda yavaş barut ateşlemek avantaj değildir. Düzensiz namlu ilk çıkış hızları tamamen verimsizlikle ilgilidir. Eğer verimsizlik belli bir düzeye gelirse yanmamış sevk yakıtları düzensizlikleri, namlu patlamasına ve parlamasının artmasına yol açar. Daha yavaş sevk yakıtları ile maksimum basınç noktası daha sonra meydana gelir. Böylece namlu uzunluğu boyunca istenilen daha güçlü ve sert konstrüksiyon elde edilir. Bunun tam tersi, hızı barut ağırlığını artırarak sağlamak merminin istenenden daha erken yol izlemesine sebep olabilir.

Bütün dezavantajlarına rağmen istenilen yüksek namlu çıkış hızları daha gelişmiş düzgün basınç-yol eğrileri belirleyecektir. Gelişmiş mekanizmalarda daha yoğun dolum oranları kullanılarak merminin, namlu içindeki izleyeceği yol hızlanarak çıkması sağlanacaktır [1].

2.2.6. Sevk Barutlarının Nem ve Sıcaklıklarının Yanmaya Etkisi

Sevk barutlarında aranan önemli özelliklerden birisi de barutların nem ve sıcaklık gibi etkilerden mümkün olduğu kadar az rahatsız olmasıdır. Sevk barutlarının nem ve sıcaklıklarındaki değişimler, barutların, silahların haznelerinde yanmalarından ötürü oluşan gaz basınçlarında ve yanma hızlarında önemli değişiklikler meydana getirir. Sevk barutları her zaman nem alma eğilimindedirler. Alacakları nem miktarları, barutların tanelerinin biçimlerine, barutların kimyasal yapılarına ve havanın ihtiva ettiği nem miktarına bağlı olarak değişir. Normal olarak nitroselülozlu barutlar %1 nitrogliserinli barutlar ise %0,5 nem ihtiva eder [15].

Yaz ve kış mevsimleri arasında barutlardaki nem miktarlarının değişmesi mermi ilk hızında ± 4 m/s ve maksimum basınçta ± 55 kg/cm² lik bir değişime neden olmaktadır. Aynı zamanda sevk barutlarının sıcaklıklarındaki değişimler ilk hız ve maksimum basınçta değişiklik meydana getirir. Hız ve maksimum basınçtaki değişiklikler aşağıdaki formülle hesaplanır [15].

$$\Delta V_0 = V_0 \cdot \frac{\Delta T}{100} \quad [2.9]$$

$$\Delta P = P_{\max} \cdot \frac{\Delta T}{100} \quad [2.10]$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad [2.11]$$

2.3. Sevk Barutlarının Yanma Kanunları

Sevk barutlarının yanmalarının matematiksel ifadelerle gösterilmesi için uzun yıllar çalışmalar yapılmış ve bu çalışmaların sonucunda aşağıda sıralanan yanma kanunları saptanmıştır [15], [17–19].

2.3.1. Vieille Yanma Kanunu

Vieille' ye göre barutların yanmalarının matematiksel ifadesini çıkartmak için şu kabullerin yapılması gerekmektedir.

- a) Barut hakkı, aynı cins, şekil ve büyüklükteki barut tanelerinden meydana gelmelidir.
- b) Barut hakkı, kapsül ya da füyve tarafından aynı anda tutuşturulmuş olmalıdır.
- c) Yanma, barut tanelerinin dış yüzeylerinden içe doğru dik vaziyette ilerlemelidir.

Bu kabulden sonra barutun yanmaya başlamasından t zaman sonra yanan yüzeylerden e kalınlığındaki barutun yandığını kabul edelim. Bu durumda barutun lineer yanma hızı (V_B),

$$V_B = \frac{de}{dt} \quad [2.12]$$

Barutun lineer (doğrusal) yanma hızı barut cinsinden başka yanma odasındaki basınca bağlıdır. Basınç kaplarında yapılan deneyler sonunda barutun yanma hızı basınca bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

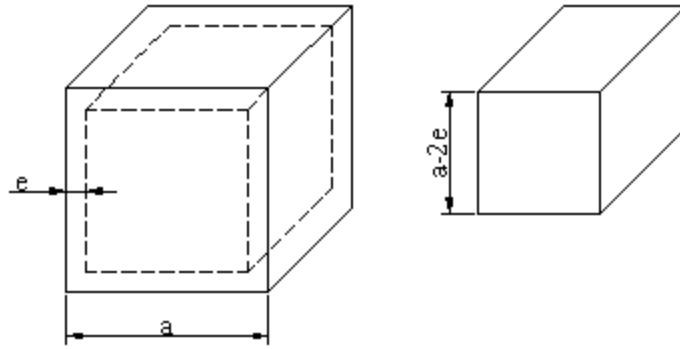
$$V_B = \frac{de}{dt} = B \cdot P^n \quad [2.13]$$

Burada B ve n barutların kimyasal yapılarına bağlı sabitlerdir. $P = 1$ atm basınçtaki yanmada B 'nin değeri yanma hızına eşittir. Vieille, modern barutlar için n değeri $2/3$, Charbonier ise 1 kabul etmektedir. Vieille, t zamanına kadar yanan barut kalınlığı e ile yanma oranı y arasında,

$$y = \alpha e + \beta e^2 + \gamma e^3 \quad [2.14]$$

bağıntısını vermektedir.

Yanma oranı; t zamanına kadar yanan barut miktarının, toplam barut miktarına oranıdır. Formüldeki α , β , γ barutun biçimine bağlı katsayılar olup, değerleri çizelge 2.3 'de verilmiştir. Tanesinin bir kenarı a olan küp ve diğer geometrilerdeki barut taneleri için yanma oranları şekil 2.11 'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Yanma başlangıcındaki ve sonundaki küp tane geometrisi [15]

Yanma başlangıcında küp tane ve tane ağırlığı;

$$W_D = a^3 \cdot \gamma_\beta \quad [2.15]$$

Yanma başlangıcında t zaman sonra küp tane ve tane ağırlığı;

$$W_D = \gamma_\beta (a - 2e)^3 \quad [2.16]$$

$$y = \frac{\gamma_\beta \cdot a^3 - \gamma_\beta (a - 2e)^3}{\gamma_\beta \cdot a^3} \quad [2.17]$$

$$y = \frac{a^3 - (a - 2e)^3}{a^3} \quad [2.18]$$

Bir tane için hesaplanan yanma oranı tüm barut hakkını temsil eder.

$$V_B = \frac{de}{dt} = B \cdot P^n \quad [2.19]$$

2. 19 Formülü 800 – 4000 Kg/cm² basınç değerleri için uygun sonuç vermektedir. Ayrıca Vieille' nin yanma kanunları ideal yanma ve ideal sevk barutları için geçerli olmaktadır [16].

Çizelge 2.3. α , β ve γ ' nin değerleri

Barut tanesi biçimi	α	β	γ
a<b<c kenarlı prizmatik tane	$2\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c}\right)$	$-4\left(\frac{1}{ab} + \frac{1}{ac} + \frac{1}{bc}\right)$	$+\frac{8}{abc}$
a kenarlı küp tane	$+\frac{6}{a}$	$-\frac{12}{a^2}$	$+\frac{8}{a^3}$
d çapında h yüksekliğinde silindirik tane	$2\left(\frac{2}{a} + \frac{1}{h}\right)$	$-4\left(\frac{1}{d^2} + \frac{2}{d.h}\right)$	$+\frac{8}{d^2h}$
İç çap d ₁ dış çap d ₂ yüksekliği h olan makarna tane	$2\left(\frac{2}{d_2 - d_1} + \frac{1}{h}\right)$	$-\frac{8}{h(d_2 - d_1)}$	0
d çaplı küre tane	$\frac{6}{d}$	$-\frac{12}{d^2}$	$+\frac{8}{d^3}$

2.3.2. Sevk Yakıtı Temel Denklemler

Sevk Yakıtlarından gaz halinde üretim sağlanması önemli bir özelliktir. Zamana bağlı üretilen gaz miktarı yakıt tanesi, bileşimi, geometrisi ve yanma oranına bağlıdır. Kapalı bomba çalışmaları çeşitli çalışmalarda sunulmuştur. [16,40]

1. Noble-Abel denklemi ile ilgili yakıt gaz karışımı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.:

$$P(V_c - M_g \eta) = \frac{M_g R_o T}{MW} \quad [2.20]$$

2. Gaz karışımının moleküler ağırlığı sabit hacimde sabittir. Ayrıca, yanmış gaz ile yanmamış gazın eş hacimde olduğu, "covolume" η , bilinen bir sabit olarak kabul edilir.

3. Yanma odasının duvarlarında ve içerisindeki havada ısı kaybı, yanma sonucu oluşan gaz ile karşılaştırıldığında ihmal edilir. Bu yüzden sıcaklık sabittir ve yanan gazların oluşturduğu sıcaklığa eşittir.

4. Yakıt gaz karışımlarının ana unsurlarının ayrışması önemli değildir.

$$\lambda = \frac{M_g R_o T}{MW} \quad [2.21]$$

5. Açıkta kalan tüm yüzey alanları $t=0$ anında eşit derecede ateşlenir. Tüm yanma yüzeylerinin simetrik küçüldüğü ve düzgün bir oranda yandığı düşünülür. Bu yüzden herhangi bir durumda oluşabilecek eroziv parçalanmalar ihmal edilir. Sevk yakıtının ayrışması aynı miktarda enerji açığa çıkaracak ve bu enerji gaz maddelerini aynı derecede 'T' ısıtacaktır.

6. Yakıt gazının taneciklerinin gaz halindeki ilerleme oranını tanımlamak için yanma oranı kanunu basıncın bir fonksiyonu olarak kullanılabilir.

$$\dot{r} = \frac{dx}{dt} = BP^n \quad [2.22]$$

Eğer daha dinamik bir yanma oranı, muhtemel fonksiyon formülü varsayarsak, Krier'in genellemesi gibi, basıncın yanma hızı üzerindeki etkilerini bir faktör olarak hesaba katmayı içerir [41].

7. $t=0$ anında ateşleyici tamamen yanar ve kapalı kaptaki bir başlangıç basıncı (P_i) üretir. Yanan ateşleyici kütlesi ana sevk yakıtıyla aynı anda yanar. Yukarıda belirtilen varsayımları kullanarak, kapalı bomba yanma süreci aşağıdaki denklem gruplarıyla tanımlanabilir:

Bir yakıtın kuvvet sabiti, λ , sevk yakıtının gaz yeteneğinin ölçüsü, iş yapması ve yakıt kompozisyonuna bağlıdır ve şu şekilde tanımlanabilir:

$$\lambda = \frac{M_g R_o T}{MW} \quad [2.23]$$

Şimdi, eğer bütün katı yakıt gaz halindeki ürünlere dönüşmüş ise eşitlik (2.21) doğrudur. Bununla birlikte, katı sevk yakıtları tamamen yanma olmaz. Katı sevk yakıtı tarafından işgal edilen hacim ($V_c - M_g \eta$)'den çıkarılarak yakıt tarafından işgal edilen doğru gaz hacmi miktarı bulunur.

C , katı iticinin başlangıç kütlesi ve P_s yoğunluğudur, z ise, t zamanda yakılan sevk yakıtı miktarının oranıdır.

$C(1 - z)$ = Yanmamış kalan yakıt kütlesi,

$\frac{C}{\rho_s} (1 - z)$ = Yanmamış kalan yakıt hacimi,

Cz = Üretilen yakıt gazı kütlesi

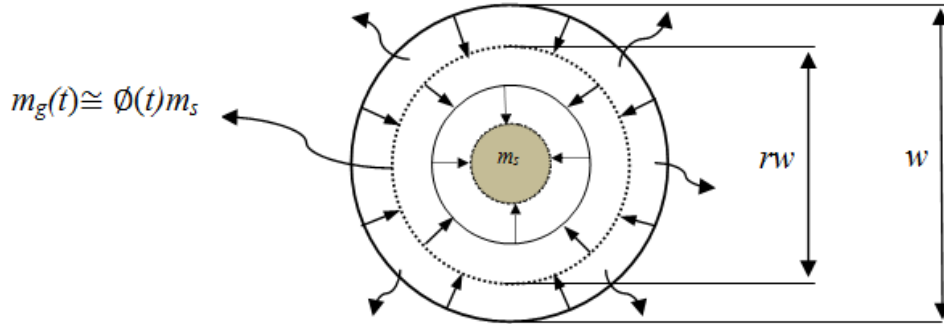
Böylece şu sonuca ulaşılır:

$$P - P_i = \frac{\lambda Cz}{(V_c - \frac{C}{\rho_s} (1-z) - Cz)} \quad [2.24]$$

Bu denklem; kapalı bir bomba içindeki basıncı, kapalı bomba hacmi, spesifik kuvvet, yoğunluk, colume, yakıtın kütlesi ve yanma oranının bir fonksiyonu olarak tarif eden en temel denklemdir. Burada P_i yakma odasından yakıt yanmaya başlamadan önceki başlangıç basıncıdır [39].

2.4. Yanma Hızı Matematiksel Modellemesi

Konvansiyonel silah mermileri, enerjilerini sadece namlu içinde ve sevk yakıtının yanma enerjisinden alırlar. Konvansiyonel silahların hedefe gönderdiği mermi öteleme ve dönme enerjisini namlu içinde ve sadece sevk yakıtı enerjisinden alır. Bu nedenle mermi performansını ve menzilini belirleyen en önemli tasarım parametrelerinden biri sevk yakıtının yanma hızının bilinmesidir. Yanma hızı; yanma odası basıncı, yakıtın geometrisi ve sıcaklığı, yüksek enerjili maddeler, yanma duyarlılığı, yanma hızını düzenleyici kimyasal maddeler, yüzde oksitleyici madde miktarı, ateşleyicinin enerjisi gibi birçok değişik faktöre bağlıdır. Katı sevk yakıtlarında yanma yüzeyden baslar ve yüzeye dik olarak yakıtın çekirdeğine doğru ilerler [20]. Katı yakıtın birim zamanda azalma miktarı yanma hızı olarak;



Şekil 2.12. Yanma Hızı Diyagramı

$$w \frac{dr}{dt} = -kTP^n \quad [2.25]$$

şeklinde ifade edilir[16]. $\frac{dr}{dt}$ Yanma hızı (mm/s), T sıcaklık (K), k ve n sabit (deneylemlerden elde edilir), W yanma yüzeyleri arasındaki minimum mesafe (mm), P basınç (kPa). Katı yakıtların yanmasında meydana gelen kimyasal ve fiziksel olayların çok karmaşık olması nedeniyle yanma olayı tam olarak bilinmemektedir ancak geliştirilmiş yanma modelleri ile alev yapısı, gaz fazlar ve diğer ürünler matematiksel modeller ile gösterilebilmektedir.

Sevk yakıtları bünyelerinde yanıcı ve yakıcıyı bulundurmalarından dolayı dışardan bir oksitleyiciye ihtiyaç duymadan yanarlar. Barut taneleri yanma yüzeylerinin durumlarına göre; küçülen yüzeyli, sabit yüzeyli, büyüyen yüzeyli olmak üzere üç kısma ayrılırlar. Taneleri silindirik, küre ve küp biçiminde olan barutlar küçülen yanma yüzeyli, ortası delikli barutlar genellikle sabit yanma yüzeyli ve çok delikli barutlar ise büyüyen yanma yüzeyli barutlardır [23].

2.5. Katı Yakıt Yanma Hızı Ölçüm Yöntemleri

Katı yakıtların yanma hızları iki yöntemle ölçülür: ilki Azot (N_2) ortamında standart yöntemle yakıt çubuğunun yanma gerilemesinin önceden belirlenen sabit basınç altında, katı yakıt yanma hızı ölçümü metoduna dayanır. (Bu yöntem çok pahalı ve uzun bir süreci gerektirmektedir.) ikincisi ultrasonik yöntem olup, yakıtın tek seferde sabit hacim yanma esnasında basınç değerleri ve yüksek frekanslı ses dalgalarından alınan veriler doğrultusunda, katı yakıt yanma hızı ölçümüne dayanmaktadır [21].

2.5.1. Azot ortamında katı yakıt yanma hızı ölçümü

Katı yakıt yanma hızı ölçümleri için “yanma çubuğu” diye adlandırılan yakıt çubukları kullanılır. Azot temizleme şartlarında yanan yakıt çubuğu, yanma ortamına ilave yanma gazı üretmesi nedeniyle basınç artacaktır. Fakat ölçme esnasında sabit basınç sağlamak için azot (N_2) gaz sağlayıcısına eklenmiş basınç valfi otomatik olarak azot gazının akış oranını azaltır. Böylece arzu edilen basınç şartları sağlanır [22].

2.5.1.1. Strand Burner

Ölçüm boyunca sabit basınç oluşturmak için ortamdaki azot gazı (N_2) oranı otomatik olarak kontrol edilir istenilen basınca ulaşmak için ortama azot gazı (N_2) ilave edilir. Strand Burner (Literatürde Crawford Strand Burner olarak ta tanınır), katı bir roket itici maddesinin yanma hızını, yüksek basınç ortamında ölçmeye yarayan bir cihazdır. Test edilen sevk yakıtı numunesi, bir tel şeklinde basınçlı tankın içine yakılacak şekilde yerleştirilir. Tel, kalem benzeri bir çubuk şeklindedir ve bir ucundan elektiriki ateşleme sistemiyle ateşlenir. Telin uzunluğu boyunca yanması sırasında geçen süre ölçülür. Süreyi ölçmek için alev ile temas ettiğinde eriyen kablo teline gömülmüş kurşun telleri veya termokupl gibi çeşitli araçlar kullanılır. Yanma oranı, yanma mesafesinin yanı sıra kurşun telleri (veya termokupllar) arasındaki yanma süresi bilinerek elde edilir. Belli sevk yakıtı için yanma oranının basınçla ilişkisini etkili bir şekilde tanımlamak için, birkaç atmosferden 100 atmosfere (1500 psi) veya daha fazla 10 veya daha fazla test tekrarı gerçekleştirilir. Azot, ateşleme kabını basınçlandırmak için kullanılır [20].

