



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YİVSİZ AV TÜFEĞİ NAMLUSU ET
KALINLIĞININ SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU**

Abdullah UĞUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

Temmuz-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdullah UĞUR tarafından hazırlanan “Yivsiz Av Tüfeğinin Namlusu Et Kalınlığının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Optimizasyonu” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Danışman

Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

Üye

Dr. Öğr. Üy. Mevlüt TÜRKÖZ

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 18201159 / 18401092 / 18401015 numaralı proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza

Abdullah UĞUR

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YİVSİZ AV TÜFEĞİNİN NAMLUSU ET KALINLIĞININ SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

Abdullah UĞUR

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof.Dr.Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

2019, 123 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU
Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Dr. Öğr. Üy. Mevlüt TÜRKÖZ**

Bu çalışmada, av tüfeğinde balistik öneme haiz parçaların analiz ve tasarım optimizasyonu için gerekli olan verilerin toplanması için sistem kurulumu yapılmış ve test sisteminden elde edilen veriler ışığında ANSYS programında response surface optimization (yanıt yüzeyi optimizasyonu) kullanılarak namlu parçasında tasarım optimizasyon çalışması yapılmıştır. Kurmuş olduğumuz test sistemi sayesinde av tüfeğinde atış esnasında namlu içerisinde oluşan basınç, geri tepme, yüzey gerinim ve mermi çıkış hızı değerleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında sonlu elemanlar metodu ile modelleme yapılarak namlu tasarım parametrelerinin optimize edilmesi için gerekli olan alt yapı oluşturulmuştur. Gaz ile çalışan yarı otomatik tüfeklerde sistemin sorunsuz bir şekilde çalışması için gaz odasına gelmesi gereken uygun basınç değerinin hesaplanması, merminin namlu içerisinde atış anından itibaren hız ve basınç değişimi incelenmesi için gerekli veriler elde edilmiştir. Av tüfeğinin önemli parçalarının malzeme seçimleri tekrar gözden geçirilmesine olanak sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Av Tüfeği, Basınç Ölçümü, İç Balistik, Namlu Çıkış Hızı, Yanıt Yüzeyi Yöntemi.

ABSTRACT

MS THESIS

OPTIMIZATION OF THE MEAT THICKNESS OF BARREL OF THE HUNTING RIFLE WITH THE FINETE ELEMENTS METHOD

Abdullah UGUR

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Prof.Dr.Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

2019, 123 Pages

**Jury
Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU
Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Asst. Prof. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ**

In this study, the system was installed to collect the data required for the analysis and design optimization of the ballistic parts of the shotgun and a design optimization study was performed on the barrel part by using response surface optimization in ANSYS program in the light of the data obtained from the test system. Thanks to the test system we established, the pressure, recoil, surface strain and projectile exit velocity values in the barrel during shooting were determined. In the light of the obtained data, finite element method was used to model the barrel design parameters to create the necessary infrastructure. In semi-automatic rifles working with gas, the necessary data were obtained for calculating the appropriate pressure value that should come to the gas chamber for the smooth operation of the system, and for the analysis of the speed and pressure changes from the moment of the projectile in the barrel. Material selection of the important parts of the shotgun was revised.

Keywords: Barrel Velocity, Internal Ballistics, Pressure Measurement, Response Surface Optimization.

ÖNSÖZ

İnsanoğlu yaşam boyu çeşitli tehdit, tehlike ve savaşlarla karşı karşıya kalmış ve kendisini korumak için çeşitli savunma mekanizmaları geliştirmiştir. Ateşli silahların icat edilmesiyle birlikte savunma mekanizmaları değişmiş ve günümüze kadar sürekli olarak gelişim göstermiştir. Ülkeler tehditlere karşı kendilerini savunmak ve diğer ülkelere üstünlük kurmak için çeşitli savunma mekanizmaları ve ateşli silahlar geliştirmek zorunda kalmıştır. Buda silahlar üzerine yapılan AR-GE çalışmalarının artmasına sebep olmuştur. Günümüzde silah üzerine yapılan çalışmalar genellikle namlu üzerine yoğunlaşmıştır. Namlunun daha hafif ve daha dayanıklı bir malzemeden üretilmesi silah sistemleri için olmazsa olmaz bir durum haline gelmiştir. Çalışmamızda, av tüfeğinde balistik öneme haiz parçaların analiz ve tasarım optimizasyonu için gerekli olan verilerin toplanması için sistem kurulumu yapılmış ve test sisteminden elde edilen veriler ışığında namlu parçasında tasarım optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Tez çalışmamı 18201159 / 18401092 (Hafif Silah İç Balistik Verilerin Toplanması Ve Namlu Et Kalınlığının Optimizasyonu) / 18401015 (Av Tüfeklerde Patlama Sonucu Oluşan Basınç Ve Geri Tepme Değerinin Belirlenerek ANSYS-Workbench İle Modellenmesi Projesi) numaralı iki araştırma ve bir adet yayın projesi olmak üzere toplamda üç adet proje ile destekleyen Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne sonsuz şükranlarımı sunarım.

Son olarak yüksek lisans eğitimim ve tez çalışması boyunca bana destek olup yardımını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Hayrettin Düzcükoğlu'na, Analiz çalışmalarında yardımcı olup hiçbir zaman desteğini esirgemeyen Prof.Dr. Ömer Sinan Şahin'e, sensörlerin montajı ve çalıştırılmasında desteğini esirgemeyen Arş.Gör. Okan Uyar 'a, bu çalışmanın gerçekleşmesinde her türlü desteği sağlayan Husan Metal Teknolojileri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketine teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca yaşamım boyunca her zaman yanımda olup maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve eşime teşekkür ederim.

Abdullah UĞUR
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
GRAFİKLER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Amaç ve Kapsam	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. GENEL BİLGİLER.....	9
3.1. Silah Çeşitleri.....	9
3.1.1. Ateşli silahlar	9
3.1.2. Ateşsiz silahlar	10
3.1.3. Kimyasal silahlar	10
3.2. Av Tüfeğine Ait Genel Bilgiler	10
3.2.1. Av tüfeğinin sınıflandırılması.....	10
3.2.1.1. Çalışma sistemlerine göre sınıflandırılması.....	10
3.2.1.2. Kalibreye göre.....	13
3.2.1.3. Namlularına göre	14
3.3. Av Tüfeklerinin Genel Yapısı.....	16
3.3.1. Namlu.....	16
3.3.2. Şok	18
3.3.3. Kundak.....	20
3.3.4. El kundağı	21
3.3.5. Kubuz(gövde)	21
3.3.6. Tetik	21
3.3.7. Korkuluk	21
3.3.8. Kilit tertibatı.....	21
3.3.9. Mekanizma.....	21
3.3.10. Horoz	22
3.3.11. İğne	22
3.3.12. Emniyet tertibatı	22
3.3.13. Tırnak.....	22

3.3.14. Arpacık.....	22
3.3.15. Şarjör.....	22
3.3.16. Gez	22
3.4. Av Tüfeğinin Çalışma Prensipleri.....	23
3.5. Av Fişekleri Hakkında Genel bilgiler	24
3.5.1. Av fişeklerinin yapısı.....	24
3.5.2. Av fişeklerinin ateşlenme evreleri	25
3.5.3. Av fişeklerinin basınç değerleri	26
3.6. Balistik	26
3.6.1. İç balistik.....	27
3.6.2. Dış balistik	28
3.6.3. Terminal balistik	28
3.7. Genel Mukavemet Bilgileri	29
3.7.1. Gerilme	29
3.7.2. Gerilme türleri.....	29
3.7.3. Gerinim	31
3.7.4. Poisson oranı.....	32
3.7.5. Hooke kanunu	32
3.7.6. Akma gerilmesi.....	34
3.8. Optimizasyon	37
3.8.1. Geleneksel optimizasyon yöntemi	37
3.8.2. Yanıt yüzeyi optimizasyon yöntemi	38
3.9. Response Surface Optimization (Yanıt yüzeyi optimizasyonu)	39
3.10. Sonlu Elemanlar Metodu(SEM)	41
4. ATEŞLİ SİLAH TEST STANDARTLARI	46
4.1. NATO Eprvat Testi	46
4.2. SAAMI Dayanıklılık(Endurance) Testi	46
4.3. CIP Namlu Testi	47
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	48
5.1. Test Prosedürü	48
5.2. Namlunun Hazırlanması	50
5.2.1. Namlu malzemesinin özellikleri	51
5.2.2. Basınç sensörü namlusu.....	52
5.2.3. Gerinim ölçer (strain gauge) namlusu	53
5.3. TSE TS 870 Kapsamında Yapılan Testler	54
5.3.1. Namlu iç çap muayenesi	54
5.3.2. Namlu salgı muayenesi	55
5.3.3. Namlu balans muayenesi	55
5.3.4. Namlu yüzey pürüzlülük muayenesi.....	56
5.3.5. Namlu fişek yatağı pürüzlülük muayenesi.....	57
5.3.6. Namlu master kontrolleri	57
5.4. Test Sistemi Tasarımı	59
5.5. Test Sistemi Tanıtımı ve Kurulumu.....	59
5.5.1. Gerinim ölçer (strain gauge)	60
5.5.2. Basınç sensörü	62
5.5.3. Yük hücresi (load cell).....	64
5.5.4. İvme sensörü	66

5.5.5. Hız ölçer.....	67
5.6. Analitik Hesaplamalar	70
5.6.1. İvme sensörü hesaplamaları.....	70
5.6.2. Gerinim ölçer hesaplamaları.....	70
5.6.3. Geri tepme yükü hesaplama.....	71
5.6.4. Vallier-Heydenreich balistik hesaplamaları.....	73
5.6.5. Eğri uydurma yöntemi (curve fitting).....	74
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	78
6.1. Test Atışları.....	78
6.2. Test Sonuçları	79
6.2.1. Basınç ve namlu çıkış hızı ölçüm sonuçları.....	79
6.2.2. Geri tepme ölçüm sonuçları.....	81
6.2.3. Sonuç Grafikleri.....	83
6.2.4. Gerinim ölçer ölçüm sonuçları	85
6.3. Analiz Çalışması	86
6.3.1. Analiz parametreleri	87
6.3.2. Analizin hazırlanması ve kabuller	88
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Kuvvetin uygulandığı alan (m^2)
a	: Cismin ivmesi (m/s^2)
b	: Yansız tahmin edici
d	: Namlu çapı (mm)
E	: Elastik modül
F	: Kuvvet (N)
FRE	: Geri tepme yükü (pound foot)
G	: Kayma modülü
L	: Malzeme ilk boyu
m	: Cismin kütlesi (kilogram)
Mp	: Mermi ağırlığı (kg)
Mb	: Barut ağırlığı (kg)
N	: Kalibre
Pmax	: Azami ortalama basınç
Pkritik	: Kritik basınç değeri
P_0	: Ortalama gaz basıncı
P_e	: Namlu ağzı basıncı
Pm	: Namlu içi maksimum basınç
t	: Cidar Kalınlığı
U	: Namlu çıkış hızı (m/s)
Vo	: Veri toplama yazılımında okunan değer (volt)
Ve	: Namlu çıkış hızı (fps)
y	: Yanıt yüzeyi
We	: Mühimmatın toplam ağırlığı (grain)
Wf	: Tüfeğin ağırlığı (pound)
Wpc	: Barut ağırlığı (grain)
Xe	: Namlu boyu (metre)
σ	: Gerilme
σ_H	: Radyal gerilme
σ_L	: Eksenel gerilme
ε	: Gerinim
ε_{min}	: Ölçülebilecek minimum strain değeri (mili epsilon)
δ	: Birim uzama
ν	: Poisson oranı
τ	: Kayma gerilmesi
γ	: Kayma şekil değiştirme açısı
σ_{ak}	: Akma gerilmesi
$\sigma_{eş}$	: Eşdeğer gerilme
η_p	: Piezometrik verim

Kısaltmalar

CIP	: Commission Internationale Permanente pour or Permanent International Commission for the Proof of Small-arms
EPVAT	: Elektronik Basınç Hızı ve Eylem Süresi
NATO	: North Atlantic Treaty Organization
SAAMI	: Sporting Arms and Ammunition Manufacturers Institute
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Klasik gazlı yarı otomatik av tüfeği.	11
Şekil 3.2. Şarjörlü gazlı yarı otomatik av tüfeği.	11
Şekil 3.3. Bolt action av tüfeği.	11
Şekil 3.4. Tek kırma av tüfeği.....	12
Şekil 3.5. Toplu av tüfeği.....	12
Şekil 3.6. Toplu av tüfeği.....	13
Şekil 3.7. Ağızdan dolma av tüfeği.....	13
Şekil 3.8. Kalibre çeşitleri.....	14
Şekil 3.9. Yivli-Setli namlu.	15
Şekil 3.10. Yivsiz-Setsiz namlu.	15
Şekil 3.11. Av tüfeğinin genel görünüşü.	16
Şekil 3.12. Namlunun kısımları.	16
Şekil 3.13. Fişek yatağı detayı.	17
Şekil 3.14. Sabit şok detayı.....	19
Şekil 3.15. İç şok detayı.....	19
Şekil 3.16. Uzatma şok detayı.	20
Şekil 3.17. Alev gizleyen detayı.	20
Şekil 3.18. Av tüfeği çalışma sistemi parçaları.	23
Şekil 3.19. Av fişeginin detaylı görünümü.	24
Şekil 3.20. Av fişeginin ateşleme evreleri.	25
Şekil 3.21. Mermi görseli.	26
Şekil 3.22. Namlu içi mermi görseli.	27
Şekil 3.23. Mermi ateşleme görseli.	27
Şekil 3.24. Tabanca çalışma görseli.....	28
Şekil 3.25. Hedefte tahrip olmuş mermiler.....	28
Şekil 3.26. Tek eksenli gerilme görseli.....	29
Şekil 3.27. Üç eksenli gerilme görseli.	30
Şekil 3.28. İnce cidarlı iç basınca maruz silindirik kap.	30
Şekil 3.29. İnce cidarlı silindirik kaplar için cidar yüzeyinde meydana gelen gerilmeler.	30
Şekil 3.30. Gerinim görseli.	31
Şekil 3.31. Poisson oranı görseli.....	32
Şekil 3.32. Gerilme gerinim grafiği.	33
Şekil 3.33. Üç boyutlu gerilme görseli.	33
Şekil 3.34. Üç boyutlu kayma görseli.....	34
Şekil 3.35. Gerilme-birim uzama eğrisi.....	35
Şekil 3.36. Tresca kriteri.....	35
Şekil 3.37. Von mises kriteri.	36

Şekil 3.38. Tasarım optimizasyonu.....	37
Şekil 3.39. Geleneksel optimizasyon şeması (Alpaya, 2016).....	38
Şekil 3.40. Yanıt yüzeyi optimizasyon şeması (Alpaya, 2016).	38
Şekil 3.41. 3D tasarım görseli.....	42
Şekil 3.42. 2D tasarım görseli.....	43
Şekil 3.43. Sonlu Elemanlar Analizinde Piston İçin Mesh Oluşturma.	43
Şekil 3.44. Sonlu Elemanlar Analizi Örnek Görsel	44
Şekil 3.45. Tek boyutlu çizgisel eleman.	44
Şekil 3.46. İki boyutlu düzlemsel eleman.	44
Şekil 3.47. Üç boyutlu katı eleman.....	44
Şekil 5.1. YAF marka sürsajlı test fişegi.	48
Şekil 5.2. YAF marka speedy slug tek kurşun.....	49
Şekil 5.3. YAF marka 28 gr av fişegi.	49
Şekil 5.4. Basınç sensörü montaj edilebilen namlu.	50
Şekil 5.5. Gerinim ölçer (strain gauge) yapıştırılabilen namlu.	51
Şekil 5.6. Namlu malzemesinin kimyasal ve mekanik özellikleri.....	51
Şekil 5.7. Basınç sensörü montaj edilebilen namlu ölçüleri.	52
Şekil 5.8. Basınç sensörü montaj deliklerinin ölçüleri.	52
Şekil 5.9. Gerinim ölçer montaj edilebilen namlu ölçüleri.	53
Şekil 5.10. Gerinim ölçerlerin namlu üzerindeki yapıştırma yerleri.	53
Şekil 5.11. Namlu iç çap kontrol cihazı.....	54
Şekil 5.12. Namlu salgı ölçüm sistemi.	55
Şekil 5.13. Namlu balans ölçüm sistemi.....	55
Şekil 5.14. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	56
Şekil 5.15. Namlu yüzey pürüzlülük ölçüm sonucu.	56
Şekil 5.16. Fişek yatağı yüzey pürüzlülük ölçüm sonucu.....	57
Şekil 5.17. Namlu fişek yatağı boy mastarı(Geçer/Geçmez).....	57
Şekil 5.18. Namlu fişek yatağı konik mastarı.	58
Şekil 5.19. Namlu fişek yatağı ağız çapı kontrol mastarı(geçer-geçmez).	58
Şekil 5.20. Namlu fişek yatağı uskurya mastarı.	58
Şekil 5.21. Test sistemi genel görünümü.	59
Şekil 5.22. Gerinim ölçerlerin namlu üzerinde görünümü..	60
Şekil 5.23. Matlab program arayüzü.....	61
Şekil 5.24. Basınç sensörü ve Data logger'ın sistem üzerinde görünümü.....	63
Şekil 5.25. Kistler 5015 data logger.	63
Şekil 5.26. Basınç sensörü namlusu.....	63
Şekil 5.27. Yük hücresi ve ağırlık vericisinin sistem üzerinde görünümü.	65
Şekil 5.28. Ağırlık vericisi.....	65
Şekil 5.29. Yük hücresi sabitleme sistemi.	65
Şekil 5.30. İvme sensörünün sistem üzerinde görünümü.	67
Şekil 5.31. Hız ölçer veri işleme ekranı.....	67
Şekil 5.32. Kronograf hız ölçer.....	68
Şekil 5.33. Sıfırlama lazeri.	68
Şekil 5.34. Sıfırlama işlemi.....	69
Şekil 5.35. Matlab tools menüsü.....	76
Şekil 5.36. Matlab plot fits menüsü.	76
Şekil 5.37. Matlab hesaplama menüsü.....	77
Şekil 6.1. Av Tüfeği İç Kısım Detayı.	78
Şekil 6.2. Namlu bölümleri.....	88
Şekil 6.3. ANSYS yanıt yüzeyi optimizasyon şeması.	90

Şekil 6.4. Namlunun girdi parametreleri.	91
Şekil 6.5. Geometrik tasarım alın görünümü.	91
Şekil 6.6. Geometrik tasarım yan görünümü.	91
Şekil 6.7. Mesh detayı.....	92
Şekil 6.8. Mesh kalitesi.....	92
Şekil 6.9. Skewness değeri.	92
Şekil 6.10. Namlu bölümleri.....	93
Şekil 6.11. Fişek yatağındaki gerilme.....	94
Şekil 6.12. Basınç sensörü 1. ölçüm noktasındaki gerilme	94
Şekil 6.13. Basınç sensörü 2. ölçüm noktasındaki gerilme.	94
Şekil 6.14. Strain gauge 1 konumundaki gerilme.....	94
Şekil 6.15. Namlu ucundaki gerilme.	95
Şekil 6.16. Maksimum gerilme değeri.....	95
Şekil 6.17. Design of experiments görseli.	96
Şekil 6.18. Yanıt yüzeyi tipi seçimi.	97
Şekil 6.19. Optimizasyon özellikleri.....	98
Şekil 6.20. ANSYS trade off bölümü.	100
Şekil 6.21. Hedef parametre seçimi.	101
Şekil 6.22. Fişek yatağı optimizasyon farkı.....	103
Şekil 6.23. Basınç sensörü 1. ölçüm noktası optimizasyon farkı.	103
Şekil 6.24. Basınç sensörü 2. ölçüm noktası optimizasyon farkı.	104
Şekil 6.25. Gerinim ölçer 1 konumu optimizasyon farkı	104
Şekil 6.26. Namlu ucu optimizasyon farkı.	104

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1 Namlu iç çap ve toleransları.	17
Tablo 3.2 Fişek yatakları ölçü ve tolerans değerleri.	18
Tablo 3.3 Av fişekleri basınç değerleri.....	26
Tablo 5.1. Av fişekleri teknik özellikler.	49
Tablo 5.2. Namlu iç çap ölçüm sonucu.	54
Tablo 5.3. Namlu salgı ölçüm sonucu.	55
Tablo 5.4. Namlu balans ölçüm sonucu.....	56
Tablo 5.5. Heydenreich balistik tablosu.	73
Tablo 6.1. YAF Marka 28 Gr 800 bar fişekle fişekle basınç ve namlu çıkış hızı sonuçları.....	79
Tablo 6.2. YAF Marka Speed Slug 29 Gr 1050 bar fişekle basınç ve namlu çıkış hızı sonuçları.....	79
Tablo 6.3. YAF Marka Sürsajlı 34 Gr 1200 bar fişekle basınç ve namlu çıkış hızı sonuçları.....	80
Tablo 6.4. İvme sensörü sonuçları.	81
Tablo 6.5 YAF Marka 28 Gr 800 bar fişekle geri tepme ölçüm sonuçları.	81
Tablo 6.6. YAF Marka Speed Slug 29Gr 1050 bar fişekle geri tepme ölçüm sonuçları	82
Tablo 6.7. YAF Marka Sürsajlı 34 Gr 1200 bar fişekle geri tepme ölçüm sonuçları.....	82
Tablo 6.8. Geri tepme yükünün basınca göre değişimi.	82
Tablo 6.9 YAF Marka 28 Gr 800 bar fişekle gerinim sonuçları.....	85
Tablo 6.10. YAF Marka Speed Slug 29 Gr 1050 bar fişekle gerinim sonuçları.....	86
Tablo 6.11. YAF Marka Sürsajlı 34 Gr 1200 bar fişekle gerinim sonuçları..	86
Tablo 6.12. YAF Marka Sürsajlı 34 Gr 1200 bar fişekle basınç sonuçları.....	88

Tablo 6.13. Namlu girdi parametreleri.	91
Tablo 6.14. Analiz girdi parametreleri.....	92
Tablo 6.15. Namlu alt-üst tasarım noktaları	95
Tablo 6.16. Namluya ait deney noktaları.....	96
Tablo 6.17. Optimizasyon amaç fonksiyonu.	98
Tablo 6.18. Nokta 1 hedef parametreleri.	99
Tablo 6.19. Nokta 2 hedef parametreleri.	99
Tablo 6.20. Nokta 3 hedef parametreleri.	99
Tablo 6.21. Maksimum ve minimum gerilme ve ağırlık değerleri.	100
Tablo 6.22. Maksimum ve minimum gerilme ve ağırlık değerleri.	102

GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 5.1. Namlu içi basıncın merminin konumuna göre lineer değişimi.	75
Grafik 6.1. Namlu içi basıncın zamana göre değişimi.....	83
Grafik 6.2. Namlu içi basıncın merminin konumuna göre değişimi.	84
Grafik 6.3. Mermi konumunun zamana göre değişimi.	84
Grafik 6.4. Geri tepme yükünün basınca göre değişimi.	85
Grafik 6.5. Namlu içi basıncın zamana göre değişimi.....	93
Grafik 6.6. Deney noktalarında oluşan gerilme.	97
Grafik 6.7. Deney noktalarındaki oluşan ağırlık.....	97
Grafik 6.8. Ağırlık – Gerilme grafiği.....	101
Grafik 6.9. Ağırlık – Gerilme grafiği.....	102

1. GİRİŞ VE AMAÇ

1.1. Giriş

Yivsiz av tüfeği namluları farklı çap ve uzunluğa, belirli et kalınlığına sahip yüksek basınca maruz kalan bir tüfek parçalarıdır. Gaz ile çalışan yarı otomatik tüfeklerde patlama anında meydana gelen basıncın gaz odası deliklerine aktarılması çok önemlidir. Bu basınç az olursa sistem çalışmamakta ve tüfek tutukluluk yapmaktadır. Bu basınç sistemin çalışması için gerekli olan basınçtan yüksek olduğunda ise; bu seferde tüfeğin mekanik aksamlarına zarar vermektedir. Tüfeğin çalışmasına etki eden basınç parametreleri tüfeğin ömrünü, atım sürelerini, dayanıklılığını etkileyen önemli faktörlerdir. Bu yüzden patlama anında meydana gelen basıncı tüfeğin mekanik aksamlarına minimum zarar verecek şekilde ve sistemin sorunsuz bir şekilde çalışması için en uygun değerde ayarlanmalıdır.

Gazla çalışan tüfeklerde diğer önemli bir sorun ise patlama anında milisaniyede açığa çıkan yüksek ısıdır. Namlu üzerinde konumlanmış gaz odası bulunan gazlı tüfeklerde art arda yapılan atışlarda namlu ısınıp genişlemektedir. Bu genişleme sonucunda piston namlu üzerinde namluya sıkıştığı için sistem çalışamaz hale gelmektedir. Namlu et kalınlığını artırarak bu sorun çözülmek istenmektedir. Lakin gereksiz namlu et kalınlığı tüfeğin ağırlığını artırmaktadır. Buda tüfekler için istenmeyen bir durumdur. Namlu et kalınlığı ağırlık ve genişleme miktarlarını göz önünde bulundurarak en uygun değerde ayarlanmalıdır. Günümüzde av tüfeği üretiminde kullanılan imalat süreçleri geleneksel yöntemlerle yapılmaktadır. Alışılmış haricinde malzeme değişikliği, namlu et kalınlığı, boy, yanma odası geometrisi gibi parametreler değişikliğe gidilmemektedir.

Yivsiz av tüfeği sisteminin iç balistiğini incelemek oldukça zor ve çoğunlukla namlu ile ilgilidir. Bir namlu tasarlanırken iç balistik parametrelerinin doğru olarak belirlenmesi çok önem arz etmektedir. Namlu içerisinde barut yanmaya başlayınca milisaniye gibi çok kısa bir süre içinde aniden çok yüksek basınç değerleri oluşmakta ve yanmış gazların sıcaklığı yükselmektedir. Namlunun iç yüzeyi de istenmeyen şekilde gazlardan gelen yüksek ısı akısına maruz kalmakta ve namlunun ısınmasına sebep olmaktadır. Namlu içerisinde oluşan yüksek basınç değerleri mermiyi yüksek bir ivmeyle ileri doğru itmektedir. Bu esnada namlu içinde patlayan fişğin basıncın etkisi ile anlık genişlemeler, namlu üzerinde ani titreşimler ve ani flaş sıcaklıklar meydana

gelmektedir. Ancak namlu üzerinde oluşan bu verilerin hiç biri günümüzde tam manasıyla bilinmemektedir. Namlunun içyapısında tek tek atış veya seri atışlar esnasında namlu boyunca basınç değişimleri belirlemek oldukça önem arz etmektedir. Bu verilerin belirlenmesi durumunda namlu et kalınlığı, namlu üzerinde kullanılacak plastik malzemelerin ömür hesapları, dipçik bölümünde kullanılan kauçuğun optimizasyonu gibi birçok bilimsel çalışmaların önünü açması muhtemel görülmektedir.

Ülkemizde balistik üzerine yapılan çalışmalar diğer ülkelere nazaran sınırlıdır. Bunun sebebi ülkemizde üretimde kullanılan tasarım programlarının lisanslı olmaması, deneysel çalışmalarda kullanılan ölçüm cihazlarının pahalı olması, gerekli veri alt yapısının eksikliği ve balistik konusunun askeri gizlilik içermesidir (Gündüzer, 2011).

1.2. Amaç ve Kapsam

Av tüfekleri yivsiz namluya sahiptir. İç balistik üzerine çok farklı askeri silahlarda ve yivli setli namlular üzerinde deneysel veya simülasyon çalışmaları yapılmaktadır. Deneysel veri toplama hali hazırda barutsan, MKE gibi kurumlarda askeri amaçlar için yapılmakta ve hem iç balistik hem de dış balistik üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Konya'nın Beyşehir ilçesinde Av Tüfeği üretimi Türkiye'nin liderliğini çekmektedir. Ancak bu bölgeye hitap edecek ve tüfeklerin gelişimini sağlayacak herhangi bir veri toplama laboratuvarı bulunmamaktadır. Kurduğumuz iç balistik sistemi sayesinde standartlara uygun testler yapılarak bölgede faaliyetini sürdüren firmalar için AR-GE çalışmalarına destek sağlamayı, firmaların ürünlerinin geliştirmesinde katkısı olacağını düşünmekteyiz. Yapılacak bu AR-GE çalışmaları namlu tasarımı, dipçik kauçuk tasarımı, namlu üzerinde monte edilen plastik veya kompozit malzemelerin gerilme ve yorulma analizleri, tetik tasarımı gibi iç balistiğin neden olduğu etkiler irdelenerek yayınlar yapma olasılığı mevcuttur. Ayrıca bu sistemin kurulması ile birlikte daha sonraki çalışmalarda dış balistik yani saçmaların hedefe ulaşması için AR-GE çalışmaları devam etmesi düşünülmektedir. Bunun için namlu uç kısmına özel tasarımlar yapılarak bu alanda çalışmalar yapılması ve ekibin artırılarak laboratuvarın mekanik, balistik, akışkan gibi farklı bilim dalında çalışan akademisyenlere katkısı olacağını düşünmekteyiz. Bu sistemin kurulması ile birlikte, bundan sonraki çalışmalarda elde edilen test değerlerinden faydalanılarak, basınç, hız gibi balistik parametrelerin bulunmasına yönelik modelleme çalışmaları yapılması için

alt yapı kurulmuş olacaktır. Test sisteminde bulunan ekipmanlar kullanılarak namlu boyunca basınç, hız ve yüzey gerilim değişimleri ölçülecektir. Bu sayede kurduğumuz iç balistik sistemi hem üniversitemiz hem de Konya ilinde önemli bir yere sahiptir. Bu sistemin daha hızlı gelişebilmesi için gerek yeni AR-GE çalışmaları, firmaların katkıları ile yeni bileşenler alınarak Av Tüfeği imalatı yapan işletmelerin yeni model geliştirme esnasında ihtiyaç olacak verilerin elde edilmesi ve analizleri büyük katkı sağlaması düşünülmektedir.

Çalışmadaki amacımız; kurmuş olduğumuz iç balistik test sisteminden elde edilen veriler ışığında namlu tasarımında emniyetli gerilme sınırları içerisinde ağırlık optimizasyonu yapmaktır. Elde edilen verilerle av tüfeği sisteminin sorunsuz çalışması için gerekli olan kritik bölgelerde oluşması istenilen basınç değerlerini belirleyerek sistemin sorunsuz bir şekilde çalışmasını sağlamaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Işık ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalarında; 7.62 mm'lik bir tüfek ile çeşitli atışlar yaparak namlu üzerinde oluşan ısı termal kamera ile tespit edilmiştir. Bu çalışmada; deney sonuçları ile sayısal yöntem geliştirilerek namlu üzerinde oluşan termal gerilmeler ve sıcaklık değişimleri için bir yaklaşım kullanılmıştır. Sayısal analiz için, yanma odasının modeli oluşturuldu ve “ANSYS 14,5 Academic” sonlu elemanlar çözücüsü kullanılarak analiz edilmiş ve yanma odasının iç/dış yüzeylerinin sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Sıcaklık dağılımı için sayısal sonuçların, termal kamera ile ölçülen sıcaklık değerlerine oldukça yakın olduğu gözlenmiştir. Her ateşleme testinin sonunda yanma odası duvarı üzerindeki dış yüzey sıcaklıkları bir termal kamera ile ölçülmüştür. Daha sonra, ANSYS sonlu elemanlar çözücüsünde kullanılan sabit ısı akısı değeri, deneme yanılma yöntemi kullanılarak tekrar tekrar belirlenmiştir. Parametrik testler arasında yanma odası kalınlığını 0,5 mm'lik artışlarla değiştirerek analiz edilmiştir. Yanma odası et kalınlığı optimizasyonu yapılmıştır (Işık ve Göktaş, 2017).

Özgüder ve arkadaşları, uzunluk ve iç çap değeri bilinen M101 top namlusu ağırlığını 1,25 emniyet katsayısı ile 270 kilogramdan 115,95 kilografa düşürmüşlerdir. Hafifleştirme esnasında analitik yöntemlerle hesaplanması oldukça zor olan namlu et kalınlığını patlama sonucu ortaya çıkan basınç değerleriyle eksen boyunca hesaplamış ve optimizasyon çalışmalarını yapmışlardır. Araştırmada kullanılan mühimmata ait basınç değerleri Prodas programından alınmıştır. Namlu tasarımı Catia'da yapılmış sonlu elemanlar ANSYS Workbench'e aktarılmıştır. Model burada çözümlenerek gerilme dağılımında kritik noktalar belirlenmiştir. Bu yüksek gerilme değerlerine göre namlu et kalınlığı, emniyet faktörü ve otofretaj etkisi hesaba katılarak optimize edilmiştir. Otofretaj malzemelerin mekanik özelliklerinden faydalanılarak malzemeye elastik sınırı üzerinde mekanik hidrostatik bir basınç uygulanarak malzemenin dayanımının artırılması işlemidir. Otofretajlı namlu gerilme değerleri düşürülmüş ve yük basınca dayanımı artırılmış ön gerilmeli namludur. Çözüm yapılırken elde edilen basınçlar değerlendirilmiş, modele bu basınç değerlerinin doğru verilebilmesi için gerçek patlama olayını temsil edebilecek bir sistem oluşturulmuştur. Balistik değerler Vallier-Heydenreich yöntemiyle, gerilme değerleri ise Lamé denklemiyle tekrar analiz edilmiş ve mukayese edilmiştir (Özgüder ve ark., 2017).

Işık çalışmasında 7,62 mm çaplı bir namlu içinde oluşan karmaşık balistik olaylar incelenmiş, namlu boyunca iç basınç dağılımı ile merminin hızı farklı barut ve

mermi ağırlıkları için yeni bir yaklaşımla modellenmiştir. Ayrıca, namlu içindeki gazların sıcaklığı ile namlu duvarı içinde oluşan sıcaklığın bulunması için gerekli olan iç taşınım katsayısı Noble-Abel denklemi ve Vielle yanma kanunu kullanılarak hesaplanmıştır. Geliştirilen modelin doğrulanması maksadıyla 7,62 mm çapında namluyla çok sayıda ve çeşitli atışlı testler yapılmıştır. Genel olarak, deneysel veriler ile geliştirilen modelden elde edilen değerler karşılaştırıldığında sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu doğruluk seviyesinin yüksek olduğu görülmüştür (Işık, 2016).

Ryan ve arkadaşları, tabancalarının ağırlığını belirgin bir şekilde azaltmak ve aynı zamanda işletme ömrünü arttırmak arzusuyla, tabanca üzerinde oluşan basınç ve ısı değerleri belirlemek için termal yönetim geliştirilmiştir. Mathematica yazılımını kullanarak ayrıntılı bir sonlu fark temelli sayısal model oluşturmuş, geliştirilmiş ve piyasaya sürülmüştür. Geliştirilen bu model ile ticari olarak kullanılan belirtilen bir eksenel konumda namlu kalınlığı boyunca tek boyutlu sıcaklık profilini belirlemede kullanılmaktadır (Hill ve Conner, 2012).