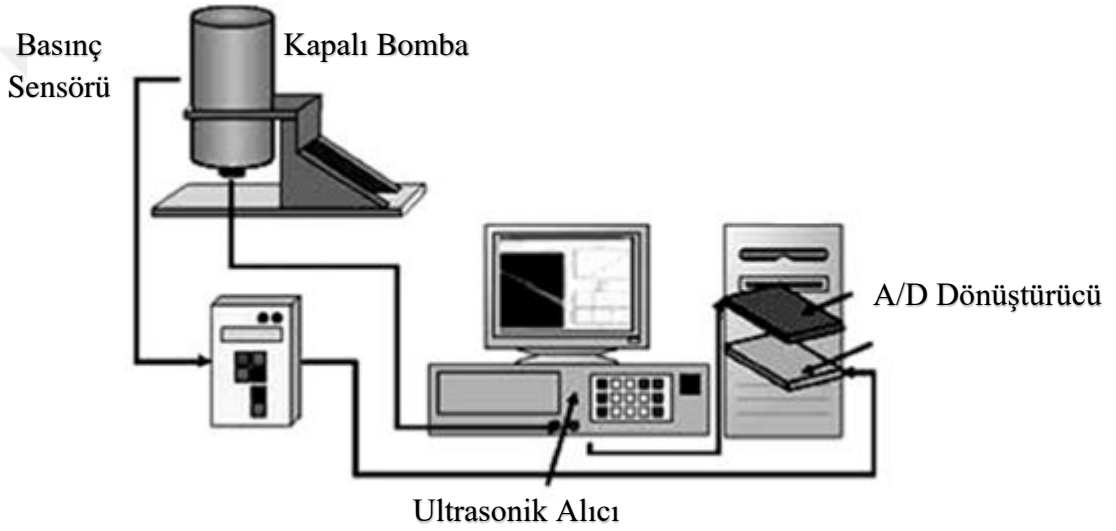
2.5.2. Ultrasonik Dalga İle Katı Yakıt Yanma Hızı Ölçümü

Bu teknik ile anlık katı yakıt kalınlığının ölçümleri verimli olarak gerçekleştirilir. Katı roket yakıtlarının yanma hızı ölçümünde ultrasonik sinyal ve basınç bilgileri eşzamanlı olarak katı yakıtın yanma süresi boyunca geniş basınç aralıklarında analiz gerektirir. Son zamanlarda, ultrasonik dalga yöntemi yaklaşımı önerilmekte ve laboratuvar ortamında prototip olarak ölçümler gerçekleştirilmektedir. Ancak, bu prototip sistem veri işleme hızı ve sinyal işleme yöntemleri açısından sınırlamalar vardır. Bu tür kısıtlamalar, bu çalışmada saniyede 2000 defa ultrasonik tam dalga ve basınç verileri ile kazanılır.

Ultrasonik yanma hızı ölçüm sisteminin kapalı bomba kısmına yakıt numunesi yerleştirilerek sabit hacimde yakılır. Yanma süresi boyunca basınç değişimleri yüksek frekanslı ses dalgası (ultrasonik) verileri A/D (Analog/Dijital) dönüştürücülerle toplanır [22].

2.5.2.1. Kapalı bomba

Katı sevk yakıtı yakma oranları testleri ultrasonik teknik kullanarak gerçekleştirildi. Bu teknikle, katı yakıt kalınlığının anlık olarak verimli ölçüldü. Bu teknik ONERA (Fransız Havacılık ve Uzay Laboratuvarı) tarafından 1980'lerde geliştirilmiştir. Ultrasonik teknik, yanma süresi boyunca verilerin eşzamanlı akışını, büyük basınç aralıklarındaki ultrasonik sinyal ve basınca bağlı olarak ölçer. Son yıllarda yakma oranı ölçümü için ultrasonik dalga tekniği tavsiye edilmiştir [21].



Şekil 2.13. Ultrasonik dalga sinyali ve akustik basıncın veri analizi işletim sistemi [23]

Yanma hızı ölçümü için yakıt numunesi parçaya sıkıca takılır ve ultrasonik ölçüm sisteminin birimi olan ve " Kapalı bomba " olarak tanımlanan mekanizma ile ölçülür. Kapalı bomba kabı sabit bir hacimde $10^4 - 10^5$ psi basınç aralığındaki reaksiyonları ölçer. Bu deneylerden yanma davranışları çeşitli silahlardaki yanma davranışları belirlenerek namlu çıkış hızları tahmin edilir [24].

Yakıt, sabit hacimli kapalı bombada yakılır. Ultrasonik teknik mantığı şöyle özetlenebilir: yanma süresi boyunca tüm basınç değişiklikleri altında oluşan yüksek

frekanslı ses dalgası (ultrasonik) verileri an ve an ölçerek sayısallaştırıp bilgisayara aktarılır [21].

Sevk yakıtları itici güç oluşturmak için kullanılan enerjik maddelerdir. Balistik ve roket çalışmalarından piroteknolojiye kadar çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Yakıtlar, mermiyi hızlandırmak için kullanılabilen gaz basıncı üreterek itki oluştururlar. Yakma oranı nedeniyle yakıt gazları yüksek patlayıcı maddelerden farklıdır [25].

İtici maddeleri test etmek için, bir basınç dönüştürücü ile donatılmış sabit hacimli bir kapalı bölme, yanma oranlarının ölçülebileceği kontrollü bir ortam sağlar. Yakıt testlerinde, bu deneyleri gerçekleştirmek için kullanılan sızdırmaz odacık genellikle kapalı bomba diye adlandırılır [25]. Yanma odasında yakıt yakıldığında, piezo dönüştürücü basınç ile orantılı olan bir voltaj üretir. Bu basınca karşı veriler, gazların üretilme hızının bir ölçümüdür. Basınç değişim hızı, yakıtın termokimya ve geometri ile yanma oranını hesaplamak için kullanılır.

2.6. Ölçü Aletleri

Ölçü aletleri, test ekipmanlarından gelen verileri toplama ve değerlendirmede kullanılır. Savaş silahları gibi pahalı ve karmaşık sistemlere sahip olan mekanizmalarda ölçme işlemi tam ve keskin olması gerekmektedir. Testlerin tek gerçek sebebi ekipman parçalarını geliştirmektir. İlerleyen teknolojiye test ekipmanları gelişmedikçe sistemin optimize edilmesi söz konusu olmaz. Gündümlü füze test çalışmasında, parçalardan herhangi birinin arızasını tespit etmek için diğer test prosedürlerine sızmadan belirlemek gerekir. Benzer şekilde, gelişim aşamasında olan yeni tip mermilerin uçuş parametreleri (namlu çıkış hızı, ivme, çarpma hızı, yanma hızı vb.) belirlenemezse, onun performans gelişimi sağlanamaz. Daha fazla bilgi ve sayısal değerler için bu dataları toplamak test ekipmanlarının maddi değeriyle alakalıdır.

Test teknikleri verileri test mekanizmasının içinde ve dışında toplamak kaydıyla ikiye ayrılır. Test mekanizmasına sığacak kadar küçükse cihazların ölçtüğü değerler alıcıya iletilir ve kaydedilir. Eğer ekipman sığmazsa iç ölçümü yapmak zorlaşır hatta imkansız hale gelir. Dış ölçümler ise optik ve elektronik sistemler kullanılarak yapılır.

Yapılan tüm ölçüm çalışmalarının amacı nicel ve nitel veriler elde etmektir. Daha fazla gözlem, daha uygun ve faydalı veriler sağlar. Ancak genellikle test ölçümleri kritik performans parametreleri için sayısal veriler sağlamak için tasarlanmıştır. Önemli ve tam veri işleme yapmak karmaşık ve zor bir süreçtir. Kaydedilen ölçüm parametreleri kullanılabilir formda değildirler. Veriler öncelikle bilgisayarlara veya monitöre kaydedilir. Bu ön formlara ham veri denir. Bu ham veriler sayısal ve analitik hale çevrildiğinde veri azaltma ismini alır. Veri azaltma işleminin ardından nihai datalar kullanılır. Nihai veriler öngörülebilir ve bilinmeyen hatalar istatistiksel yöntemlerle belirlenir. Veriler, test mühendisleri tarafından analiz için uygun formalarda sunulur.

Ölçüm teknikleri belirlemek için merminin çeşitli performans özellikleri ve hangi tip mermi olduğunu (Bomba, roket, kurşun ya da topçu mermisi) tespit etmek gerekir. Ölçümler, namlu veya ateşleyici içerisinde yapılırsa iç balistik olarak değerlendirilir. Mermi hedefe ulaşmaya kadarki yolunda geçirdiği süreç dış balistik ve hedefteki görevini yerine getirdiğinde hedeften toplanan bilgiler hedef balistiği olarak adlandırılır. Bu nedenle, eğer herhangi bir mühimmat parçası geliştirmek isteniyorsa, merminin uçuş hareketleri üç fazda incelenerek veri toplama işlemi gerçekleştirilir.

Ölçü aletleri balistik araştırmalarına önemli ölçüde yardımcı olmuştur. Leduc denklemlerinin sunmuş olduğu teoremlerin doğruluk derecesi daha hassas ölçü aletleri kullanılarak kontrol edilmiştir. Mühimmat, sevk yakıtı veya silah geliştirme testlerinde atış koşulları sırasındaki hız ve basınçların bilinmesi gerekir. Örnek olarak, standart atışlarda oluşturduğu namlu çıkış hızı bilinen sevk yakıtı miktarı ile aynı koşullarda daha fazla miktar sevk yakıtı koyularak oluşan basınç değişimi bilinir. Sevk yakıt miktarı artırılarak yapılan ardışık atışlar ve basınç-hareket eğrisi çeşitli manometreler kullanılarak oluşturulur. Bu eğrilerden doğru şarj ve uygun tanecik yapısı tespit edilir [1].

Ölçüm olayı ilk olarak uygun ekipmanlarla ölçüm yapmayı gerektirir. Elektriksel voltaj ve akım kullanılarak yapılan ölçümler büyük hassasiyet ve uygunluk içerisinde yapılabilir. Bu yüzden birçok kaydedici ve sensörler fiziksel dürtüleri elektriksel impulslara dönüştürme özellikleri bakımından geliştirilmiştir. İstenilen ölçümleri yapmak için seçilen ekipman seçimi çeşitli fiziksel şartlara çalışma ortamı, hesaplanan hedef, istenen doğruluk, istenilen ölçüm sıklığı, güvenilirlik, mevcut ekipman, uygulanabilir zaman, veri işleme imkanı ve bir çok faktöre bağlıdır. Uygun fiziksel aparatların seçimi ve ölçüm hedeflerine göre karşılaştırma yapma metrolojinin bir parçasıdır. Kısacası, ölçüm yapabilmek için ayrıntılı analizleri ve yararlı verileri derleyip kayıt edilecek bir cihaz gereklidir.

2.6.1. Basınç Ölçümleri

Basınç ölçümleri yapılırken manometre ve verileri kayıt edebilen bir ekipman kullanılır. Sayısal manometre aldığı fiziksel etkiyi elektriksel bir impulsa dönüştürerek ölçüm yapar. Namlu veya roket motorunun oluşturduğu itki basıncını ölçmek için her noktadaki basıncı ayrı ayrı bulmak gerekebilir.

2.6.1.1. Kroşe Göstergesi

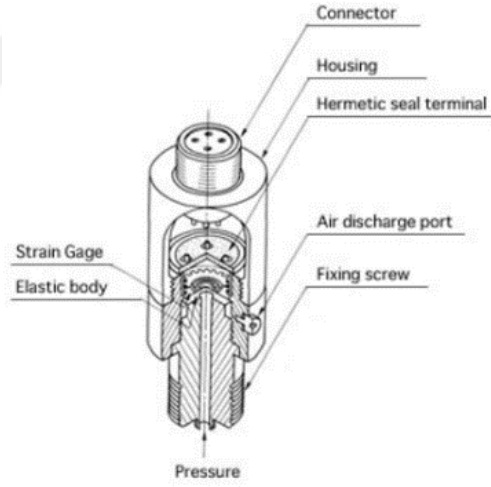
Kroşe prensipte, bakır bir silindirin belirli bir basınçta kalıcı şekil değiştirmeye karşılık gelen enerjinin karşılaştırılması prensibine göre çalışır. Bu bakır silindirler, tam ölçülerinin fiziksel özelliklerine göre işlenmişlerdir. Aynı bakır silindir numuneleri çeşitli bilinen basınçlarda test edilmiş ve bulunan sonuçlar tablolaştırılmıştır. Bu silindirin bulunduğu kroşeler çeşitli silahlarda kullanılabilir. Topçu mühimmat basınçlarını ölçmek için namlu haznesine yerleştirilir. Hafif silah grupları için ise özel test namluların yüzeylerine monte edilir. Silah ateşlendiğinde ortaya çıkan basınç kroşe içindeki hareketli pistonu oynatır. Bu etki ile bakır silindirin kalıcı şekil değiştirmesine karşılık gelen basınç iletilir. Bu kalıcı şekil değişimi tablo ile karşılaştırılarak basınç değeri ölçülür.

2.6.1.2. Piezoe Elektrik Basınç Göstergesi

Bu piezoe elektrik göstergesi kuvars kristali yığınının bir piston tarafından hareket ettirilmesiyle oluşmaktadır. Kuvars yığınları pistonun uyguladığı basınca maruz kalır ve piezoe elektrik bu basınçla orantılı elektrostatik bir voltaj üreterek basınç ölçülür. Bu piezoe elektrik göstergesi silahın kama yüzüne elektriksel kayıt aletleriyle doğrudan bağlanır.

2.6.1.3. Gerinim Ölçer

İçerisinde bulunan ince telin fiziksel olarak uzayıp kısılması ile çalışan bir göstergedir. Bu teldeki değişim, üzerindeki direnci değiştirerek devreye farklı voltajların gelmesi prensibiyle çalışır. Bu gösterge gerinim, itki, basınç ve kesme mukavemeti gibi değerleri ölçmek için kullanılır.



Şekil 2.14 . Gerinim ölçer parçaları [26]

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Kapalı bomba test cihazı teknik özellikleri

Kapalı bomba test sistemi, yakıtların ateşleme ve sonrasında yanma sırasında oluşan basınç verisini ölçmek amacıyla yanma oranını hesaplamak için kullanılan bir test sistemidir. Basınç verisi XLCB (Excel Closed Bomb) programı ile indirgenir, hesap yapmak için hazır hale getirilir, yanma hızı, termo-kimyasal veriler ve numunenin geometrik bilgileri yoluyla XCLB programı ile hesaplanır.

Çalışma şartları:

Basınç: Cihaz max.6.895 Bar (100.000 PSI) basınca dayanıklıdır.

Sıcaklık: Cihaz çalışırken uygun ortam sıcaklığı 10 °C ve 27°C aralığında olmalıdır.

Kapalı bomba 6 ana parçadan oluşur.

- a. Kapalı bomba haznesi ve soğutma ünitesi
- b. Kafa kompleksi
- c. Egzoz Vanası
- d. Ateşleme konsolu
- e. Kistler sinyal şartlandırıcı
- f. Veri toplama modülü

3.1.1. Kapalı Bomba (Soğutma Ünitesi ile Beraber)

Kapalı bomba haznesi en fazla 6895 bar (100.000 PSI) lık basınca dayanabilen metal alaşımlı bir basınçlı test kabinidir. Kapalı bomba ortam sıcaklığında kullanılmak üzere üretilmiş olup, 10 °C' nin altında ve 27°C'nin üzerindeki ortamlarda test yapmamaktadır. Haznesinin kalınlığı yaklaşık 279 mm uzunluğu ise 438 mm dir. İç hacminin 200 cc olması için ayarlanmıştır. Haznenin bir ucu, numune koyabilmek için açık tutulmuştur. Egzoz vanası ise testten önce bu açık olan kısma monte edilir. Soğutma ceketini bomba haznesinin etrafını bir halka gibi sarmıştır.

Topçu mühimmatı yakıtları için, kapalı bomba hacminin minimum 400 cm³, tavsiye edilen ise 700 cm³ hacimde olmasıdır. Diğer mühimmatlar için daha küçük hacimler kabul edilebilir. Bu yüzden testte kullanılan kapalı bomba 200 cm³ olarak seçilmiştir. Basınç salınımlarını önlemek için, aşağıdaki ampirik ilişki yerine getirilmelidir:

$$l * P_{max} * L < c$$

Burada;

c = Sabit 100 (m/s)

l = Yanma odasının uzunluğu (m)

L = Beklenen dinamik canlılık ($\frac{1}{MPa.s}$)

P_{max} = Beklenen maksimum gaz basıncı (MPa)

(l/D) oranı yaklaşık olarak 2 olmalıdır [27].

3.1.2. Kafa kompleksi

Kafa kompleksi kapalı bomba haznesinin numune konulan ve temizlik için kullanılan açık olan kısmı için kapak ve conta görevi görür. Contalamada bir adet O-ring bir adet yardımcı deri halka ring ve üç adet pirinç takoz halka ile yapılır. Kafanın iki adet dişli portu vardır. Bunlardan bir tanesi kistler basınç sensörü içindir; diğeri ise ateşleyici monte etmek içindir. Kafa kompleksi takma/çekme tüpü vasıtasıyla takılır ve sökülür ve büyük tutma vidası ile sabitlenir.