Akçay, yaptığı çalışmada, temel iç balistik denklemi oluşturan Résal eşitliği küresel ve tek delikli barut dane geometrisi için Runge Kutta metodu kullanılarak çözülmüştür. Tipik bir silahın tasarımında temel girdiler; barut kimyasal yapısı, barut dane geometrisi, mermi kütleli değerleri ve namlu geometrisinden oluşmaktadır. Namlu boyunca, namlu içinde basınç dağılımı, merminin lineer ve teğetsel hız değişimi zamana bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalarda, mermi ve namlu arasındaki sürtünme kuvveti ile namlu içinde merminin hareketine karşı yiv ve setlerin yarattığı direnç kuvveti de göz önüne alınmaktadır. Hesaplamalar sonucunda, namluda ısı transferi ve barutun kendi kendine tutuşması gibi problemlerin çözümü için gerekli termodinamik ve ısı transferi parametreleri de elde edilmektedir. Namluların ömür probleminin çözümü için atış sırasında namlu iç yüzeyinde meydana gelen aşınmanın da hesabı gerekmektedir. Oluşturulan modelde namlu aşınması hesaplanabilmektedir. Namlunun tasarımının yapılabilmesi için iç balistik problemin çözülmesi yeterli olmamakta, mermi namluyu terk ettikten sonra oluşan geçiş balistiği probleminde çözümü gerekmektedir. Universal silah tasarım problemlerinin çözümü için “AKÇAY İç Balistik” bilgisayar kodu geliştirilmiştir. Elde edilen teorik sonuçlar, MKE Atış Poligonunda 7.62x51 fişekleri ile yapılan test sonuçları ve literatürde mevcut test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki uyum gayet uyumlu olduğu görülmüştür (Akçay, 2017).

Özmen, çalışmasında ateşleme esnasında tekrarlı yüklere maruz kalan yarı otomatik av tüfeği mekanizma gurubu elemanlarından kilide ait kırılma ve yorulma davranışları incelemiştir. Av tüfeği mekanizma gurubunda bulunan kilit parçası Pro Engineer CAD programı kullanılarak tasarlanmıştır. ANSYS LS-Dyna sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak kilitleme yüzeylerinde oluşan gerilme değerlerini belirlemek için kilide ait dinamik çarpışma analizi yapılmıştır. Ardından ANSYS Workbench sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak kilidin yorulma davranışı (yorulma ömrü ve güvenlik faktörü) tahmin edilmeye çalışılmıştır. Son olarak kilidin yorulma sebebiyle kırılan yüzeyleri ile sonu elemanlar analiz programı sonuçları incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak kilidin kilitleme yüzeylerinde meydana gelen çatlakların gerilme değerlerinin yüksek olduğu bölgelerde ortaya çıktığı belirlenmiştir (Özmen, 2007).

Özyılmaz, çalışmasında hafif silah tasarımına etki eden mühimmat tipinin seçimi, namlu tipi, mekanizmalar ve patlama anında gerçekleşen termodinamik etkileri inceleyerek, bu değişkenlerin etkinliği deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler yardımıyla doğrulamıştır. Elde edilen sonuçlar, silah tasarımında en önemli değişkenin mühimmat seçimi olduğunu göstermiştir (Özyılmaz, 2010).

Öztörün, çalışmasında öncelikle ilgili STANAG'lar rehberliğinde bir ağır silah namlusu tasarlanmıştır. Namlu içerisinde oluşan basınç-zaman ve basınç-mesafe parametreleri "PRODAS" isimli balistik analiz programı yardımıyla elde edilmiş ve analitik metotlar ile hesaplaması yapılarak doğrulanmıştır. Namlunun atış esnasında güvenli olup olmadığını saptamak açısından "ABAQUS" isimli sonlu elemanlar yöntemi kullanan bilgisayar programı aracılığı ile namlu üzerine etkiyen yüklerin oluşturduğu elastik gerilmeler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda namlunun tasarımında değişiklikler yapılarak analizlere tabi tutulmuş ve optimum ölçülere ulaşılması hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçların doğruluğu, testlerden elde edilen ölçümler ile kıyaslanmıştır. Ayrıca, namlularda geçilen tek plastik bölgeye geçiş işlemi olan otofretaj işlemi çalışılarak namlunun V kesitinden plastik analiz yapılmış olup verilmesi gereken optimum deplasman değeri saptanarak namlu cidarında oluşan elastik ve plastik bölgelerin saptanması hedeflenmiştir. Elde edilen deplasman değeri teorik olarak hesaplanarak sonuçlar irdelenmiştir. Yapılan hesaplamalar ve test ölçüm kıyaslamaları, analizlerin gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini göstermiştir (Öztörün, 2013).

Tuncer ve arkadaşları, bağımsız hidro pnömatik tip geri tepme mekanizmalarının iç balistik modelinin oluşturulması ve seçilen ağır silah sisteminin atış verileri

kullanılarak, kama kuvvetinin belirlenmesinde kullanılmak üzere, Matlab'da simülasyon ve kullanıcı ara yüzü geliştirmişlerdir (Tuncer ve Alli, 2010).

Akçay ve arkadaşları, MKE Gazi Fişek Fabrikası tarafından yürütülen "Mermilerin Balistik Parametrelerinin Tespiti Projesi" kapsamında; 5,56x45 mm fişekler, 7,62x51 mm fişekler ve 7,62x39 mm çelik çekirdekli fişekler için iç balistik, aerodinamik ve dış balistik parametrelerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında iki aşamalı bir atış programı hazırlanmış ve test atışları gerçekleştirilmiştir. Atışı yapılacak tüm fişeklerin AKÇAY İç Balistik Yazılımı kullanılarak modellenmesi yapılmış ve iç balistik testler MKE Gazi Fişek Fabrikası tarafından gerçekleştirilmiştir. AKÇAY Aerodinamik yazılımı kullanılarak, mermilerin aerodinamik ve balistik parametreleri teorik olarak hesaplanmış, AKÇAY Dış Balistik Yazılımları kullanılarak, mermilere ait dış balistik parametreler ve yörüngeler teorik olarak elde edilerek atış şartları belirlenmiştir. Atış sonucunda elde edilen radar verileri ile mermi sürüklenme katsayısı, balistik katsayılar, maksimum menzil ve emniyet parabolü hesaplanmış ve atış cetvelleri hazırlanmıştır. Teorik olarak elde edilen iç balistik ve dış balistik değerler ile ölçülen değerler arasında oldukça iyi uyum elde edilmiştir (Akçay ve ark., 2018).

Güngör ve arkadaşları, çalışmalarında; yapısal ve sayısal iç balistik hesaplama modeli oluşturmuş ve iç balistik ve yarı iç balistik yapı modelleri üzerinde test etmişlerdir. Oluşturulan yapısal ve sayısal iç balistik hesaplama modeli en yüksek yük altında silah namlusu tasarımında kullanıldı ve model doğrulandı (Gungor ve Celik, 2018).

Değirmenci, çalışmasında NATO standartlarında üretilen 7,62 mm ve 5,56 mm çaplarındaki namlular kullanılarak farklı mühimmatlarla atış testleri yapmıştır. Bu testlerde iç basınç dağılımı, mermi hızları ve deneysel olarak zaman ve yer değiştirme işlevleri ölçülmüştür. Eğri uydurma yöntemini kullanarak, bir mermi hızı profili "denklem" olarak tanımlanan bir fonksiyona göre modellenmiştir ve namlu iç basıncı, hız profilinden elde edilmiştir. Çalışmada tanımlanan hız işlevi ile, 7.62 mm ve 5.56 mm küçük kalibreli silahların iç basınç dağılımları ve mermi hızları, zaman alıcı ve pahalı ölçümlere ihtiyaç duyulmadan% 90 güven içinde tahmin edilmiştir (Degirmenci, 2015).

Güngör, çalışmasında mandrel-silindir tüpü girişim boyutları, bir silah namlusunun swage autofrettage işlemi için geleneksel yöntemler kullanılarak yenilenmiştir. Ayrıca, otomatik sürtünme işleminden sonra silindirde kalan gerilmeler, iç ve dış malzeme sökme işlemi ve uygulanan silindir boyunca değişken servis basıncı

göz önünde bulundurulmuş ve tasarıma dahil edilmiştir. Sınırlandırılmış optimizasyon yöntemi kullanılarak, namlu et kalınlığı (bu nedenle ağırlık), namlu uzunluğu boyunca belirtilen güvenlik faktörünü elde etmek için optimize edildi (en aza indirildi). Önerilen yaklaşım, sayısal topoloji optimizasyonu ile orantılı olarak% 22,9 ekstra ağırlık azaltımı sağlamıştır ve analitik / artık stres optimizasyonu ile orantılı olarak% 4,2 ekstra ağırlık azaltımı sağlamıştır (Gungor, 2017).

Dayan ve arkadaşları, çalışmalarında; küçük kalibreli bir silahın dengesiz namlu akışını simule etmişlerdir. Genel olarak hesaplanan iç balistik parametreleri ile ölçülen namlu hızı ve basınçları arasında iyi bir uyuma ortaya çıkmıştır (Dayan ve Touati, 2006).

Schorge ve arkadaşları, çalışmalarında gaz tabancalarının iç balistik modellemesini yapmışlardır. Test atışlarında 46 mm çapında gaz yanması ile çalışan patates tabancalarını kullanmışlardır. Yanma odasındaki gaz basıncı bir piezoelektrik basınç sensörü ile ölçülmüştür. Mermi hızı, bir balistik hız ölçüm sistemi ile ölçülmüştür. Sonuç olarak bu çalışma gaz yakma tabancalarının iç balistik parametreleri hakkında temel bilgiler sunmaktadır (Schorge ve ark., 2016) .

Bu çalışmada; av tüfeğinde balistik öneme haiz parçaların analiz ve tasarım optimizasyonu için gerekli olan verilerin toplanması için sistem kurulumu yapılmış ve test sisteminden elde edilen veriler ışığında ANSYS programında response surface optimization (yanıt yüzeyi optimizasyonu) kullanılarak namlu parçasında tasarım optimizasyon çalışması yapılmıştır.

3. GENEL BİLGİLER

Dünya üzerinde kullanılan silahlar hakkında genel bilgi ve test sisteminde kullanılan av tüfekleri ile alakalı ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Genel mukavemet bilgileri, optimizasyon ve response surface optimization (yanıt yüzeyi optimizasyonu) hakkında bilgilerden bahsedilmiştir.

3.1. Silah Çeşitleri

Dünya üzerinde kullanılan silahlar kullanım amaçlarına ve çalışma sistemleri göre farklılık göstermektedir. Silahlar genel olarak ateşli silahlar, ateşsiz silahlar ve kimyasal silahlar olmak üzere üçe ayrılır.

3.1.1. Ateşli silahlar

Barutun yanması sonucu ortaya çıkan basınçla mermi adı verilen parçaları bir namlu vasıtasıyla farklı mesafelere atabilen mekanik sistemlerdir.

3.1.1.1. Ağır ateşli silahlar

Birkaç kişinin yardımıyla ve yardımcı sistemler kullanılarak atış yapılabilen hafif silahlardan daha ağır ve büyük çaplı tahribat gücü yüksek, uzun menzilli silahlardır. Tank, havan, roket, uçaksavar ağır silahlara örnektir.

3.1.1.2. Hafif ateşli silahlar

Herhangi bir yardımcı sisteme ihtiyaç olmadan bir kişi tarafından kullanılabilen ağır silahlardan daha hafif ve küçük çaplı, tahribat gücü ve etkili menzili düşük silahlardır. Uzun ve kısa namlulu silahlar olmak üzere ikiye ayrılır.

3.1.2. Ateşsiz silahlar

Savunma veya saldırı amaçlı kullanılan ateşli silahlara nazaran daha basit yapıda olan ucu sivri, kesici, delici aletlerdir. Kılıç, bıçak, çakı, boğma teli, hançer ateşsiz silahlara örnektir.

3.1.3. Kimyasal silahlar

Kimyasal maddelerin zehirleyici özelliklerinden faydalanarak insanlar üzerinde öldürücü, yaralayıcı ve tahrip edici etkiler gösteren hayvanlar, bitkiler üzerinde de etkili olan katı, sıvı ve gaz haldeki maddelere kimyasal silah denir.

3.2. Av Tüfeğine Ait Genel Bilgiler

Av, savunma ve spor amaçlı kullanılan hafif ateşli silahlara av tüfeği denir.

3.2.1. Av tüfeğinin sınıflandırılması

Av tüfekleri çalışma sistemlerine, kalibrelerine ve tüfek üzerinde kullanılan namlunun çeşidine göre üçe ayrılır.

3.2.1.1. Çalışma sistemlerine göre sınıflandırılması

Av tüfekleri çalışma sistemlerine göre beşe ayrılmaktadır.

3.2.1.1.1. Yarı-otomatik tüfek

İlk dolduruluşu müteakip her atıştan sonra fişek haznesinde(şarjör, revolver, tambur) bulunan fişekleri otomatik olarak fişek yatağına yeniden sürececek şekilde tasarlanan ve tetiğin her çekildiğinde ve çekilmiş olarak tutulduğu sürece yalnız bir atış yapabilen tüfektir (TS 870, 2013). Şekil 3.1’de klasik gazlı yarı otomatik av tüfeği görülmektedir. Şekil 3.2’de ise şarjörlü gazlı yarı otomatik av tüfeği görülmektedir.



Şekil 3.1. Klasik gazlı yarı otomatik av tüfeği.



Şekil 3.2. Şarjörlü gazlı yarı otomatik av tüfeği.

3.2.1.1.2. Tekrarlayan tüfek

Atış yapıldıktan sonra elle hareket ettirilen bir mekanizma aracılığıyla, fişek haznesinde bulunan veya elle yerleştirilen fişekleri fişek yatağına sürececek şekilde tasarlanan ve tetiğe her basıldığında bir atış yapabilen tüfektir (TS 870, 2013). Şekil 3.3'te bolt action av tüfeği görülmektedir.



Şekil 3.3. Bolt action av tüfeği.

3.2.1.1.3. Haznesiz (kıрма) tüfek

Atış öncesi, namlunun kubuza bağlı olduğu dönme merkezi etrafında kırılarak, elle veya bir doldurma aparatı ile doldurularak namlu sayısı kadar tek tek atış yapabilen tüfektir (TS 870, 2013). Şekil 3.4'te tek kıрма av tüfeği görülmektedir.



Şekil 3.4. Tek kıрма av tüfeği.

3.2.1.1.4. Revolver tüfek

Namlu gerisinde bulunan ve merkezinde dönerek, içinde bulunan fişekleri sırası ile namlu ağzına getiren bir toplu silindirik dönerli fişek haznesi(revolver) ile tetiğin her çekilişinde ve çekilmiş olarak tutulduğu sürece yalnız sıralı olarak bir atış yapan tüfektir (TS 870, 2013). Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da toplu av tüfeği görülmektedir.



Şekil 3.5. Toplu av tüfeği.



Şekil 3.6. Toplu av tüfeği.

3.2.1.1.5. Ağızdan dolma tüfek

Kartuş fişekleri atmaya elverişli olmayan, atış malzemesi namlu ucundan konularak atış yapabilen tüfektir (TS 870, 2013). Şekil 3.7’de ağızdan dolma av tüfeği görülmektedir.



Şekil 3.7. Ağızdan dolma av tüfeği.

3.2.1.2. Kalibreye göre

Dünya üzerinde kullanılan av tüfeklerinde namlu çaplarına (kalibre) göre 11 sınıfa ayrılmaktadır.

Yoğunluğu $11,43 \text{ g/cm}^3$ olan kurşunun(Pb) 15°C ’ta 453,6 gramına denk gelecek şekilde eşit büyüklükteki yapılan kürelerin sayısıdır. Bu sayı, namlunun anma ölçüsünü ifade etmekte olup kürelerin her birinin çapı, anılan kalibredeki namlu iç çapına eşittir.

Not: 453,6 gram kurşundan 12 adet eşit çaplı küre çıkarıldığında kalibre sayısı 12'dir.

Kalibre ile çapın milimetre olarak değeri arasında aşağıdaki bağıntı vardır (TS 870, 2013).

$$d = \sqrt[3]{\frac{75792}{N}} \quad (3.1)$$

Burada;

N: Kalibre

d: Namlu çapı (mm)'dir.

Günümüzde TSE standardı kapsamına giren av tüfekleri namlu çaplarına (kalibre) göre; 4, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24, 28, 32, 36 kalibre olmak üzere on bir sınıfa, müsabakalar için kullanılan av tüfekleri ise trap ve skeet olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Şekil 3.8'de kalibre çeşitlerine namlunun çap değişimi görülmektedir.



Şekil 3.8. Kalibre çeşitleri.

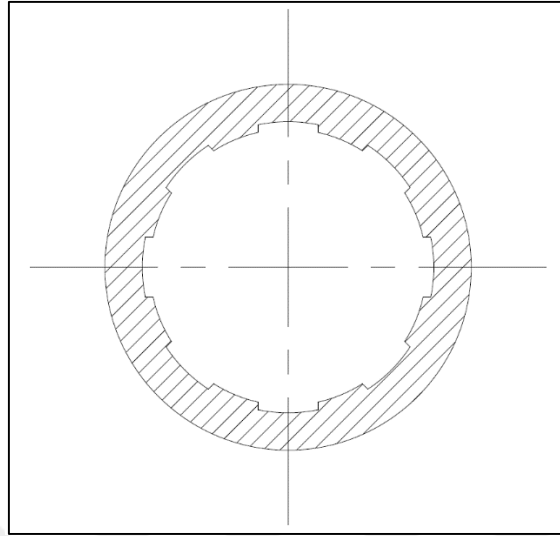
3.2.1.3. Namlularına göre

Av Tüfekleri namlu iç çap kısmındaki form değişikliğine göre ikiye ayrılır.

3.2.1.3.1. Yivli setli namlulu av tüfekleri

Namlusunda yiv (girinti) ve set (çıkıntı) bulunan av tüfekleridir. Yiv-Set in amacı merminin dengesini ve hızını artırarak menzil, tahribat ve hedefi vurma etkilerini artırır. Yivli silahlar bu tür namluya sahiptir. Günümüzde piyade tüfeklerinin tamamına yakını ve tabancaların tamamı yivli silah kategorisinde yer alırlar. Top gibi ağır silahlar

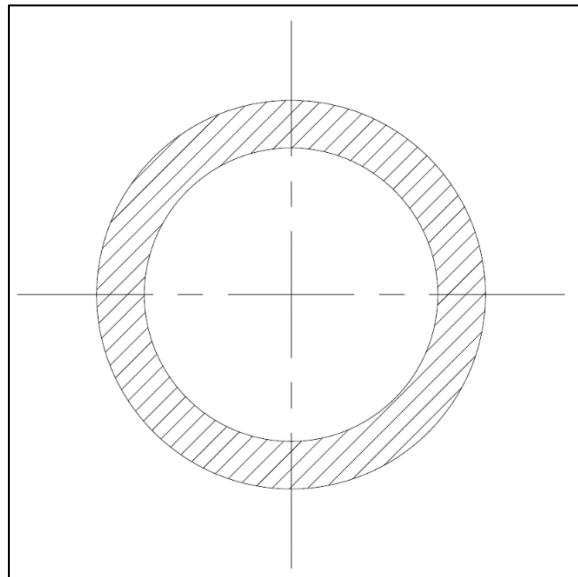
yivli veya yivsiz olarak üretilebilseler de uzun menzilli toplar daima yivli namluya sahiptirler. Şekil 3.9’da yivli-setli namlu iç çapı görülmektedir.



Şekil 3.9. Yivli-Setli namlu.

3.2.1.3.2. Yivsiz setsiz namlulu av tüfekleri

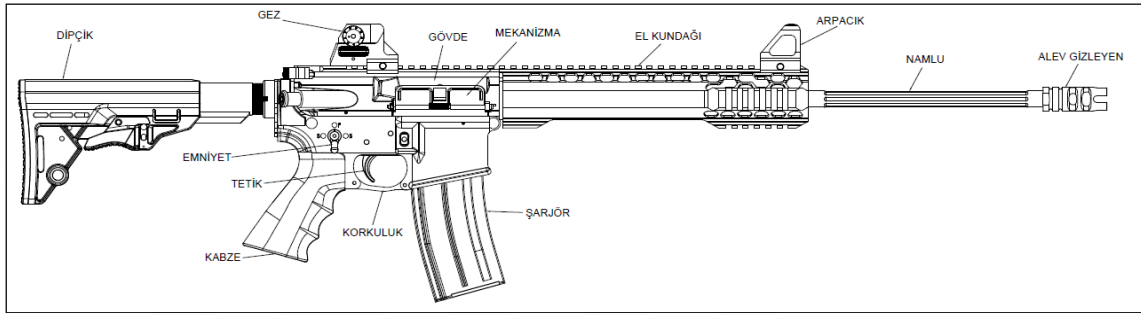
Namlusunda yiv (girinti) ve set (çıkıntı) bulunmayan av tüfekleridir. Şekil 3.10’da yivli-setli namlu iç çapı görülmektedir.



Şekil 3.10. Yivsiz-Setsiz namlu.

3.3. Av Tüfeklerinin Genel Yapısı

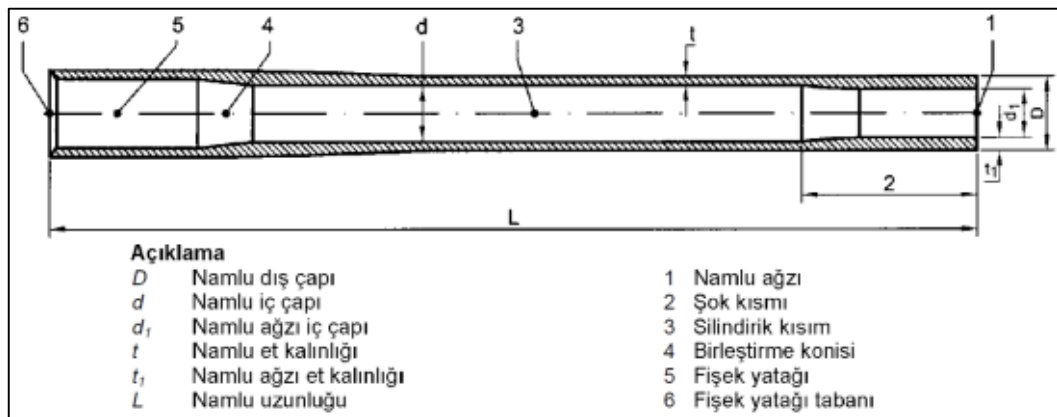
Av tüfekleri birden fazla parçadan oluşan karmaşık sistemlerdir. Bir av tüfeği ortalama 100 adet parçadan oluşmaktadır. Bu parçalardan 20 adeti ana parça iken diğer parçalar bu 20 ana parçaya yardımcı olarak sistemin sorunsuz bir şekilde çalışması sağlanmaktadır. Şekil 3.11’de şarjörlü yarı otomatik av tüfeğinin ana parçaları görülmektedir.



Şekil 3.11. Av tüfeğinin genel görünüşü.

3.3.1. Namlu

Namlu, fişek içindeki barutun ateşlenmesi sonucu ortaya çıkan gaz basıncı ile hız alan saçmaları veya tek kurşunu hedefe yönelten çelikten yapılmış bir elemandır. Şekil 3.12’de namlunun önemli kısımları görülmektedir.



Şekil 3.12. Namlunun kısımları (TS 870, 2013).

-**Namlu Uzunluğu:** Fişek yatağı tabanından namlu ağzına kadar olan uzaklıktır.

-**Namlu İç Çapı:** Fişek yatağının önündeki konik kısmın bittiği ve namlu silindirin başladığı yerdeki kesitin iç çapıdır. Tablo 3.1’de namlu iç çap ve toleransları görülmektedir.

Tablo 3.1 Namlu iç çap ve toleransları (TS 870, 2013).

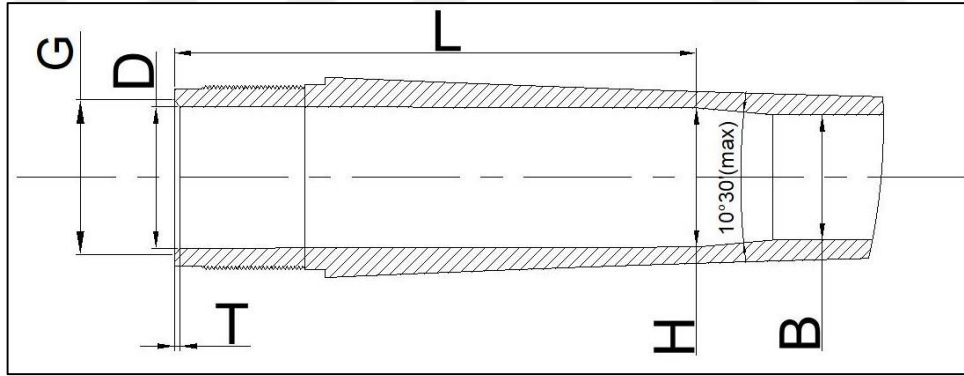
Kalibre	İç çap(mm)	Tolerans
10	19,3	0,7
12	18,2	0,7
16	16,8	0,5
20	15,7	0,5
28	13,8	0,5
36	10,2	0,5

-**Birleştirme Konisi:** Namlunun silindir biçimli kısmını fişek yatağına bağlayan konik kısımdır.

-**Fişek Haznesi:** Av tüfeğinin namlu hariç içine birden fazla fişek alan kısımdır.

-**Fişek Yatağı:** Namlunun baş tarafında içine fişek sürülen kısımdır.

Şekil 3.13’de fişek yatağı ölçüleri harfle gösterilmektedir. Kalibreye göre değişim gösteren iç çap (B) değeri tablo 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.13. Fişek yatağı detayı.

Tablo 3.2 de fişek yatakları ölçü ve tolerans değerleri görülmektedir.

Tablo 3.2 Fişek yatakları ölçü ve tolerans değerleri (TS 870, 2013).

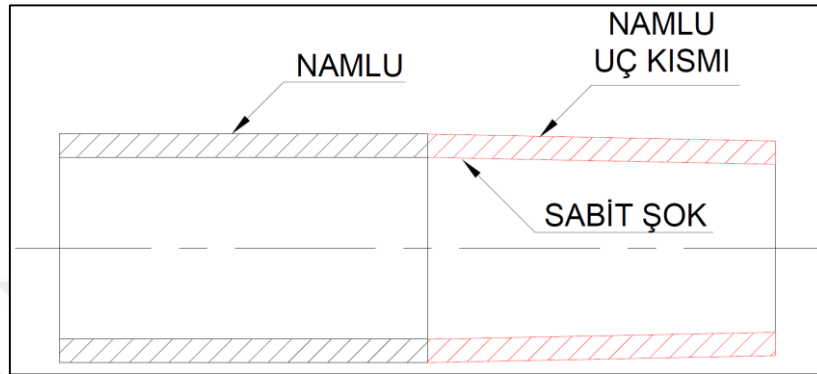
Kalibre	G	TOL.	T	TOL.	D	TOL.	L	TOL.	H	TOL.
10	23,75	+0,10	1,90	+0,10	21,75	+0,10	76,20 82,60 88,90	+2	21,40	+0,10
12	22,55	+0,10	1,85	+0,10	20,65	+0,10	50,10 60,10 65,10 67,60 69,90 73 76,20 88,90	+2	20,30	+0,10
16	20,75	+0,10	1,65	+0,10	18,95	+0,10	65,10 67,60 69,90	+2	18,60	+0,10
20	19,50	+0,10	1,55	+0,10	17,75	+0,10	65,10 67,60 69,90 76,20 88,90	+2	17,40	+0,10
28	17,50	+0,10	1,55	+0,10	15,90	+0,10	63,60 65,10 69,90	+2	15,60	+0,10
36	13,70	+0,10	1,50	+0,10	13,60	+0,10	65,10 69,90	+2	13,30	+0,10
NOT: Ölçüler mm'dir										

3.3.2. Şok

Namlunun uç kısmında, iç çapın küçültülmesi sonucu meydana gelen kesit daralmasıdır. Bu kesit daralması sayesinde fişek içerisindeki saçmalar namludan daha düzenli bir şekilde çıkar ve hedefte isabeti artırır. Şok takılı namluların uç kısmında meydana gelen daralmadan dolayı namlu iç basıncı artar ve sistemin çalışması kolaylaşır. Yalnız aşırı fazla namlu uç kısmı daralması namluya ve tüfeğe zarar vererek namlunun hasar görmesine sebep olabilir. Sabit ve mobil (değiştirilebilir) olmak üzere 2 çeşit şok vardır.

3.3.2.1. Sabit şok

Namlu ağzının kesit değişmesiyle elde edilir. Bu şok namlu uç kısmında kalıcı kesit daralması meydana getirir. Sabit şok namludan sökülemez. Şekil 3.14'te sabit şok detayı görülmektedir.



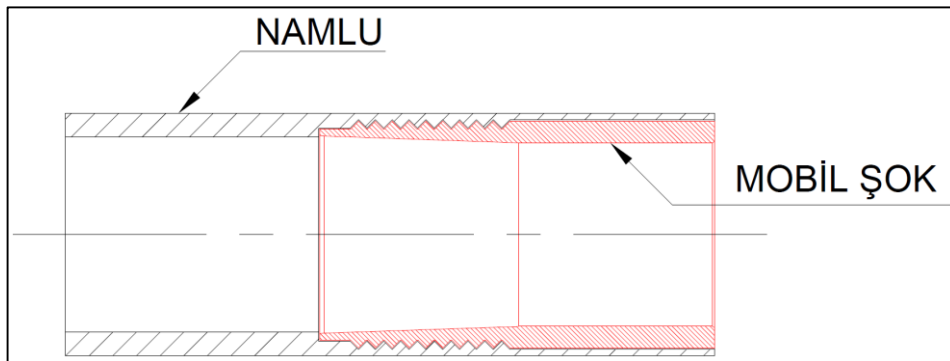
Şekil 3.14. Sabit şok detayı.

3.3.2.2. Mobil şok

Namlu ağzına sökülüp takılabilen ayrı bir parça şeklinde imal edilir. Mobil şok farklı kesit daralmaları ile üretilerek namlu ucuna kolayca sökülüp takılabilir. İç şok, uzatma şok ve alev gizleyen olmak üzere üç çeşittir.

3.3.2.2.1. İç şok

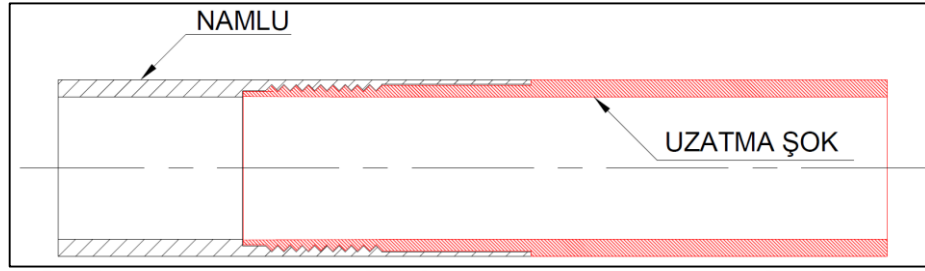
Namlu ucunu geçmeyecek şekilde tasarlanıp imal edilen şoklardır. Şekil 3.15'te iç şok detayı görülmektedir.



Şekil 3.15. İç şok detayı.

3.3.2.2.2. Uzatma şok

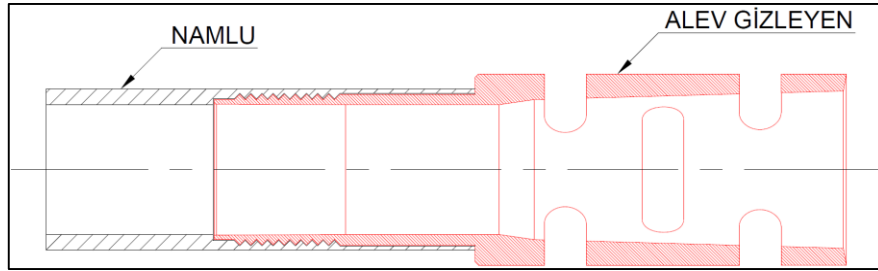
Namlu ucunu geçen ve namlu uç kesit çapını değiştirebildiği gibi namlu boyunuda uzatacak şekilde tasarlanıp imal edilen şoklardır. Şekil 3.16’da uzatma şok detayı görülmektedir.



Şekil 3.16. Uzatma şok detayı.

3.3.2.2.3. Alev gizleyen

Namlu ucunu geçen ve namlu uç kesitini değiştirmeden kendi kesitindeki delikler veya kanallar vasıtasıyla alevi ya da yanmış gazı dağıtan ve namlu ucundan çıkan basıncı dengeleyen şoklardır. Şekil 3.17’de alev gizleyen detayı görülmektedir.



Şekil 3.17. Alev gizleyen detayı.

3.3.3. Kundak

Namlu ve kubuza yataklık eden ve namludaki fişek ateşlendiği zaman meydana gelen geri tepmeyi omuza ileten, ahşap, plastik vb. malzemeden üretilen sabit parçadır.

3.3.4. El kundağı

Namluyu yöneltmek maksadı ile elle tutmaya yarayan, ahşap veya ısı iletmeyen plastik vb. parçadır.

3.3.5. Kubuz(gövde)

Namlu ve el kundağı ile kundak arasında bulunan, bir taraftan kuyruk vasıtasıyla kundağa tespit edilen diğer taraftan kilit sistemi ile namluyu bağlayan ve içinde emniyet tertibatı ile fişek ateşleme, otomatik çalıştırma parçalarını bulunduran metal bölümdür.

3.3.6. Tetik

Kubuzun altında köprü ile korunan ve parmakla çekildiği zaman, daha önce kurulmuş olan açık veya gizli horozun iğneyi düşürmesini sağlayan metal parçadır.

3.3.7. Korkuluk

Tetiği arzu edilmeyen dış temas ve tesirlerden koruyan metal, plastik ve benzeri malzemelerden üretilen parçadır.

3.3.8. Kilit tertibatı

Fişeklerin patlamasından oluşan darbe sonucu açılmalarını önlemek üzere, yarı otomatik ve tekrarlayan tüfeklerde mekanizmayı, kırma tüfeklerde namluyu, toplu dönerli fişek hazneli tüfeklerde silindirik topu kilitleyen parça veya sistemdir.

3.3.9. Mekanizma

Yarı otomatik veya tekrarlayan tüfeklerde bulunan, iğneye yuva görevi yapan, fişek haznesindeki(şarjör, revolver, tambur vb.) fişeği namluya sürerek kilitlenen ve fişeği fişek yatağında bloke eden hareketli parça veya parça grubudur.

3.3.10. Horoz

Horoz, kurulduktan sonra tetiğin çekilmesi sonucu ucundaki iğne ile (veya iğne ile horozun ayrı olduğu sistemlerde) kapsüle vurarak ateşlenmesini sağlayan parçadır.

3.3.11. İğne

İğne, kapsülün patlamasını sağlayan çelik parçadır.

3.3.12. Emniyet tertibatı

Emniyet tertibatı, dolu tüfeğin istenmedikçe patlamasına engel olan ve atış yapmadan önce ateşleme tertibatının serbest bırakılabilmesi için otomatik veya el ile kumanda edilen tertibattır.

3.3.13. Tırnak

Tırnak, fişeği, fişek yatağından çıkaran parçadır.

3.3.14. Arpacık

Namlunun, namlu şeridinin veya el kundağının ön ucunda bulunan ve nişan almaya yarayan parçasıdır.

3.3.15. Şarjör

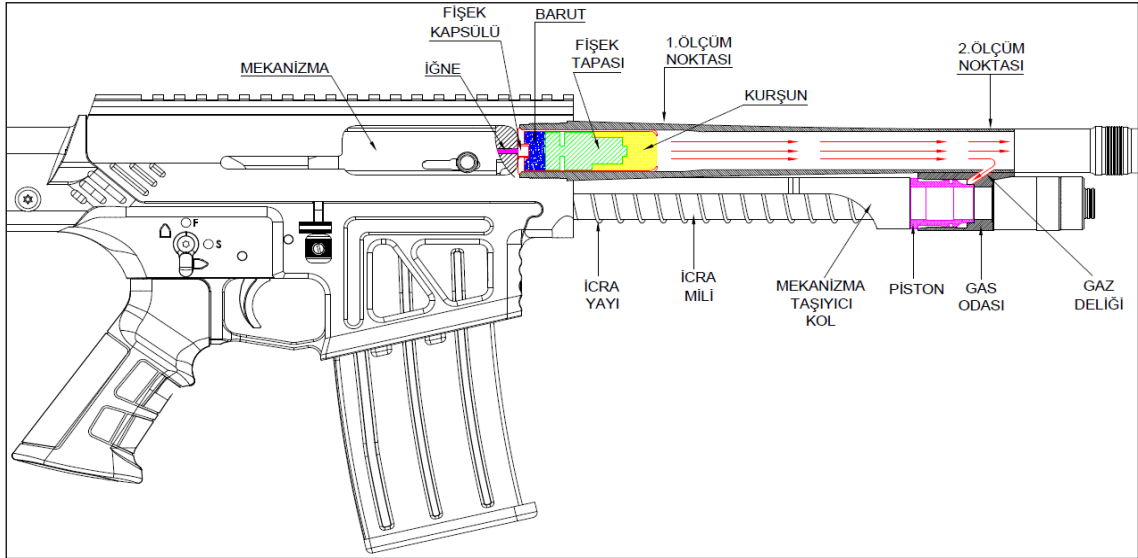
Otomatik silahlarda, belli sayıda mermi taşıyan ve bu mermileri namluya arka arkaya sürmeye yarayan mekanizmadır.

3.3.16. Gez

Tüfek, tabanca vb. ateşli silahlarda namlunun gerisinde bulunan ve nişan alırken arpacıkla birlikte göz ile hedef arasında aynı doğru üzerine getirilen kettiktir.

3.4. Av Tüfeğinin Çalışma Prensibi

Yivsiz gazlı yarı otomatik şarjörlü av tüfeğinin kurma kolundan verilen ilk hareket ile mekanizma taşıyıcı kol mekanizmayla birlikte geri hareket ettirilir. Mekanizmanın bu hareketi ile icra mili üzerindeki icra yayında hareket enerjisi depolamasına ve tetik grubunun kurulmasına imkân tanır. Mekanizma, mekanizma taşıyıcı kol ile beraber ileri doğru hızlı bir şekilde hareket ederek, ilk fişegi namlu fişek yatağına sürer. Tetiğe dokunularak ateşleme sistemi harekete geçirilir ve fişek patlar. Namlu fişek yatağındaki, fişek kapsülünün ateşlemesiyle yanan barut gazının etkisi ile oluşan patlama; fişek tapası ve saçma veya kurşun parçalarının namlu içerisinde yüksek bir hızla hareket ederek namluyu terk etmesini sağlar. Patlamanın şiddeti ile namlu içerisinde oluşan yüksek basınçtaki gazın bir kısmı, namludaki namlu gaz deliğinden geçerek gaz odasında pistonun alın yüzeyine etki ederek mekanizma taşıyıcı kol vasıtası ile icra yayını sönmüleyerek kilidi açıncaya kadar devam edip boş kovani dışarı atar. Sönümlenen icra yayının açılması ile mekanizma şarjörden fişegi alarak namlu fişek yatağına sürmesi ile tüfek tekrar atışa hazır hale gelir. Tetiğe her dokunuşta bu işlem otomatik olarak tekrarlanır. Şekil 3.18’de av tüfeği çalışma sistemi parçaları görülmektedir.



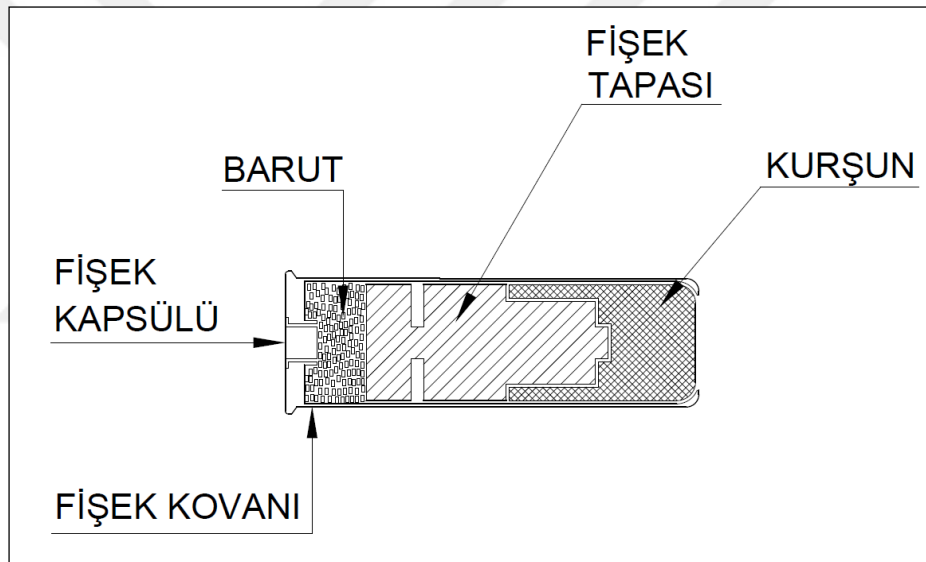
Şekil 3.18. Av tüfeği çalışma sistemi parçaları.

3.5. Av Fişekleri Hakkında Genel bilgiler

Av fişegi, TS 870 e göre imal edilen yivsiz av tüfeklerinde kullanılan,   erisine konan av sa masını sevk etmek için; kapsül, barut, keçe-kağıt-plastik tapa, karton - plastik pul, diplik ve takviyeden oluşan kağıt veya plastik tüplü silindirik mamuldür.

3.5.1. Av fi eklerinin yapısı

Av fi ekleri fişek kovanı, fişek kapsülü, barut, fişek tapası ve kur şundan olu mak üzere 5 ana parçadan oluşur. Şekil 3.19’da av fi egi yapısının detayı görülmektedir.



Şekil 3.19. Av fi eginin detaylı görünümü.

3.5.1.1. Fişek kovanı

Av fi eginin k  ıt veya plastikten yapılan t p şeklindeki gövdesidir.

3.5.1.2. Fişek kapsülü

Barutun ate lenmesini sağlayan ve içinde ate leyici bulunan, ateşleme elemanıdır.

3.5.1.3. Barut

Barut, yandığında oluşan gaz basıncıyla, av fişegi içindeki saçmayı tüfek namlusundan sevk etmeye yarayan patlayıcı maddedir.

3.5.1.4. Fişek tapası

Tapa; keçe, kâğıt veya plastikten imal edilir. Barutun yanmasıyla oluşan gazlar yardımıyla, fişegin içindeki av saçmasının, tüfegin namlusundan dışarıya atılmasında, düzgün bir etki sağlamak ve barut gazlarını kaçırmamak üzere bir piston gibi görev yapan ve av fişegi içine konan barutun üst kısmına yerleştirilen silindir biçimli parçadır.

3.5.2. Av fişeklerinin ateşlenme evreleri

Av tüfeklerinde ateşleme anında av fişeklerinin ateşlenme evreleri şekil 3.20’de görülmektedir.



Şekil 3.20. Av fişeginin ateşleme evreleri.

3.5.3. Av fişeklerinin basınç değerleri

TSE TS 870 kapsamında av tüfeklerinin test atışlarında kullanılan fişeklerinin basınç değerleri tablo 3.3'te görülmektedir. Test atışlarında 12 kalibre 3 farklı basınca sahip fişekler kullanıldı. Bu basınç değerler kritik basınç değeri 1200 bar, azami ortalama basınç değeri 1050 bar ve avda sıklıkla kullanılan 800 bar fişeklerdir.

Tablo 3.3 Av fişekleri basınç değerleri (TS 870, 2013).

Sıra	Kalibre	Pmax(Bar)	Pkritik(Bar)
1	4	1050	1200
2	8	1050	1200
3	10	1050	1200
4	12	1050	1200
5	14	740	850
6	16	780	900
7	20	1050	1200
8	24	830	950
9	28	830	950
10	32	830	950
11	36	1050	1200

Pmax: Azami ortalama basınç, Pkritik: Kritik basınç değeri

3.6. Balistik

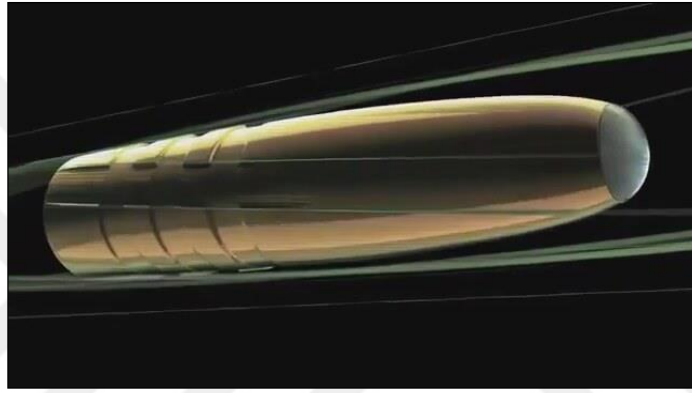
Ateşli silahlarda mühimmat ateşlendikten sonra merminin hedefe varıncaya kadar hareketlerini inceleyen bilim dalına balistik denir. Üç çeşit balistik türü vardır. İç balistik, dış balistik ve terminal balistik. Şekil 3.21'de mermi görseli görülmektedir.



Şekil 3.21. Mermi görseli.

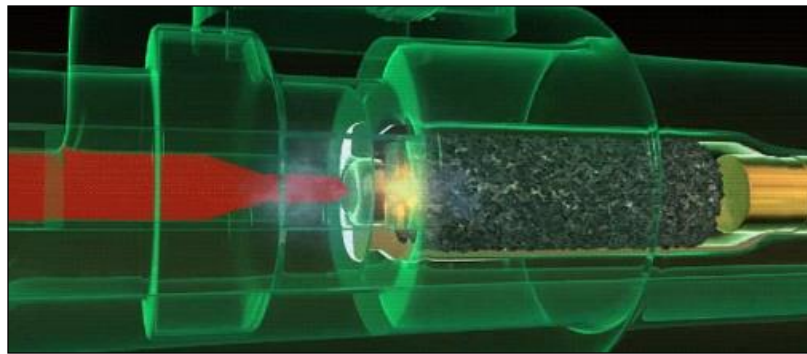
3.6.1. İç balistik

İç balistik silah ateşlendikten sonra merminin namlu içerisindeki hareketlerini inceleyen balistik türüdür. Silah ateşlendiğinde namlu içerisinde mermiye patlama anında ortaya çıkan gaz etki etmektedir. Askeri silahlarda bu gaz oranı daha yüksek iken av tüfeklerinde bu gaz oranı daha düşük seviyelerdedir. Patlama anında ortaya çıkan gazın kontrolü ve doğru bir şekilde mermiye aktarılması, gazların genişlemesi, namlu içerisinde gerçekleşen ısı transferi iç balistiğin inceleme konularıdır. Şekil 3.22’de namlu içi mermi görseli görülmektedir.



Şekil 3.22. Namlu içi mermi görseli.

Namlu içerisinde gerçekleşen patlamadan sonra ilk olarak mermiye basınç etki eder ve mermi namlu içerisinde harekete etmeye başlar. Bu hareket sonucu namlu ile mermi arasında sürtünme oluşur. Patlamadan sonra ortaya çıkan yüksek sıcaklıktan dolayı namlu ısınmaya başlar ve kimyasal bir reaksiyon oluşur. Bu açıdan incelendiğinde silahların çalışma şekilleri araba motorlarının çalışma şekliyle benzerlik göstermektedir. Şekil 3.23’te mermi ateşleme görseli görülmektedir.



Şekil 3.23. Mermi ateşleme görseli.

3.6.2. Dış balistik

Dış balistik merminin namludan çıkıp hedefe ulaşınca kadar uçuş sırasındaki hareketlerini inceleyen balistik türüdür. Uçuş esnasında mermi ile hava arasındaki etkileşim ve yer çekimi kuvvetinin katkısıyla mermide sapmalar, serbest düşmeler meydana gelmektedir. Uçuş yolunda değişme olmakta ve mermiler hedefi tam isabetle vuramamaktadır. Şekil 3.24'te tabanca çalışma görseli görülmektedir.



Şekil 3.24. Tabanca çalışma görseli.

3.6.3. Terminal balistik

Terminal balistik merminin hedefe ulaştıktan sonra hedef üzerinde meydana getirdiği hasarları ve hareketleri inceleyen balistik türüdür. Terminal balistik iç ve dış balistiğe oranla daha az gelişmiştir. Bunun nedeni terminal balistikte bilgilerin elde edilmesinin zorluğu, mevcut sistemlerin yetersizliğidir. Her ne kadar bazı sistemlerle terminal balistik üzerine veriler alınsa da bu verilerin doğruluğu hala tartışılmaktadır. Şekil 3.25'te hedefte tahrip olmuş mermiler görülmektedir.



Şekil 3.25. Hedefte tahrip olmuş mermiler.

3.7. Genel Mukavemet Bilgileri

Bu bölümde gerilme, gerilme türleri, gerinim, Hooke kanunu, kırılma, kırılma çeşitleri, optimizasyon hakkında genel bilgiler verilmiştir.

3.7.1. Gerilme

Dış kuvvetlerin ve momentlerin etkisi altındaki elemanın herhangi bir kesitinde, tepki olarak iç kuvvetler meydana gelir. Gerilme malzemenin içinde bulunan zorlanmayı gösteren bir büyüklüktür. Basınç katı malzemenin dışında oluşan bir zorlanma iken, gerilme ise malzemenin içinde oluşmaktadır.

Gerilme denklemi;

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.2)$$

Burada F parça üzerine uygulanan kuvvet, A ise kuvvetin uygulandığı alandır.

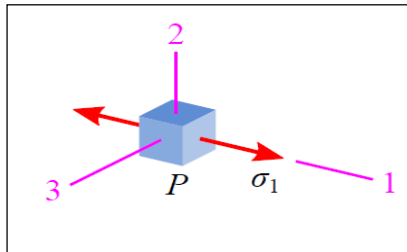
3.7.2. Gerilme türleri

Tek eksenli ve üç eksenli gerilme olmak üzere iki çeşit gerilme türü vardır.

3.7.2.1. Tek eksenli gerilme

Bir cismin herhangi bir P noktasındaki asal gerilmelerden ikisi sıfır ise o noktadaki gerilme tek eksenli gerilmedir. Şekil 3.26'da tek eksenli gerilme görülmektedir.

$$\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 = 0, \sigma_3 = 0$$

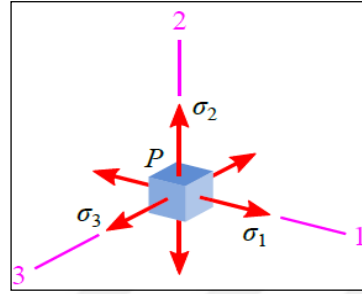


Şekil 3.26. Tek eksenli gerilme görseli.

3.7.2.2. Üç eksenli gerilme

Bir cismin herhangi bir P noktasındaki asal gerilmelerin üçü de sıfırdan farklı ise o noktadaki gerilme üç eksenli gerilmedir. Şekil 3.27’de üç eksenli gerilme görülmektedir.

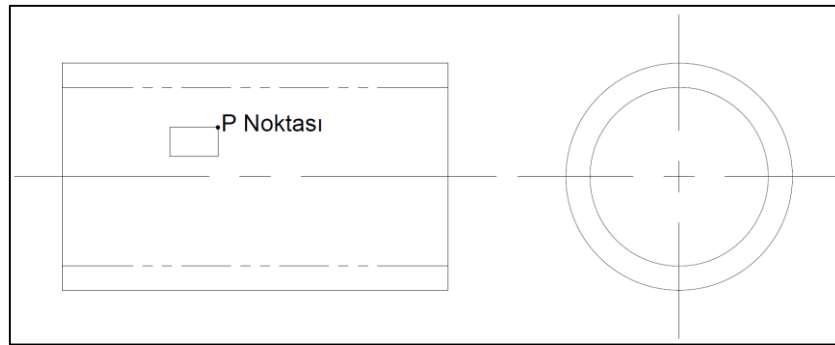
$$\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 \neq 0, \sigma_3 \neq 0$$



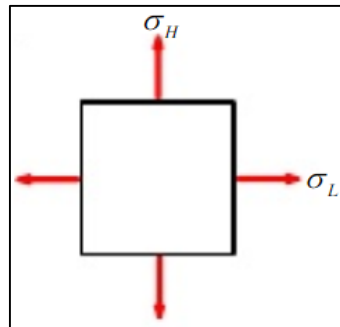
Şekil 3.27. Üç eksenli gerilme görseli.

3.7.2.3 Silindirik basınçlı kaplarda gerilme

İnce cidarlı silindirik basınçlı kaplar için cidar yüzeyinde bir P noktasında (Şekil 3.28) alınan diferansiyel bir elemanda çember gerilmeleri şekil 3.29’de görülmektedir.



Şekil 3.28. İnce cidarlı iç basınca maruz silindirik kap.



Şekil 3.29. İnce cidarlı silindirik kaplar için cidar yüzeyinde meydana gelen gerilmeler.

P noktasında meydana gelen radyal gerilme;

$$\sigma_H = \frac{pd}{2t} \quad (3.3)$$

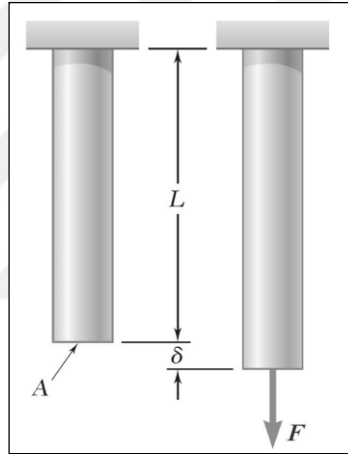
P noktasında meydana gelen boyuna gerilme;

$$\sigma_L = \frac{pd}{4t} \quad (3.4)$$

Burada p basınç, d çap, t ise cidar kalınlığıdır.

3.7.3. Gerinim

Bir cismin üzerine kuvvet uygulandığından cisim şeklinde ve hacminde değişim meydana gelir. Gerilme altındaki uzamanın ilk boya oranı birim uzama gerinimdir. Şekil 3.30'da gerinim görülmektedir.



Şekil 3.30. Gerinim görseli.

Gerinim denklemi;

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{\Delta L}{L} \quad (3.5)$$

Burada δ birim uzama, L ise malzeme ilk boyudur.

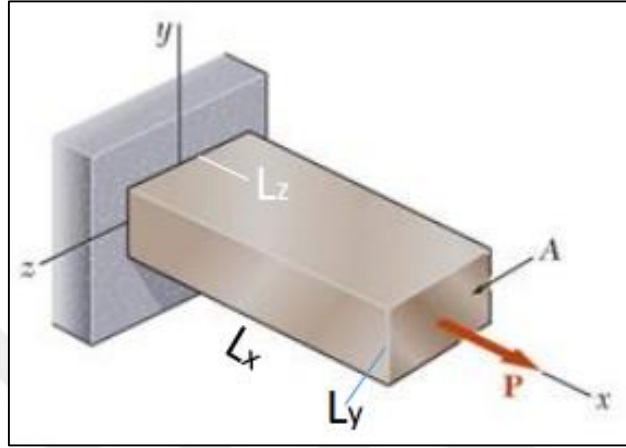
Eksenel yüklemede deformasyon: Eksenel gerilme (σ) malzemenin orantı limitini aşmıyorsa, denklem 3.6 kullanılarak malzeme üzerindeki deformasyon hesaplanır.

$$\delta = \frac{FL}{AE} \quad (3.6)$$

Burada F parça üzerine uygulanan kuvvet, A ise kuvvetin uygulandığı alandır, L malzeme ilk boyu, E ise elastik modüldür.

3.7.4. Poisson oranı

Malzeme üzerinde meydana gelen eksenel ve yanal şekil değişimi arasındaki ilişkiye poisson oranı denir. Poisson oranı malzeme özelliği olup değeri: 0 ile 0,5 arasındadır. Şekil 3.31’de poisson oranı görseli görülmektedir.



Şekil 3.31. Poisson oranı görseli.

Şekil 3.30 da x doğrultusundaki eksenel P yükü y ve z doğrultularında gerilme oluşturmaz ancak bu doğrultularda daralmaya sebep olur.

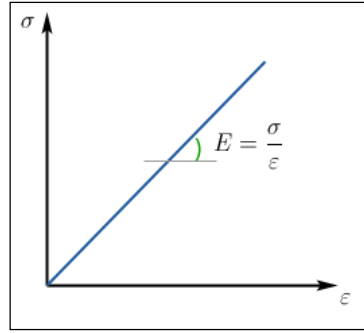
Bu sebeple; $\varepsilon_y = \varepsilon_z$ olur.

$$\text{Poisson oranı: } \nu = \frac{\text{yanal birim uzama}}{\text{eksenel birim uzama}} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} = -\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x} \quad (3.7)$$

Denklem 3.7 sadece tek eksenli yükleme durumunda geçerlidir.

3.7.5. Hooke kanunu

Elastik malzemelerde, gerilim ve gerinim arasındaki ilişkinin doğrusal lığını ifade eden eşitlik Hooke kanunudur. Yay denkleminde yer alan yay sabitinin yerine konulan ve E ile gösterilen sabit, yay sabitinde olduğu gibi, malzemede oluşan gerilim ile gerinim arasındaki oranı vermektedir. (E) Young modülü, ya da elastik modülü adını verilmektedir. Şekil 3.32’de elastik modülü ile gerilme ve gerinim arasındaki bağlantı görülmektedir.



Şekil 3.32. Gerilme gerinim grafiği.

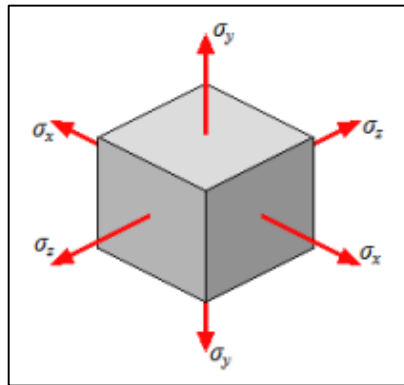
Hooke kanunu denklemi;

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.8)$$

Burada E elastik modül, ε ise gerinimdir.

3.7.5.1. Genel eksenel yüklemde Hooke kanunları

Bir noktada, x, y ve z doğrultularında normal gerilmelerin her üçü birden varsa, aynı nokta üzerinde birim uzamaları aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır. Şekil 3.33'te üç boyutlu gerilme görseli görülmektedir.



Şekil 3.33. Üç boyutlu gerilme görseli.

Genel eksenel yüklemde Hooke kanunları:

$$\varepsilon_x = \sigma_{vm} = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \quad (3.9)$$

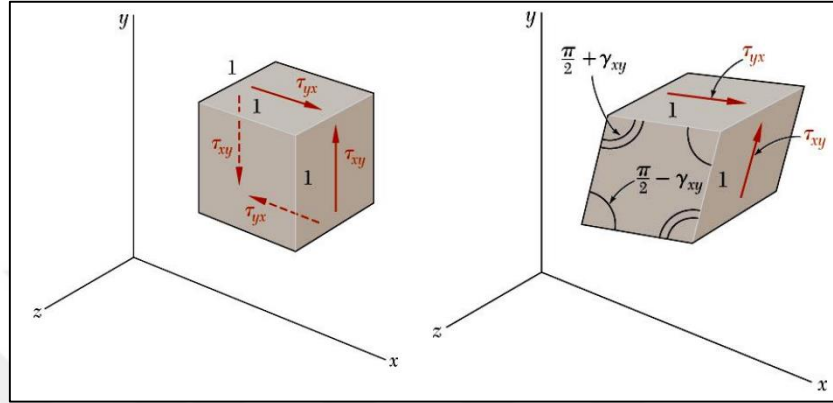
$$\varepsilon_y = \sigma_{vm} = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] \quad (3.10)$$

$$\varepsilon_z = \sigma_{vm} = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (3.11)$$

Burada E elastik modül, ν poisson oranı, σ ise gerilmedir.

3.7.5.2. Kayma durumunda Hooke kanunları

Bir noktada, en genel durumda 3 farklı kayma gerilmesi (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz}) olabilir. Bu gerilmeler kayma şekil değiştirme açılarına (γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{xz}) sebep olurlar. Şekil 3.34'te üç boyutlu kayma görseli görülmektedir.



Şekil 3.34. Üç boyutlu kayma görseli.

Kayma durumunda Hooke kanunları:

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} \quad (3.12)$$

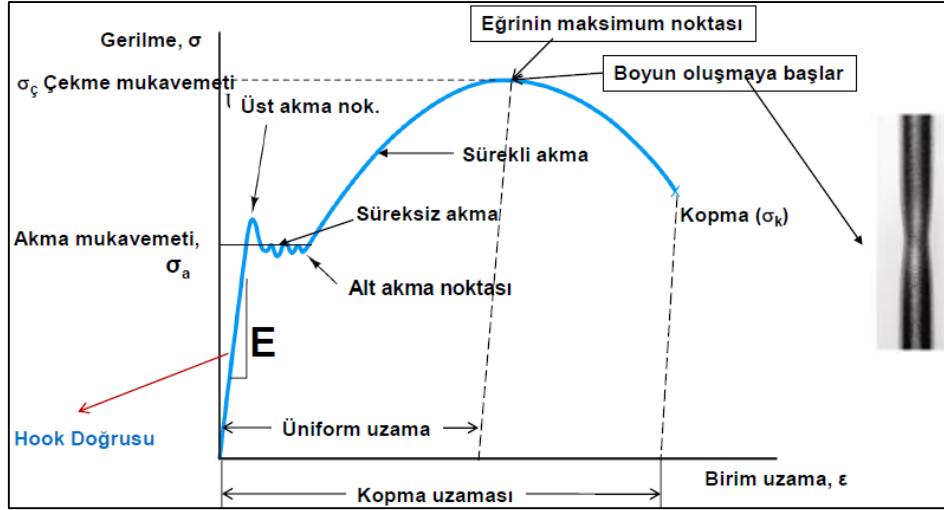
$$\tau_{yz} = G\gamma_{yz} \quad (3.13)$$

$$\tau_{xz} = G\gamma_{xz} \quad (3.14)$$

Burada G malzemenin kayma modülü, γ şekil değiştirme açısı, τ ise kayma gerilmesidir.

3.7.6. Akma gerilmesi

Malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme deneyi yapılır. Sabit çekme kuvveti altında malzeme üzerinde belirli bir noktadan sonra düzensiz şekil değişimi meydana gelir. Plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı bu noktaya akma noktası denir. Malzeme üzerinde çekme kuvveti artırılarak uygulanmaya devam edilirse kopma meydana gelir. Şekil 3.35'te gerilme-birim uzama eğrisi görülmektedir.



Şekil 3.35. Gerilme-birim uzama eğrisi.

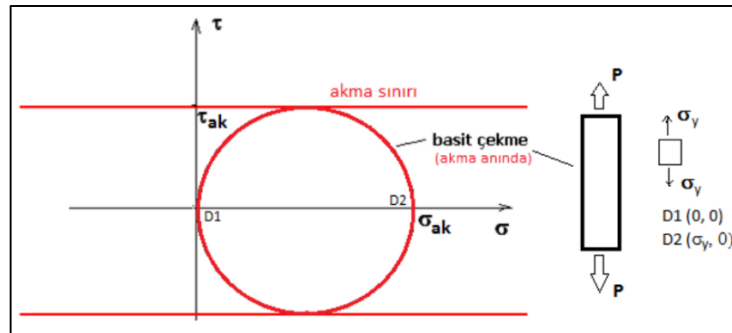
Sünek ve gevrek malzemeler için akma kriterleri olmak üzere iki tip akma kriterleri bulunmaktadır.

Sünek malzemeler için akma kriterleri

Sünek malzemeler için akma kriterleri Tresca ve von-mises kriterleridir.

3.7.6.1. Tresca Kriteri

Maksimum Kayma Gerilmesi Kriteri olarak da bilinir. Bu kritere göre malzeme üzerinde herhangi bir noktada akma olması için, o noktadaki maksimum kayma gerilmesinin, tek eksenli çekme deneyinde akma sınırındaki kayma gerilmesine eşit veya büyük olması gerekmektedir. Şekil 3.36’da tresca kriteri görülmektedir.



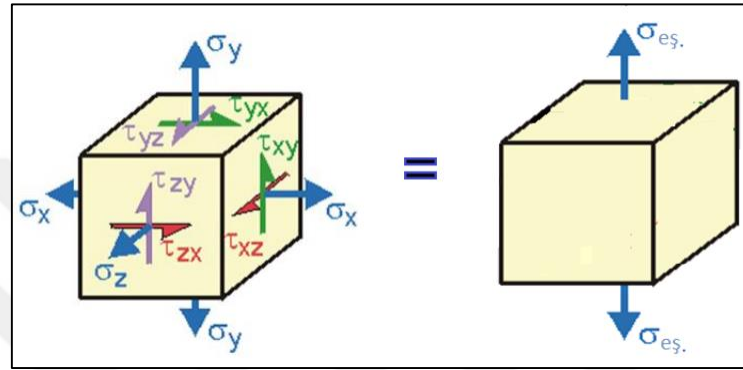
Şekil 3.36. Tresca kriteri.

$$\tau_{ak} = \frac{\sigma_{ak}}{2} \quad (3.15)$$

$$\text{Akma olmasının şartı: } \tau_{max} \geq \tau_{ak} \quad (3.16)$$

3.7.6.2. Von-mises kriteri

Eşdeğer gerilme veya maksimum çarpılma enerjisi Kriteri olarak da bilinir. Bu kriter çok eksenli gerilme durumunu tek eksenli gerilme durumuna indirir. Bu kriterde tüm gerilmeler yerine 1 tane eşdeğer gerilme ($\sigma_{eş}$) tanımlanır. Malzeme üzerinde herhangi bir noktada akma olması için, o noktadaki eşdeğer gerilme ($\sigma_{eş}$) akma gerilmesini (σ_{ak}) aşmalıdır. Şekil 3.37’de von mises kriteri görülmektedir.



Şekil 3.37. Von mises kriteri.

$$\sigma_{eş} = \sigma_{vm} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_y)^2 + 6(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{xy}^2) \right]} \quad (3.17)$$

Asal gerilmeler cinsinden eşdeğer gerilme:

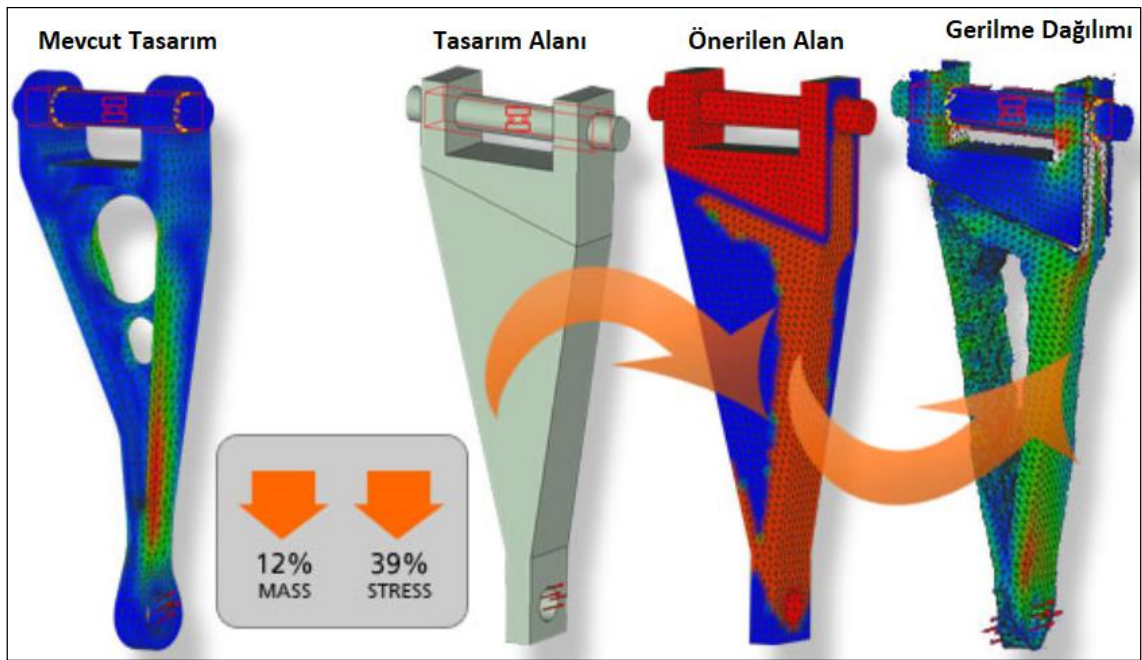
$$\sigma_{eş} = \sigma_{vm} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]} \quad (3.18)$$

$$\text{Akma olmasının şartı: } \sigma_{eş} > \sigma_{ak} \quad (3.19)$$

Tüfek namlusu üzerinde patlama anından itibaren namlu üzerinde çok eksenli gerilme meydana gelmektedir. Bu çok eksenli gerilmeleri hesaplamak çok uzun zaman almakta ve analiz çalışmalarını zorlaştırmaktadır. Von-mises akma kriteri gerilme farklarını kullandığı ve ara gerilmeleri de hesaba kattığı için doğruluğu Tresca kriterine göre daha yüksektir. Analiz çalışmasında bu çok eksenli gerilmeleri Von-mises akma kriterini kullanarak eşdeğer gerilmeye indirgedik. Bu sayede analiz ve optimizasyon çalışmalarını verimli ve hızlı bir biçimde gerçekleştirdik.

3.8. Optimizasyon

Optimizasyon eldeki kısıtlı kaynakları kullanarak maksimum verim elde edilmesidir. Mühendislikte ise optimizasyon, bir sistemde var olan kaynakları etkin bir şekilde kullanılarak belirli amaçlara ulaşmayı sağlayan çalışmalardır. Optimizasyon modelleme ve çözümleme olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Modelleme gerçek yaşamda karşılaşılan problemin matematiksel olarak ifade edilmesi; çözümleme ise bu modeli sağlayan en iyi çözümün elde edilmesini kapsamaktadır.



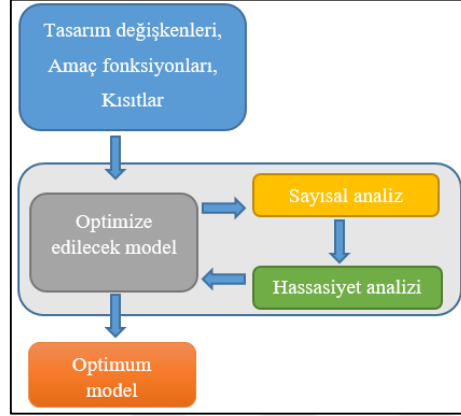
Şekil 3.38. Tasarım optimizasyonu.

Şekil 3.38’de mevcut parça boyu değiştirilmeden parça üzerinde optimizasyon yapılarak parça ağırlığı azaltılmış ve parça çalışma şartları iyileştirilmiştir.

3.8.1. Geleneksel optimizasyon yöntemi

Sayısal analiz alanında kullanılan bu yöntem genellikle tekil modeller için tasarım hassasiyetlerini belirlemek için kullanılır. Bu yöntemde istenilen sonuç elde edilene kadar sayısal analizlerin tekrarlanması gerekmektedir. Bu yöntem küçük ölçekli modellerde iyi sonuçlar vermektedir. Model ölçeği büyüdükçe analiz süreleri artmakta,

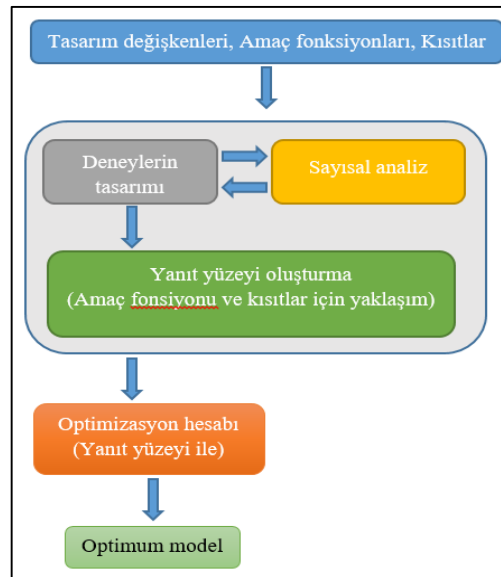
bilgisayar kaynağı ihtiyacı artmaktadır. Bu sebepten dolayı büyük ölçekli modellerde bu yöntem tercih edilmemektedir. Şekil 3.39’da geleneksel optimizasyon süreci görülmektedir.