3.1.3. Egzos Vana Sistemi

200.000 psi' lık basınçta test edilmiş bir adet egzoz vanası sistemi mevcuttur. Egzos vanası elle açılır, kapatılır ve basınç haznesinin egzoz kapağına tutturulur. Egzos vanası test sırasında kapalı tutulur. Egzos vanasının üzerine uzaktan kumanda aparatı yerleştirilir ve test sonrası gaz boşaltma işlemi emniyet amaçlı olarak uzaktan kumanda yoluyla gerçekleştirilir.

3.1.4. Ateşleme Kontrol Konsolu

Kontrol konsolu, güvenli ateşleme için gerekli olan emniyet mekanizmasını ve ateşleme akım kaynağını içerir. Panelin sağ üst tarafında ölçülen sıcaklık göstergesi bulunur. Bu göstergenin altında ise sistem kalibrasyonunda kullanılan ayarlanabilen, DC gerilim kaynağı mevcuttur. DC gerilim kalibratörünün altında ise kalibratör butonu vardır. Bu buton sadece konsolun güvenli moda çalışır ve seçilen DC gerilimini veri toplama sistemi tarafından okunabilmesi için Kistler sinyal şartlandırıcıya uygular.

3.1.5. Kistler Sinyal Şartlandırıcı

5010B tip Dual Mod şartlandırıcının çıkışı -10V ile +10V DC arasında değişebilen analog sinyaldir. Şartlandırıcının üzerinde hassasiyet ayarları yapılabilir. Kistler, reset (normal) moddan operasyon moduna, kontrol paneli üzerinde yapılan kalibrasyon ve ateşleme işlemleri sırasında otomatik olarak geçirilir. Veri hattı üzerinde gürültü sinyalinin etkisini azaltmak için Kistler sinyal şartlandırıcısı kapalı bomba odasında yerleştirilmiştir ve bir fanus ile korunmuştur.

3.1.6. Veri Toplama Sistemi

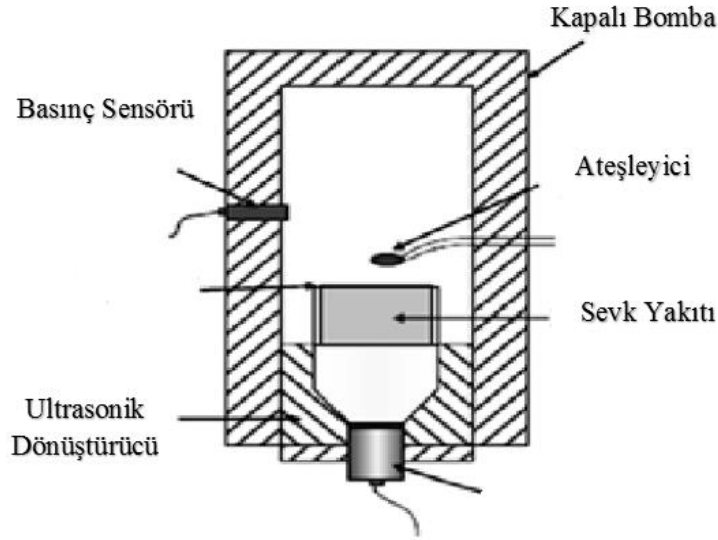
Analogdan dijitale çeviren kaydedici, Ulusal Otorite prosedürü tarafından onaylanmalı, en az 4000 noktada bir örnekleme yapabilecek 20 kHz frekansına sahip olmalıdır. Bu cihazın minimum çözünürlüğü 12 bit olmalıdır [27].

Basınç verileri, saçılma ve salınımların dinamik canlılık eğrisinin altında yatan eğilimini etkilemeden ortadan kaldırılacak bir şekilde yumuşatılması gerekir. Düzeltme işleminden, yumuşatılmış deneysel maksimum basınç ve basınç-zaman eğrisi elde edilir [27]. Elde edilen basınç zamanı verileri dinamik ve karakteristik canlılık, (L ve Lk) hesaplama ve yanma için kullanılır. Bu parametreler STANAG 4115 [27]'de açıklandığı gibi hesaplanır, yanma oranı sadece 0.2 - 0.8 Pmax. basınç aralığında sıkıştırılmamış örnekler için hesaplanır.

Dinamik canlılık

$$L = \frac{dp}{dt} \frac{1}{p * p_{max}}$$

Analog veri, Kistler sinyal şartlandırıcı modülünden Wavebook/516E veri toplama ünitesi tarafından alınır. Bu sinyalin analog-dijital dönüşümü yapılır ve test bilgisayarına aktarılır. Wavebook/516 veri toplama ünitesi ile test bilgisayarını standart Ethernet kablosu ile birbirine bağlar. Test bilgisayarında Windows 7 işletim sistemi ile XLCB (Excel Closed Bomb) ve CBDAC (Closed Bomb Data Acquisition) programları kuruludur. Sistemdeki Wavebook/516E veri toplama ünitesinin 8 analog kanalı vardır.



Şekil 3.1. Kapalı bomba ölçümü şematik görünümü [21]

3.2. Kapalı Bomba Sisteminde Gerçekleştirilen Operasyonlar

Kapalı bomba testleri yanma oranı bilgisi elde etmek için kullanılan iyi bir yöntemdir. Bu deneyler gaz üretim oranlarını ölçer. Eğer iç balistik analizin temel varsayımları tam olarak karşılanırsa, yanma oranı bilgisi test koşulları doğru olarak çıkarılabilir.

Deneysel araştırmalar 200 cm³lük bir kapalı bomba kabında gerçekleştirildi. Kullanılan kapalı bombanın teknik parametreleri, basınç ölçüm sistemi, veri toplama zinciri (amplifikatör, A / D dönüştürücü ve bilgisayar) ve ayrıca araştırma metodolojisi [27] da tanımlananla aynı olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Ateşleme sistemi, bir güç kaynağı ve ateşleme malzemesinden oluşmaktadır. Ateşleme malzemesi olarak 2g kara barut kullanılmıştır. Literatürde çok farklı kapalı bomba kabı standartları mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan sevk yakıtları küresel geometrili 320-800 µm aralığındaki tanecikler olduğundan, kapalı bomba hacmi STANAG 4115 (Ed.2) standardına uyularak 200 cm³lük seçilmiştir.

Çizelge 3.1. Kapalı ateşleme testlerinin koşullarının karşılaştırılması [28].

Kaynak	Kapalı bomba hacmi	Yükleme yoğunluğu	Ateşleme sistemi
STANAG 4115 (Ed.1)	700 cm ³	200 kg/m ³	1.3 gram kara barut içeren pamuklu çanta, en az 24 volt ile aktive edilen ve 0.25 mm ateşleme teli olacak.
STANAG 4115 (Ed.2)	700 cm ³ (Daha küçük olabilir)	Her biri üçe ayrılmış 30 kg/m ³ ancak ortak değer silah sistemin basıncı ile orantılı olmalıdır.	Ateşleme sistemi uzun süre depolanmış yakıtı ateşleyebilecek kapasitede olan bir güç kaynağı ve ateşleyici malzemeden oluşmalı.
MIL STD 286B	200 cm ³	100 veya 200 kg/m ³	Pamuk anta 0.5g veya 1g kara baruttan oluşmalı
MUT Warsaw	200 cm ³	100 veya 200 kg/m ³	Pamuk veya plastik çanta 1.7-1.8g kara barut içermeli ve 3Mpa'da ateşlemeyi gerçekleştirebilmeli

Kapalı bomba kabında basınç oranı (abukluk) ve canlılık, sadece deneysel sonuçlardan kesin olarak saptanabilen parametrelerdir. Deneyler sırasında kesin

sonuçlar alabilmek için lineer olmayan etkileri minimuma indirmek gereklidir. Sevk yakıtları, kapalı bir bomba ile yakıldığında ideal olmayan birtakım etkiler ortaya çıkar.

Bazı lineer olmayan etkiler Şunlardır.

a. Yakıtın dűzgűn olmayan ateŐlenmesi

(Tanecikten taneciğe kadar deėiŐken alev yayılımı);

b. Yanma Odasındaki yűksek ve hızlı basınç artıŐından kaynaklanan dinamik yanma Etkileri;

c. Yanma odası duvarlarındaki bűyűk boyutlu ısı kaybı.

Dolayısıyla kapalı bomba kabı sonuçları önemli derecede lineer olmayan bu etkilere bağlı olacaktır. Yapılan tűm numuneler karŐılaŐtırma yapılırken aynı kapalı bomba kabı ve Őartları saėlanmıŐtır.

3.2.1. Sevk yakıtı

İstatistik olarak benzer olan sevk yakıtları kapalı bomba kabına konulabilir. Bu çalıŐmada; yeni imal edilmiŐ ve aynı kafilde imalatı gerçekleŐtirilmiŐ 300-800 μm tane aralığında kűresel geometrili çift bazlı katı sevk yakıt numuneleri kullanılmıŐtır. 5.56 x 45 mm, 7.62 x 51 mm ve 9 x 19 mm cinslerinden her birinden 1 kg olmak üzere toplam 3kg yakıt numunesi kullanılarak deneyler gerçekleŐtirilmiŐtir. Yakıt numunelerinden bir grup, referans numunesi olarak ayrılmıŐtır. Kalan numuneler her cins sevk yakıtı 5 yıl, 10 yıl ve 20 yıl olmak üzere STANAG 4582 'ye gűre yaŐlandırılmıŐtır. Yakıt numunelerinin tamamının; ağırlıkları, geometrik boyutları, kalorileri belirlenmiŐtir. Sevk yakıt numuneleri yaŐ gruplarına ayrıldıktan sonra 12 saat boyunca 292 K test sıcaklığında ŐartlandırılmıŐtır. Őartlandırmalar boyunca sevk yakıtının nem seviyesi ve sıcaklığı kontrol edilip, izlenmiŐtir. Bu araŐtırmanın amacı, yaŐlanmanın etkilerini daha kalitatif bir Őekilde kavrayabilmek, silah iticilerinin iç balistik özelliklerine ve silah iticilerinin emniyetli kullanımına iliŐkin gűstergeler sağlayan bir dizi parametrenin seçilmesidir. Bu amaçla çift bazlı kűresel geometrili tabanca barutlarının çeŐitli özellikleri yapay yaŐlanmadan önce ve sonra belirlenmiŐtir. Sevk yakıtlarının fiziki-kimyevi teknik özellikleri izelge 3.2' de gűsterilmiŐtir.

Çizelge 3.2. Sevk Yakıtlarının Fiziki-Kimyevi Analiz Raporu

DENEYLERDE KULLANILAN KÜRESEL BARUT NUMUNELERİNİN FİZİKİ-KİMYEVİ ANALİZ RAPORU			
BARUT ÇEŞİTLERİ	5,56 X 45mm	7,62 X 51mm	9 X 19 mm
NİTROSELÜLÖZ	%80.45	%82.32	%78.36
NİTROSELÜLÖZ AZOTU	%13.06	%13.06	%13.04
NİTROGLİSERİN	%13.72	%11.59	%19.91
DİFENİLAMİN	%1.44	%1.42	%1.48
DİBUTİLFTALAT	%4.16	%4.46	-
GRAFİT	%0.24	%0.21	%0.20
POTASYUM NİTRAT	%0.26	%0.42	%0.09
SODYUM SÜLFAT	%0.23	%0.21	%0.25
RUTUBET	%0.58	%0.58	%0.30
UÇUCU (Etil Asetat)	%0.0	%0.0	%0.0
KÜL	%0.22	%0.25	%0.22
LİTRE AĞIRLIĞI	958 gr/lt.	965 gr/lt.	852 gr/lt.
ÖZGÜL AĞIRLIK	1.55 gr/cm ³	1.57 gr/cm ³	1.42 gr/cm ³
KALORİ DEĞERİ	944 cal/gr.	926 cal/gr.	1121 cal/gr.



Şekil 3.2. Denede kullanılan yaşlandırılmış sevk yakıtı numuneleri

Nominal yük yoğunluğundaki ateşlemeler için, yakıt numune yığınlarının her biri $\pm\%$ 0.1'i içinde olmalıdır. Kapalı bomba kabına her seferde 25 gram numune ateşlenmiştir. 25 gram numune hassas terazide tartılmıştır. Gerektiğinde kütlenin düzeltilmesi için çok hassas dengellemeler yapılmıştır. Parçacık boyutları olarak tane tayini, hesaplanan yanma hızı değerleri üzerinde en önemli etkiye sahiptir. Yakıt tane büyüklüğünün ölçümü hassas ve tutarlı olmalıdır.



Şekil 3.3. Sevk yakıtlarının Hassas Tartımı

3.2.2. Basınç Sensörü

Basınç ölçümleri bir adaptöre veya başka gerinim olmayan bir ortama monte edilmiş bir piezoelektrik basınç dönüştürücü kullanarak gerçekleştirildi. Basınç göstergesi olarak maksimum 150 kHz frekanslarına cevap verecek bir dönüştürücü sensör (Kistler 6213B) kullanıldı. Ateşleme yapılmadan önce sensörün geçerli bir kalibrasyonu olup olmadığı kontrol edildi. Kalibrasyon doğrulanması, kapalı bomba kabında beklenen maksimum basınca yakın bir basınçta yapılmıştır. Gösterge her 6 ayda bir veya her 100 ateşlemeden sonra tekrar kalibre edilmektedir. Kalibre herhangi bir amaçla (ısı kalkanı değişimi gibi) adaptöründen çıkartıldıktan sonra, ilgili basınç aralığı üzerinde tekrar monte edilerek, tekrar doğrulanmıştır. Yapılan tüm prosesler STANAG 4115 'e [27] göre uygulanmıştır. Dönüştürücü, kapalı kabın içinde kullanılacağı adaptöre monte edilerek ateşleme işlemine geçilmiştir.



Şekil 3.4. Kistler Basınç Sensörü

3.2.3. Ateşleme Sistemi

Ateşleme sistemi bir güç kaynağından ve ateşleyici malzemeden oluşmaktadır. Güç kaynağı, elektrikli eşyanın veya ateşleyici malzemesinin tutarlı şekilde tutuşması için minimum enerji gereksinimlerini aşmalıdır. Ateşleyici materyalin kalitesi yakıtları tutarlı bir şekilde ateşlenmesini gerçekleştirmeye yeterli olmalıdır. Ateşleyici malzeme olarak 2 gram kara barut kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Ateşleme Sisteminde kullanılan karabarut

3.2.4. Kapalı Bomba Kabı Yüklemesi

25 gramlık hazırlanan numuneler kapalı bomba haznesine yerleştirilir. Kapalı bomba haznesi kapatılır. Basınç sensörünün direnci kontrol edilir ve otomasyon tezgahı başından, sisteme 5 Volt verilerek gerekli sistemsel kalibrasyon yapılır. Silah performansının değerlendirilmesi için sevk yakıtlarının yanma özellikleri kesin olarak belirlenmelidir. Bu yüzden yapılan tüm işlemler standartlara uygun ve raporlandırılarak yapılır. Yükleme anındaki kabın iç yüzeyindeki sıcaklık 294 ± 2 K'de olduğu termokupldan alınan değerler okunarak kontrol edilir. Bu sıcaklık aralıklarında değilse, soğutma ünitesi çalıştırılır veya ısıtıcı ateşlemesi yapılır. Sevk yakıtlarının hızını etkileyen en önemli parametrelerden birisi başlangıç sıcaklığıdır. Yanma hızı değerlerini doğru okuyabilmek için standartlarda [27] belirtilen başlangıç sıcaklığı kontrol altında tutulmuştur. Kalibrasyon ve başlangıç sıcaklıkları uygun şartlarda olması sağlandığında ateşleme işlemine geçilir. Ultrasonik yanma hızı ölçüm sisteminin kapalı bomba kısmına yakıt numunesi yerleştirilerek sabit hacimde yakıldı.



Şekil 3.6. Kapalı Bomba Haznesi

Ateşleme test serileri, bir ısıtıcı ve en az 3 referans atışından oluşmuştur. Ateşlemeye başlamadan önce tüm test numuneleri başlangıçtaki etkileri ortadan kaldırıp eşit başlangıç şartları sağlamak ve standartlara uygun olması için aynı başlangıç sıcaklığında (294 ± 2 K) ateşlenmiştir. Yanma sırasındaki basınç sinyalleri basınçölçer (Kistler 6213B) ile ölçülmüş, daha sonra yüksek hızlı veri kaydedici (Kistler 5015) ile ölçülmüştür. Herhangi bir test serisi iki saatten daha uzun süre kesintiye uğramaması için test serisi bir vardiyada tamamlanmıştır.



Şekil 3.7. Kapalı bomba veri dönüştürücü ve işletim sistemi

Sevk yakıtı ateşleyici tarafından ateşlendiğinde; genellikle 0,1 saniye içinde yanar ve çok büyük miktarlarda gaz çıkışı meydana gelir [29]. Sistem, veri işleme hızı ve sinyal işleme yöntemleri açısından çok hızlı olmalıdır. Bu tür zorlayıcı kıstaslar, bu çalışmada saniyede 4096 defa ultrasonik tam dalga ve basınç verileri ile alabilen Kistler 5015 dönüştürücü kullanılarak kazanılmıştır. Yanma süresi boyunca basınç değişimleri yüksek frekanslı ses dalgası (ultrasonik) verileri A/D dönüştürücülerle toplanır.