Şekil 3.39. Geleneksel optimizasyon şeması (Alpaya, 2016).

3.8.2. Yanıt yüzeyi optimizasyon yöntemi

Geleneksel optimizasyon yönteminde ortaya çıkan sorunları gidermek için yanıt yüzeyi yöntemi kullanılır. Bu yöntemde ilk olarak optimizasyon koşulları belirlenir. Daha sonra amaç fonksiyonları ve tasarım değişkenleri kullanılarak yanıt yüzeyi oluşturulur. Bu sayede model üzerinde optimizasyon için yapılan sayısal analizler azalmakta ve sonuca hızlı bir şekilde ulaşılmaktadır. Şekil 3.40’da yanıt yüzeyi optimizasyon süreci görülmektedir.



Şekil 3.40. Yanıt yüzeyi optimizasyon şeması (Alpaya, 2016).

3.9. Response Surface Optimization (Yanıt yüzeyi optimizasyonu)

Yanıt yüzeyi optimizasyonu, bir optimizasyon probleminin fonksiyonlarına yaklaşım teknikleri uygulayan bir optimizasyon çeşididir. Yöntem, yaklaşım için yanıt yüzeyi adı verilen bir fonksiyonu kullanmaktadır. Yanıt yüzeyi, çeşitli analiz ve deney sonuçlarını kullanarak, birden çok tasarım değişkenli bir optimizasyon problemine yaklaşım sağlayan bir fonksiyondur (Alpaya, 2016).

Yanıt yüzeyi: n ($n > 1$) adet tasarım değişkeni x_i ($i=1, \dots, n$) ile y yanıtı arasındaki ilişkiyi veren bir yaklaşımdır.

$$y = f(x_1 \dots x_n) + \varepsilon \quad (3.20)$$

Genellikle bu f fonksiyonu, kolaylık açısından bir polinom olarak seçilir. Ancak değişken dönüşümleri sayesinde lineerleştirilebilen bir lineer olmayan fonksiyon da kullanılabilir. Yanıt yüzeyi olarak ikinci dereceden bir polinom kullanıldığı takdirde, yanıt yüzeyi denklem 3.21'deki gibi olmaktadır.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^n \beta_{ij} x_i x_j \quad (3.21)$$

Yanıtın iki tasarım değişkenine sahip olduğu düşünüldüğünde; denklem 3.21, denklem 3.22 halini almaktadır.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (3.22)$$

Eğer denklem 3.12'deki ikinci dereceden terimler, birinci dereceden terimlerle değiştirilirse; $x_1^2 = x_3$, $x_2^2 = x_4$, $x_1 x_2 = x_5$; ifade çok değişkenli ve lineer bir hal alır. Bu şekilde bir lineerleştirme ile oluşturulan bir lineer regresyon modeli denklem 3.23 ve denklem 3.24 ile gösterilebilir. Denklem 3.24'te; n deney noktası sayısını, k ise tasarım değişkeni sayısını ifade etmektedir.

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (3.23)$$

$$y = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{Bmatrix}, X = \begin{Bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{Bmatrix}, \beta = \begin{Bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{Bmatrix}, \varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{Bmatrix} \quad (3.24)$$

Bunun yanı sıra, β katsayısının yansız tahmin edicisi olan b ise denklem 3.25 ile ifade edilmektedir.

$$b = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (3.25)$$

Yanıt yüzeyi optimizasyonu, ANSYS analiz programında design exploration modülü altında bulunan optimizasyon modülüdür. Response Surface Optimization (Yanıt yüzeyi optimizasyonu) yaklaşım modeli optimizasyonu olarak da bilinir. Response surface (yanıt yüzeyi), çıktı parametrelerinin girdi parametreleri açısından tanımlandığı farklı yapıdaki fonksiyonlardır. Response surface (yanıt yüzeyi), komple bir çözüm gerçekleştirmeye gerek kalmadan, analiz edilen tasarım alanındaki her yerde, çıktı parametrelerinin yaklaşık değerlerinin bulunmasını sağlar. Yanıt yüzeyi optimizasyonunda sayısal analizlerin sayısı az olduğundan dolayı daha hızlı çözüme ulaşılmaktadır. Response surface (yanıt yüzeyi) yöntemleri 10-15'e kadar giriş parametresi kullanılan problemler için uygundur. Altı farklı response surface (yanıt yüzeyi) çeşidi vardır.

➤ **Genetic aggregation (Genetik agregasyon)**

- Genetik algoritma, her çıkış parametresi için en iyi response surface (yanıt yüzeyi) tipini ve ayarlarını bulmak için kullanılır.
- En uygun response surface (yanıt yüzeyi) birleşimi elde edilir.
- Çok sayıda Tasarım Noktası ile çalışırken zaman alabilir.

➤ **Standard response surface (Standart yanıt yüzeyi)**

- Çıkış parametrelerinin giriş parametrelerine göre değişken olması durumunda etkilidir.

➤ **Kriging**

- Çok sayıda problemde verimlidir.
- Son derece doğrusal olmayan yanıtlara uygundur.
- Sonuçlar gürültülü olduğunda kullanılmaz.
- Kriging, noktalara tam olarak uyan bir enterpolasyondur.
- Response surface (yanıt yüzeyi) kalitesini kontrol etmek için her zaman doğrulama noktalarını kullanır.

➤ **Non parametric regression (Parametrik olmayan regresyon)**

- Doğrusal olmayan yanıtlara uygundur.
- Sonuçlar gürültülü olduğunda kullanılır.
- Genel olarak hesaplaması yavaştır.

➤ **Neural network (Sinir ağı)**

- Son derece doğrusal olmayan yanıtlara uygundur.
- Sonuçlar gürültülü olduğunda kullanılır.
- Algoritma üzerindeki kontrol çok sınırlıdır.

➤ **Sparse grid (Seyrek ızgara)**

- Süreksizlik içeren çalışmalar için uygundur
- Çözme hızı yüksektir.

3.10. Sonlu Elemanlar Metodu(SEM)

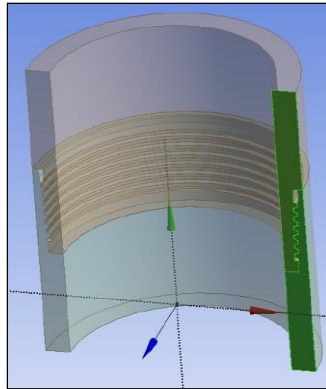
Mühendisler bir ürünü tasarlarken ve üretirken birden fazla karmaşık problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. Tasarım aşamasında karşılaşılan zorluklar ve yüksek ilk üretim maliyetleri mühendisleri bu sorunları çözmek için yeni arayışlar içerisine sokmuştur. Üretime başlamadan önce tasarımların optimize edilmesi ve gerekli analiz çalışmaların yapılarak üretim maliyetinin düşürülmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Karmaşık mühendislik problemlerini basite indirgeyerek çözümü, fiziksel prototip ve deneysel çalışmaların sayısını azaltmak, daha iyi ürünler üretmek ve geliştirmek için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Sonlu elemanlar metodu kullanımının artması sonucu analizlerde kullanılan paket programları hızlı bir şekilde gelişim göstermiştir.

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiş ve kullanılmıştır. İlerleyen yıllarda sonlu elemanlar metodu ve çözüm teknikleri hızla gelişmiş olup farklı mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde mühendislik problemlerinin çözümünde hali hazırda kullanılan en yaygın ve en iyi metotlardan birisidir.

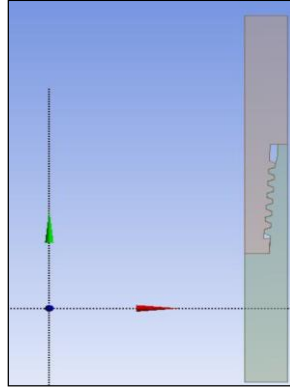
Sonlu elemanlar metodu; farklı mühendislik problemlerini kendi içerisinde alt parçalara ayırarak analiz eden ve problemin genel çözümü ulaşmasını sağlayan matematiksel bir metottur. Probleme uygun bir matematiksel yöntem belirlenir. Örnek verecek olursak katı cisimler üzerindeki mekanik problemlerde yaygın olarak gerilme analizi ve yer değiştirmenin çözülmesi gerekir. Bu durumda matematiksel denklemlerle yaklaşık çözüm elde edilir. Gerilme analizi yapılacak parçanın üzerinde birden fazla birleşim noktası ve bu noktalarda çok sayıda denge denklemi ortaya çıkar. Bilgisayar yazılımlarının gelişimi sayesinde bu sorunlar basite indirgenmiş ve çözüme ulaştırılmıştır. Eskiden analiz yapmak için kullanılan yüksek maliyetli deneylerin yerini, bu yazılımlar sayesinde henüz tasarım aşamasındayken yapılabilen bilgisayar destekli yapısal analizler almıştır.

Sonlu elemanlar metodu dört temel aşamada uygulanır;

- **Fiziksel model oluşturma:** İlk olarak analizi yapılacak parça bilgisayar destekli tasarım programlarında iki (2D) veya üç (3D) boyutlu modellemesi yapılır. İki boyutlu tasarımlar kullanılmasının amacı mesh alanını küçülterek analiz süresini kısaltmaktır. 2D tasarımlar genelde karmaşık olmayan sistemlerde ve daha az sınır şartı bulunan sistemlerde kullanılır. 3D tasarımlar ise karmaşık sistemlerde ve farklı sınır şartlarına sahip sistemlerde kullanılır. 3D tasarımlarda mesh alanı ve sınır şartları fazla olduğu için analiz süreleri artmaktadır. Şekil 3.41’de 3D tasarım görseli, şekil 3.42’de 2D tasarım görseli görülmektedir.



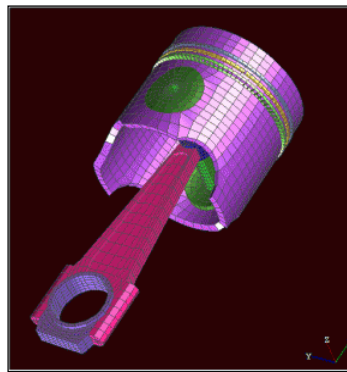
Şekil 3.41. 3D tasarım görseli.



Şekil 3.42. 2D tasarım görseli.

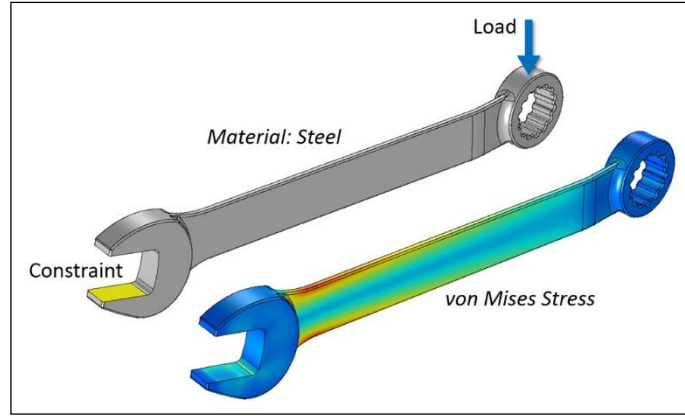
2D tasarımın 3D tasarıma göre avantajları

- Daha az sayıda eleman, daha az serbestlik derecesine sahiptir
 - Daha yüksek kaliteli elemanlar, daha fazla doğru çözüm.
 - Ağ oluşturma (mesh generation) zamanı daha düşüktür.
 - Çözüm için daha az zaman harcanır.
- **Ağ oluşturma (mesh generation):** Matematiksel model oluşturulduktan sonra parça üzerindeki alt elemanlar ve bağlantı noktaları bir ağ şeklinde bölgelere ayrılır. Almak istenen sonucun hassasiyetine göre ağ yapısının yoğunluğunu artırıp azaltabiliriz. Ağ yoğunluğunun artırılması genellikle daha iyi sonuç vermektedir. Şekil 3.43'te piston için oluşturulan mesh görülmektedir.



Şekil 3.43. Sonlu Elemanlar Analizinde Piston İçin Mesh Oluşturma.

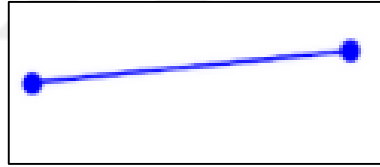
- **Etki eden kuvvetlerin belirlenmesi (load application):** Parça üzerine etki eden kuvvetler belirlenir. Şekil 3.44'te parça üzerine uygulanan kuvvet görülmektedir.



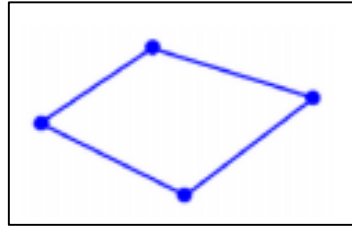
Şekil 3.44. Sonlu Elemanlar Analizi Örnek Görsel

- **Sınır şartlarının belirlenmesi (boundary conditions):** Sistem üzerinde bulunan veya yapay olarak oluşturulmuş analizin hangi koşullarda yapılacağı ile ilgili sınır şartları belirlenir

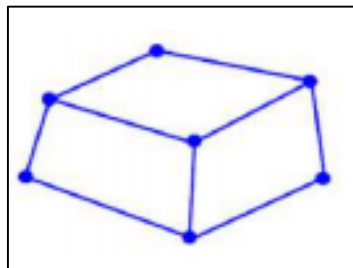
Tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu olmak üzere üç tip sonlu eleman modeli bulunmaktadır. Yapılan modellemeye göre eleman tipi belirlenir. Eleman tipleri aşağıdaki şekillerde detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 3.45. Tek boyutlu çizgisel eleman.



Şekil 3.46. İki boyutlu düzlemsel eleman.



Şekil 3.47. Üç boyutlu katı eleman.

Hesaplamalar elemanlar üzerinde bulunan nodlar (düğümler) üzerinde gerçekleştirilip denklemler oluşturulur. Problem sayısına göre elde edilen denklem sayıları değişmektedir. Bu karmaşık denklemlerin çözümü bilgisayar yardımıyla yapılmaktadır. Hesaplama sonucunda elde edilen değerler noktalar üzerinde bulunan değerlerdir. Bundan dolayı iyi bir hesaplama yapabilmek için iyi bir eleman yapısı ve buna bağlı olarak iyi bir nod yapısına sahip olmak gerekiyor.

Sonlu elemanlar yönteminde problem temel olarak aşağıdaki matris formuna dönüştürülür (Çayıroğlu, 2012).

$$[K] \cdot [D] = [R] \quad (3.26)$$

Burada K sistemin temel yapısını (katı, sıvı vb. özellikleri), D aranan nodlar üzerindeki değerleri (gerilme, şekil değiştirme vb.), R sınır şartlarını (Etkiyen yükler vb.) ifade etmektedir. Yukarıdaki matriste D'nin bulunabilmesi için sistemi temsil eden büyüklükler (K) ve dışarıdan sisteme etki eden sınır şartlarının bilinmesi gerekir (R).

Sonlu elemanlar metodu için geliştirmiş paket programlar bulunmaktadır. Örneğin ANSYS, Msc/Nastran gibi. Bu yazılımların haricinde CAD yazılımlarına entegre edilmiş analiz modüllerde bulunmaktadır. Örneğin Solidworks Simulation, Catia Kinematics simulator gibi.

Sonlu elemanlar yönteminin sağladığı avantajlar aşağıdaki gibidir.

- Farklı malzeme ve karmaşık geometrilere uygulanabilir olması.
- Yapılan analizler sayesinde prototip ürün üretmeden tasarım aşamasında ürün üzerindeki problemler belirlenir ve çözülür. Bu sayede test maliyetleri önemli ölçüde azalır.
- Tasarımların üretime adaptasyonu hızlanır.
- Tasarım sorunları azaltılarak daha başarılı tasarımlar ortaya çıkar.
- Sonlu elemanlar yöntemi belirli şartlar altında kullanılan bir yöntem değildir.

Sonlu elemanlar yöntemi matematiksel olarak genelleştirilerek farklı problemlerin çözümünde kullanılabilir.

4. ATEŞLİ SİLAH TEST STANDARTLARI

Dünyada ateşli silahları test etmek ve ateşli silahların mühimmatının güvenliğini ve kalitesini kontrol etmek için yaygın olarak kullanılan ve bilinen üç adet test standardı vardır.

4.1. NATO Epvat Testi

NATO askeri ittifakı, NATO EPVAT testi adı verilen ateşli silahlar mühimmatının güvenliğini ve kalitesini kontrol etmek için NATO'ya özgü tanımlanan bir prosedür sınıfı kullanıyor. EPVAT, "Elektronik Basınç Hızı ve Eylem Süresi" nin kısaltmasıdır.

EPVAT testi en gelişmiş cihaz ve bilgisayarları kullanarak cephaneyi test etmek için kullanılan kapsamlı bir testtir. EPVAT testinde ateşli silahlar üzerinde namlu çıkış hızı, maksimum basınç gibi değerler hesaplanarak NATO EPVAT kriterlerine uygun olup olmadığı incelenmektedir.

4.2. SAAMI Dayanıklılık(Endurance) Testi

SAAMI (Sporting Arms and Ammunition Manufacturers Institute) , Amerikan ateşli silahlar ve mühimmat üreticilerinden oluşan bir dernektir. SAAMI, sahayla ilgili ateşleme kodu, mühimmat özellikleri, fişek yatağı özellikleri ve kabul edilebilir oda basıncı gibi çeşitli endüstri standartlarını yayınlar. Amerika Birleşik Devletleri'nde, ateşli silahlar ve mühimmat özellikleri, Tüketici Ürün Güvenliği Komisyonu veya başka bir hükümet şubesi tarafından denetlenmemektedir. Yalnızca SAAMI üyesi olan üreticiler Enstitü'nün yönergelerine tabidir.

Bu test yöntemine göre; test edilecek yivsiz av tüfeği ile yaklaşık 3000 adet farklı basınçlara sahip av fişegi ile bir personel tarafından gerek omuzu üzerinde gerek ise eller arasına alınarak atış yapılmaktadır. 12 kalibre av tüfeğinin atış dağılımı ortalama şu şekilde olmaktadır.

1. 50 Adet 34 gr 1375 bar test fişegi.
2. 250 Adet 50 gr magnum (76mm) fişek.
3. 200 Adet 40 gr mini magnum fişek.

4. 1500 Adet 32 gr fişek.

5. 1000 Adet 28 gr fişek.

Bu atışlar seri olarak yapılmaktadır. Yapılan atışlar sonrası tüfek üzerinde bulunan parçalar üzerinde herhangi bir çatlak veya hasar oluşumu olup olmadığı incelenmektedir.

4.3. CIP Namlu Testi

CIP(Commission Internationale Permanente pour or Permanent International Commission for the Proof of Small-arms, some times referred to as the International Proof Commission) üyeleri başta Avrupa ülkeleri olmak üzere 14 ülkenin katılımıyla oluşan uluslararası bir kuruluştur. CIP kuruluşu üye ülkelerinde satılan ateşli silahlar ve mühimmatların kalitesini test eder. CIP testlerinden başarıyla geçemeyen ürünler CIP üye ülkelerinde satılamaz.

Bu test yönteminde tüfeklerin fişek yatağı ölçülerine dikkat edilmektedir. 3 adet sürsajlı (yüksek basınçlı) fişekle atış yapılmaktadır. Atış sonrası fişek yatağı ölçüleri masterlarla kontrol edilmektedir. Fişek yatağı ölçülerinde kalıcı deformasyon olmadığı yani belirtilen boyutsal ölçülerde kalındığı müddetince tüfek bu testlerden geçtiği kabul edilir.

CIP testlerinde kullanılan masterlar.

- Fişek yatağı çap kontrol mastarı(geçer/geçmez)
- Fişek yatağı çap ve boy kontrol mastarı(geçer/geçmez)
- Birleştirme konisi kontrol mastarı(geçer/geçmez)
- Uskurya derinlik kontrol mastarı(geçer/geçmez)

Bu masterlarda yapılan kontrollerde herhangi bir sorun oluştuğunda tüfek testten geçemez. Testlerden sonra fişek yatağı masterlarının geçmez kısımları namluya girmeye başlarsa namlu bozulmuş demektir.

Test atışlarında CIP standartlarına uygun bir şekilde atışlar gerçekleştirildi. CIP master ölçüm sonuçları bölüm 5.3'te bahsedildi.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışmada kullanılan materyal, yöntemler, test sistemi ve test ekipmanları hakkında bilgiler verilmiştir.

5.1. Test Prosedürü

Test sisteminde şarjörlü gazlı yarı otomatik av tüfeği üzerinde test çalışmaları gerçekleştirildi. Yarı otomatik gazlı av tüfeklerinde çalışma sistemi gaz odasında bulunan delikler sayesinde patlama anında açığa çıkan basıncın av tüfeği mekanik sistemlerine aktarılması ile çalışmaktadır. Yarı otomatik av tüfeklerinde sistemin çalışması patlama anında ortaya çıkan basınç, gaz odasının konumu ve yapısı ile ilgilidir. Çalışmada bu parametreler dikkate alınarak testler yapıldı.

Kurulan test sisteminde yapılan testlerde değişen şartlar altında veriler toplanmasına olanak sağlandı.

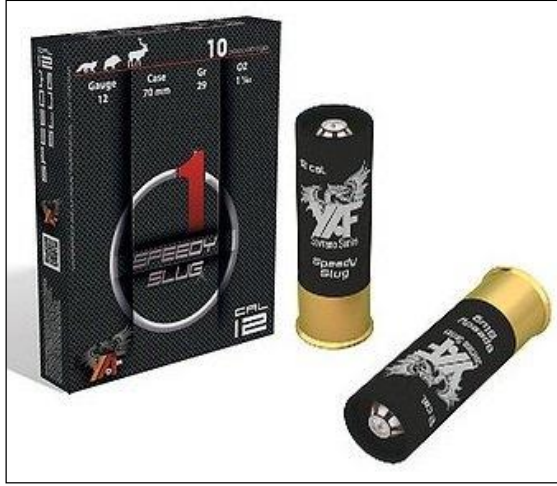
Test atışlarında 3 farklı basınç değerine sahip av fişekleri kullanıldı.

- Birincisi test atışlarında tüfeğin dayanımını ölçmek için kullanılan YAF marka 34 gram 1200 bar basınç değerine sahip sürsajlı test fişegi kullanılmıştır. Şekil 5.1’de YAF marka sürsajlı test fişegi görülmektedir.



Şekil 5.1. YAF marka sürsajlı test fişegi.

- İkincisi yaygın olarak kullanılan YAF marka speedy slug 1050 bar basınç değerine sahip tek kurşun av fişegi kullanılmıştır. Şekil 5.2’de speedy slug tek kurşun görülmektedir.



Şekil 5.2. YAF marka speedy slug tek kurşun.

- Üçüncüsü ise kullanımı az YAF marka 800 bar basınç değerine sahip av fişegi kullanılmıştır. Şekil 5.3’de YAF marka 28 gr av fişegi görülmektedir.



Şekil 5.3. YAF marka 28 gr av fişegi.

Tablo 5.1’de testlerde kullanılan av fişeklerinin teknik özellikleri görülmektedir.

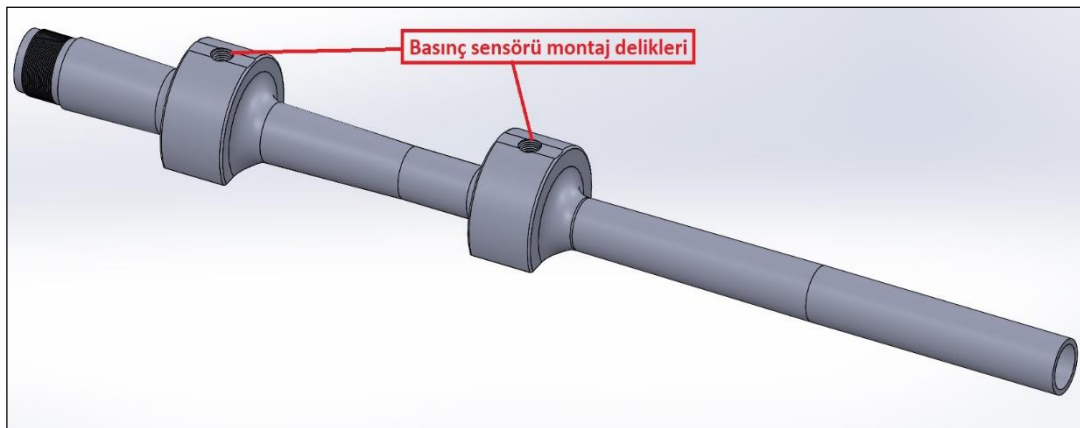
Tablo 5.1. Av fişekleri teknik özellikler.

Av Fişekleri Teknik Özellikler			
	1200 Bar	1050 Bar	800 Bar
Kalibre	12	12	12
Gram	34	29	28
Saçma	1-10	Tek Kurşun	1-10
Tapa	Plastik Tapa	Plastik Tapa	Plastik Tapa
Basınç	1200 Bar	1050 Bar	800 Bar
Kovan Uzunluğu	70 mm	70 mm	70 mm

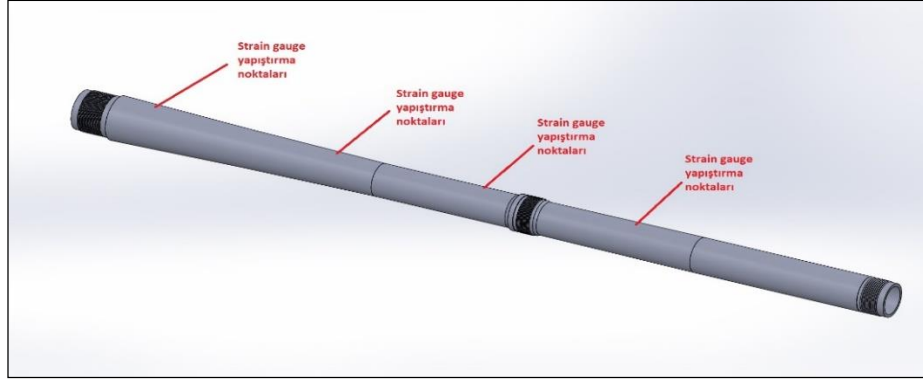
Hazırlanan test sisteminde; yüksek seviye basınç (1200 bar), orta seviye basınç (1050 bar) ve düşük seviye basınç (800 bar) değerlerine sahip fişekler kullanıldı. Bunun amacı namlu üzerinde farklı basınç seviyelerindeki meydana gelen basınç ve hız değişimini belirlemektir. Bu basınç ve hız değişiminden yola çıkarak tüfek üzerinde atış esnasında ortaya çıkan geri tepme değerinde ne gibi değişimler meydana geliyor bunlar incelenecektir. Yukarıda bahsedilen fişeklerin her birinden basınç ölçümü için 5 adet, gerilim ölçümü için 5 adet olmak üzere toplam 10 adet atış yapılarak veriler toplandı. Atışlar esnasında namlunun soğuması ve sensörlerin tekrar hassas ölçüm yapabilmesi için her bir atış arası 4-6 dakika beklendi.

5.2. Namlunun Hazırlanması

Test sisteminde kullanılan namlular SAE 4140(42CrMo4) 300 HB sertliği sahip gerilimi giderilmiş ıslahlı çelik malzeme kullanılarak Husan Metal Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş. bünyesinde Solidworks 2017 CAD programında 3D tasarımı, Autocad 2017 CAD programında imalat resmi hazırlanarak 5'er adet üretildi. Namlular 2 tip olarak üretildi. Birincisi üzerinde basınç sensörü montaj deliklerine sahip namlu (Şekil 5.4) diğeri ise gerilim ölçer (strain gauge) yapıştırmaya uygun namlu (Şekil 5.5). Namluların birden fazla üretilmesinin amacı; test esnasında herhangi bir problemle karşılaşırsa, yedekte bulunan namluya gerekli ölçüm ekipmanlarını monte ederek testlere devam etmektir.



Şekil 5.4. Basınç sensörü montaj edilebilen namlu.



Şekil 5.5. Gerinim ölçer (strain gauge) yapıştırılabilen namlu.

5.2.1. Namlu malzemesinin özellikleri

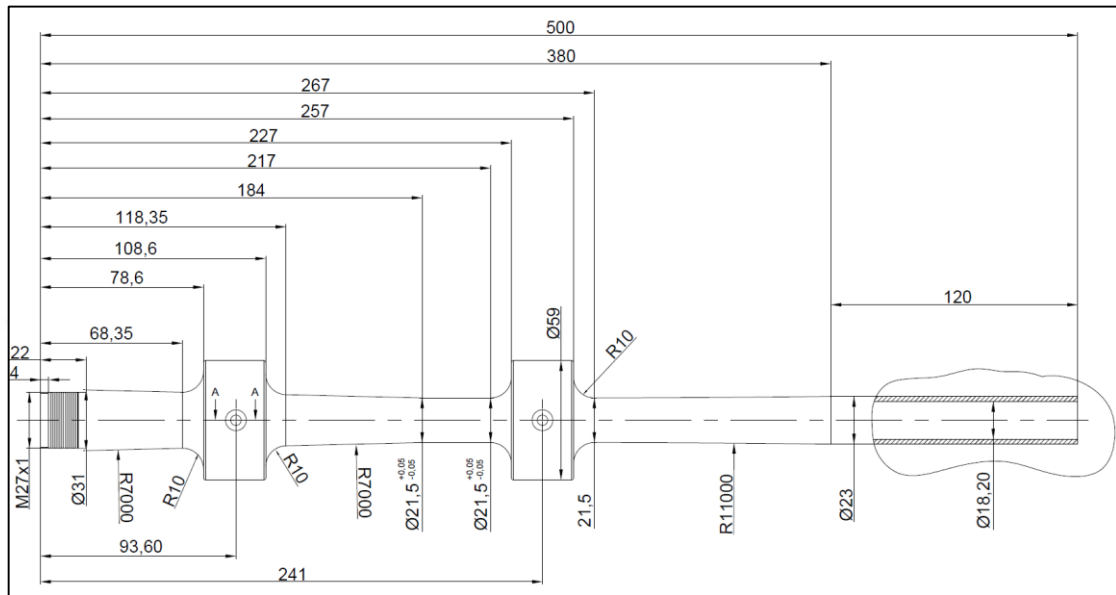
Şekil 5.6’de namlu malzemesinin kimyasal ve mekanik özellikleri görülmektedir.

PAŞA ÇELİK		KALİTE BELGESİ FORMU												
SANAYİ ve TİCARET LTD. ŞTİ.		TS EN 10204 3.1B												
FEVZİ ÇAKMAK MAH. BÜSAN ÖZEL ORG. SAN. BÖL.														
KOSGEB CAD. NO: 59/1 KARATAY/KONYA														
KALİTE BELGESİ QUALITY CERTIFICATE														
RAPOR NO - REPORT NO	:													
SİPARİŞ NO - ORDER NO	:													
İŞ EMRİ NO - WORK ORD. NO	:													
MÜŞTERİ - CUSTOMER	:	HUSAN METAL TEKNOLOJİLERİ SAN. TİC. A.Ş.												
KALİTE - QUALITY	:	42CrM04 4140 G.G. İSLAHLI												
DÖKÜM NO - HEAT NUMBER	:	D1714259												
MENŞEİ-ORIGIN	:													
ÖLÇÜM DEĞERLERİ - MEASUREMENT VALUES: TS EN 10278/h11 Referans Alınarak Üretim Yapılmıştır.														
KESİT SECTION (mm)	ÖLÇÜ DIMENSION	TOLERANS TOLERANCE	ÖLÇÜM 1 MEASUREMENT 1											
YUVARLAK	30													
KİMYASAL ANALİZ - CHEMICAL ANALYSIS: TS EN 10083-2 Referans Alınarak Kontrol Edilmiştir.														
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Sn	V	Nb	B	Pb
0,40	0,25	0,83	0,009	0,027	1,01	0,12	0,18	0,22	0,022	0,016				
MEKANİK ÖZELLİKLER - MECHANICAL CHARACTERISTIC:														
SERTLİK HARDNESS (HB)	ÇEKME MUK. TENSILE (Rm) N/mm2	AKMA MUK. YIELD (Re) N/mm2	UZAMA ELONGATION (%)	LO										
302	1100-1200	750	11											
ÜRETİM METODU - PRODUCTION METHOD:														
AÇIKLAMA: Kimyasal Analiz OBLF GS 1000 spektral analiz cihazı, mekanik analizler AK 08180-11 numaralı TÜRKAK kalibrasyon belgesi sertifikalı AL-ŞA çekme cihazı, sertlik ölçümleri EN 8506-2'ye göre kalibre edilmiş BMS sertlik ölçme cihazı ile 23 +/- 2 C'de yapılmıştır. Tüm test değerleri haddesleme final analizleridir.														
TARİH														
KONTROL YAPAN	Kalite Kontrol Ssm :		ONAY											
Bu belge yukarıda tanımlanan malzeme için ıslak imzalı olarak düzenlenmiştir. Çoğaltılmış kopyaların güvenilirliğinden Paşa Çelik sorumlu değildir. This certificate is issued originally signed for the material described above. Paşa Çelik does not take any responsibility for the non-authorized copies														
Yukarıdaki malzemenin test edildiği ve sipariş şartlarına uygun olduğu onaylanır. Kuşku durumunda geçerli belge olarak Paşa Çelik'deki kaynak kopyaya başvurulmalıdır. We hereby confirm that above mentioned material has been tested and the results meet the order requirements. In case of doubt the original copy at Paşa Çelik should be consulted as authoritative test.														

Şekil 5.6. Namlu malzemesinin kimyasal ve mekanik özellikleri.

5.2.2. Basınç sensörü namlusu

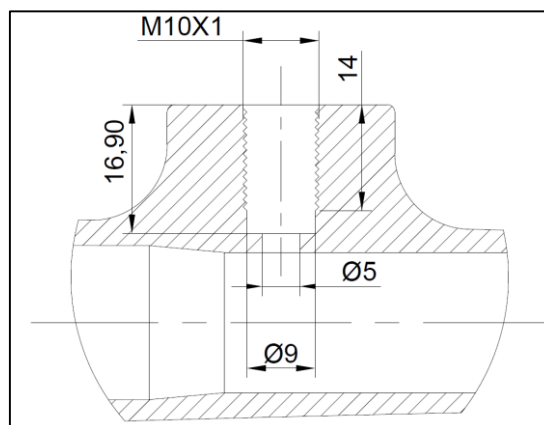
Test sisteminde namlu içerisindeki basınçları ölçmek için basınç sensörü kullanıldı. Basınç sensörlerini namlu üzerine takmak için özel namlu üretildi. Şekil 5.7’de basınç sensörü montaj edilebilen namlunun ölçüleri görülmektedir.



Şekil 5.7. Basınç sensörü montaj edilebilen namlu ölçüleri.

Basınç sensör deliklerinin namlu üzerindeki konumu fişek yatağının uç kısmı ve gaz odası deliklerine gelen noktalar belirlendi. 1.Basınç sensörü ölçüm noktası 93,60 mm’de, 2.Basınç sensörü ölçüm noktası ise 241 mm’dedir. Bu iki farklı noktadan basınç ölçümü yapıldı. İmalat sonrası basınç namlusu ağırlığı 1,38 kg dir.