3.3. Yapay Yaşlandırma

Hızlandırılmış yaşlanma test protokolleri 1910'larda geliştirilmiş olmasına rağmen, Indian Head'de Hızlandırılmış yaşlandırma test tesisi, 1921'de birinci dünya savaşından sonra kuruldu; aynı yılın sonunda picatinny cephanesinde takip edildi. Hızlandırılmış yaşlandırma testinin, güvenli depolama ömrünü tahmin etmek için kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Yıllar boyunca hızlandırılmış yaşlandırma testinde çeşitli girişimler hayal kırıklığı yaşattı. Uygulamada, testler herhangi bir tahmin belirleme biçiminde de başarılı bir şekilde kullanılmamış; yalnızca kararlılık belirleme sağlamak için faydalı olmuştur [30].

Son yıllarda mühimmatların hizmet ömürleri problemleri daha fazla ilgi çekmeye başladı. Dünyadaki ekonomik bütçe kesintileri yüzünden askeri güçler maliyet azaltımına gitmek zorunda kaldı [31]. Sevk yakıtlarının performans ve kimyasal etkinliği farklı yüklemeler altında değişmektedir. Bununla birlikte, kimyasal yaşlanma, oksidasyon, termal veya oksijen gibi farklı kaynaklardan oluştuğundan raf ömrünün değerlendirilmesi sırasında en önemli sorunlarından biri yaşanmaktadır [32].

Belirli bölgelerde katı sevk yakıtlarının varlığı ilgi ve endişe yaratır. Sık depolanan enerjik maddeler arasında nitroselüloz esaslı olanlar, statik depolamada uyarı yapılmaksızın kendiliğinden tutuşabilme eğilimi gösterirler. Muhafaza kabı içindeki tanecik, çubuk veya plaka şeklindeki sevk yakıtlarından herhangi biri tutuştuğunda, kabın içindeki diğer yakıtların tutuşması için gerekli ısı ve alevi üretir. Eğer çok küçük miktarlarda (hatta tek bir kaptan) kararsız bir yakıt varsa, yanması muhtemelen tüm

yapıyı tutuşturacaktır. Yakıtların yanması çok hızlı bir proseste gerçekleşir. Yanma yüzey üzerinde gerçekleştiği için patlamadan farklıdır. Normal yanma ile aynı hızdadır ancak ivmelenme çok daha büyüktür [30].

Topçu ve hafif silah yakıtları, belki de askeri tesislerinin düzenli olarak ele alıp sakladığı en tehlikeli ve şüpheli malzemelerdir. Sevk yakıtlarının üretimden itibaren 4 ya da 5 sene içerisinde dengesiz bir duruma düşmesi öngörülemez. Yetersiz sevk yakıtı güvenlik programları ABD ordu tesislerinde kendiliğinden tutuşma kaynaklı kazalar meydana getirmiştir.

ABD ordu tesislerinde 1984-1989 yılları arasında sevk yakıtlarının kendinden ateşlemesinden kaynaklanan 5 adet kaza meydana gelmiştir. Bu patlama olayları, 1984'te Lake City askeri mühimmat tesisinde iki depolama sahasının tamamen yok olmasıyla başlamıştır. Bütün yakıt deposunun kaybedilmesine neden olan diğer kendiliğinden ateşleme olayları arasında 1985'te Blue Grass deposunda 1987' de Lone Star askeri mühimmat depolarında gerçekleşti. 1989'da Hawthorne Askeri mühimmat deposunda kendiliğinden tutuşan bir başka kaza, nispeten az sayıda donanma imha malzemesinin ve depolama sahasının hasar görmesine yol açtı. Bunları 1996 yılında M10 barutunun Red River askeri deposundaki ve bir yıl sonra 1997 yılında Hawthorne askeri deposundaki kendiliğinden kaynaklanan tutuşma olayları takip etti [30].

3.3.1. Yakıtların Kimyasal Stabilizesi

Sevk yakıtları depolama sırasında bir dizi fiziksel ve kimyasal süreçlere maruz kalıyor. Bu süreçlere maruz kalan yakıtların özellikleri kademeli olarak değişebilmektedir. Bu durum yakıtların yaşlanması diye adlandırılır. Nitroselüloz bazlı yakıtlar yavaş bozunur ancak; azot oksit ve nitrik asit oluşumundan nitrat ester gruplarının sürekli bozunumu mevcuttur. Bu bileşenler yakıtların artarak bozunmasına ve sonunda otokatalizasyon bozunmasına yol açabilmektedir. Bu bozunmaları sıcaklık artışı ve yakıtın ateşlenmesi takip eder. Otokatalizasyonu önlemek veya en azından riskleri azaltmak için, yakıtlara stabilizatörler eklenir. Stabilizatörler sevk yakıtının ömrü

boyunca kendiliğinden tutuşmasını önlemek için yakıtta ilave edilen kimyasal bileşenlerdir.

Stabilizatörlerin azot oksitlere tepki verme özellikleri vardır. Yakıtlar için kullanılan tipik stabilizatörler (Difenilamin DPA, N-nitrosodifenilamin NODPA ve üre türevleri Etilcentralit CI ve metilcentralit CII) kullanılmaktadır. Stabilizatörlerin konsantrasyonu, bize yakıtlar hakkında önemli bilgiler verir. Stabilizatör içeriğinin incelenmesi, kararlılık değerlendirmesi ve yakıt ömrünün tahmini konusunda önemli rol oynamaktadır. Yapay yaşlanma, yakıtların ömrünün incelenmesi için uygun ve etkili bir yöntemdir. Mühimmat sistemindeki spontan yaşlanmayı taklit eden hızlandırılmış yaşlanma bir proses olarak uygulanır. Genellikle yıllarca sürececek olan ayrışma, yüksek sıcaklıklarda ısıyla hızlandırılarak gerçekleştirilir. Bunun amacı, yakıtları yıllarca spontan yaşlanmadan sonra ortaya çıkacak olan muhtemel yakıt durumuna getirmektir. Yapay yaşlanma vasıtasıyla yakıtların kararlılık, hassasiyet, mekanik ve fonksiyon özelliklerinde değişimler tahmin ederek ömürleri tespit edilir .[17]

3.3.2. Etkin Stabilizatör Miktarının Belirlenmesi

Çift bazlı sevk yakıtlar, yaşlanma boyunca yavaş ancak; sabit termal ayrışmaya meyilli nitroselüloz bazlı enerjik malzemelerdir. NC temelli çift bazlı yakıtların depolardaki potansiyel tehlikeleri felakete yol açabileceğinden dolayı, bu yakıtların kimyasal stabilizelerini kontrol etmek için bir dizi prosedür geliştirilmiştir. Yakıtların kararlılığını ve ömrünü belirlemek için kimyasal test yöntemleri ve metodolojileri standartlaştırılmıştır. [4]. Sevk yakıtlarının kimyasal stabilizesi normalde yüksek sıcaklıktaki davranışlarına bakılarak değerlendirilir. Abel Heat Test, Taliani Test, Methyl Violet Test, Bergmann-Junk Test, Vacuum Stability, Weight Loss Tests, Time to Cook Off, Heat Flow Calorimetry (HFC), Stabilizatör seyreltme Oranı testleri bu amaçla kullanılmaktadır [33].

Stabilizatör konsantrasyon kriterlerine göre [33], [34] sevk yakıtları içindeki stabilizatör seyrelme veya tükenme miktarına göre zamanla kararsız hale gelebilir;

ancak mekanik ve balistik bakımından kullanılmaları hala güvenlidir. Statik ve balistik testlerde sevk yakıtlarında herhangi kritik bir bozukluk göstermediği kontrol edilir [35]. Kimyasal süreçler sıcaklığı ve gaz halindeki ürünlerin salınmasını hızlandıran yaşlanma yaratır. Zamanla sevk yakıtları dengesiz hale gelir, patlayıcı bir tehlike arz eder. Bu nedenle yakıtların yaşlanma süreçleri anlaşılmalıdır [36].Sevk yakıtı yanması sırasında 1500 K' den daha yüksek çıkış gazları meydana getirirken, diğerleri kararsız yüksek basınçlı üstellere sahip olması yanma karakteri performansını olumsuz etkiliyor. Bu nedenle yakıtların yanma özelliklerinin optimize edilerek geliştirilmesi gereklidir [37].

Sevk yakıt kompozisyonları üzerinde spesifik çalışmalar yapılmasına rağmen, DPA ve türevleri oranları yakıt yaşlarını belirlemede kullanılan bir yöntemdir. DPA ve türevleri oranı bulma yöntemleri, yakıt yaşını tahmin etmede, Askeri laboratuvarlarda kabul edilebilir kararlılık belirlemesi ve sevk yakıtları güvenlik protokollerinin geliştirilmesine yardımcı olabilmektedir [38].Sevk yakıtlarında yaşlanma boyunca DPA nitrasyon süreci literatürde daha önceleri belirtilmiştir. Plastikleştiriciler ve bağlayıcılar gibi bazı katkı maddelerinin eksilmesi yakıtların yanma oranlarında ciddi problemlere yol açabilir [31].

3.3.3. Sevk Yakıtları Stabilizatör Kullanımı

Sevk yakıtlarının tasarım amacı, belirli koşullar kümesini gerçekleştirmek için doğru formülasyon ve granülasyonun seçilmesidir. Bu koşulların dayattığı sınırlamalar tasarım problemleri oluşturmaktadır. Sevk yakıtından istenen sonuçları elde etmek için kartuş, namlu erozyon hızı, balistik istikrar, duman azalımı ve üst basınç limitlerine karşı ulaşılabilecek yüksek hız gibi faktörleri dikkate almak gerekir. Sevk yakıtları yaygın olarak formülasyonlarında bulunan aktif bileşiklerin sayısına göre sınıflandırılan yakıtlardır.

a. Tek bazlı yakıtlar: Nitroselüloz, tek bazlı yakıtlardaki ana aktif maddedir. Stabilizatör (genellikle pasifleştirici özelliklere sahip) veya düşük seviyedeki herhangi

bir başka materyal oksidasyon, nitro bileşiklerine ilave; maddeleri inhibe etmek veya hızlandırmak için metaller veya metalik tuzlar içerebilir.

b. Çift bazlı yakıtlar: Çift bazlı genel olarak nitroselülöz ve nitrogliserin ihtiva eden yakıtları tanımlar. Daha iyi bir tanımla, Nitroselülöz ve nitroselülözü jelatinleştiren sıvı organik nitrat içeren yakıt olarak tanımlanabilir. Tek bazlı yakıtlarla benzer katkı maddeleri içerebilir.

c. Üç bazlı yakıtlar: Bu yakıtlar temel olarak Nitroselülöz, nitrogliserin ve nitroguanidin temel aktif maddelerine ek olarak diğer katkı maddelerinden oluşur [39].

Tek ve çift bazlı sevk yakıtları ateşli silahların çoğunluğunda kullanılır. Üç bazlı sevk yakıtları roket ve büyük kalibreli silah sistemlerinde kullanılır. Bazı katkı maddeleri (plastikleştiriciler, alev geciktirici, stabilizatörler, vb.) barut özelliklerini iyileştirmek için formülasyonuna eklenir. Stabilizatörler, patlayıcıların raf ömrü ve kendiliğinden ateşlenme tehlikesini azaltmak için eklenir. Difenilamin (DPA) ilk önce Alfred Nobel tarafından 1889'da bir stabilizatör olarak eklenmiştir. Bugün hala yaygın olarak kullanılmaktadır [40].

Literatürde, çift bazlı sevk yakıtlarının NC ve NG 'nin ayrışmasından termal olarak bozunabileceği ve bunun homojen olarak O-NO₂ bağının homolitik parçalanmasıyla başladığı bildirilmiştir [41]. Esas olarak aktif bileşikler azot oksitlere (NO ve NO₂) ayrışır ve bu ayrışma katalize ve ayrışma sürecini hızlandırır. Bu prosesler kendiliğinden ateşlemeye neden olabilir. Stabilizatörler ayrışmayı durdurmak için barut bileşimlerine eklenir. Difenilamin (DPA), nitroselülöz bazlı yakıtlar için en sık kullanılan ana stabilizatörlerdir. DPA, ((C₆H₅)₂NH) yakıtlara farklı miktarlarda (1'den% 1.5'e (m / m)) ilave edilebilir. Bazı bileşimlerde DPA 'nın bir çeşit türevi olan 2-nitro-DPA da kullanılabilir [38].

3.4. Yapay Yaşlandırma Operasyonları

Konvansiyonel silah sevk yakıtları enerjik bileşenleri büyük miktarlarda nitroselülöz (NC) içerir. Nitroselülöz azot oksitlerinin ayrışmasından doğal olarak dengesizdir. Bu

oksitler nitroselüloz ile reaksiyona girerek denitrasyon ve selüloz zincirinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu fiziksel ve balistik özelliklerin bozulmasına dolayısıyla, sevk yakıtlarının ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Bu reaksiyonlar gecikmezse, ayrışma otokatalizasyonu gerçekleşir ve muhtemelen kendiliğinden tutuşmayla sonuçlanır. Bu iticilere imalat sırasında stabilize edici maddeler katılarak hizmet ömrü ve güvenli ömrü uzatılır [10]. Birçok araştırmacı katı sevk yakıtlarının yaşlanmasına neden olan kimyasal reaksiyonları araştırmıştır [42]–[44], ancak katı sevk yakıtlarının kinetik davranışlarını inceleyen çalışmalar bulunmamaktadır. Sevk yakıtlarının yaşlanmasının balistik performansları etkilerini araştırmak için yaşlı sevk yakıtlarına ihtiyaç vardır. Doğal olarak yaşlandırılmış sevk yakıtlarının azlığı nedeniyle yakıtları karakterize etmek için genellikle termal olarak hızlandırılmış yaşlanma verileri kullanılır [45].

Nitrogliserin, nitroselüloz gibi nitrik ester esaslı yakıtlar ortam sıcaklıklarında bile yavaş bir bozunuma uğrarlar. Üretilen bozunma ürünleri, ortamdan çıkartılmadıkça, kimyasal stabilize bir azalmaya neden olur. Reaksiyonların ekzotermal doğası nedeniyle kendiliğinden ateşleme/tutuşmaya neden olabilir. Ayrıca; büyük çaplı imlalarda kalorilik değer kaybına, balistik özelliklerde değişikliğe ve kırılmaya neden olabilirler [33]. Deneyler sırasında kullanılan 5.56 x 45 mm, 7.62 x 51 mm ve 9 x 19 mm barutlar çift bazlı küresel geometrili barutlardır. Yapılarında nitrogliserin ve nitroselüloz gibi nitrik ester bazlı kimyevi maddeler bulundurulur. Bu maddelerin kimyasal stabilize edilerindeki azalmayı en aza indirmek için stabilize edici madde olarak difenilamin (DPA) kullanılmıştır. Başlangıçta üretim hattından alınan aynı kafiyeledeki sevk barutlarının kimyasal analiz raporları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Referans olarak kullanılacak olan difenilamin miktarları tablodaki görüldüğü gibi belirlenmiştir. Yapay yaşlanma prosesleri gerçekleştirilerek sevk barutlarının 5 yıl, 10 yıl ve 20 yıl yapay olarak yaşlanmaları [46] standartlarına göre belirtilen şartlarda işlemler yapılarak yapay yaşlanmalar sağlanacaktır. Yapay yaşlanma işlemlerinden sonra sevk yakıtlarının doğru şekilde yaşlandığının kontrolü yapılacak ve tüm yaşlanan numunelerin kimyasal analizlerinde difenilamin oranlarına bakılacaktır. Referans barutların ilk durumlarının difenilamin analizleri değerleri aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Sevk Yakıt Analizi

SEVK YAKIT ANALİZİ	5,56 x 45mm	7,62 x 51mm	9 x 19 mm
Nitroselülöz	%80.45	%82.32	%78.36
Nitroselülöz azotu	%13.06	%13.06	%13.04
Nitrogliserin	%13.72	%11.59	%19.91
Difenilamin	%1.44	%1.42	%1.48

3.4.1. Yapay Yaşlanmanın Teorik Hesaplanması

Yapay yaşlanma reaksiyonların değişik sıcaklıklarda değişimleri STANAG 4582 'de belirtilmiştir. 25 ° C 'de 10 yıl depolanmada parçalanmaya yol açan deney süresinin derecesi şu şekilde hesaplanmıştır:

$$t_m = t_{25} * e^{\left[E_1 \cdot \left(\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_{60}} \right) + E_2 \cdot \left(\frac{1}{T_{60}} + \frac{1}{T_{25}} \right) \right] / R} \quad [3.1]$$

şeklinde ifade edilir [46]. t_m test süresi [gün], t_{25} 25 ° C'de depolama süresi (3652,5 gün = 10 yıl), T_m test sıcaklığı [K], T_{60} aktivasyon enerjisinin değişim sıcaklığı (333,15 K = 60 ° C), T_{25} depolama sıcaklığı (298,15 K = 25 ° C), E_1 yüksek sıcaklık aralığının aktivasyon enerjisi (120 kJ/mol), E_2 düşük sıcaklık aralığının aktivasyon enerjisi (80 kJ/mol), R gaz sabiti (0,0083143 kJ / (K.mol))' dir. Sabit değerler T_{25} 298,15 K, T_{60} = 333,15 K ve E_2 =80 kJ / mol denklem [3.1] basitleşir.

$$t_m = t_{25} * e^{E_1 / (R * T_m) - c} \quad [3.2]$$

$$C=46.713$$

Denklem [3.2]' ye göre hesaplanan test süreleri Çizelge 3.4 'te verilmiştir [46].