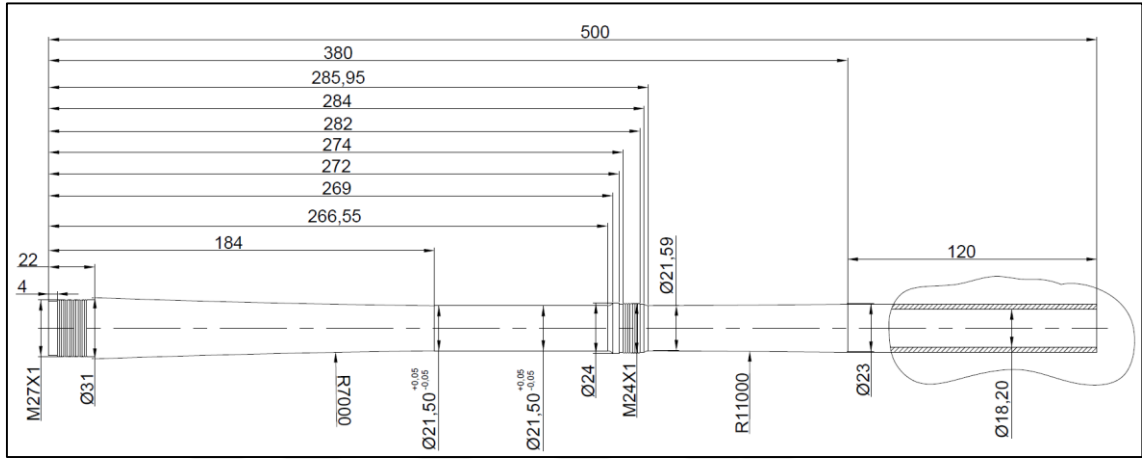
Şekil 5.7’de görülen A-A kesitinde namlu üzerinde bulunan basınç sensörü montaj deliklerinin detaylı ölçüleri görülmektedir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Basınç sensörü montaj deliklerinin ölçüleri.

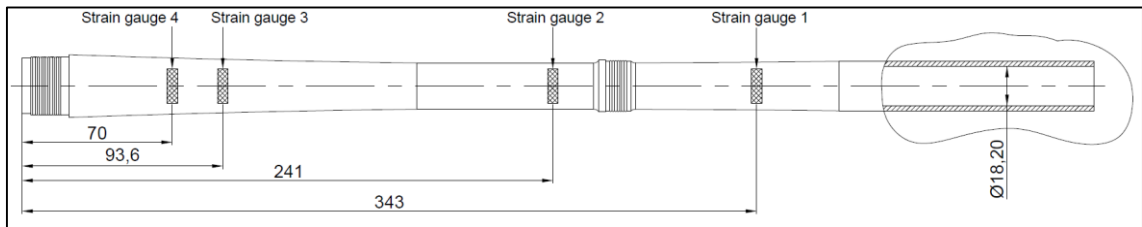
5.2.3. Gerinim ölçer (strain gauge) namlusu

Test sisteminde namlu üzerindeki gerilmeleri ölçmek için 4 adet gerinim ölçer yapıştırıldı. Gerinim ölçerleri namlu üzerine yapıştırabilmek için özel namlu üretildi. Şekil 5.9’de gerinim ölçer montaj edilebilen namlu ölçüleri görülmektedir.



Şekil 5.9. Gerinim ölçer montaj edilebilen namlu ölçüleri.

Gerinim ölçerler test sisteminde basınç sensöründen alınan verileri doğrulamak için kullanıldı. Gerinim ölçerler namlu üzerinde konumlandırılırken fişek yatağı uç kısmı, basınç sensörü konumu, gaz delikleri ve namlunun uc kısmına doğru bir konum seçildi. Şekil 5.10’da gerinim ölçerlerin namlu üzerindeki konumları görülmektedir. Fişek yatağı konumu 70 mm’de, 1.basınç sensörü ölçüm noktası 93,60 mm’de, 2.basınç sensörü ölçüm noktası 241 mm’de ve diğer gerinim ölçerde 343 mm’dedir. İmalat sonrası gerinim ölçer namlusu ağırlığı 0,636 kg’dır.



Şekil 5.10. Gerinim ölçerlerin namlu üzerindeki yapıştırma yerleri.

5.3. TSE TS 870 Kapsamında Yapılan Testler

TSE TS 870 kapsamında yapılan testler namlu iç çap muayenesi, namlu salgı muayenesi, namlu balans muayenesi, namlu yüzey pürüzlülük muayenesi, namlu fişek yatağı pürüzlülük muayenesi, namlu CIP master kontrolleri ve yüksek basınçlı fişek testi olmak üzere toplam 7 adet testten oluşur.

5.3.1. Namlu iç çap muayenesi

Namlu iç çapı, üreticinin anma değerleri üzerinden toplam 0,1 mm toleransı geçmeyecek şekilde, iç çap mikrometresi veya iç çap ölçüm cihazı(dial bore gauge) kullanılarak fişek yatağını birleştirme konisinin bittiği yerden olmak üzere iki bölgeden ölçüldü. Şekil 5.11’de namlu iç çap kontrol cihazı görülmektedir.



Şekil 5.11. Namlu iç çap kontrol cihazı.

Namlu iç çapından üç farklı noktandan ölçüm yapılarak ölçüm değerleri Tablo 5.2’de bahsedildi.

Tablo 5.2. Namlu iç çap ölçüm sonucu.

Ölçüm No	Namlu İç Çap Ölçüsü(mm)	Tolerans	Ölçüm Sonucu(mm)
1	18,20	+0,70	18,45
2	18,20	+0,70	18,47
3	18,20	+0,70	18,46

5.3.2. Namlu salgı muayenesi

Namlunun salgısı, namlu orta kesitinde 0,15 mm den fazla olmaması gerekmektedir. Şekil 5.12’de namlu salgı ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 5.12. Namlu salgı ölçüm sistemi.

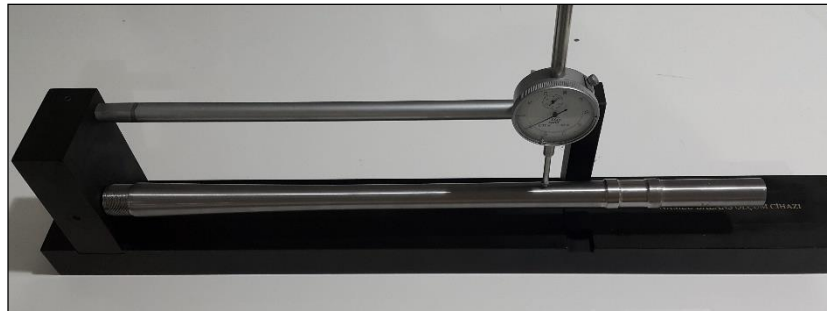
Namlunun dış kısmından 3 farklı noktadan ölçüm yapılarak namlu salgı değerleri tablo 5.3’te bahsedildi.

Tablo 5.3. Namlu salgı ölçüm sonucu.

Ölçüm No	Salgı Değeri(Max)	1.Ölçüm Sonucu (mm)	2.Ölçüm Sonucu (mm)
1	0,15	0,12	0,14
2	0,15	0,14	0,13
3	0,15	0,12	0,14

5.3.3. Namlu balans muayenesi

Namlu balansı, namlu üzerinde 2 farklı noktada aynı anda ölçüm yapılarak 0,15 mm den fazla olmamalıdır. Şekil 5.13’de namlu balans ölçüm sistemi görülmektedir.



Şekil 5.13. Namlu balans ölçüm sistemi.

Namlunun dış kısmından 3 farklı noktadan ölçüm yapılarak namlu balans değerleri tablo 5.4'te bahsedildi.

Tablo 5.4. Namlu balans ölçüm sonucu.

Ölçüm No	Balans Değeri (max)	Ölçüm Sonucu(mm)
1	0,15	0,08
2	0,15	0,11
3	0,15	0,09

5.3.4. Namlu yüzey pürüzlülük muayenesi

Namlunun iç yüzeyi; saçmaların sürtünmelerine karşı daha az direnç göstermesi, namlu ve saçma deformasyonunu engelleyecek biçimde pürüzsüz ve en fazla Ra: 0,40 μm den fazla olmamalıdır. Şekil 5.14'de yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı görülmektedir. Şekil 5.15'de ise namlu yüzey pürüzlülük ölçüm sonucu görülmektedir.



Şekil 5.14. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.

Mitutoyo	Surface SU-301
DATE	22-06-2019
TIME	00:12:09
STAND	JIS2001
PROFILE	R
FILTER	GAUSS
EVA-L	4.0mm
N	5
λ_c	0.8mm
λ_s	2.5 μm
TILT-COMP.	ALL
M-SPEED	0.5mm/s
RANGE	AUTO
PRE/POST	ESC
DRIVE	ON
	STAND
R-PROFILE	
EVA-L	4.0mm
λ_c	0.8mmX5
Ra	0.39 μm
Rz	2.70 μm
Rq	0.51 μm

Şekil 5.15. Namlu yüzey pürüzlülük ölçüm sonucu.

5.3.5. Namlu fişek yatağı pürüzlülük muayenesi

Fişek yatağı yüzeyi; fişek kovani sıkışmalarını engelleyecek biçimde pürüzsüz ve en fazla Ra: 0,40 μm den fazla olmamalıdır. Şekil 5.16'da fişek yatağı yüzey pürüzlülük ölçüm sonucu görülmektedir.

Mitutoyo	Surtest SJ-301
DATE	22-06-2019
TIME	00:10:49
STAND	JIS2001
PROFILE	R
FILTER	GAUSS
EVA-L	4.0mm
N	5
λc	0.8mm
λs	2.5 μm
TILT-COMP.	ALL
M-SPEED	0.5mm/s
RANGE	AUTO
PRE/POST	ESC
DRIVE	ON
	STAND
R-PROFILE	
EVA-L	4.0mm
λc	0.8mmX5
Ra	0.37 μm
Rz	2.67 μm
Rq	0.49 μm

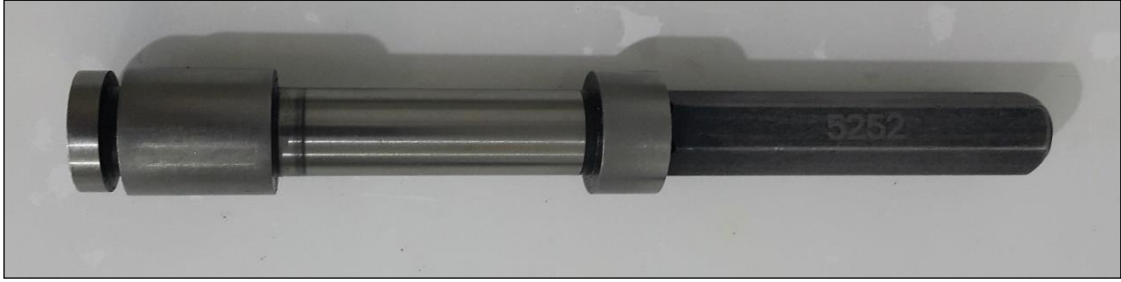
Şekil 5.16. Fişek yatağı yüzey pürüzlülük ölçüm sonucu.

5.3.6. Namlu master kontrolleri

CIP standartlarına uygun, namlu fişek yatağı boy mastarı (geçer-geçmez), namlu fişek yatağı ağız çapı kontrol mastarı (geçer-geçmez), uskurya derinlik kontrol mastarı (geçer-geçmez), namlu fişek yatağı konik master kontrolleri yapıldı ve namluların mastarlara uygun olduğu görüldü. Şekil 5.17'de namlu fişek yatağı boy mastarları görülmektedir. Yeşil renkli master geçer mastarı, kırmızı renkli master geçmez mastarıdır. Master üzerinde fişek yatağı boy ölçüleri yazmaktadır. Namlumuz 76,20 mm fişek yatağına sahip olduğu için 76,20 mm yazan çentiğe göre kontroller yapıldı.



Şekil 5.18’de fişek yatağı uç konik mastarı görülmektedir. Konik mastarı namluda kontrol edilirken master boyu namlu fişek yatağını geçmemelidir.



Şekil 5.18. Namlu fişek yatağı konik mastarı.

Şekil 5.19’da fişek yatağı ağız çapı kontrol mastarı görülmektedir. Ağız mastarı namluda kontrol edilirken namlu fişek yatağı ağızı iki kırmızı çizgi arasında olmalıdır.



Şekil 5.19. Namlu fişek yatağı ağız çapı kontrol mastarı(geçer-geçmez).

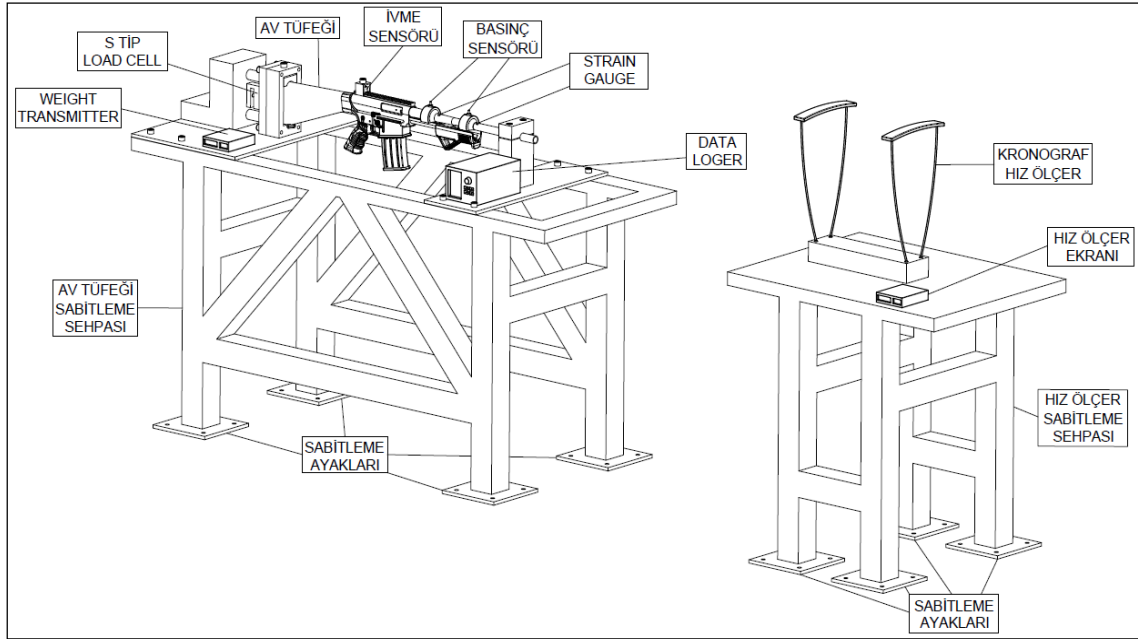
Şekil 5.20’de fişek yatağı uskurya mastarı görülmektedir. Uskurya mastarı namluda kontrol edilirken fişek yatağı ağızı ile uskurya mastarının arka kısmı aynı seviyede veya uskurya mastarı biraz içeride kalacak şekilde olmalıdır.



Şekil 5.20. Namlu fişek yatağı uskurya mastarı.

5.4. Test Sistemi Tasarımı

Test sistemi av tüfeği üzerinde balistik öneme haiz verileri sorunsuz bir şekilde toplayabilmek için Husan Metal Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş. bünyesinde Solidworks 2017 CAD programında 3D tasarımı, Autocad 2017 CAD programında imalat resmi hazırlanarak üretildi. Şekil 5.21’de test sistemi tasarımı görülmektedir.



Şekil 5.21. Test sistemi genel görünümü.

Test sisteminden alınan veriler aşağıdaki gibidir.

- Namlu üzerindeki basınç,
- Namlu üzerindeki gerilmeler,
- Namlu çıkış hızı,
- Geri tepme yükü(Kullanıcının omzuna gelen yük),
- Patlama anında meydana gelen ivme.

5.5. Test Sistemi Tanıtımı ve Kurulumu

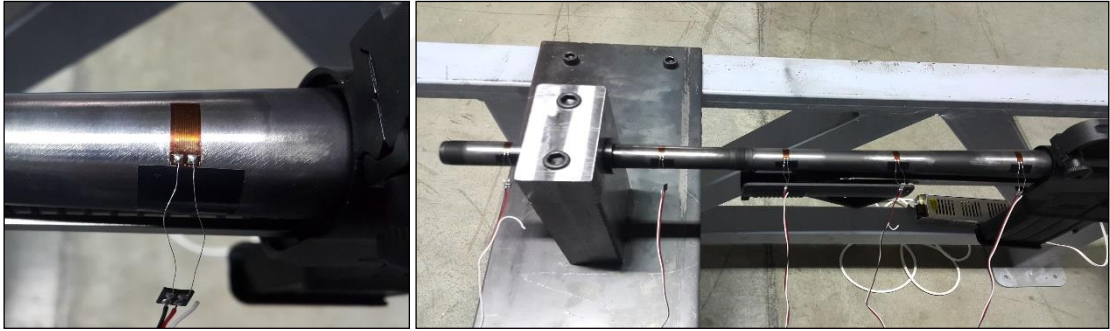
Husan Metal Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş. bünyesinde üretilen test sehpaı üzerine yük hücresi, hız ölçer ve av tüfeğinin kurulumu yapıldı. Av tüfeği namlusu üzerine gerinim ölçer (strain gauge) ve basınç sensörünün kurulumu yapıldı. Av tüfeği

kasası üzerine ivme sensörünün kurulumu yapıldı. Test ekipmanları gerekli ölçüm noktalarına monte edildikten sonra test sistemi hazır hale geldi.

5.5.1. Gerinim ölçer (strain gauge)

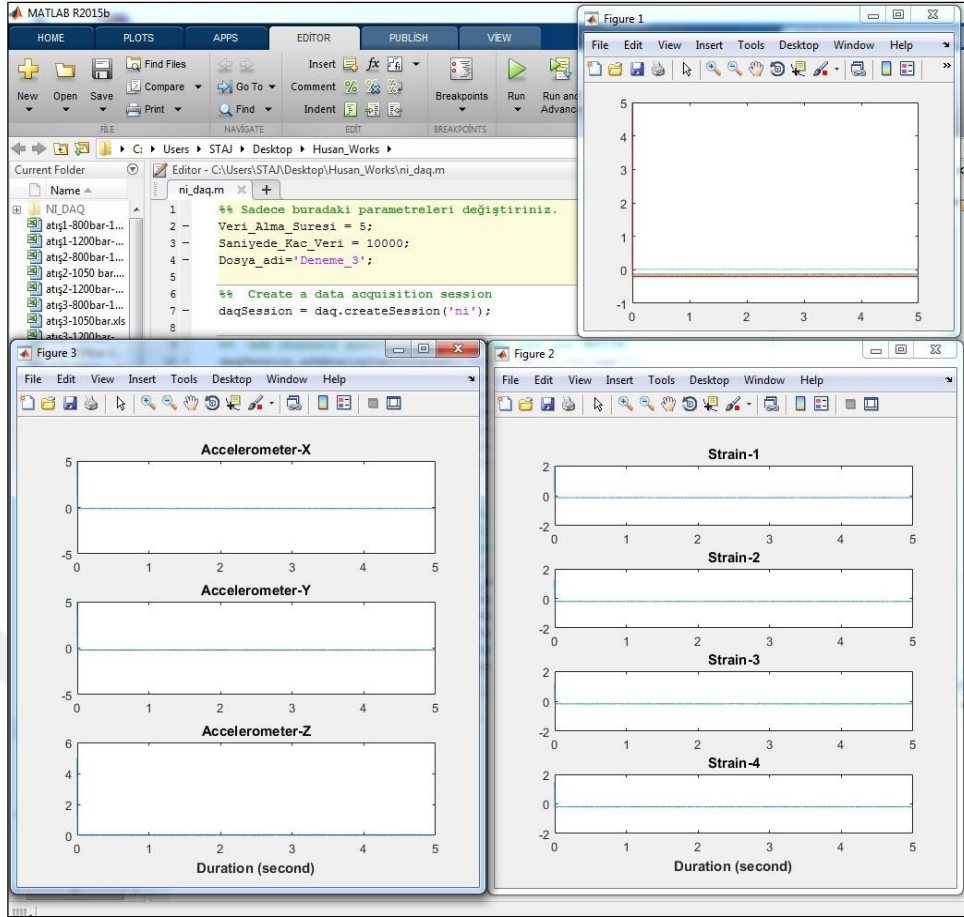
Test sisteminde yüksek basınca ve sıcaklığa dayanıklı gerinim ölçerler kullanıldı. Namlu üzerine eşit aralıklarla dört adet gerinim ölçer yerleştirildi. Bu yerleştirmeleri yaparken basınç sensöründen alınan verileri doğrulamak için gerinim ölçerleri basınç sensörünün ölçüm noktalarına denk gelecek şekilde yerleştirildi. Gerinim ölçerlerden alınan veriler bağlantı kablosu ile bir sinyal amplifikatörüne iletili. Sinyal amplifikatöründen alınan verileri Matlab’da hazırlanan programa (Şekil 5.23) ileterek kullanılabilir hale getirildi.

- Gerinim ölçerlerin namlu üzerinden daha sağlıklı veri alabilmek için eşit aralıklarla radyal olarak yapıştırıldı(Şekil 5.22).



Şekil 5.22. Gerinim ölçerlerin namlu üzerinde görünümü.

Matlabda hazırlanan programın arayüzü Şekil 5.23 de görülmektedir. Bu program da gerinim ölçerlerden 5 saniye boyunca veri alınmaktadır. Program her saniyede gerinim ölçer başına 10000 veri almaktadır. Test sisteminde toplam 4 adet gerinim ölçer olduğu için program 5 saniye boyunca toplam 200000 veri almaktadır.



Şekil 5.23. Matlab program arayüzü.

Test sisteminde kullanılan gerinim ölçer ve yardımcı ekipmanlarının teknik özellikleri aşağıdaki gibidir;

Tek eksenli gerinim ölçer (strain gauge) aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Tek eksenlidir.
- CuNi alaşım folyoludur.
- Polyimide tabanlıdır.
- Taban ölçüleri 16.7mm x 5mm dir.
- Grid ebadı 10 mm dir.
- Çalışma sıcaklık aralığı -20 ila +80°C dir.
- En az %3 gerinim (strain) limitine sahiptir.
- Oda sıcaklığında 1×10^6 gerinim/derece sıcaklı kompensasyonuna sahiptir.

Gerinim ölçer (strain gauge) yapıştırıcısı aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Genel olarak metalde kullanılmak üzere tasarlanmıştır.
- Cyanoacrylate malzemeden imal edilmiştir.
- Çalışma sıcaklık aralığı -30 ila +120°C dir.

Gerinim ölçer (strain gauge) bağlantı terminali aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Cam epoksi tabanlıdır.
- Cyanoacrylate malzemeden imal edilmiştir.
- Çalışma sıcaklık aralığı -30 ila +200°C olmalıdır.
- Yapıştırıcılara uygun olmalıdır.

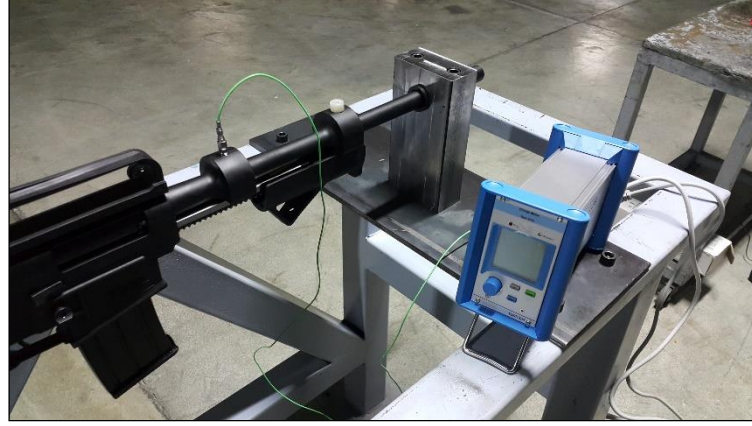
Gerinim ölçer (strain gauge) bağlantı kablosu aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Vinil kaplıdır.
- Yassı iki telli kablodan oluşmaktadır.
- Çalışma sıcaklık aralığı -10 ila +80°C dir.
- İç direnci en fazla 0.16 ohm/m dir.

5.5.2. Basınç sensörü

Test sisteminde yüksek basınç ve sıcaklığa dayanım göstermesi için piezo-elektrik basınç sensörü kullanıldı. Piezo-elektrik basınç sensörleri darbeye dayanıklı olduğu için tek kullanımlık değildir, uzun süreler kullanılabilir. Testlerde basınç sensörünü namlu üzerinde iki farklı noktadan monte edildi. Birincisi fişek yatağı çıkışına diğerini ise gaz deliklerinin geldiği kısma monte edildi. Bu sensör basınca maruz kaldığında, basıncın büyüklüğü ile doğru orantılı olarak bir elektrik akımı üretir. Basınç sensöründen bağlantı kablosu ile alınan elektrik akımını data logger'a ileterek kullanılabilir hale getirildi.

Basınç Sensörü ve Data Logger'ın kurulumu yapıldı (Şekil 5.24). Şekil 5.25'de Kistler 5015 data logger görülmektedir.



Şekil 5.24. Basınç sensörü ve Data logger'ın sistem üzerinde görünümü.



Şekil 5.25. Kistler 5015 data logger.

Basınç sensörleri maliyetleri yüksek olduğundan dolayı yapılan test çalışması için sadece bir adet satın alındı. Namlu üzerinde önemli iki bölge için iki farklı noktadan basınç ölçümü yapıldı. Basınç sensörü bir adet olduğundan dolayı basınç ölçümü yapılmayan diğer deliklerden test esnasında gaz kaçağı meydana gelmemesi için plastik alyan vida ile kapatıldı. Bu sayede sistemde herhangi bir gaz kaçağı olmadı ve sorunsuz bir şekilde ölçüm yapıldı. Şekil 5.26'da basınç sensörü namlusu görülmektedir. Namlu üzerindeki basınç deliklerinden biri açık diğeri plastik alyan başlı vida ile kapatıldı.



Şekil 5.26. Basınç sensörü namlusu.

Test sisteminde kullanılan basınç sensörü ve data logger'ın teknik özellikleri aşağıdaki gibidir;

Basınç sensörü aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Ölçüm aralığı 0-6000 bar.
- Kalibre edilmiş kısmi aralık 0-600 bar.
- Aşırı yükleme 6600 bar.
- Hassasiyet -1,4 pC(piko coulomb)/bar.
- Tepki süresi 1 μ s.
- Çalışma sıcaklığı (-50) - 200°C dir.

Data logger aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Tek kanallı şarj amplifikatörü.
- Piezotron® girişi (isteğe bağlı).
- Ölçü-atlama telafisi.
- Sıvı kristal ekran (128x128 piksel)
- Menü odaklı işlem.
- Doğrudan sinyal değerlendirmesi.
- Yüksek geçiş ve düşük geçiş filtrelerinin esnek ayarı.

5.5.3. Yük hücresi (load cell)

Test sisteminde anlık olarak gelen aşırı yüklere dayanıklı yük hücresi kullanıldı. Atış esnasında kullanıcının omzuna etki eden geri tepme yükünü sorunsuz bir şekilde ölçmek için yük hücresi tüfeğin dipçik kısmına monte edildi. Bağlantı kablosuyla yük hücresinden alınan veri ağırlık vericisinde (weight transmitter) işlenerek kullanılabilir hale getirildi.

-Yük hücresi ve ağırlık vericisinin kurulumu tüfeğin dipçik kısmına yapıldı (Şekil 5.27). Şekil 5.28'de ağırlık vericisi görülmektedir.

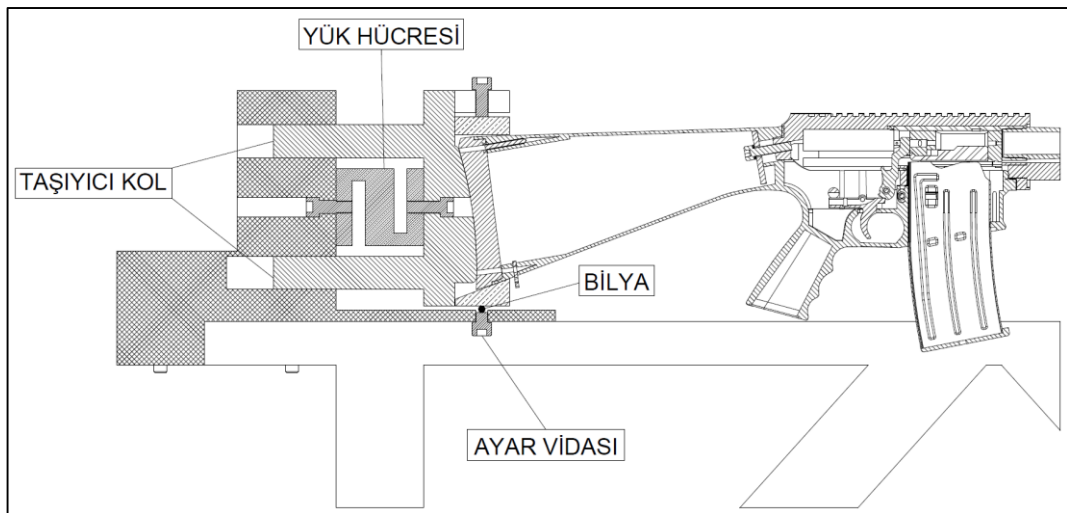


Şekil 5.27. Yük hücresi ve ağırlık vericisinin sistem üzerinde görünümü.



Şekil 5.28. Ağırlık vericisi

Yük hücresinin hasar görmemesi ve yük hücresine yükün eksenel bir şekilde iletilmesi için test sistemi üzerine taşıyıcı kollar eklendi. Ayar vidası sayesinde yük hücresi sabitleme sistemi aşağı yukarı hareket ettirilerek av tüfeğinden gelen yük sorunsuz bir şekilde yük hücresine aktarıldı. Şekil 5.29’da yük hücresi sabitleme sistemi görülmektedir.



Şekil 5.29. Yük hücresi sabitleme sistemi.

Test sisteminde kullanılan yük hücresi ve ağırlık vericisinin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir;

S tipi yük hücresi aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Kapasite 50 kgf.
- Tam yükte çıkış voltajı 2,0 mV/V.
- Giriş direnci 430 ohm.
- Çıkış direnci 350 ohm.

Ağırlık vericisi aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- 6 hane gösterge ve üzerinden ayar tuşları.
- Teorik kalibrasyon imkanı.
- A/D çevrim hızı 300çevrim/sn.
- İç çözünürlük 24 bit.
- Analog çıkış.
- I-out: 0-20 mA, 4-20 mA.
- V-out: 0-10 V, 0-5 v.

5.5.4. İvme sensörü

Test sisteminde yüksek basınca dayanıklı 3 eksenli piezo-elektrik ivme sensörü kullanıldı. İvme sensörü tüfeğin kasasına özel bir aparat sayesinde sabitlendi. İvme sensöründen alınan veriler bağlantı kablosu ile bir sinyal amplifikatörüne iletilti. Sinyal amplifikatöründen alınan verileri Matlap da hazırlanan programa (Şekil 5.23) ileterek kullanılabilir hale getirildi. İvme sensöründen alınan verilerle yük hücresinden alınan verileri karşılaştırarak geri tepme yükünün doğruluğu kontrol edildi.

-İvme sensörü tüfeğin üst kısmına özel bir aparatla sabitlendi(Şekil 5.30).



Şekil 5.30. İvme sensörünün sistem üzerinde görünümü.

5.5.5. Hız ölçer

Test sisteminde namlu çıkış hızını ölçmek için yüksek hassasiyete sahip Chrony marka kronograf hız ölçer kullanıldı. Hız ölçeri namlu dan 1,5 metre mesafede olacak şekilde konumlandırıldı. Bağlantı kablosuyla alınan verileri veri işleme ekranına aktararak kullanılabilir hale getirildi (Şekil 5.31). Şekil 5.32’de kronograf hız ölçer görülmektedir.



Şekil 5.31. Hız ölçer veri işleme ekranı.

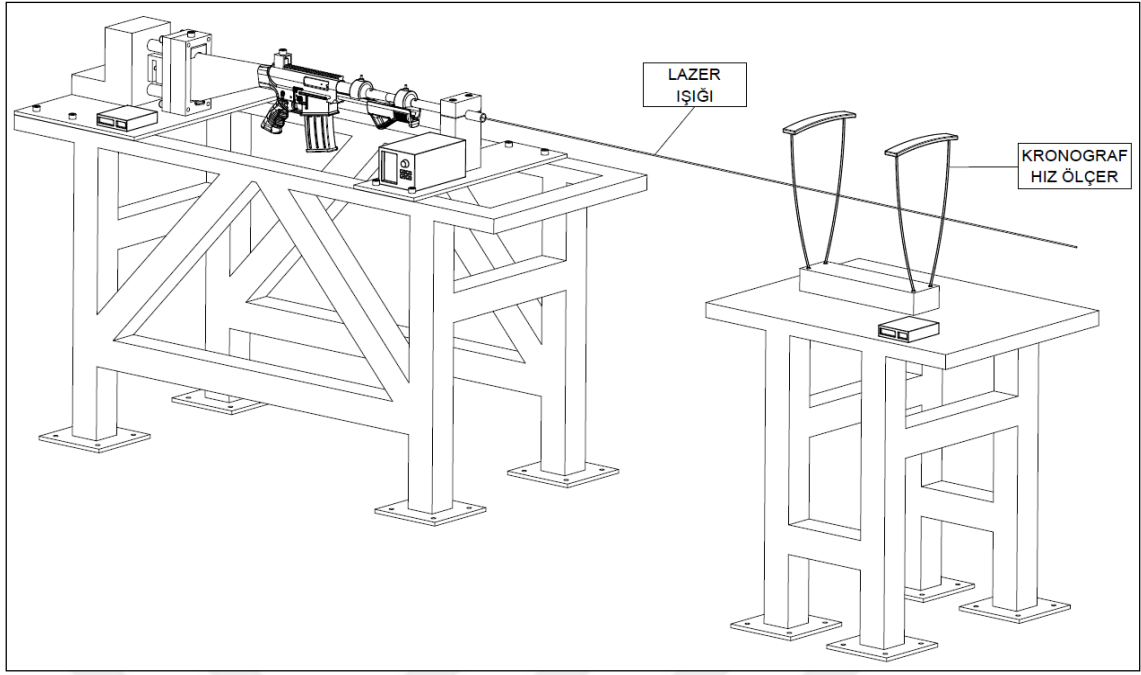


Şekil 5.32. Kronograf hız ölçer.

Hız ölçerin sağlıklı ölçüm yapması için fişek hız ölçerin tam merkezinden geçmelidir. Hız ölçeri test sistemine monte ederken hız ölçerin merkezini tespit etmek için namlu içi sıfırlama lazeri (şekil 5.33) kullanıldı. İlk olarak sıfırlama lazeri namlu fişek yatağına konuldu ve lazer aktif hale getirildi. Daha sonra lazer ışığı hız ölçerin tam merkezinden geçecek şekilde konumlandırıldı. Şekil 5.34'te sıfırlama işlemi görülmektedir.



Şekil 5.33. Sıfırlama lazeri.



Şekil 5.34. Sıfırlama işlemi.

Hız ölçerden elde edilen namlu çıkış hızı verisi Vallier-Heydenreich balistik denkleminde kullanılarak namlu ağzı çıkış basıncı hesaplandı.

Test sisteminde kullanılan hız ölçerin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir;

Hız ölçer aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Ölçüm aralığı 10-2134 m/s.
- Çalışma sıcaklığı 0-43°C.
- Depolama sıcaklığı (-10)-50°C.
- Doğruluk oranı %99,5.