Çizelge 3.4. Yaşlandırma İşlemi Test Zamanları

T _m [°C]	t _m [gün]	P ₁ [μW/g]
60	123	9.8
61	108	11.1
62	95	12.6
63	83.6	14.4
64	73.6	16.3
65	64.9	18.5
66	57.2	21
67	50.5	23.8
68	44.6	27
69	39.4	30.5
70	34.8	34.5
71	30.8	39
72	27.3	44
73	24.2	49.7
74	21.5	56
75	19	63.1
76	16.9	71.1
77	15	80
78	13.4	90
79	11.9	101
80	10.6	114
81	9.43	127
82	8.41	143
83	7.50	160
84	6.7	179
85	5.98	201
86	5.35	225
87	4.78	251
88	4.28	281
89	3.83	314
90	3.43	350

Yakıt numunesinin makul derecede yüksek bir sıcaklıkta yapay olarak yaşlandırılmasından sonra dengeleyicinin tükenmesinin belirlenmesi (tek sıcaklık yaşlandırma prosedürü), kimyasal stabilizesini değerlendirmek için güvenilir ve nitroselüloz esaslı yakıtlar için ortam saklama koşullarında 5 veya 10 yıl depolanmayı temsil eden bir yöntemdir [33]. Bu kapsamda deneyde kullanılacak olan test sıcaklığı zaman kazanılması ve 20 yıl yaşlanma prosesini de göz önüne alarak, 80 °C’ de 10 yıl yapay yaşlanma için 10,6 gün yapay yaşlandırma seçilmiştir. Böylece 5 yıl depolama temsil eden zaman 5,3 gün ve 20 yıl ise 21,6 gün kullanılmıştır. Bununla birlikte, ısı akışı entalpi açısından farklı reaksiyonlara bağlı olduğu için farklı stabilizatör mutlak bir istikrar ölçüsü değildir. Karşılaştırmalar sadece benzer kompozisyon itici maddeler için anlamlıdır [46]. Deney sonucunda yapay yaşlanmalardaki bulunan difenilamin oranları aynı cins sevk yakıtları arasında karşılaştırılmada kullanılacaktır.

3.4.2. Sevk Barutlarının Yapay Yaşlanma Prosesine Hazırlanması

Yaşlanma metodunda yakıtlar gaz geçirmez tıkaçlı kaplarda STANAG 4117 'e göre test edildi. Bu, kapalı ortam koşullarına eşdeğer olduğu kabul edildi. Isıtma tüpleri standartlarda belirtilen boyutlarda kullanılarak içlerine katı sevk yakıtı numuneleri yerleştirildi [34].



(a)



(b)

Şekil 3.8. a) Tartım öncesi, b) Tartım İşlemi

Isıtma tüplerine konulan katı sevk yakıt numuneleri $\pm\%$ 0.1 hassasiyetteki terazide tartılmıştır. Isıtma borularına yakıt numunelerinden 40 gramı koyulup, kuvvetsiz veya basınçsız cam tıkaçları takıldı. Etkili bir sızdırmazlık sağlamak için uygun malzemeler kullanıldı. Tüpler, ısıtma cihazına dikey bir konumda, ısıtma borusunun tüm hacminin belirli bir süre boyunca belirlenmiş bir sıcaklıkta tutulmasını sağlayacak şekilde yerleştirildi. Örnek büyüklüğü ve şekli yaşlanmayı etkileyebileceğinden, numuneye yaşlanma prosesi boyunca herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

Her biri 40 gram olacak şekilde 6 tüp her numune için yaşlandırma uygulanmıştır. Yaşlandırma işlemi uygulanan sevk yakıtı miktarları Çizelge 3.5 'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Yaşlandırma işlemi uygulanan sevk yakıtlarının miktarı

Yapay Yaşlanma	5,56 x 45mm	7,62 x 51mm	9 x 19 mm
0	240 gram	240 gram	240 gram
5 YIL	6 tüp x 40 =240 gram	6 tüp x 40 =240 gram	6 tüp x 40 =240 gram
10 YIL	6 tüp x 40 =240 gram	6 tüp x 40 =240 gram	6 tüp x 40 =240 gram
20 YIL	6 tüp x 40 =240 gram	6 tüp x 40 =240 gram	6 tüp x 40 =240 gram



Şekil 3.9. Hazırlanan Isıtma Tüpleri

Isıtma tüpleri (Şekil 3.9) ölçütleri STANAG 4117 'e göre 152,4 mm boyunda tüpler ve 1 inç boyunda düz başlı tıkaç kapaklar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler Şekil 3.10' da görülen ve deneyde kullanılan ısıtma bloğu OZM HBA' ya konulmuştur.

3.4.3. Isıtma Blokları



Şekil 3.10. HBA Isıtma Bloğu

Isıtma blokları, yüksek sıcaklıklarda enerjik materyallerin eskime sürecini suni olarak hızlandırmak için kullanılır. Normal şartlar altında parlayıcı ve patlayıcı maddelerin ayrışma hızı yavaştır ve genellikle ayrışması yıllar alır. Bundan dolayı, patlayıcı bir numunenin ömrünü tahmin etmek için hızlandırılmış yaşlanma kullanılır. Yaşlanma süresi haftalarca aylarca sürebilir, süreç genellikle 50 ° C ila 90 ° C sıcaklık aralığında uygulanır.

Isıtma blokları, ateşli silah sevk yakıtları, nitroselüloz, kompozit tabanlı roket yakıtları ya da diğer enerjik malzemelerin yapay olarak yaşlandırılması için çok uygundur. İstenen yaşlandırma periyodu tamamlandıktan sonra, numuneler uygun mevcut yöntem kullanılarak stabilite testlerine hazırlanır.

3.4.4. Sevk Yakıtlarının Isıtma Bloklarına Yerleştirme İşlemi

Isıtma tüplerinin üzerlerine yaşlandırma yapılacak tarihler 5 yıl, 10 yıl ve 20 yıl; sevk barutları cinsleri (5.56 mm, 7.62 mm ve 9 mm) yazılarak 80° C 'de sıcaklıkta (2 saat önce çalıştırılmaya başlanmış) bulunan ısıtma bloklarına yerleştirildi. (Şekil 3. 11)



Şekil 3.11. Isıtma Bloklarına Yerleştirilen Barutlar

Isıtma bloklarına yerleştirilen 5 yıl yaşlandırılacak tüpler 5.3 gün, 10 yıl yaşlandırılacak tüpler 10.6 gün ve 20 yıl yaşlandırılacak tüpler 21.6 gün ısıtma tüplerinde kalacak şekilde programları yapıldı. Yapılan planlama çizelgesine göre

zamanı gelen tüpler ısıtma bloklarından çıkarıldı ve raporlamaları hazırlandı. (Şekil 3.12)



Şekil 3.12. Yaşlandırma prosesi

Yaşlandırma prosesi tamamlanan tüpler ısıtma bloklarından çıkarılarak sevk yakıtlarının cinslerine göre her 6 tüp aynı behere aktarılarak homojenlik sağlanır. Böylelikle elimizde 3 farklı sevk barutundan (5.56 mm, 7.62 mm ve 9 mm) her numuneden 240 gram olmak üzere 5 yıl, 10 yıl ve 20 yıl yaşlanmış barutlar elde edildi. (Şekil 3.13)



Şekil 3.13. Isıtma Bloklarından Boşaltılan Barutlar

3.4.5. Sevk Barutlarının Difenilamin Oranlarının Belirlenmesi

Birtakım farklı sıcaklıklarda (yüksek sıcaklıkta yürütülen Yaşlandırma Prosedürü) hangi yaşta bozunma başladığı, gerçekleşen reaksiyonların sıcaklık bağımlılığı ve dolayısıyla belirli bir sıcaklıkta güvenli saklama ömrünü değerlendirmek için stabilizatör seyrelme belirleme yöntemi kullanıldı. Bu veriler kullanılarak, sıcaklık yaşlanma prosedürü geliştirip ortam sıcaklığında kimyasal olarak stabil kalınacak asgari zaman belirlenebilir [33].

Nitroselüloz esaslı sevk yakıtlarının stabilite testleri, ortam saklama koşullarında doğal yaşlanmanın 5 ile 10 yılına tekabül eden sıcaklık ve sürelerde sevk yakıtlarının yapay olarak yaşlandırılmasından sonra dengeleyicinin tükenmesinin tayini ile gerçekleştirilir. Bu testler, yakıtlardaki dengeleyicinin birkaç yıl depolandıktan sonra belli bir güvenlik seviyesinin altına düşmemesini garanti etmelidir. Sevk yakıt maddeleri numunelerindeki dengeleyici içeriği (bu deneyde tercih edilen method) HPLC veya eşdeğer bir hassaslık veren başka bir uygun yöntem ile gerçekleştirilebilir.

3.4.6. Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC)

Yaşlanmaya ilişkin araştırmalar genel olarak yakıtların depolanmasına ilişkin güvenlik yönlerine odaklanmaktadır. Nitroselüloz (NC) tabanlı yakıtların güvenli depolama ömrü, NC ayrışması nedeniyle sınırlıdır. Ayrışma stabilizatörlerle önlenmeye çalışılır. NC ve stabilizatörlerin ayrışma ve davranış mekanizmalarının anlaşılmasına çok fazla çaba sarf edildi. Yakıtların kararlılığı, HPLC ile stabilizatör seyrelmesi tespit edilerek, tahmin edilebilir. Yüksek performans Sıvı Kromatografisi (HPLC) çoğu zaman stabilizatör içeriğini ölçmek için kullanılmıştır [4].

HPLC, analitik ayırma teknikleri amacı ile en yaygın kullanılan cihazdır. HPLC 'nin yaygın kullanılma sebepleri duyarlılığı, kantitatif tayinlere kolaylıkla uyarlanabilir olması, uçucu olmayan veya sıcaklıkla kolayca bozunabilen bileşiklerin ayrılmasına uygunluğudur. En önemlisi ise sanayinin birçok bilim dalının ve toplumun birinci

derecede ilgilendiği maddelere geniş bir şekilde uygulanabilirliğidir. Bu tip bileşiklere örnek olarak amino asitler, proteinler, nükleik asitler, karbonhidratlar, ilaçlar ve pestisitler verilebilir. HPLC nitesi: Degazör, pompa, örnekleyici, kolon ve dedektör olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır. Degazör; mobil fazlarda mevcut znmş gazların giderilmesini sağlar [47].



şekil 3.14. Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC)

Bu kapsamda deneyler sırasında şekil 3.14 te görülen (Agilent Technologies 1200 Series) yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) cihazı kullanılmıştır. Cihazın bize gösterdiği difenilamin ve difenilamin izotopu olan N-nitrosodifenilamin oranları standartlara [33] göre hesaplanmıştır. Başlangıç düzeyi, yaşlandırmadan önce yakıt numunesinde bulunan etkili stabilizatör yüzdesidir.

Etkili stabilizatör, yakıt üzerindeki dengeleyici etki gösteren bir stabilizatör biçimidir. Eğer yakıt tek başına difenilamin (DPA) ile ya da etil sentralit (EC) ile karışım halinde stabilize edilmişse, etkili stabilizatör içeriği şu şekilde bulunur:

Etkin stabilizatör = (Difenilamin + 0.85 N-nitrosodifenilamin) [33]

Deneyler sırasında kullanılan sevk yakıtı çift bazlı küresel geometrili ve stabilizatör içeriği olarak difenilamin kullanılan bir yakıttır. Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ve standartlara [33] göre hesaplanan difenilamin yüzdeleri aşağıda Çizelge 3.6' da sunulmuştur.

Çizelge 3.6. Sevk Yakıtlarındaki Difenilamin miktarları

5,56 x 45 mm		7,62 x 51 mm		9 x 19 mm	
Yaş	DPA	Yaş	DPA	Yaş	DPA
0	1,362	0	1,319	0	1,352
5 yıl	0,926	5 yıl	0,950	5 yıl	0,875
10 yıl	0,593	10 yıl	0,605	10 yıl	0,497
20 yıl	0,447	20 yıl	0,476	20 yıl	0,471

Etkili stabilizatör yüzdesi, etkili stabilizatör miktarı olup, yakıt numunesinin ağırlık yüzdesi olarak ifade edilir. Difenilamin miktarlarından anlaşıldığı gibi yakıtlarda yaşlanma arttıkça etkili stabilizatör yüzdesi azalmaktadır.

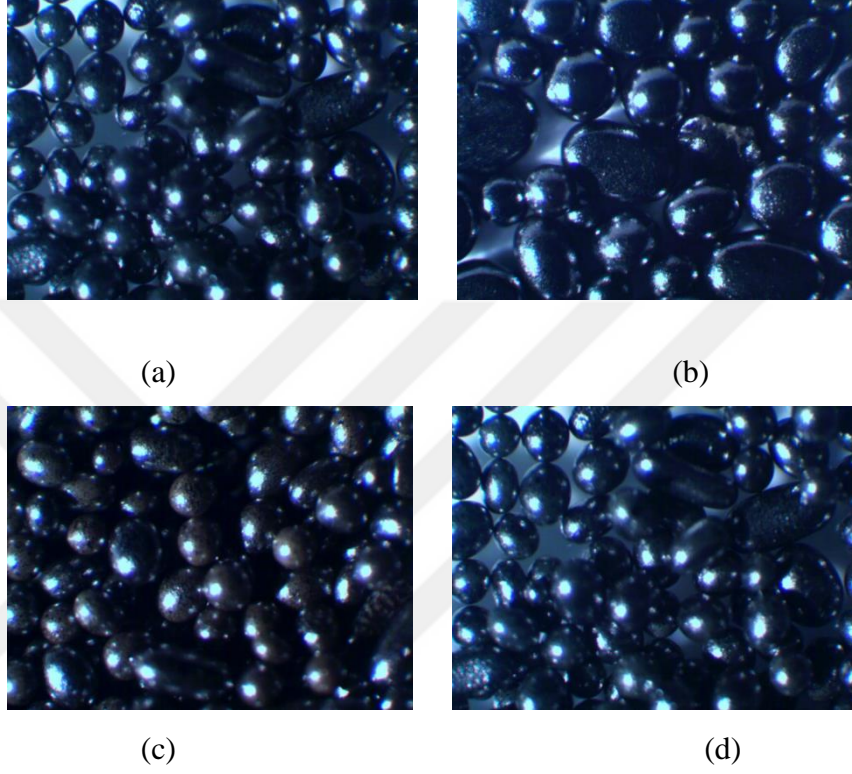
3.4.7. Sevk Yakıtlarının Yaşlanmalarının Fiziksel Olarak Gözlenmesi

Yapay yaşlanmış sevk yakıtların fiziksel görünmelerindeki farklılıkları karşılaştırmak için x100 büyütme yapabilen Wild Heerbrugg M5-101768 marka mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 3.15. Sevk Yakıtlarının Mikroskop ile Gözlenmesi

Çift bazlı küresel geometrili sevk yakıtlarının dış kısmı grafit kaplıdır. Yaşlanmanın etkisiyle dış yapıdaki grafit yapısı bozulur ve yüzeyde stabilizatör molekülleri oluşmaya başlar. Mikroskopla küresel geometrili yakıtlarının dış yüzeylerindeki bozulma gözlenmeye çalışılmıştır, ancak x100 mikroskop görüntülerinde yaşlanma kısmı görüntülenmiş, net fotoğraflar alınamamıştır, (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Sevk yakıtlarının x100 kat büyütülmüş grafit yüzeyleri a) , b) 5 yıl yapay yaşlanmış c) , d) 20 yıl yapay yaşlanmış

4. SAYISAL BULGULAR VE TARTIŞMA

Konvansiyonel mühimmatların çift bazlı sevk yakıtları düşünüldüğünde, güvenli ömürleri hesaplanırken kullanılan etkin parametre mühimmatların yakıtlarıdır. Diğer bir taraftan yeni roketler, füze silahları ve yüksek mukavemetli malzemelerin gelişmesiyle, yakıtların yüksek basınçlar altında yüksek yanma oranı ve istikrarlı çalışma gereksinimleri ortaya çıkmıştır. Yüksek basınç ve sıcaklıklara maruz kalacak sevk yakıtlarına, kararlı ve güvenli bir ömür tasarlanırken sevk yakıtlarının ne kadar stabil kalabileceği, balistik ömrünü ne kadar koruyabileceğine yönelik teknik ise yaklaşımlar önem kazanmıştır. Sevk yakıtlarının güvenli stabil kalması ise termal ısı yüklemesi ve içeriğindeki nitroselüloz bozunmasını engelleyen stabilizatörün seyrelmesine bağlıdır.

Sevk yakıtlarının plastikleştiriciler, bağlayıcılar ve stabilizatör gibi bazı katkı maddelerinin eksilmesi yakıtların yanma oranlarında ciddi problemlere yol açar. Sevk yakıtının bu bileşenlerinin eksilmesi ise yaşlanmayla olmaktadır. Yaşlanmaya ilişkin araştırmalar genel olarak yakıtların depolanmasına ilişkin güvenlik yönlerine odaklanmaktadır. Nitroselüloz (NC) tabanlı yakıtların güvenli depolama ömrü, NC ayrışması nedeniyle sınırlıdır. Ayrışma stabilizatörlerle önlenmeye çalışılır.

Çift bazlı sevk yakıtları, yaşlanma boyunca yavaş ancak; sabit termal ayrışmaya meyilli nitroselüloz bazlı enerjik malzemelerdir. NC temelli çift bazlı yakıtların depolardaki potansiyel tehlikelerinden bir felakete yol açabileceğinden dolayı yaşlanmış mühimmatlar incelenmeye başlandı. Doğal olarak yaşlandırılmış sevk yakıtlarının azlığı nedeniyle, yakıtları karakterize etmek için genellikle termal olarak hızlandırılmış yaşlanma verileri kullanılır. Yakıtların kararlılığını ve ömrünü belirlemek için kimyasal test yöntemleri ve metodolojileri standartlaştırıldı ve uluslararası kullanılmaya başlandı.