Test sehpasına yukarıda bahsedilen ekipmanlar montaj edilerek test sistemi atışa hazır hale getirildi. Test atışları herhangi bir canlıya zarar vermeyecek şekilde gerekli güvenlik önlemleri alınarak, gerekli kişisel koruyucu donanım kullanılarak güvenli bir alanda atışlar yapıldı.

5.6. Analitik Hesaplamalar

Bu bölümde ivme sensörü, gerinim ölçer, geri tepme yükü hesaplamaları ve Vallier-Heydenreich balistik hesaplamaları hakkında bilgi verildi

5.6.1. İvme sensörü hesaplamaları

Test sisteminde ivme sensöründen elde edilen veriler g (yer çekimi kuvveti) cinsindendir. Bu verileri aşağıdaki denklemler kullanarak geri tepme yükü hesaplanır.

$$F = m \times a \quad (5.1)$$

Burada m cismin kütlesi (kilogram), F cisme etki eden kuvvet (Newton), a cismin ivmesi (m/s²) olarak ifade edilir.

a= (ivme sensöründen ölçülen veri) x g (yer çekimi kuvvetidir)

Denklemden değerler yerlerine yazılarak geri tepme yükü hesaplanır.

Örnek hesaplama:

Testlerde kullanılan YAF marka 34 gr 1200 bar basınca sahip fişekte ivme sensöründen elde edilen veri: 0,16 g,

Tüfeğin ağırlığı: 2,92 kg (Gerinim ölçer namlusu takılı iken tüfeğin ağırlığı),

a= 0,16 x 9,81 = 1,5696'dır.

F= 2,92 x 1,5696 = 4,58 kgf'dır.

Geri tepme yükü 4,58 kgf'dır.

5.6.2. Gerinim ölçer hesaplamaları

Test sisteminde gerinim ölçerlerden elde edilen veriler volt cinsindendir. Bu verileri aşağıdaki denklem kullanarak strain (gerinim) değeri hesaplanır. Burada kullanılan denklem gerinim ölçer kullanım kılavuzundan alınmıştır

$$\varepsilon = \frac{2 \times V_o}{2100} \quad (5.2)$$

ε: Gerinim (strain) değeri, Vo: Veri toplama yazılımında okuduğumuz değer (volt) olarak ifade edilir.

Örnek:

Vo: 0,002594 volt,

ε = 2 x (0,002594) / 2100 = 2,47x10⁻⁶ ε dur.

5.6.3. Geri tepme yükü hesaplama

Test sisteminde elde edilen geri tepme yüklerinin doğruluğunu kontrol etmek için dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan SAAMI (Sporting Arms and Ammunition Manufacturers Institute) tarafından geliştirilen denklem kullanıldı.

$$FRE = \left(\frac{W_F}{64,34} \right) \left(\frac{W_E V_E + W_{PC} V_{PG}}{7000 W_F} \right)^2 \quad (5.3)$$

FRE: Geri tepme yükü (pound foot) ,

We: Mühimmatın toplam ağırlığı (grain) ,

Wf: Tüfeğin ağırlığı (pound) ,

Wpc: Barut ağırlığı (grain) ,

Ve: Namlu çıkış hızı (fps) ,

Yüksek güçlü tüfekler için $V_{pg} = 1.75 \times V_e$

Ortalama uzunluktaki av tüfekleri için $V_{pg} = 1.50 \times V_e$

Uzun Av tüfekleri için $V_{pg} = 1.25 \times V_e$

Tabanca ve revolver için $V_{pg} = 1.50 \times V_e$ dir.

Örnek hesaplama 1:

Testlerde kullanılan YAF marka 34 gr 1200 bar basınca sahip fişegin geri tepme yükü hesaplandı.

$W_f = 2,92 = 6,44$ pound, $W_e = 36$ gram = 555,56 grain, $W_{pc} = 2$ gram = 30,86 grain

$V_e = 450,4$ m/s = 1477 fps (1200 bar basınca sahip fişek değeri)

$V_{pg} = 1,50 \times 1477 = 2215,5$ fps

Yukarıdaki değerler denklemde yerine yazılıp denklem çözüldüğünde,

$FRE = 38,48$ ft-lb = 5,32 kg bulunur.

1 lb-ft = 0.13825 kg

Test atışlarında 1200 bar basınca sahip fişeklerden elde edilen geri tepme yükü 4,92 kg dir. Yukarıdaki hesaplardan elde edilen geri tepme yükü 5,32 kg dir. Test sisteminde elde edilen veri ile hesaplanan veri %92 oranında uyum göstermektedir.

Örnek hesaplama 2:

Testlerde kullanılan YAF marka 29 gr 1050 bar basınca sahip fişegin geri tepme yükü hesaplandı.

$$W_f = 2,92 = 6,44 \text{ pound}, W_e = 36 \text{ gram} = 555,56 \text{ grain}, W_{pc} = 1,5 \text{ gram} = 23,14 \text{ grain}$$

$$V_e = 397 \text{ m/s} = 1302 \text{ fps (1050 bar basınca sahip fişek değeri)}$$

$$V_{pg} = 1,50 \times 1302 = 1953 \text{ fps}$$

Yukarıdaki değerler denklemde yerine yazılıp denklem çözüldüğünde,

$$FRE = 29,06 \text{ ft-lb} = 4,01 \text{ kg bulunur.}$$

$$1 \text{ lb-ft} = 0,13825 \text{ kg}$$

Test atışlarında 1050 bar basınca sahip fişeklerden elde edilen geri tepme yükü 3,93 kg dir. Yukarıdaki hesaplamaadan elde edilen geri tepme yükü 4,01 kg dir. Test sisteminde elde edilen veri ile hesaplanan veri %90 oranında uyuşum göstermektedir.

Örnek hesaplama 3:

Testlerde kullanılan YAF marka 28 gr 800 bar basınca sahip fişegin geri tepme yükü hesaplandı.

$$W_f = 2,92 = 6,44 \text{ pound}, W_e = 32 \text{ gram} = 493,83 \text{ grain}, W_{pc} = 1 \text{ gram} = 15,43 \text{ grain}$$

$$V_e = 379,2 \text{ m/s} = 1244 \text{ fps (800 bar basınca sahip fişek değeri)}$$

$$V_{pg} = 1,50 \times 1244 = 1866 \text{ fps}$$

Yukarıdaki değerler denklemde yerine yazılıp denklem çözüldüğünde,

$$FRE = 20,33 \text{ ft-lb} = 2,81 \text{ kg bulunur.}$$

$$1 \text{ lb-ft} = 0,13825 \text{ kg}$$

Test atışlarında 800 bar basınca sahip fişeklerden elde edilen geri tepme yükü 2,75 kg dir. Yukarıdaki hesaplamaadan elde edilen geri tepme yükü 2,81 kg dir. Test sisteminde elde edilen veri ile hesaplanan veri %97 oranında uyuşum göstermektedir.

5.6.4. Vallier-Heydenreich balistik hesaplamaları

Ateşli silahlarda kullanılmak üzere Heydenreich, piezometrik verime bağlı olarak bazı denklemler geliştirdi. Bu denklemler bir silahta kullanılabilmesi için namlu çapı, namlu boyu, ilk hız, mermi kütlesi ve barut kütlesi bilinmelidir (Öztörün, 2013).

- Ortalama gaz basıncı:

$$P_0 = \left(\frac{m_P + 0.5m_B}{2x_e A} \right) U_0^2 \quad (5.4)$$

- Piezometrik verim:

$$\eta_p = \frac{P_0}{P_m} \quad (5.5)$$

- Namlu ağzı basıncı:

$$P_e = P_0 \pi(\eta) \quad (5.6)$$

Denklemlerde kullanılan:

Mp: Mermi ağırlığı (kg), Mb: Barut ağırlığı (kg), U: Namlu çıkış hızı (m/s),

Xe: Namlu boyu (metre), A: Namlu delik alanı (m²),

Pm: Namlu içi maksimum basınçtır.

$\Pi(\eta)$ ve $T(\eta)$ sabitleri piezometrik verim değerine göre tablo 5.5'te bulunur ve denklemlerde yerine konur.

Tablo 5.5. Heydenreich balistik tablosu (Öztörün, 2013).

η	$\Sigma(\eta)$	$\theta(\eta)$	$\Phi(\eta)$	$\Pi(\eta)$	$T(\eta)$
0.20	0.0262	0.150	0.322	0.274	0.744
0.25	0.0360	0.196	0.337	0.306	0.792
0.30	0.0471	0.246	0.352	0.338	0.842
0.35	0.0597	0.300	0.367	0.368	0.893
0.40	0.0740	0.358	0.383	0.400	0.946
0.45	0.0903	0.420	0.399	0.432	1.000
0.50	0.1090	0.487	0.416	0.465	1.056
0.55	0.132	0.560	0.435	0.501	1.116
0.60	0.160	0.642	0.457	0.541	1.180
0.65	0.192	0.734	0.482	0.585	1.249
0.70	0.231	0.835	0.511	0.635	1.322
0.75	0.283	0.958	0.546	0.697	1.406
0.80	0.360	1.115	0.592	0.779	1.507

Örnek hesaplama:

Test atışlarında kullanılan 1200 bar basınca sahip fişğin değerleri kullanılarak ortalama gaz basıncı, piezometrik verim, namlu ağzı basıncını hesaplanırsa;

Mermi ağırlığı M_p : 34 gr, Namlu çapı: 18,40 mm, Barut ağırlığı M_b : 1,5 gr

Namlu çıkış hızı U : 450 m/s, Namlu boyu X_e : 50 cm, Namlu delik alanı: 0,0002659044 m², Maksimum basınç P_m : 1200 bardır.

- Ortalama gaz basıncı:

$$P_0 = \left(\frac{m_p + 0.5m_b}{2x_e A} \right) U_0^2$$

Denklemden veriler yerlerine yazılıp denklem çözüldüğünde,

$P_0 = 20,45 \text{ Mpa} = 204,5 \text{ bar}$ olarak hesaplanır.

- Piezometrik verim:

$$\eta_p = \frac{P_0}{P_m}$$

Denklemden veriler yerlerine yazılıp denklem çözüldüğünde,

$\eta_p = 0,22$ olarak bulunur.

- Namlu ağzı basıncı:

$$P_e = P_0 \pi(\eta)$$

$\Pi(\eta)$ değeri tablo 5.5 den 0,22 verimi karşılık gelen değer 0,274 olarak kabul edilir.

Denklemden veriler yerlerine yazılıp denklem çözüldüğünde,

$P_e = 4,5 \text{ bar}$ olarak bulunur (namlu ağzı basıncı).

5.6.5. Eğri uydurma yöntemi (curve fitting)

Lineer olmayan eğrilerin grafiklerini oluşturmak ve ara değerlerini hesaplamak araştırmacıların karşılaştığı problemlerdendir. Bu problemin çözümü için farklı yaklaşımlar olmasına karşın; yalınlık ve pratikliğinden ötürü Matlab programında eğri uydurma yöntemi kullanıldı.

Örnek hesaplama:

Eğri uydurma yöntemi kullanılarak gerinim ölçer 1 bölgesinde oluşan gerilme ve basınç değeri hesaplandı.

Grafik 5.1’de;

-x girdileri namluda alınan yol(mm)

-y girdileri basınç (MPa) olmak üzere ,

$x=[0, 70, 93.6, 241, 500]$ $y=[0, 120, 50, 22.5, 4.5]$

figürasyon için Matlab kodu :

$n=1000^*$

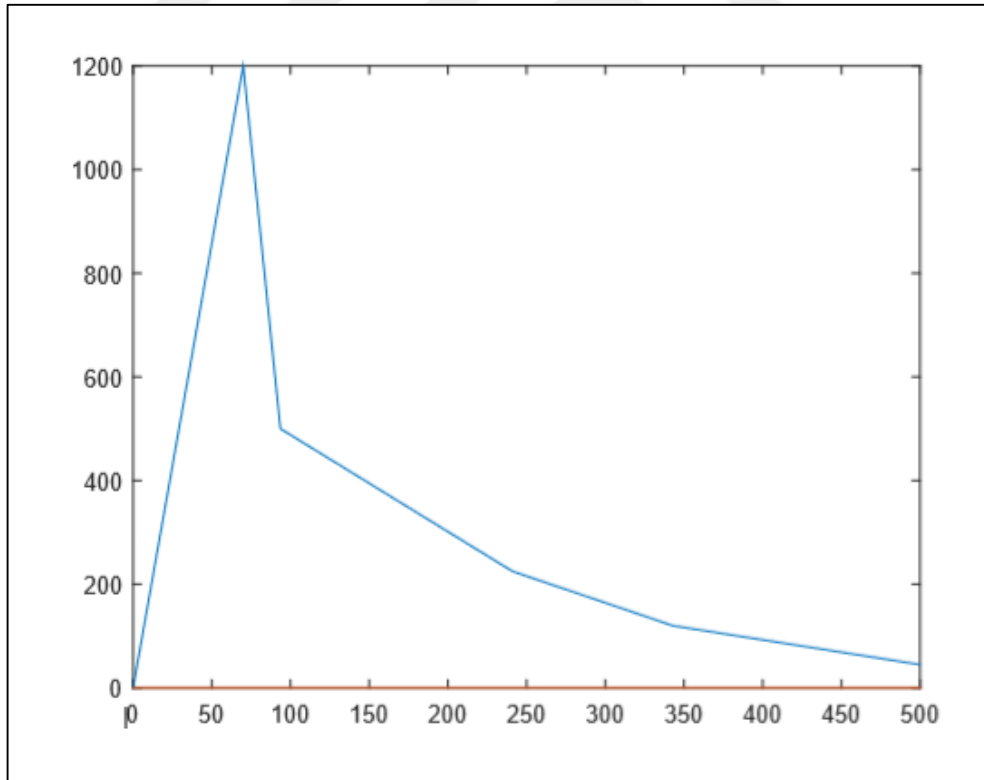
$p=polyfit(x,y,n)$

$y_{model}=polyval(p,x)$

$plot(x,y,x,y_{model})$

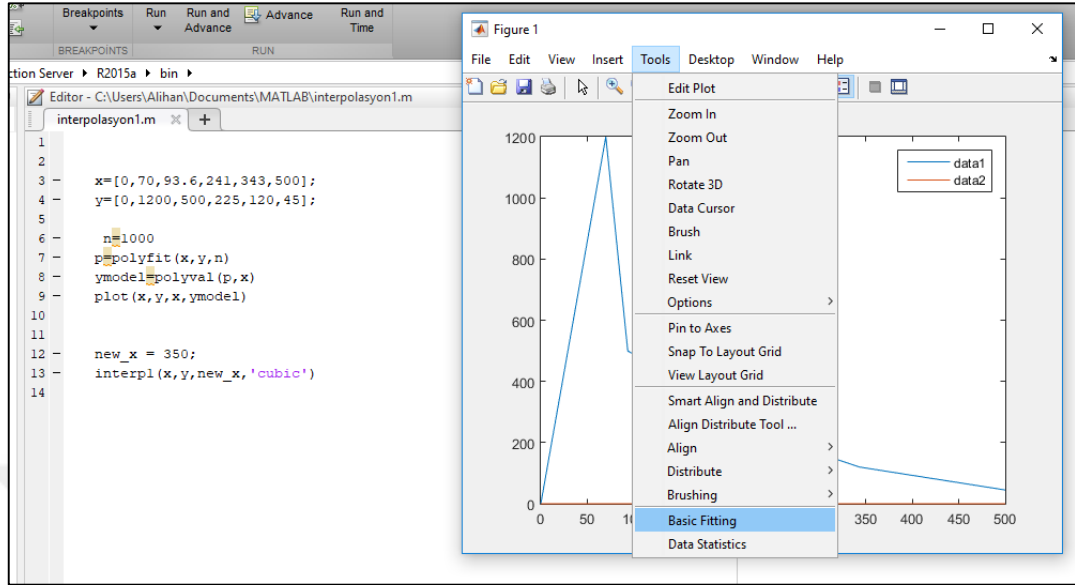
*1000 spesifik bir sayı değildir

(‘n’ yi olabildiğince büyük seçmek optimum veri için gereklidir.)



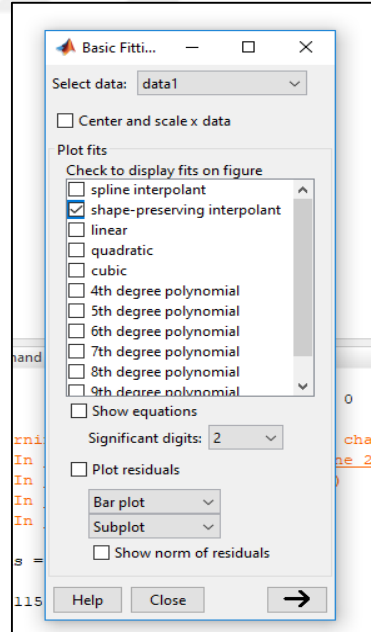
Grafik 5.1. Namlu içi basıncın merminin konumuna göre lineer değişimi.

Keskin kenarlı grafiği eğriye çevirmek için 'tool' menüsünden 'basic fitting' komutu kullanılır (Şekil 5.35).



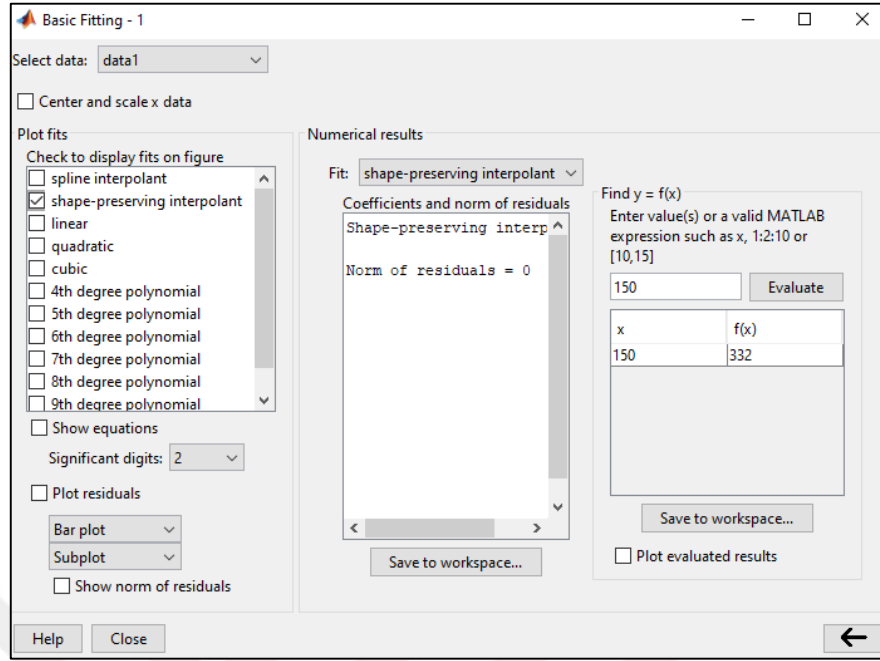
Şekil 5.35. Matlab tools menüsü.

Plot fits seçeneklerinden shape-preserving interpolant seçildi (Şekil 5.36).



Şekil 5.36. Matlab plot fits menüsü.

Bulunması istenilen değer 'evluate' ile hesaplanır (Şekil 5.37).



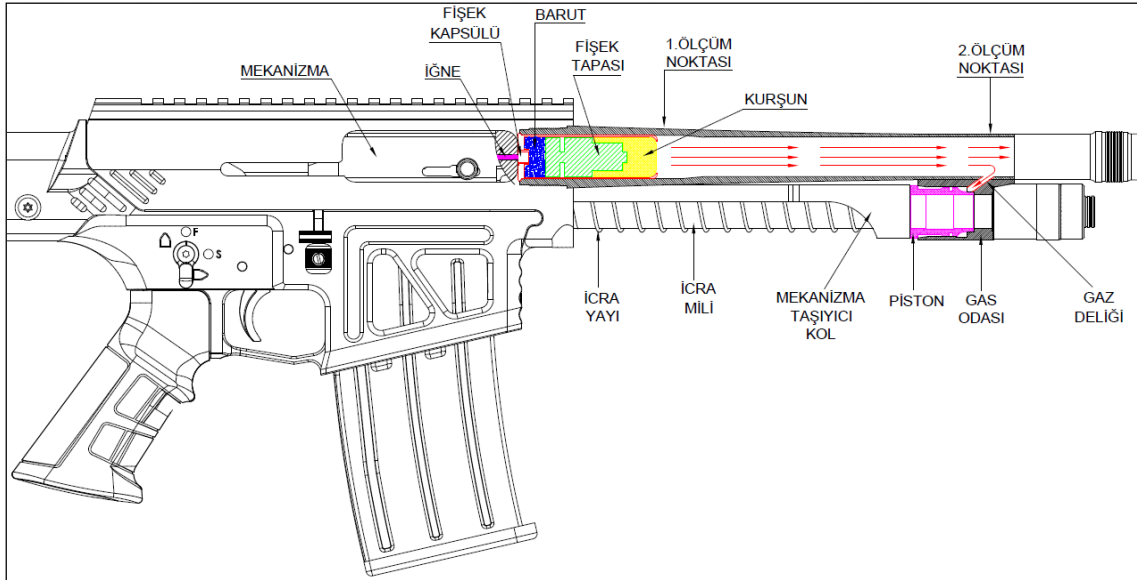
Şekil 5.37. Matlab hesaplama menüsü.

Matlab'ta eğri uydurma yöntemi kullanılarak gerinim ölçer 1 konumuna gelen basınç değeri 12 bar olarak hesaplandı.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

6.1. Test Atışları

Yanma odası basıncı fişegin ateşlenmesinden sonra namlu iç kısmına fişek tarafından iletilen basınçtır. Gaz deliklerindeki basınç ise yarı otomatik av tüfeklerinde çalışma sistemine gerekli olan basıncı aktaran, genellikle namlu orta kısmında konumlu bulunan gaz odası üzerinde bulunan delikleri ifade etmektedir. Gaz delikleri fişek ateşlenmesinden sonra namlu içerisindeki basıncı av tüfeğinin mekanizma sistemine aktarmaktadır.



Şekil 6.1. Av Tüfeği İç Kısım Detayı.

Test sisteminde sırasıyla 800 bar, 1050 bar, 1200 barlık fişeklerle test atışları yapıldı. Test atışlarında tüfeğin yanma odasındaki basıncı (1.ölçüm noktası), yarı otomatik av tüfeğinin mekanizma sistemini çalıştıran gaz deliklerindeki basınç (2.ölçüm noktası), namlu çıkış hızı ve geri tepme yükleri elde edildi.

Yukarıda bahsedilen fişeklerin her birinden basınç ölçümü için 5 adet, gerilim ölçümü için 5 adet olmak üzere toplam 10 adet atış yapılarak veriler toplandı. Atışlar esnasında namlunun soğuması ve sensörlerin tekrar hassas ölçüm yapabilmesi için her bir atış arası 4-6 dakika beklendi.

6.2. Test Sonuçları

Test atışları sonucu elde edilen veriler aşağıdaki gibidir.

6.2.1. Basınç ve namlu çıkış hızı ölçüm sonuçları

Test sisteminde üç farklı fişekle atışlar yapılarak basınç ve namlu çıkış hızı ölçüldü. Ölçüm sonuçlarından aşağıda tablolarda detaylı olarak bahsedildi.

- 800 bar fişekle test atışları yapılmış olup yanma odası basıncı, gaz deliklerindeki basınç ve namlu çıkış hızı verileri aşağıdaki gibidir (Tablo 6.1).

Tablo 6.1. YAF Marka 28 Gr 800 bar fişekle basınç ve namlu çıkış hızı sonuçları.

Atış No	Fişek Basıncı (Bar)	Yanma Odasındaki Basınç (Bar)	Gaz Deliklerindeki Basınç (Bar)	Namlu Çıkış Hızı (m/s)
1	800	310	146	381
2	800	290	123	378
3	800	285	134	382
4	800	302	138	378
5	800	289	143	377
Yanma odası basınç ortalaması: $295,2 \pm 10$ Bar				
Gaz deliklerindeki basınç ortalaması: $136,8 \pm 10$ Bar				
Namlu çıkış hızı ortalaması: $379,2 \pm 3$ m/s				

- 1050 bar fişekle test atışları yapılmış olup yanma odası basıncı, gaz deliklerindeki basınç ve namlu çıkış hızı verileri aşağıdaki gibidir (Tablo 6.2).

Tablo 6.2. YAF Marka Speed Slug 29 Gr 1050 bar fişekle basınç ve namlu çıkış hızı sonuçları.

Atış No	Fişek Basıncı (Bar)	Yanma Odasındaki Basınç (Bar)	Gaz Deliklerindeki Basınç (Bar)	Namlu Çıkış Hızı (m/s)
1	1050	410	156	395
2	1050	374	142	398
3	1050	398	148	398
4	1050	395	150	397
5	1050	385	158	398
Yanma odası basınç ortalaması: $392,4 \pm 10$ Bar				
Gaz deliklerindeki basınç ortalaması: $150,8 \pm 10$ Bar				
Namlu çıkış hızı ortalaması: $397,2 \pm 3$ m/s				

- 1200 bar fişekle test atışları yapılmış olup yanma odası basıncı, gaz deliklerindeki basınç ve namlu çıkış hızı verileri aşağıdaki gibidir (Tablo 6.3).

Tablo 6.3. YAF Marka Sürsajlı 34 Gr 1200 bar fişekle basınç ve namlu çıkış hızı sonuçları.

Atış No	Fişek Basıncı (Bar)	Yanma Odasındaki Basınç (Bar)	Gaz Deliklerindeki Basınç (Bar)	Namlu Çıkış Hızı (m/s)
1	1200	423	210	445
2	1200	427	205	452
3	1200	438	223	448
4	1200	450	198	452
5	1200	432	208	455

Yanma odası basınç ortalaması: 434 ± 15 Bar

Gaz deliklerindeki basınç ortalaması: $208,8 \pm 15$ Bar

Namlu çıkış hızı ortalaması: $450,4 \pm 5$ m/s

Yanma odası basıncı fişegin ateşlenmesinden sonra namlu iç kısmına fişek tarafından iletilen basınçtır. Gaz deliklerindeki basınç ise yarı otomatik av tüfeklerinde çalışma sistemine gerekli olan basıncı aktaran, genellikle namlu orta kısmında konumlu bulunan gaz odası üzerinde bulunan delikleri ifade etmektedir. Gaz delikleri fişek ateşlenmesinden sonra namlu içerisindeki basıncı av tüfeğinin mekanizma sistemine aktarmaktadır.

Av tüfekleri, av fişeginin ateşlenmesi sonucu ortaya çıkan ısı enerjisini hareket enerjisine çeviren mekanik sistemlerdir. Her mekanik sistemde olduğu gibi av tüfeklerinde de enerji kayıpları mevcuttur. Bu kayıplar sürtünme kayıpları, ısı transferi ve gaz ataletidir.

Yanma odasındaki basınç değerleri incelendiğinde kullanılan mühimmatın basınç değerinin %35 lik kısmı aktarıldığı görülmüştür. %65 lik basınç kaybı söz konusudur. Gaz deliklerindeki basınç değerleri incelendiğinde kullanılan mühimmatın basınç değerinin %17 lik kısmı aktarıldığı görülmüştür. %83 lük basınç kaybı söz konusudur. Bu basınç kayıpları; av tüfeği mekanizma sisteminin yarı otomatik çalışması için gerekli olan basınç değerine ulaşmaya kadar meydana gelen kayıplardır.

Testler sonucu elde edilen namlu çıkış hızı analitik hesaplamalarda kullanılmaktadır. Bundan dolayı bu parametrenin doğru olarak ölçülmesi çok önemlidir.

Yukarıda tablolarda (Tablo 6.1, Tablo 6.2, Tablo 6.3) görüldüğü üzere fişek basıncı artıkça yanma odası basıncı, gaz deliklerindeki basınç ve namlu çıkış hızı doğru orantılı olarak artmaktadır.

6.2.2. Geri tepme ölçüm sonuçları

Test sisteminde üç farklı fişekle atışlar yapılarak geri tepme verileri ölçüldü. Geri tepme verileri üç farklı metotla hesaplandı. Birincisi ivme sensöründen alınan veriler, ikincisi yük hücresinden alınan veriler, sonuncusu ise analitik olarak denklem 5.3 kullanılarak tepme değeri hesaplandı. İvme sensöründen alınan veriler (Tablo 6.4) denklem 5.1’de yerine konularak geri tepme yükü hesaplandı. Ölçüm sonuçlarından aşağıda tablolarda detaylı olarak bahsedildi.

Tablo 6.4 İvme sensörü sonuçları.

Atış No	Fişek Basıncı (Bar)	İvme Sensörü Değeri (g)	Fişek Basıncı (Bar)	İvme Sensörü Değeri (g)	Fişek Basıncı (Bar)	İvme Sensörü Değeri (g)
1	800	0,089	1050	0,119	1200	0,179
2	800	0,079	1050	0,159	1200	0,159
3	800	0,084	1050	0,139	1200	0,175

- 800 bar fişekle test atışları yapılmış olup ivme sensörü ve yük hücresinden alınan veriler aşağıdaki gibidir (Tablo 6.5).

Tablo 6.5 YAF Marka 28 Gr 800 bar fişekle geri tepme ölçüm sonuçları.

Atış No	Fişek Basıncı (Bar)	İvme Sensörü Değeri (kgf)	Yük Hücresi Değeri (kgf)
1	800	2,57	2,72
2	800	2,29	2,66
3	800	2,43	2,85
İvme sensörü ortalaması: 2,43 kgf			
Yük hücresi ortalaması: 2,75 kgf			

- 1050 bar fişekle test atışları yapılmış olup ivme sensörü ve yük hücresinden alınan veriler aşağıdaki gibidir (Tablo 6.6).

Tablo 6.6. YAF Marka Speed Slug 29 Gr 1050 bar fişekle geri tepme ölçüm sonuçları.

Atış No	Fişek Basıncı (Bar)	İvme Sensörü Değeri (kgf)	Yük Hücresi Değeri (kgf)
1	1050	3,43	3,98
2	1050	4,58	3,75
3	1050	4,01	3,86
İvme sensörü ortalaması: 4,00 kgf			
Yük hücresi ortalaması: 3,86 kgf			

- 1200 bar fişekle test atışları yapılmış olup ivme sensörü ve yük hücrelerinden alınan veriler aşağıdaki gibidir (Tablo 6.7).

Tablo 6.7. YAF Marka Sürsajlı 34 Gr 1200 bar fişekle geri tepme ölçüm sonuçları.

Atış No	Fişek Basıncı (Bar)	İvme Sensörü Değeri (kgf)	Yük Hücresi Değeri (kgf)
1	1200	5,15	5,18
2	1200	4,58	4,63
3	1200	5,03	4,76
İvme sensörü ortalaması: 4,92 kgf			
Yük hücresi ortalaması: 4,85 kgf			

- Geri tepme yükünün basınca göre değişimi aşağıdaki gibidir (Tablo 6.8).

Tablo 6.8. Geri tepme yükünün basınca göre değişimi.

Fişek Basıncı (Bar)	İvme Sensörü Değeri (kgf)	Yük Hücresi Değeri (kgf)	Analitik hesaplamalar (kgf)
1200	4,92	4,85	5,32
1050	4	3,86	4,01
800	2,43	2,75	2,81

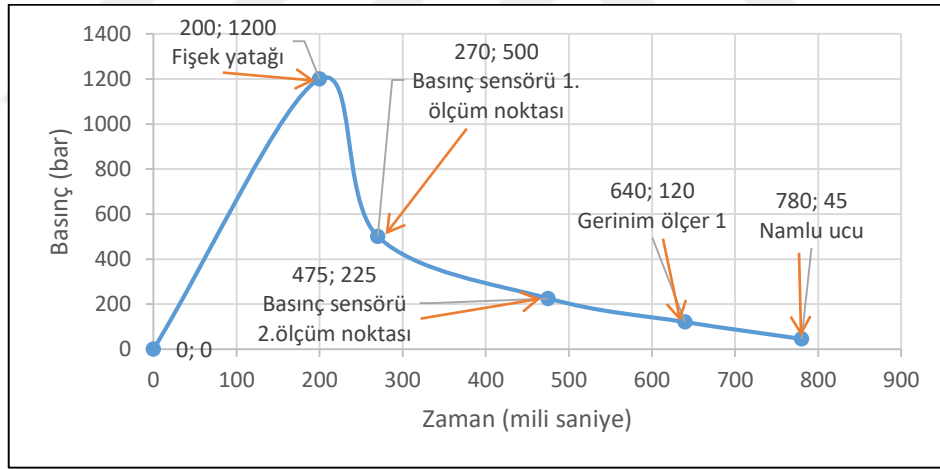
Yukarıda tablolarda görüldüğü üzere fişek basıncı arttıkça geri tepme yüküde doğru orantılı olarak artmaktadır. İvme sensörü ve yük hücrelerinden alınan verilerle analitik hesaplamalar farklılık gösterse de, ivme sensörü ve yük hücresi verileri ile analitik hesaplamalar arasında %95 oranında uyum görülmektedir.

Geri tepme yükü bir silah tasarımında bilinmesi gereken önemli parametrelerden bir tanesidir. Çünkü seri atışlarda kullanıcı omzuna sürekli ve aksel olmayan yükler gelmektedir. Bunun sonucunda kullanıcı omzunda morarmalar ve yaralanmalar meydana gelmektedir. Silah tasarımında geri tepme yükü göz önünde bulundurularak ergonomik ve konforlu dipçikler tasarlanarak bu yaralanmaların önüne geçilmektedir.

6.2.3. Sonuç Grafikleri

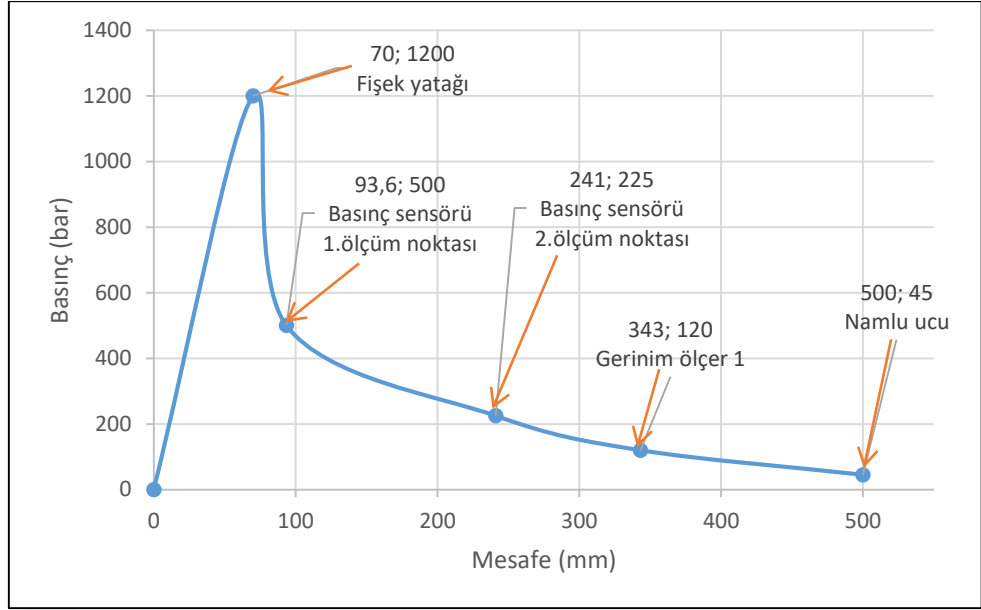
Hazırlanan test sistemden alınan verilere göre hazırlanan grafikler aşağıdaki gibidir.

- 1200 bar basınca sahip fişekle yapılan atışlarda namlu içi basıncın zamana göre değişimi grafik 6.1’de görülmektedir. Yatay eksen patlama sonrası zaman değişimini, dikey eksen ise namlu içi basıncın değişimini göstermektedir. Namlu içi zaman değişiminin nasıl hesaplandığı Bölüm 6.3.1’de detaylı olarak anlatılmıştır.



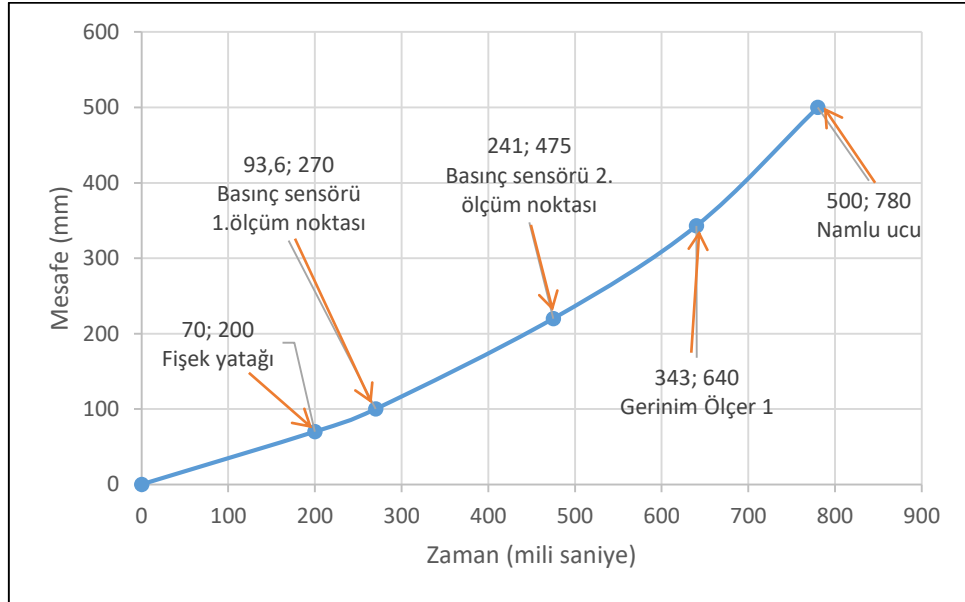
Grafik 6.1. Namlu içi basıncın zamana göre değişimi.

- 1200 bar basınca sahip fişekle yapılan atışlarda namlu içi basıncın merminin konumuna göre değişimi grafik 6.2’de görülmektedir. Yatay eksen patlama anından merminin namlu içerisinde aldığı mesafeyi, dikey eksen ise namlu içi basıncın değişimini göstermektedir. Patlama anından sonra basınç hızlı bir şekilde artmakta daha sonra namlu ucuna doğru düzenli bir şekilde azalmaktadır.



Grafik 6.2. Namlu içi basıncın merminin konumuna göre değişimi.

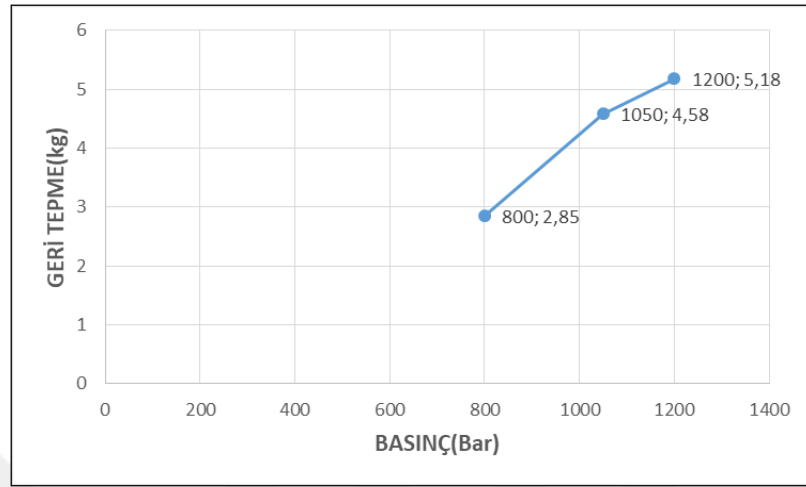
- Mermi konumunun zamana göre değişimi grafik 6.3'te görülmektedir. Yatay eksen patlama sonrası zaman değişimini, dikey eksen ise merminin namlu içerisinde kat ettiği mesafeyi göstermektedir. Patlama anından sonra mermi namlu içerisinde hızlı bir şekilde mesafe kat etmektedir.



Grafik 6.3. Mermi konumunun zamana göre değişimi.

Geri tepme yükünün basınca göre değişimi grafik 6.4'te görülmektedir. Yatay eksen av fışeği basınç değerlerini, dikey eksen ise geri tepme yükünü göstermektedir. Grafikte 800, 1050 ve 1200 barla oluşan geri tepme yükleri

sırasıyla 2,85 kg, 4,58 kg, 5,18 kg olarak gerçekleşmiştir. Grafikten görüldüğü üzere basınç artıkça geri tepme yüküde artmaktadır



Grafik 6.4. Geri tepme yükünün basınca göre değişimi.

6.2.4. Gerinim ölçer ölçüm sonuçları

Test sisteminde üç farklı fişekle atışlar yapılarak geri tepme verileri ölçüldü.

- 800 bar fişekle test atışları yapılmış olup gerinim ölçerlerden alınan verilerle bu verilerin denklem 5.2'ye göre hesaplanan gerinim (E) değerleri tablo 6.9'da görülmektedir.

Tablo 6.9 YAF Marka 28 Gr 800 bar fişekle gerinim sonuçları.

Atış no	Gerinim ölçer 1 (volt)	E (µε)	Gerinim ölçer 2 (volt)	E (µε)	Gerinim ölçer 3 (volt)	E (µε)	Gerinim ölçer 4 (volt)	E (µε)
1	0,001981	1,8866667	0,001998	1,9028571	0,001961	1,867619	0,001966	1,872381
2	0,001994	1,8990476	0,001991	1,8961905	0,001978	1,8838095	0,001992	1,8971429
3	0,001965	1,8714286	0,001978	1,8838095	0,001972	1,8780952	0,001994	1,8990476
4	0,001985	1,8904762	0,001985	1,8904762	0,001965	1,8714286	0,001985	1,8904762
5	0,001975	1,8809524	0,001988	1,8933333	0,00196	1,8666667	0,001964	1,8704762

Gerinim ölçer 1 ortalaması: $1,88 \mu\epsilon \pm 0,01 \mu\epsilon$
Gerinim ölçer 2 ortalaması: $1,89 \mu\epsilon \pm 0,01 \mu\epsilon$
Gerinim ölçer 3 ortalaması: $1,87 \mu\epsilon \pm 0,01 \mu\epsilon$
Gerinim ölçer 4 ortalaması: $1,88 \mu\epsilon \pm 0,01 \mu\epsilon$

- 1050 bar fişekle test atışları yapılmış olup gerinim ölçerlerden alınan verilerle bu verilerin denklem 5.2'ye göre hesaplanan gerinim (E) değerleri tablo 6.10'da görülmektedir.

Tablo 6.10. YAF Marka Speed Slug 29 Gr 1050 bar fişekle gerinim sonuçları.

Atış no	Gerinim ölçer 1 (volt)	E (µε)	Gerinim ölçer 2 (volt)	E (µε)	Gerinim ölçer 3 (volt)	E (µε)	Gerinim ölçer 4 (volt)	E (µε)
1	0,002432	2,3161905	0,002421	2,3057143	0,002455	2,3380952	0,002445	2,3285714
2	0,002435	2,3190476	0,002416	2,3009524	0,002464	2,3466667	0,002426	2,3104762
3	0,002433	2,3171429	0,002425	2,3095238	0,002458	2,3409524	0,002419	2,3038095
4	0,002438	2,3219048	0,00241	2,2952381	0,002469	2,3514286	0,002422	2,3066667
5	0,002443	2,3266667	0,002413	2,2980952	0,002462	2,3447619	0,002425	2,3095238

Gerinim ölçer 1 ortalaması: 2,32 µε -0,01 µε
Gerinim ölçer 2 ortalaması: 2,30 µε -0,01 µε
Gerinim ölçer 3 ortalaması: 2,34 µε ± 0,01 µε
Gerinim ölçer 4 ortalaması: 2,31 µε -0,02 µε

- 1200 bar fişekle test atışları yapılmış olup gerinim ölçerlerden alınan verilerle bu verilerin denklem 5.2'ye göre hesaplanan gerinim (E) değerleri tablo 6.11'de görülmektedir.

Tablo 6.11. YAF Marka Sürsajlı 34 Gr 1200 bar fişekle gerinim sonuçları.

Atış no	Gerinim ölçer 1 (volt)	E (µε)	Gerinim ölçer 2 (volt)	E (µε)	Gerinim ölçer 3 (volt)	E (µε)	Gerinim ölçer 4 (volt)	E (µε)
1	0,002598	2,4742857	0,002612	2,487619	0,002575	2,452381	0,002585	2,4619048
2	0,002591	2,467619	0,002601	2,4771429	0,002584	2,4609524	0,002598	2,4742857
3	0,002594	2,4704762	0,002605	2,4809524	0,002573	2,4504762	0,002591	2,467619
4	0,002579	2,4561905	0,002615	2,4904762	0,002564	2,4419048	0,002605	2,4809524
5	0,002581	2,4580952	0,002609	2,4847619	0,002571	2,4485714	0,002594	2,4704762

Gerinim ölçer 1 ortalaması: 2,46 µε ± 0,01 µε
Gerinim ölçer 2 ortalaması: 2,48 µε ± 0,01 µε
Gerinim ölçer 3 ortalaması: 2,45 µε ± 0,01 µε
Gerinim ölçer 4 ortalaması: 2,47 µε ± 0,01 µε

6.3. Analiz Çalışması

Hazırlanan test sisteminden elde edilen veriler ışığında namlu parçası ANSYS analiz programında Response surface optimization (Yanıt yüzeyi optimizasyonu) modülü kullanılarak optimizasyon yapıldı. Parametrik optimizasyon çalışmaları ile namlu tasarımında iyileştirme ve geliştirme yapıldı.

6.3.1. Analiz parametreleri

Hazırlanan test sisteminden elde edilen veriler işlenerek ANSYS analiz programında kullanılabilir hale getirildi.

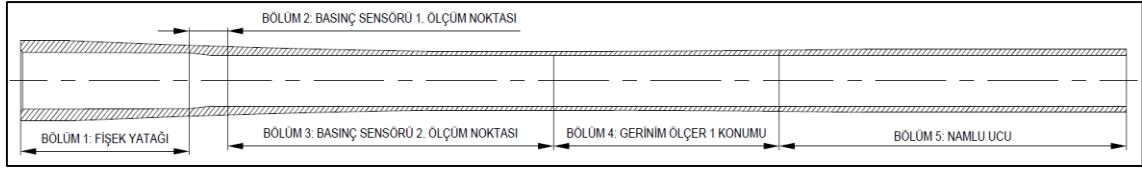
-Namlu malzemesinin kimyasal ve mekanik özellikleri şekil 5.6'dan alınmıştır.

-Basınç verilerinin belirlenmesi: Basınç değerleri 1.ölçüm noktası ve 2. Ölçüm noktasından basınç sensörü vasıtasıyla ölçüm yapılarak elde edilir. Fişek yatağı konumunun basıncı kullanılan fişegin basıncıdır. Fişek basıncı üretici tarafından fişek üzerinde belirtilir. Gerinim ölçer 1 konumundaki basınç grafik 6.1 üzerinde eğri uydurma yöntemi kullanılarak belirlendi. Namlu ucu basıncı ise Vallier-Heydenreich balistik denklemi (denklem 5.6) kullanılarak hesaplandı.

-Mesafe verilerinin belirlenmesi: Mesafe verileri daha önce tasarımı yapılan namlu (Şekil 5.7 – Şekil 5.10) üzerinden ölçüm yapılarak belirlendi.

Zaman verilerinin belirlenmesi: Av tüfeği ateşlendik sonra merminin namlu içindeki hareketine göre süreler belirlendi. İğne fişek kapsülüne vurduktan sonra fişegin yanma süresi, fişek üretici firmadan öğrenildi. Mermi fişek yatağı konumunda iken geçen süre 200 mili saniyedir. Hız ölçer kullanılarak mermi namlu ucuna geldiğinde geçen zaman 780 mili saniye olarak belirlenmiştir. Merminin Birinci ve ikinci basınç ölçüm noktası ve gerinim ölçer 1 konumundaki süreleri grafik 6.3'ten eğri uydurma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Namlu; fişek yatağı, basınç sensörü 1.Ölçüm noktası, basınç sensörü 2.ölçüm noktası, gerinim ölçer 1 konumu ve namlu ucu olmak üzere beş bölgeye ayrılarak basınç değerleri uygulanmıştır. Namlu bölümleri şekil 6.2'de görülmektedir.



Şekil 6.2. Namlu bölümleri.

Analiz çalışmasında kullanılan girdi parametreleri tablo 6.12’de görülmektedir.

Tablo 6.12. YAF Marka Sürsajlı 34 Gr 1200 bar fişekle basınç sonuçları.

Mesafe (mm)	Basınç (Bar)	Zaman (mili saniye)	Bölüm
0	0	0	Sıfır konumu
70	1200	200	Fişek yatağı konumu
93,6	500	270	1. Basınç ölçüm noktası
241	225	475	2. Basınç ölçüm noktası
343	120	640	Gerinim ölçer 1 konumu
500	45	780	Namlu ucu konumu

6.3.2. Analizin hazırlanması ve kabuller

Kabuller;

- Elemanların elastik olması ve gerilmelerin orantı sınırının altında kalması için emniyet katsayısı 1,25-1,65 arasında belirlenmiştir. Namlu modelleme yapılırken yanma odasından namlu ucu 5 farklı aralıklara bölünerek modellenmiştir. Namlu üzerinde belirlenen bölme mesafeleri 5 adımda çözümleme yapılacağından her adım için çözümleme zamanı belirlenerek basınç değerleri girilmiştir.
- Çözümler Transient Structural’de çözümleme yapılmıştır.
- Optimizasyon çalışması Hazırlanan SEM analizleri ANSYS paket yazılımının R19.0 versiyonunda 1061539 numaralı akademik lisans kullanılarak, 2 adet Intel E5-2620v4 8 core (toplam 16 core) işlemciye sahip, 160 GB ram’e, 1TB katı hal diskine sahip bir iş istasyonunda gerçekleştirilmiştir. Analizler 16 paralel işlemcide koşturulmuştur. Tarif edilen donanım üzerindeki işletim sistemi 64 bit Windows 10’da gerçekleştirilmiştir.
- Namlu modal etkileri göz ardı edilecektir (Silahın seri atış yapmayacağı öngörülmüştür).
- Yapılan literatür araştırmasında patlama esnasında barutun sıcaklığı yaklaşık 2000-3000°C arasında olduğu ancak bu sıcaklık namluya bu seviyede etki etmediği, çünkü mühimmatın namlu içindeki hareket süresi oldukça kısa olduğu

ve sıcaklık – konum grafiğine göre namlu sıcaklık değerleri namlu ucuna doğru düşme eğiliminde olduğu, bununla beraber oluşan ısının bir kısmı barut gazı ve mühimmat ile dışarı atıldığı, bunun dışında namlu dış yüzeyinin soğuk olması itibariyle ısı geçişi yaşandığı ve namlu içi de bu sayede soğuduğunu, namlu içi sıcaklığın yüksek olması, içeri konan mühimmatın kendini ateşlemesine olanak sağlayacağından namlu içinin 150-160 santigrat dereceyi geçmemesi gerektiği tespit edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda mühimmattan namluya geçen ısının çok düşük olduğu ve namlunun 60-80 santigrat derece arasında olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle veri toplam esnasında namlu üzerinde ısının dağılması için ikinci atışa direk geçilmemiş ön hazırlık süresi yaklaşık 4-6 dakika sürdüğünden bu süre sonunda atışlar yapılmıştır.

- Mermi namluyu terk ettikten sonra da içeride bir miktar gaz kalmaktadır. Bu gazlar basınç oluşturacaktır. Ancak oluşan bu basınç patlama anındaki basınca göre çok daha az olduğundan mukavemet hesaplarında hesaba katılmayacaktır.
- Namluya standart yerçekimi ivmesi olarak $9806,6 \text{ mm/s}^2$ uygulanacaktır.
- Namlu modelleme çeyrek model üzerinde 3D olarak modelleme yapılmıştır. Bu nedenle optimizasyon esnasında verilen parametreler yarı çap olarak, namlu ağırlığı ise çeyrek namlu üzerinden yapılmıştır.

Hazırlanan SEM analizleri ANSYS paket yazılımının R18.0 versiyonunda 1061539 numaralı akademik lisans kullanılarak, 2 adet Intel E5-2620v4 8 core (toplam 16 core) işlemciye sahip, 160 GB ram'e, 1TB katı hal diskine sahip bir iş istasyonunda gerçekleştirilmiştir. Analizler 16 paralel işlemcide koşturulmuştur. Tarif edilen donanım üzerindeki işletim sistemi 64 bit Windows 10'dur.

Parametrik optimizasyon çalışmasında ANSYS analiz programında bulunan Response surface optimization (Yanıt yüzeyi optimizasyonu) eklentisi kullanılmıştır. Bu eklentide geometri üzerinde belirlenen giriş parametrelerine alt ve üst değerler atanmıştır. Atanan bu limit değerlere göre deney tasarımları gerçekleştirildi. Her bir çıkış parametresi için yanıt yüzeyi oluşturuldu. Son olarak amaç fonksiyonları ve tasarım kriterleri belirlendi. Tüm bu işlemler tamamlandıktan sonra Response surface optimization (Yanıt yüzeyi optimizasyonu) eklentisi, tasarım kriterlerini ve amaç fonksiyonlarını sağlayan çıkış parametrelerini verecek giriş parametrelerini önerdi. Eklentinin önerdiği parametre gruplarına tasarım noktası adı verilmektedir. Kullanıcı

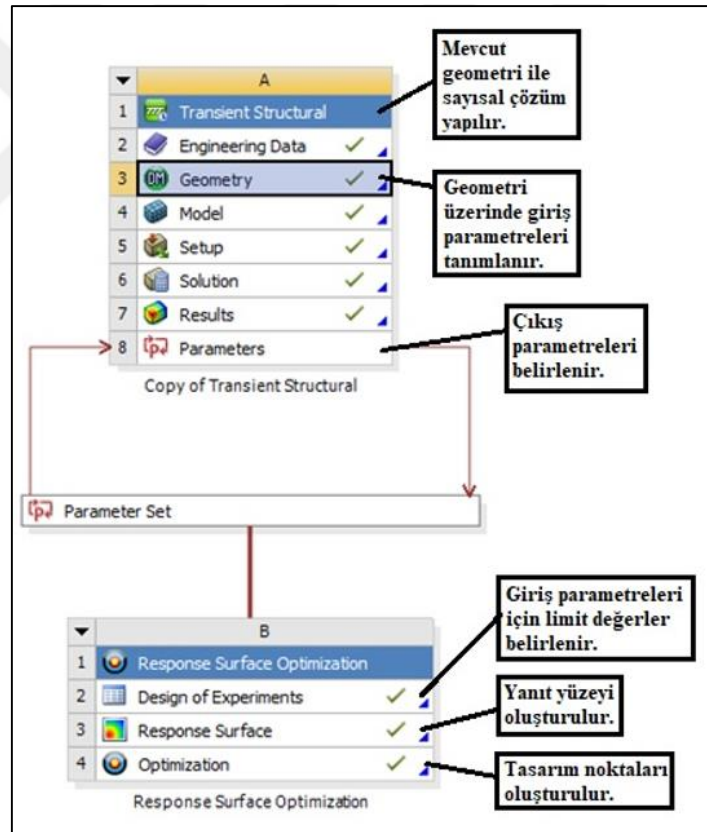
tarafından belirlenen tasarım noktaları ayrı olarak çözdürülüp doğrulanarak, tasarım optimizasyon süreci tamamlandı.

Transient Structural analiz, herhangi bir genel zamana bağlı yükün etkisi altında bir yapının dinamik tepkisini belirlemek için kullanılır. Herhangi bir geçici yüke cevap verirken yapıdaki zamanla değişen yer değiştirmeleri, gerilmeleri, gerinimleri ve kuvvetleri belirlemek için kullanılır.

Dinamik analiz yardımıyla;

- Yapının ne kadar sürede hasara uğrayacağı,
- Zamana bağlı değişen yüklere karşı sistemin verdiği cevabı,
- Yapının doğal frekansı bulunur.

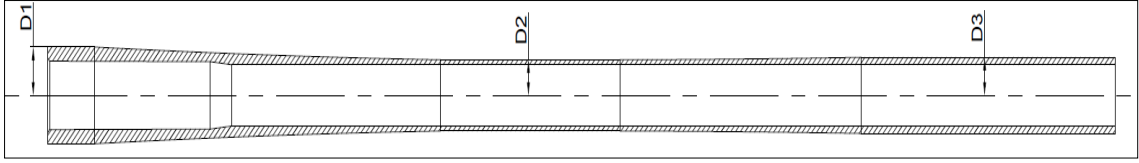
Şekil 6.3’de ANSYS yanıt yüzeyi optimizasyon şeması görülmektedir.



Şekil 6.3. ANSYS yanıt yüzeyi optimizasyon şeması.

ANSYS analiz programında design modeller’de namlu modellemesi yapılarak parametreler belirlendi. Modelleme yapılırken namlu 5 farklı bölgeye ayrıldı. Burada

namlunun ağırlığını etkileyen 3 önemli ölçü girdi parametresi olarak belirlendi. Şekil 6.4'te namlun girdi parametrelerinin karakteristik değerleri görülmektedir.

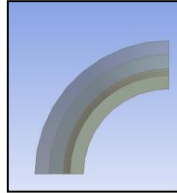


Şekil 6.4. Namlunun girdi parametreleri.

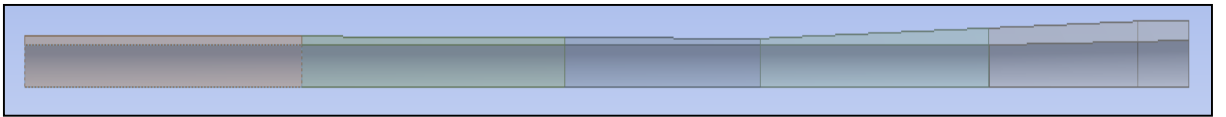
Tablo 6.13. Namlu girdi parametreleri.

D1 - P6 (mm)	D2 - P7 (mm)	D3 - P8 (mm)
15,5	10,75	11,5

Analiz süresinin kısa olması, meshlemenin daha çabuk yapılması ve çözüm noktasının az olması için geometrik tasarımda çeyrek model kullanıldı. Geometrik modelleme yapıldıktan sonra namlu fişek yatağı, basınç sensörü 1. ölçüm noktası, basınç sensörü 2. ölçüm noktası, gerinim ölçer 1 konumu ve namlu ucu olmak üzere 5 bölüme ayrıldı. Şekil 6.5'te çeyrek model geometrik tasarımın alın görüntüsü, Şekil 6.6'da ise geometrik tasarımın yan görünümü görülmektedir.



Şekil 6.5. Geometrik tasarım alın görünümü.



Şekil 6.6. Geometrik tasarım yan görünümü.

Geometrik tasarım yapıldıktan sonra çıktı parametresi olarak namlunun $\frac{1}{4}$ ağırlığı olan 0,159 kg belirlendi.

Namlu mesh boyutu ve meshleme tipi belirlenerek 185272 nodes 35700 elements olarak meshleme yapıldı. Şekil 6.7'de mesh detayı görülmektedir.

Statistics	
☐ Nodes	185272
☐ Elements	35700

Şekil 6.7. Mesh detayı.

Mesh kalitesi ortalama %89 (Şekil 6.8), mesh skewness (çarpıklık) değeri ortalama $3,3873 \times 10^{-2}$ (Şekil 6.9)'dir. Bu değerler sayesinde mesh kalitesinin oldukça yüksek olduğu görüldü. Skewness (çarpıklık), verilerde gözlemlenen değerlerin çarpıklık olup olmadığını belirten değerdir. Skewness (çarpıklık) değeri sıfıra ne kadar yakınsa kalite o kadar yüksektir. Şekil 6.8'de mesh kalitesi, şekil 6.9'da ise skewness (çarpıklık) değeri görülmektedir.

Mesh Metric	Element Quality
☐ Min	0,66405
☐ Max	0,99441
☐ Average	0,89455
☐ Standard Devi...	5,9557e-002

Şekil 6.8. Mesh kalitesi.

Mesh Metric	Skewness
☐ Min	2,4999e-002
☐ Max	7,8702e-002
☐ Average	3,3873e-002
☐ Standard Deviation	1,4337e-002

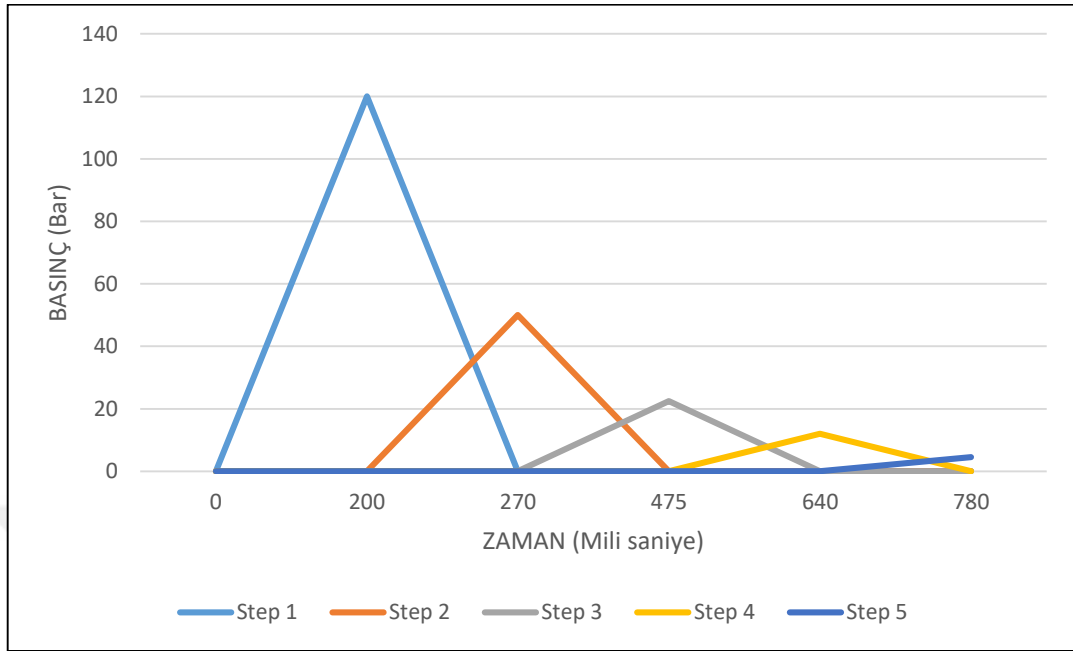
Şekil 6.9. Skewness değeri.

Analiz çalışmasında kullanılan girdi parametreleri tablo 6.14'te görülmektedir. Çözüm 5 adımda çözümleme yapılmıştır.

Tablo 6.14. Analiz girdi parametreleri.

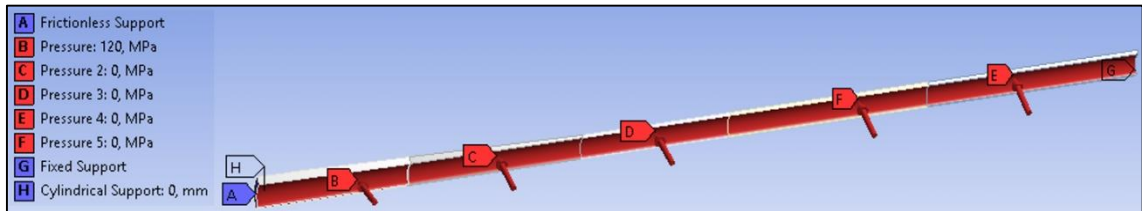
Mesafe (mm)	Basınç (Mpa)	Zaman (mili saniye)	Bölüm	Adım
0	0	0	Sıfır konumu	
70	120	200	Fişek yatağı konumu	Step 1
93,6	50	270	1. Basınç ölçüm noktası	Step 2
241	22,5	475	2. Basınç ölçüm noktası	Step 3
343	12	640	Gerinim ölçer 1 konumu	Step 4
500	4,5	780	Namlu ucu konumu	Step 5

Grafik 6.5'te ise girdi parametreleri grafik olarak görülmektedir.



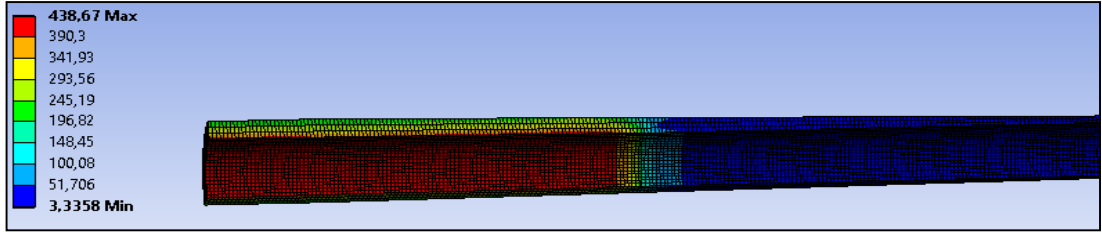
Grafik 6.5. Namlu içi basıncın zamana göre değişimi.

Şekil 6.10'da ise namlu bölümleri görülmektedir. Burada B noktası fişek yatağı (Step 1), C noktası basınç sensörü 1.ölçüm noktası (Step 2), D noktası basınç sensörü 2.ölçüm noktası (Step 3), F noktası gerinim ölçer 1 konumu (Step 4), E noktası ise namlu ucudur (Step5).



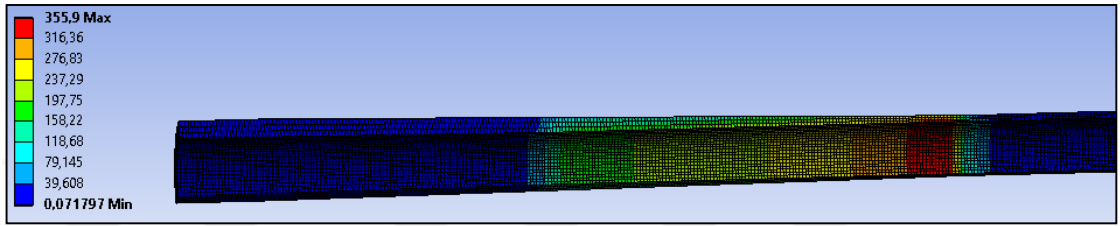
Şekil 6.10. Namlu bölümleri.

Yapılan analiz sonucunda maksimum gerilmenin B noktasında yani fişek yatağı kısmında olduğu ve maksimum gerilmenin 438,67 Mpa olduğu görüldü. Bu değer bizim malzemenin akma gerilmesi 750 Mpa'la göre mukayese edildiğinde emniyet katsayısı 1,5 – 1,7 arası olduğu görüldü. Aşağıdaki şekillerde namlunun bölümlerindeki gerilmeler verilmiştir. Şekil 6.11'de fişek yatağı kısmındaki gerilme (Step 1) görülmektedir.



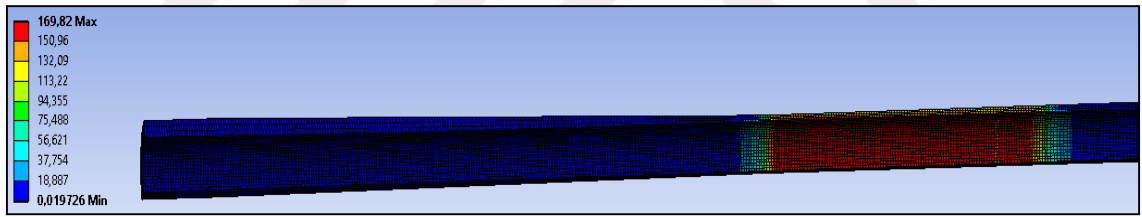
Şekil 6.11. Fişek yatağındaki gerilme.

Şekil 6.12’de basınç sensörü 1. ölçüm noktasındaki gerilme (Step 2) görülmektedir.



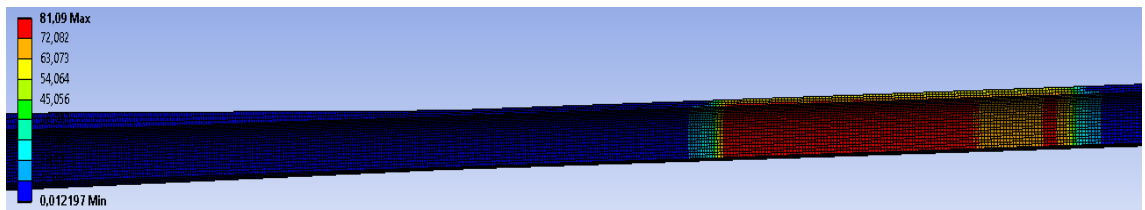
Şekil 6.12. Basınç sensörü 1. ölçüm noktasındaki gerilme.

Şekil 6.13’de basınç sensörü 2. ölçüm noktasındaki gerilme (Step 3) görülmektedir.



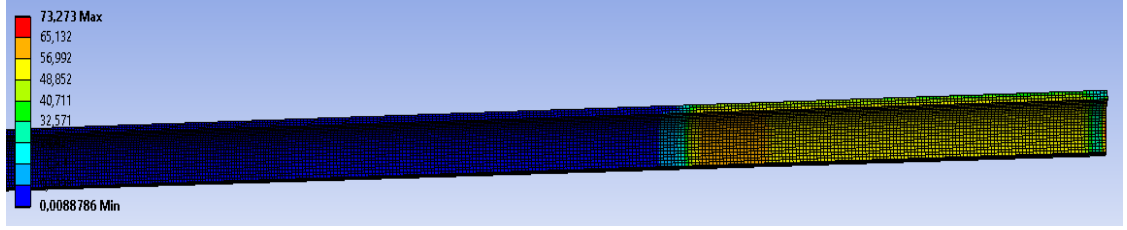
Şekil 6.13. Basınç sensörü 2. ölçüm noktasındaki gerilme.

Şekil 6.14’te gerinim ölçer 1 konumundaki gerilme (Step 4) görülmektedir.



Şekil 6.14. Gerinim ölçer 1 konumundaki gerilme.

Şekil 6.15'te gerinim ölçer 1 konumundaki gerilme (Step 5) görülmektedir.



Şekil 6.15. Namlu ucundaki gerilme.

Zaman içerisinde elde edilen maksimum gerilme değeri olan 438,67 Mpa (Maximum Value Over Time) ve namlunun ¼ ağırlığı olan 0,159 kg parametresi olarak belirlendi. Şekil 6.16'da zaman içerisinde elde edilen maksimum gerilme değeri görülmektedir.

Maximum Value Over Time	
☐ Minimum	4,3794 MPa
☒ Maximum	438,67 MPa

Şekil 6.16. Maksimum gerilme değeri.

ANSYS de design of experiments bölümüne girilerek giriş parametreleri olan d1(p6): 13.5-16 mm, d2(p7): 10.5-11.6mm, d3(p8): 11-12.65 mm olacak şekilde alt ve üst tasarım noktaları belirlenerek çözüm yapıldı. Şekil 6.17'de design of experiments görseli görülmektedir.