Sevk yakıtlarının performans ve kimyasal etkinliği farklı yükleme altında azalır. Bununla birlikte, kimyasal yaşlanma oksidasyon, termal veya oksijen gibi farklı kaynaklardan oluştuğundan raf ömrünün değerlendirilmesi sırasında en önemli

sorunlarından biri yaşanmaktadır. Sevk yakıtlarında stabilizatör miktarının seyrelmesi kimyasal proseslerin devam etme istikrarını olumsuz yönde etkilemekte ve balistik ömürlerini kısaltmaktadır. Bu çalışmada STANAG 4582 ' ye göre sırasıyla 5, 10 ve 20 yıl yapay yaşlandırılmış; 5.56 x 45 mm, 7.62 x 51 mm ve 9 x 19 mm çift bazlı sevk yakıtı numuneleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından ortaya çıkan grafik şekilleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2, 9 x 19 mm'i; Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 5.56 x 45 mm'i; Şekil 4.5 ve Şekil 4.6, 7.62 x 51 mm'i göstermektedir.

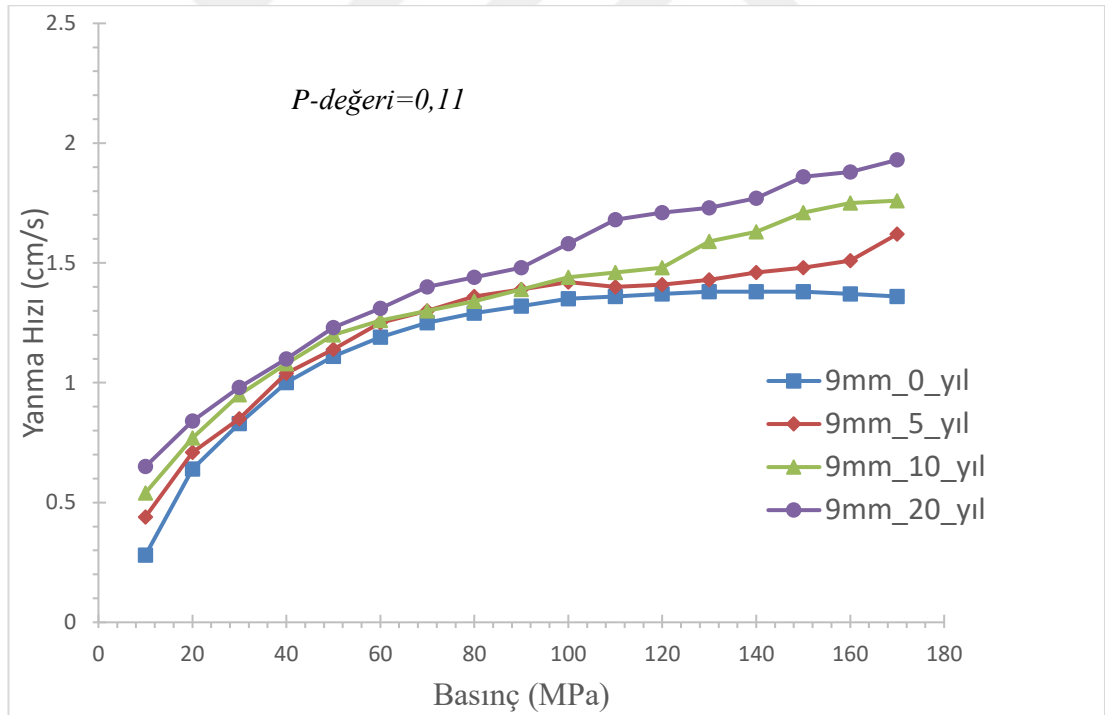
Anova Analizleri kullanılarak yapılan istatistiksel proses kontrolü %95 güven aralığına göre değerlendirilmiştir. Bu durumda aynı çalışma defalarca tekrarlandığında oranlar arasındaki fark %95 olasılıkla %5 arasında yer alır yorumu yapılmaktadır. Araştırma sonucunda bulunan p-değerleri bulgu olarak anlamlı yani yararlı ya da kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Anova analizi test sonuçlarından ortaya çıkan tablolar Çizelge 4.1 5.56 x 45 mm'i, Çizelge 4.2 7.62 x 51 mm'i, Çizelge 4.3 9 x 19 mm'i göstermektedir.

Grafik şekilleri incelendiğinde yapay yaşlanmış mühimmatların parametrelerinde önemli değişimler gözlenmektedir. Ateşleme başladıktan sonra yanmanın başlaması ve ilerlemesi, yanma hassasiyetinin bir parametresi olarak değişir. Sevk yakıtları yaşlandıkça yeni üretilmiş yakıtla kıyasla yanma hassasiyeti artmakta ve aynı basınç değerlerinde daha hızlı yanma gerçekleşmektedir. Burada sevk yakıtının yanma isteği yakıtın canlılığı olarak tanımlanabilir. Namlu içindeki yakıtlarında yanma durumu benzer yanma karakteri sergilemektedir. Yakıt namluda yanarken basınç bir parametre olarak değişir. Yeni imal tarihli yakıtlar daha az yanma isteğine sahip olup, yanmaya olan direnci daha fazla olmaktadır. Bununla birlikte, yakıt yaşlandıkça, yanma isteği artacak ve yanmaya olan direncin daha az olduğu gözlenmektedir. Bundan dolayı yaşlı yakıt maksimum basınç değerlerine erken ulaşır. Yakıt yaşlandıkça, maksimum basınç yanma odasına daha yakındır ve yeni imal edilmiş sevk yakıtlarının maksimum basınç değerlerinden daha yüksektir.

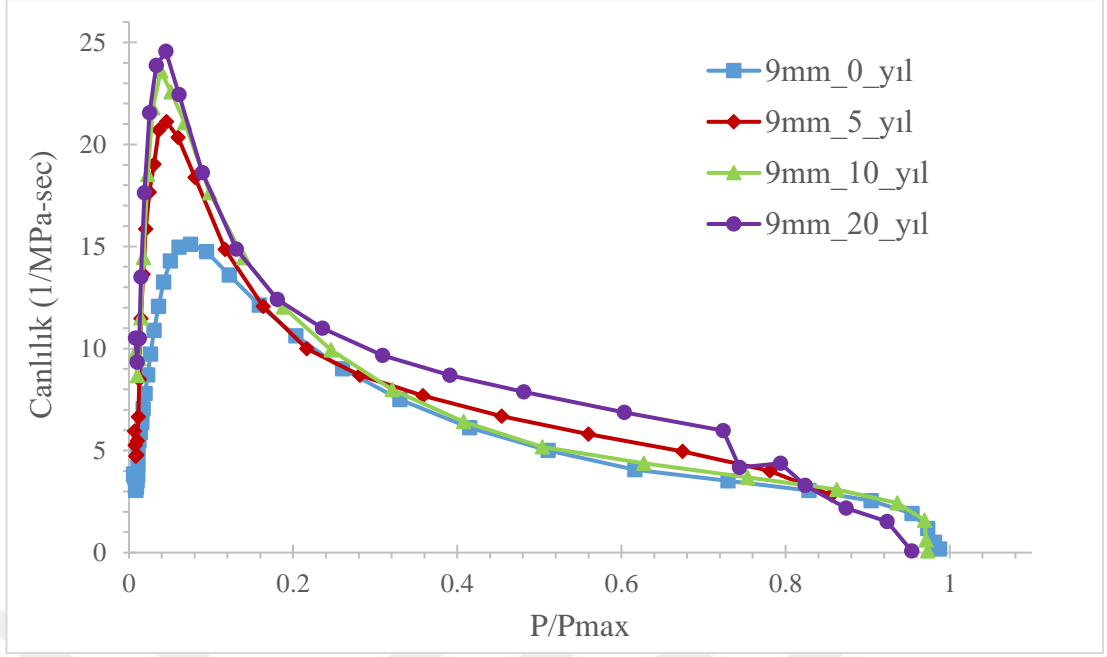
Sevk yakıtları arasında mukayese edildiğinde, yakıtlar yaşlandıkça yanma hızı artmakta ve kararlılık azalmaktadır. Çift bazlı sevk yakıtlarının canlılığı deneysel olarak incelendiğinde ilginç sonuçlar elde edilmiştir. Yeni imal tarihli yakıtların

canlılık değerlerinin deneysel olarak düşük olduğu tespit edilmiştir. Yakıtlar yaşlandıkça canlılık (vivacity) değerleri de artmıştır. Şekillerdeki canlılık oranlarına baktığımızda canlılığın yaşlanmayla arttığı gözlenmektedir. Yeni imal tarihli yakıtlar daha kararlı ve doğrusal bir yanma karakteri göstermiştir. Deneysel olarak yakıtların yaşlandıkça, düşük basınç değerlerinde hızlı yanma gösterdikleri belirlenmiştir. Bu durum, namlularda hasar meydana getirebilir ve namlularda yanma sırasında istenmeyen ani basınç artışı ile sonuçlanabilir.

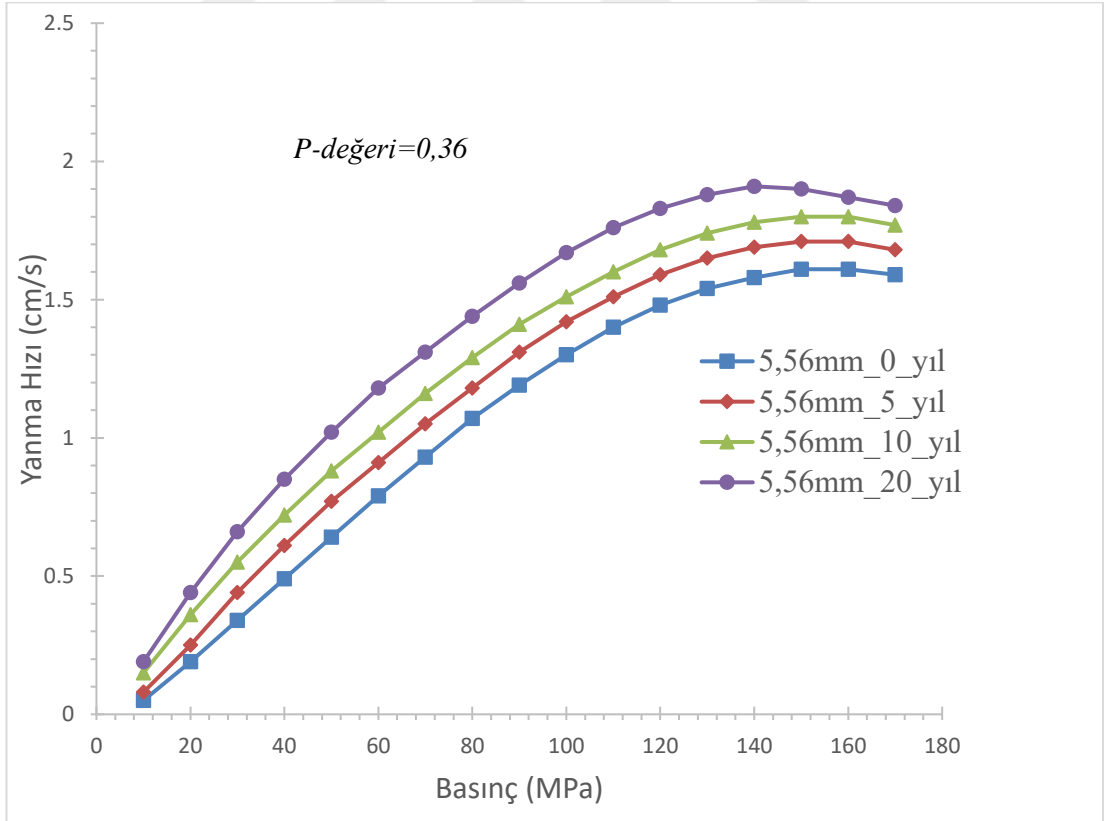
Sonuç olarak, kapalı bomba kabında ölçülen yanma oranları ve vivacity (canlılık) grafikleri incelendiğinde, çift bazlı sevk yakıtlarının yaşlanmayla birlikte parametrelerinde önemli ölçüde değişim olduğunu göstermektedir. Sevk yakıtlarının yaşlanmayla birlikte canlılık ve yanma hızlarında dinamik bir artış olduğu görülmektedir.



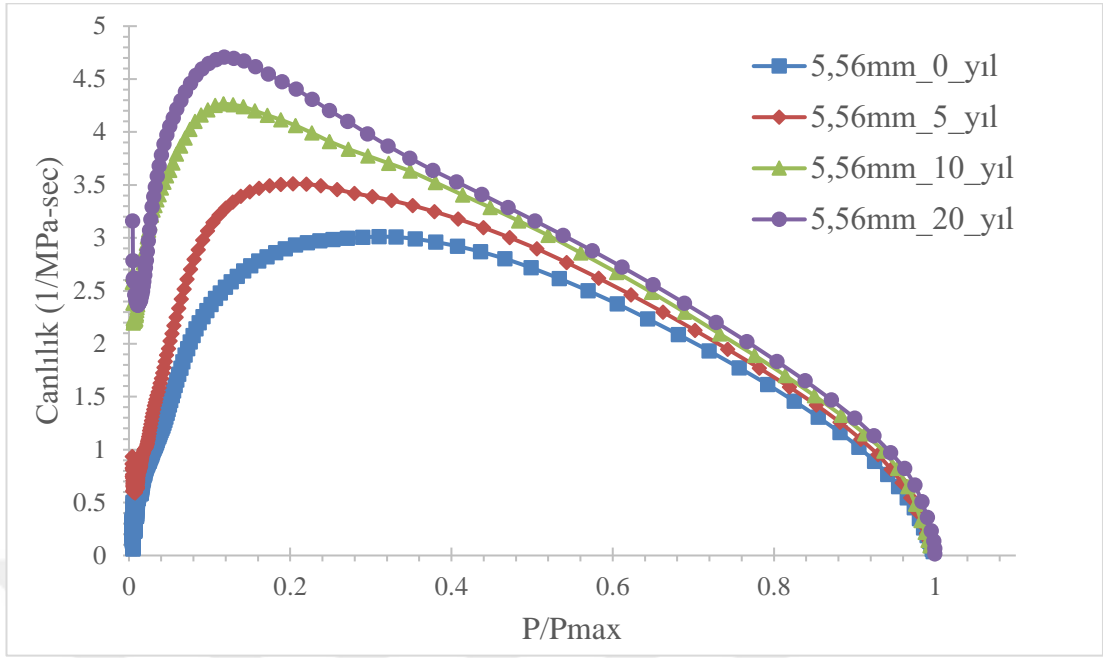
Şekil 4.1. 9 x 19 mm Sevk Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Yanma Hızı



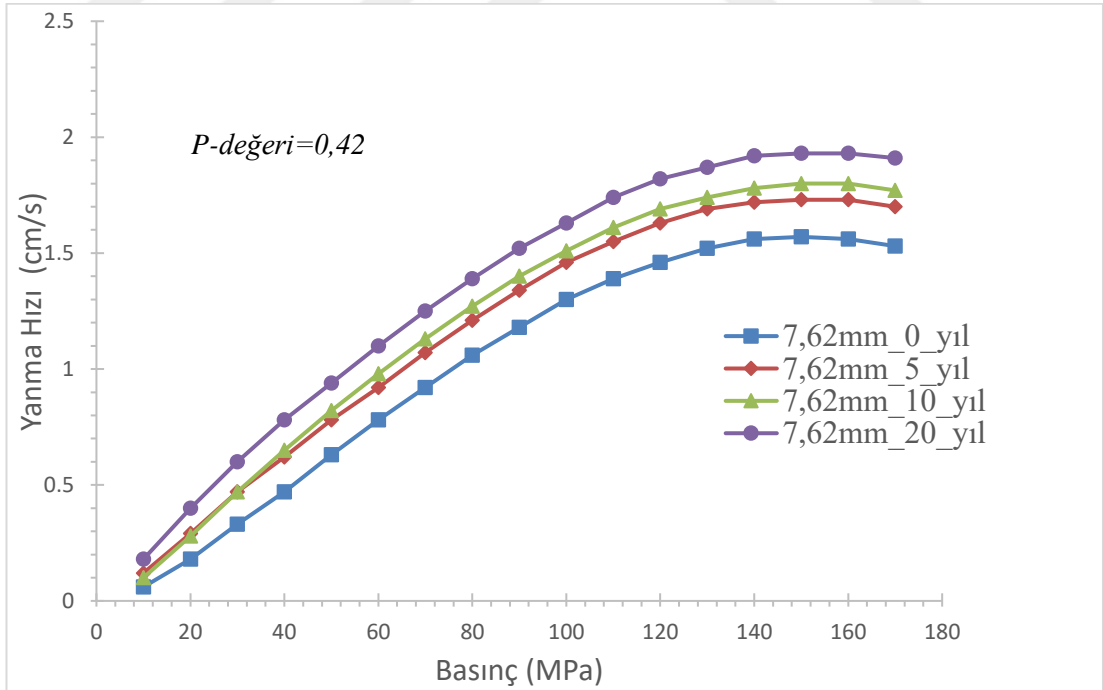
Şekil 4.2. 9 x 19 mm Sevk Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Canlılığı