Tablo 6.15. Namlu alt-üst tasarım noktaları

	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)
Üst değer (Upper Bound)	16	11,6	12,65
Alt değer (Lower Bound)	13,5	10,5	11
Mevcut değer	15,5	10,75	11,5

	A
1	
2	✓ Design of Experiments
3	Input Parameters
4	Copy of Transient Structural (A1)
5	P6 - XYPlane.V1
6	P7 - XYPlane.V45
7	P8 - XYPlane.V46
8	Output Parameters
9	Copy of Transient Structural (A1)
10	P10 - Equivalent (von-Mises) Stress - End Time Maximum Maximum Value O
11	P9 - Geometry Mass
12	Charts
13	✓ Parameters Parallel
14	✓ Design Points vs Parameter

Şekil 6.17. Design of experiments görseli.

Tasarım noktalarından elde edilen deney noktaları tablo 6.16’da görülmektedir. Bu deney noktaları programda çözdürülerek yanıt yüzeyi oluşturuldu. Yanıt yüzeyi tipi olarak genetic aggregation seçildi (Şekil 6.18).

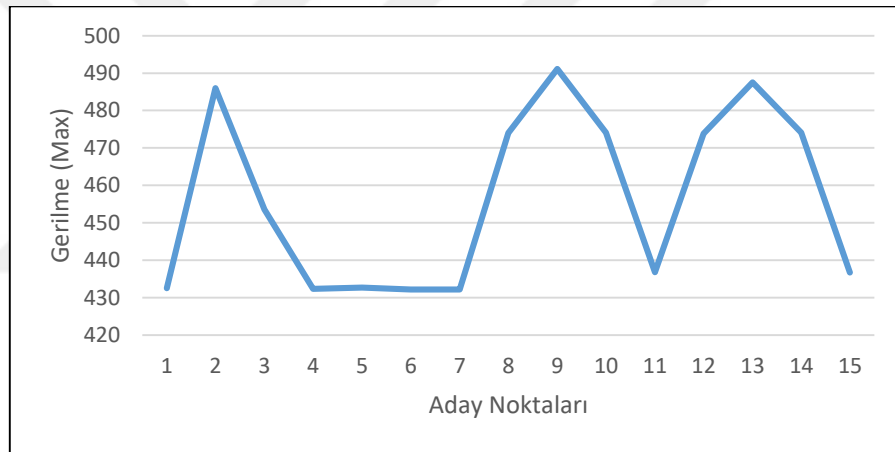
Tablo 6.16. Namluya ait deney noktaları.

No	D1-P6 (mm)	D2-P7 (mm)	D3-P8 (mm)	Gerilme (Max)	Ağırlık (kg)
1	14,25	11,05	11,825	432,47	0,19162
2	13,5	11,05	11,825	485,95	0,2197
3	15	11,05	11,825	453,53	0,16018
4	14,25	10,5	11,825	432,35	0,17314
5	14,25	11,6	11,825	432,69	0,21069
6	14,25	11,05	11	432,17	0,17347
7	14,25	11,05	12,65	432,19	0,21065
8	13,64	10,603	11,154	473,97	0,1851
9	14,86	10,603	11,154	491,09	0,13653
10	13,64	11,497	11,154	474,09	0,21506
11	14,86	11,497	11,154	436,77	0,16685
12	13,64	10,603	12,496	473,85	0,21494
13	14,86	10,603	12,496	487,56	0,16637
14	13,64	11,497	12,496	474,12	0,24568
15	14,86	11,497	12,496	436,71	0,19747

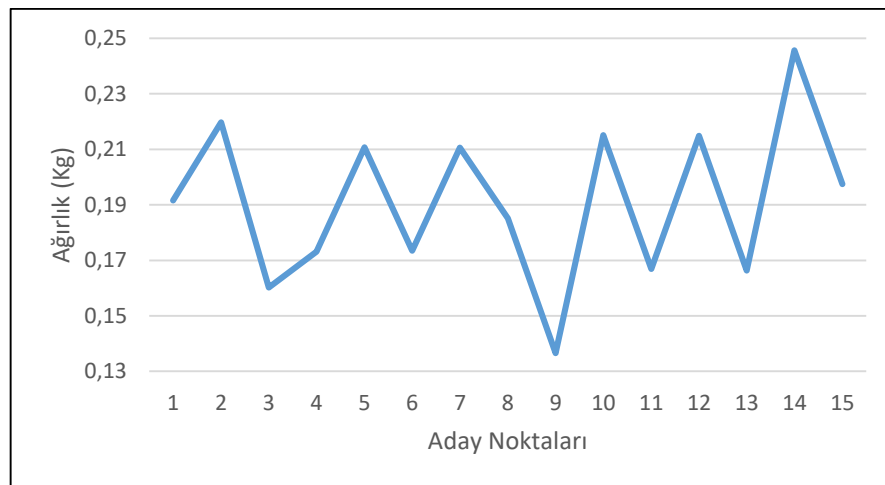
Properties of Outline A2: Response Surface		
	A	B
1	Property	Value
2	Design Points	
3	Preserve Design Points After DX Run	☐
4	Failed Design Points Management	
5	Number of Retries	0
6	Meta Model	
7	Response Surface Type	Standard Response Surface - Full 2nd Order Polynomials
8	Refinement	Genetic Aggregation
9	Refinement Type	Standard Response Surface - Full 2nd Order Polynomials
10	Verification Points	Kriging
11	Generate Verification Points	Non-Parametric Regression
12	Design Point Report	Neural Network
13	Report Image	Sparse Grid
		None

Şekil 6.18. Yanıt yüzeyi tipi seçimi.

Grafik 6.6’da deney noktalarında oluşan gerilmeler görülmekte, Grafik 6.7’de ise deney noktalarında oluşan ağırlıklar görülmektedir.



Grafik 6.6. Deney noktalarında oluşan gerilme.



Grafik 6.7. Deney noktalarındaki oluşan ağırlık.

Yanıt yüzeyi oluşturulduktan sonra optimizasyon işlemine geçilmiştir. Optimizasyon aşamasında amaç fonksiyonu olarak, maksimum gerilme 500 Mpa'dan küçük, maksimum ağırlık ise 0,159 kg küçük olması hedef olarak belirlendi. Program bu amaç fonksiyonunu kullanarak namli tasarım parametreleri olan d1, d2, d3 için en uygun değeri belirleyecektir. Tablo 6.17'de optimizasyon amaç fonksiyonu görülmektedir.

Tablo 6.17. Optimizasyon amaç fonksiyonu.

Table of Schematic B4: Optimization							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Name	Parameter	Objective		Constraint		
2			Type	Target	Type	Lower Bound	Upper Bound
3	Minimize P10; P10 <= 500 MPa	P10 - Equivalent (von-Mises) Stress - End Time Maximum Maximum Value Over Time	Minimize		Values <= Upper Bound		500
4	Minimize P9; P9 <= 0,159 kg	P9 - Geometry Mass	Minimize		Values <= Upper Bound		0,159

Optimizasyon metodu olarak MOGA (Multi objective generic algorithm) kullanıldı. Program optimizasyon yaparken 3000 adet ilk örnekleme yaptı. İterasyon başına 600 adet numune belirledi. Son olarak 20 iterasyon sonunda 3 adet hedef parametresi belirledi. Optimizasyon özellikleri Şekil 6.19'da görülmektedir.

Property	
Method Selection	Auto
Estimated Number of Evaluations	14400
Method Name	MOGA
Verify Candidate Points	
Number of Initial Samples	3000
Number of Samples Per Iteration	600
Maximum Allowable Pareto Percentage	70
Convergence Stability Percentage	2
Maximum Number of Iterations	20
Maximum Number of Candidates	3
Optimization Status	
Converged	Yes
Pareto Percentage	24
Stability Percentage	1,3388
Number of Iterations	7
Number of Evaluations	6111
Number of Failures	0
Size of Generated Sample Set	600
Number of Candidates	3

Şekil 6.19. Optimizasyon özellikleri.

Yapılan optimizasyon sonucu program bize 3 adet hedef parametresi belirledi. Bu hedef parametreleri gerilme değerini minimize etmeye çalıştığından dolayı bizim amacımız olan kütleyi minimize etme amacını karşılamamaktadır. Buradaki üç adet hedef parametresinin birbirleriyle olan kütle azaltma oranları aşağıda verilmiş olup, bu hedef parametrelerinden kütle azaltma bazında en ideal aday nokta 3 tür. Nokta 3 parametre verileri d1:15, d2:11.274, d3:11,007 mm olup gerilme değeri 444,75 Mpa dır. Nokta 3'te gerilme değeri diğer optimizasyon değerlerine göre yükseklerde olmasına rağmen emniyet katsayısının içerisinde. Bununla birlikte nokta 3'deki kütle kazancı nokta 1'e göre %5,47, nokta 2'ye göre %3,41, namlunun mevcut tasarımına göre %6,35 daha iyi kütle kazanımı sağladığı görüldü. Aşağıdaki tablolarda hedef parametreleri görülmektedir.

Tablo 6.18. Nokta 1 hedef parametreleri.

No	Referans	İsim	D1-P6 (mm)	D2-P7 (mm)	D3-P8 (mm)	Gerilme (Mpa)	Referanstan Değişim (%)	Ağırlık (kg)	Referanstan Değişim (%)
1	●	Aday Nokta 1	14,288	10,507	11,001	434,03	0	0,15398	0
2	○	Aday Nokta 2	14,298	10,611	11,001	432,93	-0,25	0,15704	1,99
3	○	Aday Nokta 3	15	11,247	11,007	444,75	2,47	0,1489	-3,3

Tablo 6.19. Nokta 2 hedef parametreleri.

No	Referans	İsim	D1-P6 (mm)	D2-P7 (mm)	D3-P8 (mm)	Gerilme (Mpa)	Referanstan Değişim (%)	Ağırlık (kg)	Referanstan Değişim (%)
1	○	Aday Nokta 1	14,288	10,507	11,001	434,03	0,25	0,15398	-1,95
2	●	Aday Nokta 2	14,298	10,611	11,001	432,93	0	0,15704	0
3	○	Aday Nokta 3	15	11,247	11,007	444,75	2,73	0,1489	-5,18

Tablo 6.20. Nokta 3 hedef parametreleri.

No	Referans	İsim	D1-P6 (mm)	D2-P7 (mm)	D3-P8 (mm)	Gerilme (Mpa)	Referanstan Değişim (%)	Ağırlık (kg)	Referanstan Değişim (%)
1	○	Aday Nokta 1	14,288	10,507	11,001	434,03	-2,41	0,15398	3,41
2	○	Aday Nokta 2	14,298	10,611	11,001	432,93	-2,66	0,15704	5,47
3	●	Aday Nokta 3	15	11,247	11,007	444,75	0	0,1489	0

Tablo 6.21’de maksimum ve minimum gerilme ve ağırlık değerleri görülmektedir.

Tablo 6.21. Maksimum ve minimum gerilme ve ağırlık değerleri.

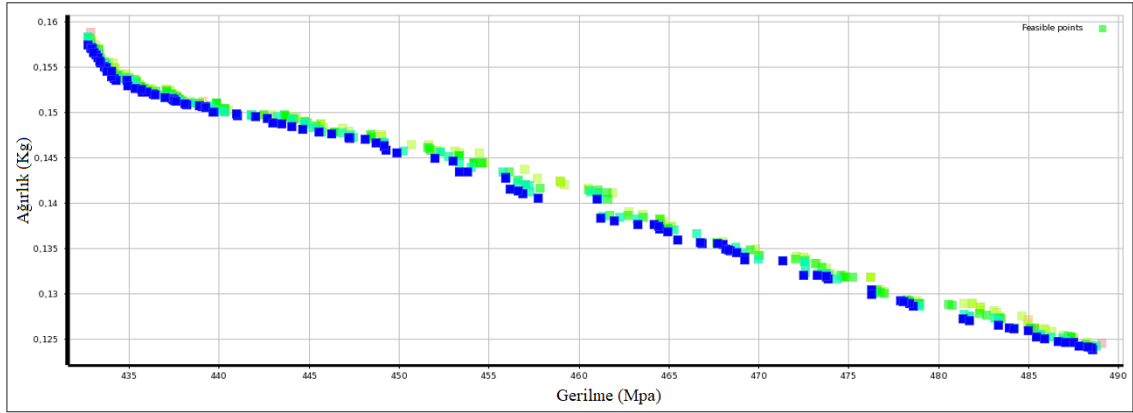
İsim		D1-P6 (mm)	D2-P7 (mm)	D3-P8 (mm)	Gerilme (Mpa)	Ağırlık (Kg)
Çıkış Parametreleri (Min)						
Gerilme		15	11,6	11,672	428,83	0,1759
Ağırlık		15	10,5	11	488,31	0,12371
Çıkış Parametreleri (Max)						
Gerilme		14,86	10,5	11	496,54	0,12985
Ağırlık		13,5	11,6	12,65	479,31	0,25796

Yukarıda yapılan optimizasyonda amaç fonksiyonuna göre kullanılan malzemenin akma gerilmesine göre maksimum gerilme değeri 500 Mpa’ya kadar uygundur. Bu nedenle elde edilen optimizasyon değerlerinden trade off bölümünden müsaade edilen maksimum gerilmeye göre yeni bir optimizasyon noktası belirlendi. ANSYS trade off bölümü şekil 6.20’de görülmektedir.

	Enabled	Monitoring
✓ Optimization		
Objectives and Constraints		
Minimize P10; P10 ≤ 500 MPa		
Minimize P9; P9 ≤ 0,159 kg		
Domain		
Copy of Transient Structural (A1)		
P6 - XYPlane.V1	✓	
P7 - XYPlane.V45	✓	
P8 - XYPlane.V46	✓	
Parameter Relationships		
✓ Convergence Criteria		
Results		
✓ Candidate Points		
✓ Tradeoff		
✓ Samples		
✓ Sensitivities		

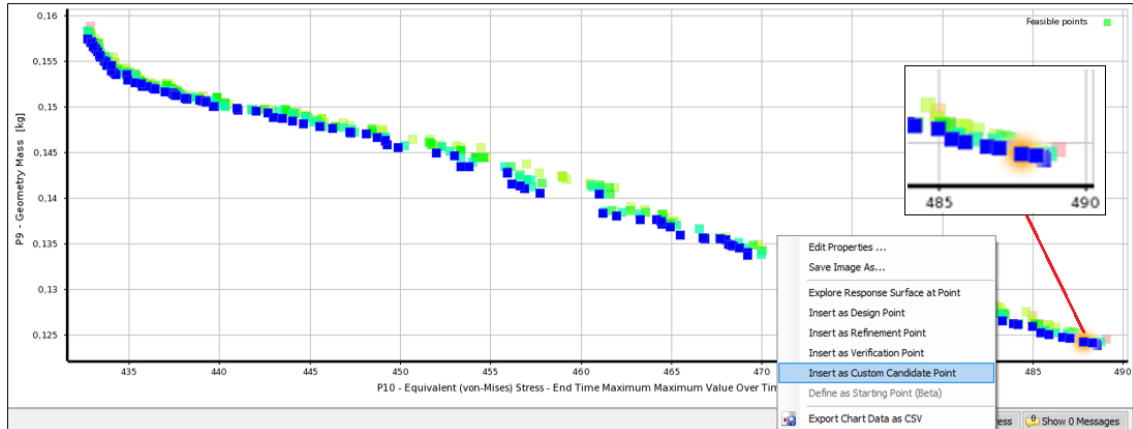
Şekil 6.20. ANSYS trade off bölümü.

Grafik 6.8’de ağırlığa göre gerilme değişimi görülmektedir. Düşey eksen ağırlığı, yatay eksen ise gerilmeyi ifade etmektedir.



Grafik 6.8. Ağırlık – Gerilme grafiği.

Grafik 6.8’den gerilmenin yüksek olduğu nokta seçilip “insert as custom candidate point” sekmesi tıklanarak seçilen nokta hedef parametresi olarak belirlendi. Şekil 6.21’de bu işlem detaylı olarak görülmektedir.



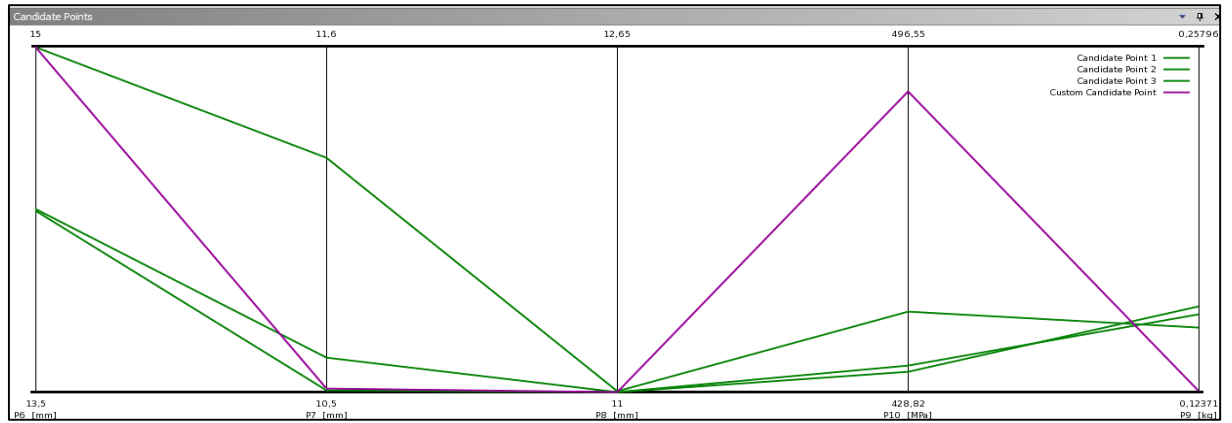
Şekil 6.21. Hedef parametre seçimi.

Seçilen hedef parametre noktasında d1:14,997, d2:10,512, d3:11,001 mm olup maksimum gerilme 487,82 Mpa, ağırlık ise 0,12427 kg’dır. Tablo 6.22’de seçilen parametre noktasının verileri görülmektedir.

Tablo 6.22. Maksimum ve minimum gerilme ve ağırlık değerleri.

No	Referans	İsim	D1-P6 (mm)	D2-P7 (mm)	D3-P8 (mm)	Gerilme (Mpa)	Referansdan Değişim (%)	Ağırlık (kg)	Referansdan Değişim (%)
1	○	Aday Nokta 1	14,288	10,507	11,001	434,03	-11,03	0,15398	23,91
2	○	Aday Nokta 2	14,298	10,611	11,001	432,93	-11,25	0,15704	26,37
3	○	Aday Nokta 3	15	11,247	11,007	444,75	-8,83	0,1489	19,82
4	●	Seçilen Aday Nokta	14,997	10,512	11,001	487,82	0	0,12427	0

Grafik 6.9’da program tarafından belirlenen hedef parametreler ve seçilen hedef parametrenin verileri görülmektedir.

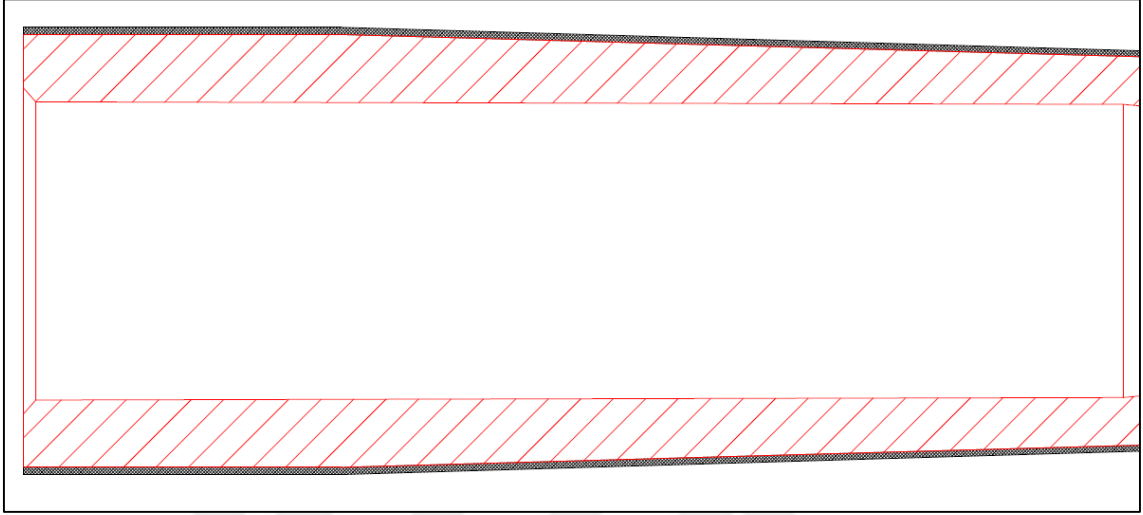
**Grafik 6.9.** Ağırlık – Gerilme grafiği.

Seçilen hedef parametre noktasında gerilme değeri diğer optimizasyon değerlerine göre yükseklerde olmasına rağmen emniyet katsayısının içerisinde. Bununla birlikte hedef parametre noktasında kütle kazancı nokta 1’e göre %19.29, nokta 2’ye göre %20.86, nokta 3’ye göre %16.54, namlunun mevcut tasarımına göre %21,84 daha iyi kütle kazanımı sağladığı görüldü.

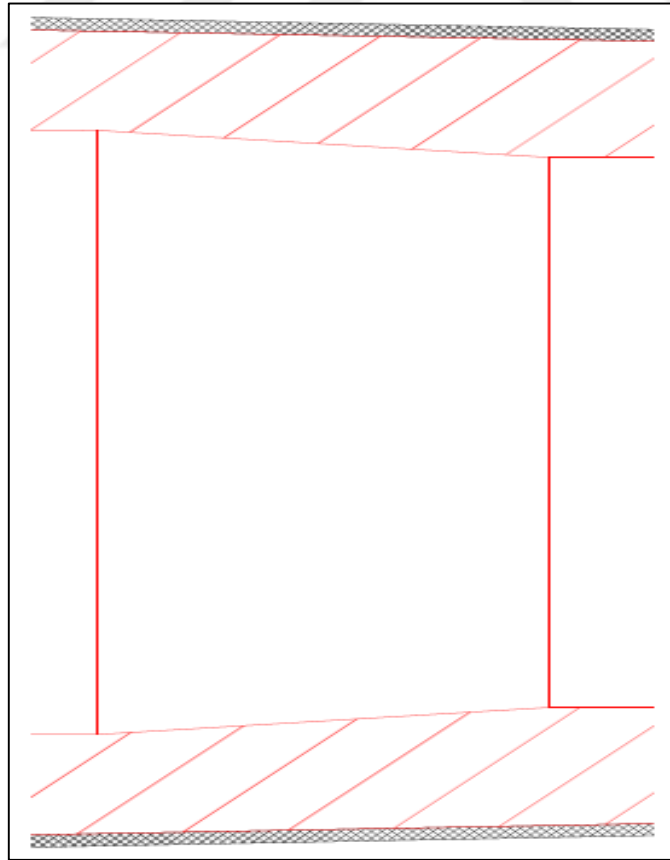
Namlu optimizasyon esnasında; D2 ve D3 namlu girdi parametrelerinde daha fazla değişim görülürken D1 namlu girdi parametresinde değişim daha az olmaktadır. Bunun sebebi ise fişek yatağında patlama anında ortaya çıkan yüksek basınçtır.

Optimizasyon çalışmaları sonucunda 0,636 kg olan namlu ağırlığı 0,497 kg’a kadar düşürüldü. Elde edilen bu sonuçla namlu mevcut tasarımına göre %21,84 oranında hafifletildi.

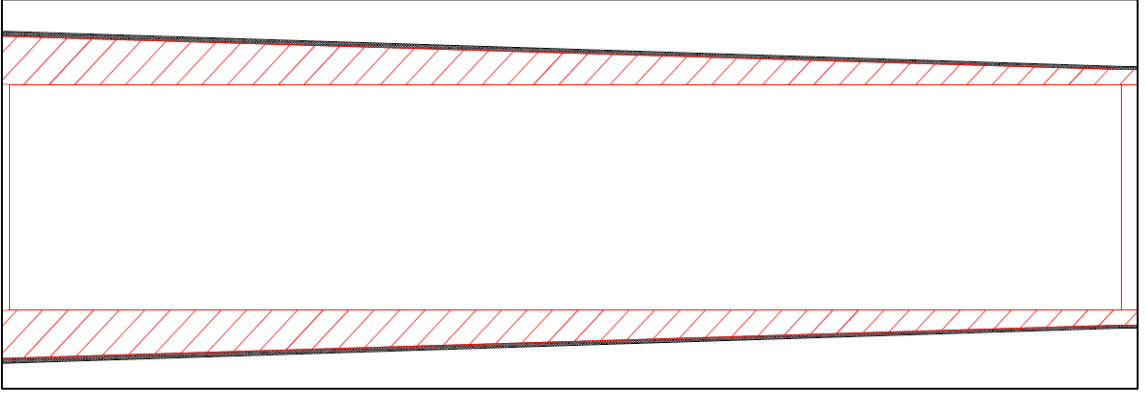
Optimizasyon sonucu namlunun mevcut tasarımına göre tasarım farkları aşağıdaki şekillerde görülmektedir. Siyah renkli taralı alan mevcut tasarım ile optimizasyon sonucu elde edilen tasarım arasındaki farkı göstermektedir. Kırmızı renkli taralı alan optimizasyon sonucu elde edilen tasarımı ifade etmektedir.



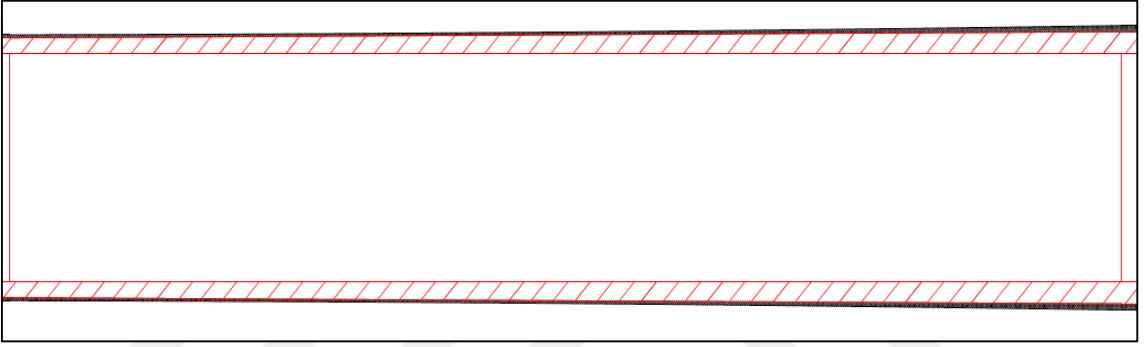
Şekil 6.22. Fişek yatağı optimizasyon farkı.



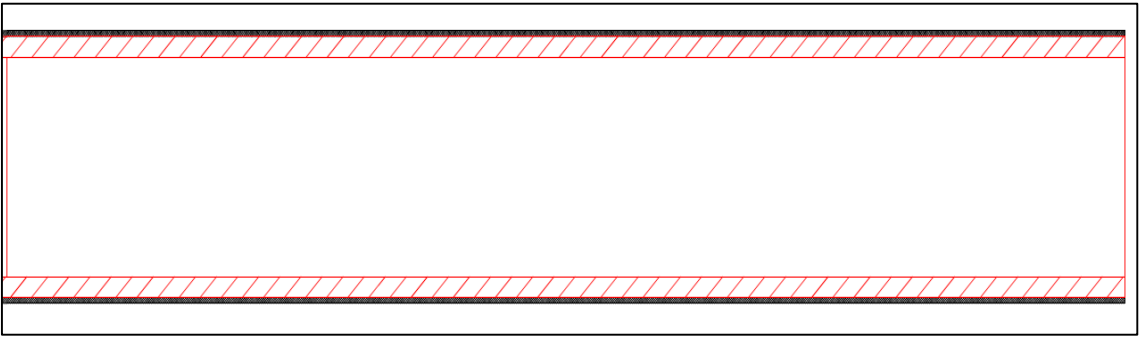
Şekil 6.23. Basınç sensörü 1. Ölçüm noktası optimizasyon farkı.



Şekil 6.24. Basınç sensörü 2. Ölçüm noktası optimizasyon farkı.



Şekil 6.25. Gerinim ölçer 1 konumu optimizasyon farkı.



Şekil 6.26. Namlu ucu optimizasyon farkı.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında; Beyşehir’de yivsiz av tüfeği imalatı yapan Husan Metal Teknolojileri Sanayi Ticaret Anonim Şirketi ile birlikte iç balistik veri toplama sistemi kuruldu. Kurulan test sisteminden elde edilen verilerle namlu parçasında optimizasyon çalışması yapıldı.

Hazırlanan iç balistik test sisteminde toplanan veriler ile;

- Bugüne kadar deneme yanılma yöntemiyle tasarlanan namluların tasarımı, veriler kullanılarak optimizasyon çalışması yapılmasına olanak sağlandı.
- Tüfek namlu boyunca basınç değişimi belirlendi. Namlu üzerinde patlama esnasında meydana gelen en büyük basınç fişek yatağı uç kısmındadır. Fişek yatağı uç kısmında basınç değeri maksimum 500 bar olmaktadır.
- Fişek basıncına göre namlu üzerinde oluşan basınç değişimi, yüzey gerinim, geri tepme değerleri belirlendi. Atış esnasında kullanıcının omzuna gelen yük maksimum 5,15 kg’dır
- Patlama anında meydana gelen basıncın yüzde kaçının sistemi çalıştırması için yeterli olduğunu belirlendi. Gaz odası deliklerine gelen basınç değeri minimum 134 bar’dır. Bu basınç değerinde av tüfeği mevcut çalışma sisteminin sorunsuz çalıştığı görülmüştür. Patlama anında meydana gelen basıncın yaklaşık %16’sı av tüfeği mevcut çalışma sistemini sorunsuz bir şekilde çalıştırmaktadır.
- Namlu çıkış hızı belirlenerek merminin namlu içerisinde hareketi incelendi.

Hazırlanan iç balistik test sisteminde 12 kalibreli 5+1 şarjörlü av tüfeği namlularında patlama esnasında yanma odası ve namlu boyunca oluşan basınç değerleri hassas basınç sensörü ile ölçüm yapılarak, ölçümler anlık olarak data logger ile kayıt altına alındı. Yük hücresi yardımıyla patlama esnasında kullanıcının omzuna gelen yük ölçülerek weight transmitter ile kayıt altına alındı. Patlama esnasında namlu üzerinde meydana gelen yüzey gerinimleri gerinim ölçerler yardımıyla ölçülerek data logger ile kayıt altına alındı. Namlu çıkış hızı kronograf hız ölçerler sayesinde ölçülüp kayıt altına alındı. İç balistik test sisteminden elde edilen veriler analitik hesaplamalar kullanılarak doğrulandı. İç balistik test sisteminden elde edilen veriler ile analitik hesaplamalar arasında %95 uyum görülmektedir.

Hazırlanan iç balistik sisteminden elde edilen veriler ANSYS analiz programında girdi parametresi olarak kullanıldı.

Hazırlanan iç balistik sisteminden elde edilen verilerle ANSYS programında response surface optimization (yanıt yüzeyi optimizasyonu) kullanılarak namlu parçası üzerinde emniyet katsayısı 1,5 belirlenerek tasarım optimizasyon çalışması yapıldı.

Optimizasyon çalışmaları sonucunda 0,636 kg olan namlu ağırlığı 0,497 kg'a kadar düşürüldü. Elde edilen bu sonuçla namlu mevcut tasarımına göre %21,84 oranında hafifletildi.

Optimizasyon sonucu elde edilen namlu tasarımından 5 adet üretmek için imalata verildi.

Öneriler;

Bu çalışmanın devamı olarak namluların uç kısımlarına takılan şok, alev gizleyen, kompensatör gibi ekipmanların silah üzerindeki etkilerinin incelenmesi düşünülmektedir. Silah üzerinde incelenmesi düşünülen konular;

- Şok takımlarının namlu basıncı üzerindeki etkilerinin incelenmesi.
- Alev gizleyen üzerinde bulunan şekillerin silahın geri tepmesi ve namlu basıncı üzerindeki etkilerinin incelenmesi
- Kompensatör üzerinde bulunan şekillerin silah geri tepmesi ve silah şahlanması üzerindeki etkilerinin incelenmesi.
- Geri tepme yükünden yola çıkarak dipçik tasarımının geliştirilmesi, dipçik üretiminde kullanılan malzemenin geliştirilmesi.
- Namlu modal analiz yapılarak namlu şahlanması üzerinde çalışmalar yapılması.
- Av tüfeği üzerinde gerilme ve şahlanma analizlerinin yapılması.
- Av tüfeği mevcut çalışma sisteminde tasarımsal olarak bazı değişiklikler yapılarak çalışma sisteminden maksimum fayda elde edilmesidir.

KAYNAKLAR

- Akçay, M., 2017, Internal and transitional ballistic solution for spherical and perforated propellants and verification with experimental results, 36-43.
- Akçay, M., Başyurt, A., Çağlayan, M. ve Başak, O., 2018, Hafif silah mühimmatının iç balistik, aerodinamik ve dış balistik parametrelerinin tespiti, 1-7.
- Alpaya, M., 2016, No-frost soğutucu hava kanalının yanıt yüzeyi optimizasyonu ile tasarlanması ve etkilerinin sayısal olarak incelenmesi, 3-6.
- Çayıroğlu, İ., 2012, Bilgisayar destekli tasarım ve analiz (ANSYS), Karabük Üniversitesi,
<http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/BilgisayarDestekliTasarim/BilgisayarDestekliTasarimVeAnaliz-1-hafta.pdf>.
- Dayan, Y. ve Touati, D., 2006, Simulation of unsteady muzzle flow of a small-caliber gun, *Advances in Fluid Mechanics VI*, 52, 165-171.
- Degirmenci, E., 2015, Semi-empirical prediction of internal pressure distribution and muzzle velocity in the rifled barrel of a light weapon, *Measurement*, 70, 123-128.
- Gungor, O., 2017, An approach for optimization of the wall thickness (weight) of a thick-walled cylinder under axially non-uniform internal service pressure distribution, *Defence Technology*, 13 (3), 150-157.
- Gungor, O. ve Celik, V., 2018, Numerical evaluation of an autofrettaged thick-walled cylinder under dynamically applied axially non-uniform internal service pressure distribution, *Defence Technology*, 14 (5), 412-416.
- Hill, R. D. ve Conner, J. M., 2012, Transient heat transfer model of machine gun barrels, *Materials and Manufacturing Processes*, 27 (8), 840-845.
- Işık, H., 2016, Namlu içerisindeki balistik parametrelerin modellenmesi, 159-171.
- Işık, H. ve Göktaş, F., 2017, Cook-off analysis of a propellant in a 7.62 mm barrel by experimental and numerical methods, *Applied Thermal Engineering*, 112, 484-496.
- Özgüder, O., Özbay, M. ve Adın, H., 2017, Namlu içi balistik davranışın sonlu elemanlar yöntemiyle analizi, 610-620.
- Özmen, D., 2007, Yarı otomatik av tüfeği mekanizmasının yorulma dayanımının analizi.
- Öztörün, D., 2013, Bir ağır silah namlusunun sonlu elemanlar yöntemi ile elastik-plastik gerilme analizi.
- Özyılmaz, Ö., 2010, Hafif silah tasarımının balistik açıdan incelenmesi.

- Schorge, V., Grossjohann, R., Schonekess, H. C., Herbst, J., Bockholdt, B., Ekkernkamp, A. ve Frank, M., 2016, Modeling internal ballistics of gas combustion guns, *International Journal of Legal Medicine*, 130 (3), 737-742.
- TSE TS 870, 2013, Ateşli silahlar-Yivsiz setsiz tüfekler-Av, Spor ve müsabakalar için standart, 1-7.
- Tuncer, D. G. ve Alli, H., 2010, Ağır silahların geri tepme mekanizmalarının tasarımında iç balistik modelinin oluşturulması ve kama kuvvetinin hesaplanması, 413-425.