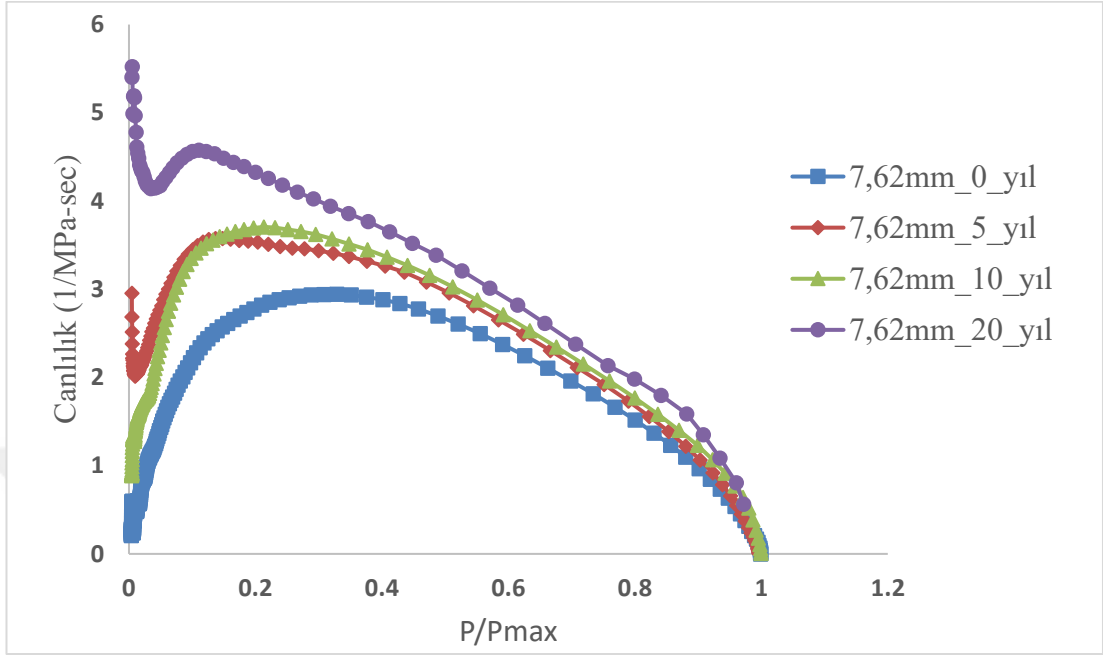
Şekil 4.3. 5.56 x 45 mm Sevk Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Yanma Hızı



Şekil 4.4. 5.56 x 45 mm Sevki Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Canlılığı



Şekil 4.5. 7.62 x 51 mm Sevki Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Yanma Hızı



Şekil 4.6. 7.62 x 51 mm Sevk Yakıtının Yaşlanmalarına Göre Canlılığı

Çizelge 4.1. 5.56 x 45 mm Sevk Yakıtının Anova Analizi

ÖZET

Gruplar	Say	Toplam	Ortalama	Varyans
5,56mm 0 yıl	17	17,8	1,047058824	0,289809559
5,56mm 5 yıl	17	19,56	1,150588235	0,302180882
5,56mm 10 yıl	17	21,22	1,248235294	0,298090441
5,56mm 20 yıl	17	23,31	1,371176471	0,312011029

ANOVA

Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F	P-değeri	F ölçütü
Gruplar Arasında	0,975592647	3	0,325197549	1,082105439	0,363083	2,748191
Gruplar İçinde	19,23347059	64	0,300522978			
Toplam	20,20906324	67				

Çizelge 4.2. 7.62 x 51 mm Sevk Yakıtının Anova Analizi

ÖZET

<i>Gruplar</i>	<i>Say</i>	<i>Toplam</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Varyans</i>
7,62mm_0yıl	17	17,5	1,029411765	0,278493382
7,62mm_5yıl	17	20,03	1,178235294	0,302777941
7,62mm_10yıl	17	20,8	1,223529412	0,331386765
7,62mm_20yıl	17	22,91	1,347647059	0,341431618

ANOVA

<i>Varyans Kaynağı</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-değeri</i>	<i>F ölçütü</i>
Gruplar Arasında	0,880859	3	0,293619608	0,936518676	0,428312642	2,748191
Gruplar İçinde	20,06544	64	0,313522426			
Toplam	20,94629	67				

Çizelge 4.3. 9 x 19 mm Sevk Yakıtının Anova Analizi

ÖZET

<i>Gruplar</i>	<i>Say</i>	<i>Toplam</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Varyans</i>
9mm_0yıl	17	19,86	1,168235294	0,098852941
9mm_5yıl	17	21,21	1,247647059	0,100556618
9mm_10yıl	17	22,65	1,332352941	0,117856618
9mm_20yıl	17	24,57	1,445294118	0,145513971

ANOVA

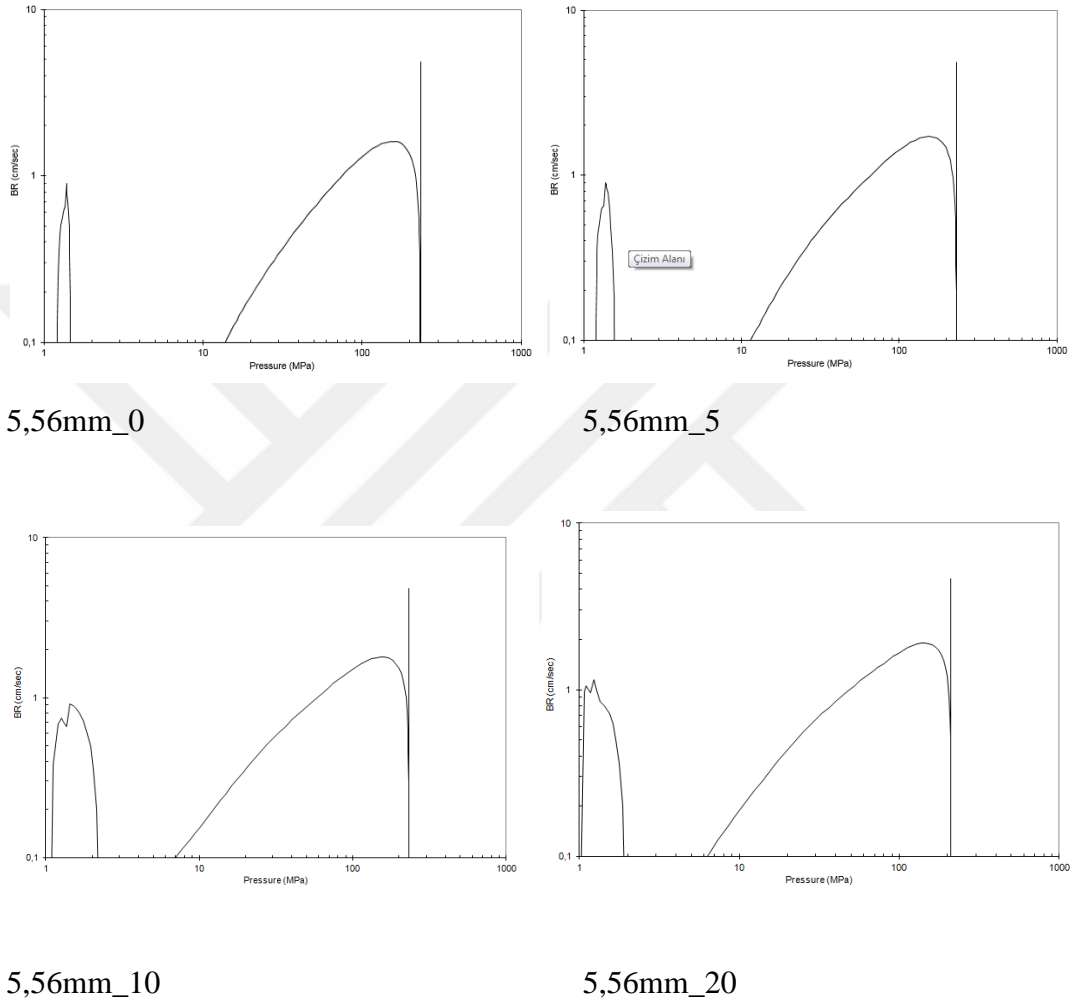
<i>Varyans Kaynağı</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-değeri</i>	<i>F ölçütü</i>
Gruplar Arasında	0,718239706	3	0,239413235	2,069347502	0,113042489	2,748190
Gruplar İçinde	7,404482353	64	0,115695037			
Toplam	8,122722059	67				

Kapalı Bomba kabında kullanılan işletim sistemi, yanma süresi boyunca tüm basınç değişiklikleri altında oluşan yüksek frekanslı ses dalgası verilerini saniyede 4000 kez ölçerek A / D (analog / dijital) dönüştürücülerle bilgisayara aktarır. Yanma odasında yakıt yakıldığında, piezo dönüştürücü basınç ile orantılı olan bir voltaj bildirir. Bu zaman basıncına karşı bu veriler, gazların üretilme hızının bir ölçümüdür. Yakıt testlerinde, bu deneyleri gerçekleştirmek için ateşleme sistemini ateşleyiciler yapar. Ateşleyici mekanizması gerekli olan emniyet mekanizmasını ve ateşleme akım kaynağını içerir. Ateşleme mekanizması DC gerilim kaynağı ile ateşlenir.

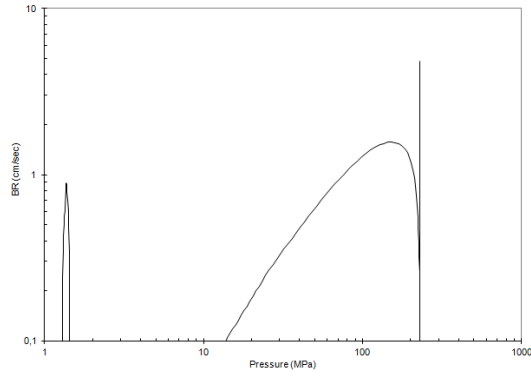
Ateşlemeden önce DC gerilim kalibratörü kontrol edilerek gerekli olan 5 V gerilimin mekanizmaya ulaştığı kontrol edilir. Gerilim değerlerinin ateşleyiciye doğru voltta ulaştığı doğrulandıktan sonra sistem aktive edilir ve ateşleme gerçekleştirilir.

Ateşleme sisteminde kullanılan ateşleyici malzemesi 2 gram karabaruttan oluşmaktadır. Ateşlenen karabarut yanarak belirli basınç ve sıcaklığa ulaşarak ana sevk yakıtı için gerekli enerjiyi üreterek ateşlemeyi gerçekleştirir. Aşağıdaki grafiklerde sevk yakıtlarının yanma sırasında kapalı bomba kabından alınan datalarda ateşleyici ve sevk yakıtının yanma sırasında oluşturduğu basınçlar gözlenmektedir. Grafiklerden gözlemlendiği gibi ateşleme başladıktan sonra karabarut ateşleniyor ve milisaniyeler sonra sevk yakıtı yanıyor. Karabarutun yandığı 5.56 mm, 7.62 mm ve 9 mm barutların hepsinde gözüküyor. Sistemi ateşlemek için verilen elektrik akımı karabarutu yakıp pik bir basınç oluşturuyor ve daha sonrasında sevk yakıtı, yanma pik basıncı oluşturuyor. Burada ateşleyicinin oluşturduğu pik basınç verilerinin farklı şekillerde olması ateşleyiciyi bağlama şekli ve yerleştirme açısı gibi sebeplerden değişebilmektedir. Önemli olan parametre, ateşlemeden sonra karabarutun sevk yakıtını yaktığı ve bir ateşleme zinciri oluşturduğu bilmemizdir. Bazı grafiklerde ise karabarut ile sevk yakıtı arasında basıncın hiç düşmediği ve ateşleyici maksimum basıncının sevk yakıtı maksimum basıncından büyük olduğu görülmektedir. Bazı noktalarda ise maksimum basınç, sevk yakıtı maksimum basınç noktasından sonra aşağı doğru inerken aniden milisaniyeler içinde tekrar maksimum noktasını geçip, geri sıfırlanmıştır. Basınç sensörü o sırada gürültü dediğimiz frekanslar alıp, basınç sensöründe bir değer gösteriyor. Grafik yorumlamalarda bu değerler dikkate alınmamaktadır. Basınç sensörü olarak 1 Mhz olan başka pize elektirik elemanı kullanıldığı durumlarda o noktadaki dalgalanmalar oluşmayıp, daha keskin grafikler elde edilmektedir. Kapalı bomba kabındaki yakmalarda ölçüm yapılırken ateşleyici basıncı çıkarılarak sadece sevk yakıtı maksimum basıncı dikkate alınır. Bu grafiklerde ateşleyici basınçlarına yakma prosesini gözlemlemek için bakılmış ve ateşlemelerin düzgün olduğu gözlenmiştir. Grafiklerden çıkan sonuç, karabarut ateşlendikten sonra sevk yakıtına milisaniyeler sonra gerekli aktivasyon enerjisini vermiş ve yakıtı ateşlemiştir. Yanan sevk yakıtı ve karabarutun yanma hızları ve basınçları grafiklerde tespit edilerek, sıralı ateşleme mekanizması harekete geçmiştir. Eğer grafikler alınmadan sevk yakıtı basıncına bakılsaydı, alınan maksimum basınçların doğru

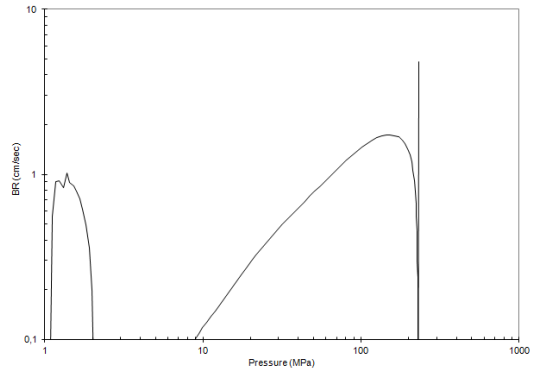
olduğu kabul edilerek hızlar ölçülecekti. Mevcut durumda karabarut ve sevk yakıtlarının hız ve basınçlarına bakılarak yanmanın kontrollü olarak yapıldığı tespit edilmiştir. Sonuçta, sevk yakıtı ateşlemelerinin hız ve basınç grafiklerinin tutarlı olduğu ortaya çıkarılmıştır.



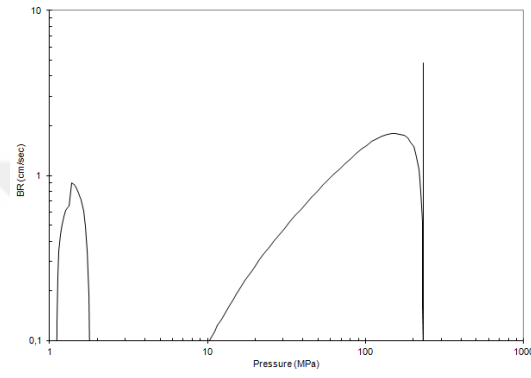
Şekil 4.7. 5.56 x 45 mm Sevk Yakıtının Kapalı Bomba Yanma Dataları



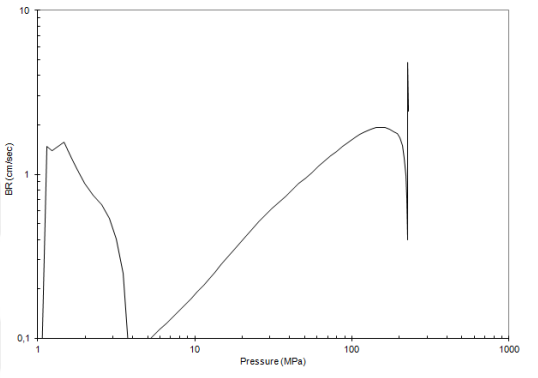
7,62mm_0



7,62mm_5

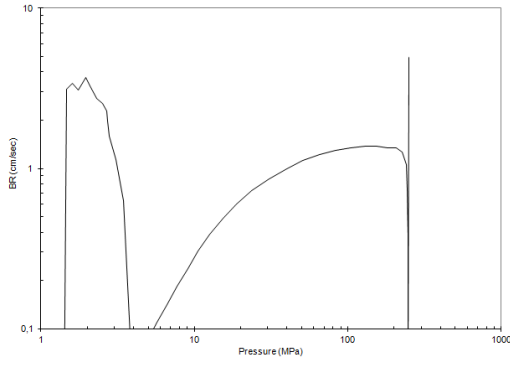


7,62mm_10

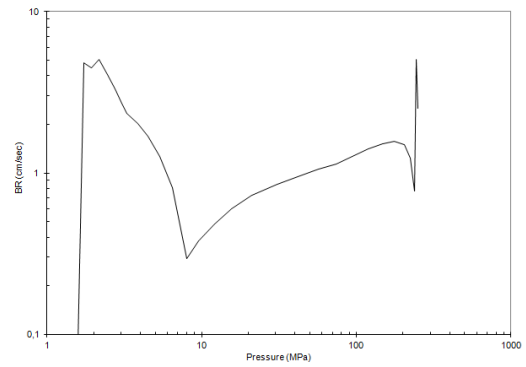


7,62mm_20

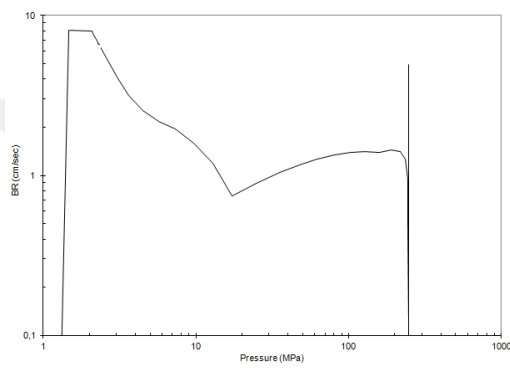
Şekil 4.8. 7.62 x 51 mm Sevk Yakıtının Kapalı Bomba Yanma Dataları



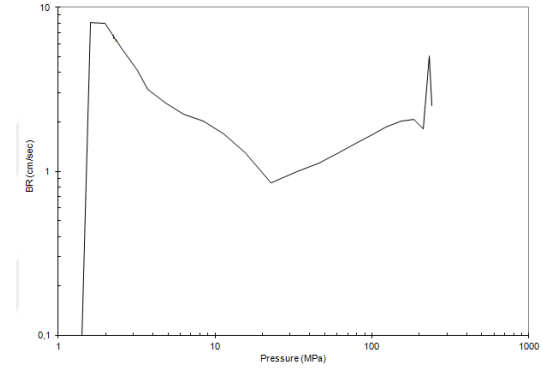
9mm_0



9mm_5



9mm_10



9mm_20

Şekil 4.9. 9 x 19 mm Sevk Yakıtının Kapalı Bomba Yanma Dataları

5. SONUÇLAR

Mühimmat üreten firmalar, müşterilerine eksiksiz bilgi sunabilmesi için mühimmatların kullanım ömrü boyunca, güvenli depolama ve güvenli balistik ömrü düşünerek tasarımlarını buna göre gerçekleştirmelidir. Mühimmatların depolama ve stabil kalma parametrelerini belirleyen en önemli kriter, mühimmatlara enerji vererek dönü ve itki kazanmalarını sağlayan sevk yakıtlarıdır. Sevk yakıtlarının depolama ömrü stabilizatör içeriğiyle ilgilidir ve stabilizatör seyreلمeye başlayınca patlayıcının yanma duyarlılığı artar ve giderek kararsız hale gelir. Bu çalışmada, her biri STANAG 4582'ye göre 5, 10 veya 20 yıl yapay olarak yaşlandırılan DPA ile stabilize edilmiş üç farklı sevk yakıtı davranışını araştırılmıştır. Bir grup numune ise referans olarak kullanılmıştır.

Yakıtların test sıcaklığına şartlandırma işlemi şartlandırma cihazlarında 12 saat boyunca deney sıcaklığı 292 K'de bekletilerek yapılmıştır. Daha sonra yakıtlar 200 cm³ hacimli kapalı basınç bomba kabında yanma hızları, farklı basınç (10 – 260 MPa aralığında) ve aynı başlangıç sıcaklığında ölçülmüştür. Aynı geometrik boyutlardaki ve farklı yaşlara sahip çift bazlı yakıtların yanma hızlarının ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, yakıt yaşlandıkça, yanma hızının arttığı ve kararsızlaştığı görülmüştür.

Yanma bir silah içinde kapalı bir alanda gerçekleştiğinde, kapalı gazların sıcaklığı ve basıncı arttıkça yanma hızı da hızla artar. Efektif bir silah tasarlamak için ağırlık, boyut karakteristiği, basınç yükselme oranı ve maksimum basınç uygun sınırlarla sınırlandırılmalıdır. Sevk yakıtı tasarımcıları bu etkileri (temel yakıt bileşenlerin seçimi, yanıcı geciktiriciler ilavesi, boyut seçimi ve yakıt taneciklerinin şekli ve yanma oda hacmi) gibi bileşenleri kontrol ederek ayarlar. Sevk yakıtı parametrelerini bilmeden yakıtları kullanan silahlar tasarlamak mümkün değildir. Bu çalışma, sevk yakıtının depoda bekledikten sonra parametrelerin nasıl değişeceği hakkında önemli bir bilgi vermektedir.

Yaşlanmaya bağlı mekanik bütünlüğün azalması ve uzun süre termal ısıya maruz kalınması stabilizatör maddelerinin oranlarını azaltarak sevk yakıtlarının güvensiz bir uygulama ile kullanılmasına sebep olmaktadır. Aynı şekilde dinamik canlılık yaşlanmayla artarak yakıtların hassasiyet seviyeleri yükselmiştir. Başka bir ifadeyle sevk yakıtlarının güvenli balistik ömrü yaşlanmaya sınırlanmaktadır.

Nitroselüloz polimerik zincir uzunluğundaki değişim yaşlanmaya bağlı olarak nitroselülozun bozulmasına yol açıyor. Bu durum sevk yakıtının mekanik bütünlüğün kaybolmasına yanma davranışlarında ciddi bir değişime neden oluyor. Mekanik bütünlüğün kaybedilmesi ateşleme sırasında ve yanma aşamasında artan tane kırılmasına yol açar. Yükleme yoğunluğu ve tasarlanan pik basınca bağlı olarak, basınç birikimi güvensizliğe neden olur.

Yeni imal edilmiş sevk yakıtlarının, kapalı basınçlı bomba kabındaki yanma testleri yapay yaşlanmış yakıtların hızlarından daha düşük olduğunu raporlandı. Sevk yakıtlarının canlılık değerleri arttıkça, aynı basınç değerlerinde daha yüksek bir yanma hızına sahip olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir. Kapalı bombanın yanma hızı sonuçları değerlendirildiğinde, yakıtlar yaşlandıkça daha fazla basınç üretiyorlar. Bu, namluda maksimum basıncın üzerinde olan yanma oluşumunun sonucunu doğurmaktadır. Yaşlı yakıtlar kullanıldığında, teorik hesaplamalardan aşırı basınç oluşacağı ve bunun namlu ömrü hesaplarında dikkate alınması gerektiği tespit edilmiştir. Yapay yaşlanma, üç grubun hepsinde stabilizatörün tükenmesine neden oldu ve tükenme şiddeti yaşla birlikte arttı. Buna göre, yakıtların yanma hızı ve canlılığı yaşla birlikte arttı, bu da istikrar kaybına ve uzun süreli depolama tehlikesine işaret etmektedir. Bu çalışmada bulunan veriler, yaşlı sevk yakıtları ateşlemeleri namlu içerisindeki basıncın arttırdığını, bunda namlu dayanım ve yorulma hesaplanmasında dikkate alınması gereken bir durum haline geldiğini göstermektedir. Bu nedenle, namlu ömrü için geliştirilecek deneysel veya teorik hesaplamalarda performans değişikliklerinin de dikkate alınması gerektiği saptanmıştır. Sevk yakıtı depolanma koşullarının, yakıtların eskime sürecini etkilediği bulunmuştur. Yaşlı yakıtların geri dönüşüm sistemleri ile ekonomiye tekrar kazandırılması önemli derecede ekonomik kazançlar sağlayabilir, ancak tehlikeli bir durum olduğunu hiç bir zaman unutmamalıdır.

Çift bazlı farklı cins sevk yakıtları arasında yapılan test tekrarları, anova analizleri ile istatistiksel olarak anlamlı bir çalışma ortaya koymuştur. Çift bazlı yakıtlar aralarında değerlendirildiğinde, en iyi yanma eğilimini 7.62 x 51 mm küresel geometrili barut göstermektedir. Yakıtlar arasındaki kimyasal analiz raporları incelendiğinde nitroselüloz oranı ile nitrogliserin oranlarının yanma istikrarını etkilediği görülmektedir. 7.62 x 51 mm sevk yakıtının nitroselüloz oranı %82.32, nitrogliserin oranı ise %11.59'dur. 9 x 19 mm sevk yakıtının nitroselüloz oranı %78.36, nitrogliserin oranı ise %19.91'dir. Nitroselülöz oranı yükselen yakıtların yanma stabilizesi daha verimli olmaktadır. Nitrogliserinin yakıtlarda detonasyon etkisi yaparak yanma kararlılığını bozduğu görülmüştür. Tek bazlı sevk yakıtların depolama kabiliyetleri iyi olsa da mermi itme kuvveti düşük olduğundan, içeriğinde nitrogliserin ihtiva eden çift bazlı sevk yakıtları yaşlanma meyilli olsa da tercih edilmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda stabilizatör madde olarak kullanılan difenilaminin, yakıtlar üzerindeki etkileri ve optimum yanma eğilimini sağlayacak nitroselülöz ve nitrogliserin oranlarının araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] E. Of, A. Engineering, and P. Two, "Research and Development of Materiel Elements of Armament Engineering Part Two," Eylül, 1963.
- [2] C. Candan, "Kompozit Zırh İmalat Parametrelerinin Terminal Balistik Özellikler Üzerine Etkileri," 2005.
- [3] C. Farrar and D. Leeming, "Military Ballistics a Basic Manual, Battlefield Weapons Systems and Technology, vol. 10," *R. Mil. Coll. Sci. Shrivenham, UK*, 1983.
- [4] T. Lindblom, "Reactions in stabilizer and between stabilizer and nitrocellulose in propellants," *Propellants, Explos. Pyrotech.*, 2002.
- [5] HMSO, "International Ballistics' , HMSO, London," 1951.
- [6] G. L. Lu, "Combustion property of Nitramine/AP/HTPB propellant under high pressures," *J. Propul. Technol.*, 2, vol. 24(6), 571, 2003.
- [7] A. Juhasz, I. May, W. Aungst, and F. Lynn, "Combustion Studies of Very High Burning Rate (VHBR) Propellants," Army Ballistic Research Lab., 1982.
- [8] R. Frederick, undefined Jr, J. Traineau, and M. Popo, "Review of ultrasonic technique for steady state burning rate measurements," *AIAA/ASME/SAE/ASEE*, 2000.
- [9] R. Di Salvo and R. Frederick, "Direct ultrasonic measurement of solid propellant combustion transients," *AIAA/ASME/SAE/ASEE Jt. Propuls. Conf.*, 1999.
- [10] P. Wu, D. Longworth, and D. Whitney, "Development of an ultrasonic burning rate measurement technique," *39th AIAA/ASME/SAE/ASEE Jt.*, 2003.
- [11] C. Price and A. Juhasz, "A versatile user-oriented closed bomb data reduction program (CBRED)," Army Ballistic Research Lab., 1977.
- [12] J. Murphy, A. Martin, and H. Krier, "Precision techniques for measuring burning rates of solid propellants during pressure transients," *36th AIAA Aerosp. Sci. Meet.*, 1998.
- [13] M. Milos and V. Bozic, "Small motor measurement method for determining burning rate of solid rocket propellants," *34th AIAA/ASME/SAE/ASEE Jt. Propuls.*, 1998.
- [14] C. Z. Wang, "Measurement uncertainty principle and the application on

- physical and chemical testing,” *Phys. Test. Chem. Anal.*, vol. 39(2), 113, 2003.
- [15] Ali Rıza Öztürk, “İç Balistik,” *Makine ve Kim. Endüstrisi Kurumu Genel Müdürlüğü Özel Yayınları, Ankara, 1-320*, 1984.
- [16] E. DEĞİRMENCİ, “Namlulu Silahların İç Balistiğine; Termodinamik, Termokimyasal ve Hareket Denklemlerinin Uygulanması ve Sonuçların Karşılaştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [17] Norman, W.R., “Thermodynamic Interior Ballistic Model with Global Parameters’, Edition 2, NATO, STANAG 4367, 3-56,” 2001.
- [18] Rheinmetall, *Handbook on Weaponry 2nd Edition*, vol. 2nd Editio. 1982.
- [19] C. Cranz, *Lehrburch der Balistik (Manual of Ballistic)*. 1926.
- [20] “Richard Nakka’s Experimental Rocketry Site.” <http://www.nakka-rocketry.net/staburn.html>. [Erişim tarihi: 28-Nisan-2017].
- [21] H. Yaman, V. Çelik, and E. Değirmenci, “Experimental investigation of the factors affecting the burning rate of solid rocket propellants,” *Fuel*, vol. 115, pp. 794–803, 2014.
- [22] E. Degirmenci, “Effects of grain size and temperature of double base solid propellants on internal ballistics performance,” *Fuel*, vol. 146, pp. 95–102, 2015.
- [23] S.-J. Song *et al.*, “Measurement of solid propellant burning rates by analysis of ultrasonic full waveforms,” *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 23, no. 4, pp. 1112–1117, Nisan. 2009.
- [24] S. Shimpi and H. Krier, “The closed bomb test for the assessment of solid propellant grains utilized in guns,” *Combust. Flame*, 1975.
- [25] T. Wagner, J. Ritter, and B. E. Homan, “Upgrades to the Closed Bomb Facility and Measurement of Propellant Burning Rate,” Army Research Laboratory, Ocak, 2010.
- [26] “pressure_kouzou_e.jpg (320×320).” [Online]. Available: http://www.showa-sokki.co.jp/Products/Image_Products/pressure_kouzou_e.jpg. [Erişim tarihi: 11-Mayıs-2017].
- [27] “NATO- STANAG 4115 LAND (Edition 2) – Definition and Determination of Ballistic Properties of Gun Propellants, Military Agency for Standardization,,” 1997.
- [28] Z. Leciejewski, “Experimental study of possibilities for employment of linear

- form of burning rate law to characterise the burning process of fine-grained propellants,” *Cent. Eur. J. Energ. Mater.*, 2008.
- [29] D. Olander and M. Schall, “Fire suppression system and solid propellant aerosol generator for use therein,” *US Pat. 6,851,483*, 2005.
- [30] U. S. A. Defense, L. Review, and T. A. Office, “Propellant management,” Haziran, pp. 429–474, 1998.
- [31] M. MUHAMMAD, G. LU, and K. REN, “Technique to Assess Aging of Propellant Grain,” *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 19, no. 1, pp. 59–64, 2006.
- [32] A. H. . Farhadian, M. K. . Tehrani, M. H. . Keshavarz, M. . Karimi, S. M. R. . Darbani, and A. H. . Rezayi, “A novel approach for investigation of chemical aging in composite propellants through laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS),” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 124, no. 1, pp. 279–286, 2016.
- [33] “AOP-48 (Edition 2) - Explosives, nitrocellulose based propellants - stability test procedures and requirements using stabilizer depletion, Military Agency for Standardization, Brussels, 2008.,” vol. 16, no. Mart. 2007.
- [34] “NATO - STANAG 4117 - Explosives, Stability Test Procedures and Requirements for Propellants Stabilized with Diphenylamine, Ethyl Centralite or Mixtures of Both
- [35] M. Sućeska, S. M. Mušanić, I. Fiamengo, S. Bakija, A. Bakić, and J. Kodvanj, “Study of Mechanical Properties of Naturally Aged Double Base Rocket Propellants,” *Cent. Eur. J. Energ. Mater.*, vol. 7, no. 1, p. 4760, 2010.
- [36] A. Venter, D. Ifa, and R. Cooks, “A Desorption Electrospray Ionization Mass Spectrometry Study of Aging Products of Diphenylamine Stabilizer in Double-Base Propellants,” *Propellants*, 2006.
- [37] D. Zhang, S. Lu, L. L. Gong, C. Y. Cao, and H. P. Zhang, “Effects of calcium carbonate on thermal characteristics, reaction kinetics and combustion behaviors of 5AT/Sr(NO₃)₂ propellant,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 109, no. 3, pp. 94–102, 2016.
- [38] M. López-López, J. C. Bravo, C. García-Ruiz, and M. Torre, “Diphenylamine and derivatives as predictors of gunpowder age by means of HPLC and statistical models,” *Talanta*, vol. 103, pp. 214–220, 2013.
- [39] A D. Number, T. Page, and I. S. Unclassified, “AMCP 706-247 Ammunition Series Section 4, Design for Projection,” 1973.

- [40] T. Lindblom, "Reactions in the system nitro-cellulose/diphenylamine with special reference to the formation of a stabilizing product bonded to nitro-cellulose," Sweden, Europe: Uppsala : Acta Universitatis Upsaliensis, 2004.
- [41] J. Lindholm, A. Brink, and M. Hupa, "Cone calorimeter – a tool for measuring heat release rate," *Finnish-Swedish Flame Days 2009*, Ağustos 2008.
- [42] V. F. Bohn MA, "Aging behavior of propellants investigated by heat generation, stabilizer consumption, and molar mass degradation," *Propellants Explos. Pyrotech.*, 1992.
- [43] K. K. Trache D, Mazroua A, "Determination of chemical and mechanical properties of propellants during ageing," *Proceeding 42nd Int. Annu. Conf. ICT*, vol. 83–1–83–10, 2011.
- [44] M. CHOVANCOVÁ and P. O. A. P. J. LOPÚCH, "Lifetime prediction of propellants according to Nato Standards," *Mil. Tech. Test. Inst. Zahorie*, 2004.
- [45] H. Yıldırım and Ş. Özüpek, "Structural assessment of a solid propellant rocket motor: Effects of aging and damage," *Aerosp. Sci. Technol.*, vol. 15, no. 8, pp. 635–641, 2011.
- [46] N. A. Council, "STANAG 4582 (Edition 1)-Explosive, Nitrocellulose Based Propellants, Stability Test Procedure and Requirements Using Heat Flow Calorimetry," Mart. 2004.
- [47] "Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC)."
<http://gidaarge.akdeniz.edu.tr/cihazlar.i32.yukse-performansli-sivi-kromatografisi-hplc->. [Erişim tarihi: 05-Mayıs-2017].

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ergun TIRAK

Doğum Tarihi : 07.03.1988

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu :

Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi-Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü (2011)

Yüksek Lisans: Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Savunma Teknolojileri Bölümü (2017)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar:

TSK Mühimmat Ayırma ve Ayıklama Müdürlüğü-Kırıkkale 2012-2016

Milli Savunma Bakanlığı Kalite Ekip Müdürlüğü-Kırıkkale 2016-...

Yayımları (SCI) :

Yayımları (Diğer) :

Tırak, E.; Pehlivanlı, Z.O.; Değirmenci, E.; (2017). İmalat Tarihleri Farklı Katı Sevk Yakıtların Yanma Özelliklerinin Deneysel Araştırılması.2. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu. Kırıkkale.

Araştırma Alanları :Çift bazlı sevk yakıtları, İç balistik, Jiroskop, Mühimmat ayırma ve ayıklama,