

**T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**GERİ TEPME KUVVETLERİNİN YİVLİ VE YİVSİZ TÜFEKLERDE  
ÖLÇÜMÜ, ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İbrahim Sami İLTER**

**Mekatronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

**HAZİRAN 2021**

**T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**GERİ TEPME KUVVETLERİNİN YİVLİ VE YİVSİZ TÜFEKLERDE  
ÖLÇÜMÜ, ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İbrahim Sami İLTER  
(200003001)**

**Mekatronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Savaş DİLİBAL**

**HAZİRAN 2021**



**T.C.**  
**İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz, Mekatronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı (200003001) numaralı öğrencisi İbrahim Sami İLTER'in "Geri Tepme Kuvvetlerinin Yivli ve Yivsiz Tüfeklerde Ölçümü, Analizi ve Karşılaştırması" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 30/06/2021 tarihli kararıyla oluşturulan jüri tarafından *Oy Birliği* ile Yüksek Lisans tezi olarak *Kabul* edilmiştir.

**Öğretim Üyesi Adı Soyadı**

**Tez Savunma Tarihi: 30/06/2021**

- 1) Tez Danışmanı:** Doç. Dr. Savaş DİLİBAL
- 2) Jüri Üyesi:** Dr. Öğr. Üyesi Haydar ŞAHİN
- 3) Jüri Üyesi:** Doç. Dr. Mehmet Burak BİLGİN

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Geri Tepme Kuvvetlerinin Yivli ve Yivsiz Tüfeklerde Ölçümü, Analizi ve Karşılaştırması” adlı tezin, proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (30/06/2021)

İbrahim Sami İLTER

## ÖNSÖZ

Tezimi hazırlarken yol göstericiliği ve desteği için öncelikle Sayın Doç. Dr. Savaş DİLİBAL hocama, sponsorluk ile birlikte tüm maddi ve manevi destekleri için Ata Silah ailesinden öncelikle Yavuz Yollu ve Fatih Yollu'ya, AR-GE müdürü Harun Zengin'e, tüm AR-GE departmanı çalışanı arkadaşlarım başta olmak üzere desteğini esirgemeyen tüm Ata Silah çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Bu süreçte ve hayatımın her alanında desteğini her zaman hissettiğim eşime, annem ve babam başta olmak üzere tüm büyük aileme bugüne kadar bana kattıkları her şey için şükranlarımı sunarım.

Haziran 2021

İbrahim Sami İLTER

---

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
SEMBOLLER .....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Çalışmanın Konusu.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	1
<b>2. ATEŞLİ SİLAHLARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ ve GERİ TEPME KUVVETİ.....</b>	<b>4</b>
2.1. Ateşli Silahların Çalışma Prensibi .....	4
2.1.1. Yivli ve yivsiz tüfeklerin çalışma prensibi .....	4
2.1.2. Yivli ve yivsiz tüfeklerde kullanılan mühimmatlar .....	5
2.1.3. Yivli ve yivsiz tüfeklerin kullanım alanları .....	8
2.1.3.1. Spor amaçlı kullanım.....	8
2.1.3.2. Avcılık amaçlı kullanım .....	8
2.1.3.3. Kolluk kuvvetleri kullanımı .....	9
2.1.3.4. Askeri kullanım .....	9
2.1.3.5. Bireysel savunma amaçlı kullanım.....	9
2.1.4. Kullanılacak yivli ve yivsiz tüfeklerin çalışma sistemleri .....	9
2.1.4.1. Gaz çevrimli otomatik ve yarı otomatik tüfekler .....	10
2.1.4.2. Kinetik otomatik ve yarı otomatik tüfekler .....	11
2.1.4.3. Sürgü mekanizmalı tüfekler .....	12
2.1.4.4. Kıрма tüfekler .....	12
2.2. Geri Tepme Kuvveti .....	13
2.2.1. Geri tepme kuvvetinin oluşması ve özellikleri .....	13
2.2.2. Geri tepme kuvvetinin hesaplanması .....	15
2.2.3. Geri tepme kuvvetinin kullanıldığı alanlar .....	17
2.2.4. Geri tepme kuvvetinin etkileri .....	18
2.3. Geri tepme kuvvetinin ölçülmesi ve analizi ile ilgili literatür araştırması.....	18
<b>3. MALZEME ve YÖNTEM .....</b>	<b>24</b>
3.1. Kuvvet Sensörleri .....	24
3.1.1. Kuvvet sensörlerinin çalışması .....	24
3.1.2. Kuvvet sensörü tipleri .....	25
3.2. Gerekli Kuvvet Sensörünün Belirlenmesi .....	26
3.3. Veri Toplama Sistemleri.....	27
<b>4. DENEYSEL ALTYAPININ HAZIRLANMASI .....</b>	<b>29</b>

4.1. Sistem Tasarımı Yaklaşımı.....	29
4.2. Elektronik Donanım Tercihleri.....	30
4.3. Elektronik Altyapının Tasarımı.....	32
4.4. Atış Aparatı Tasarımı.....	33
4.4.1. Raylı aparat tasarımı.....	34
4.4.2. Sabit aparat tasarımı.....	34
4.5. Veri Toplama.....	48
4.6. Ölçüm Verilerinin Görüntülenmesi.....	57
4.7. Ölçüm Verilerinin Analizi.....	57
<b>5. GERİ TEPME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜMÜ İLE İLGİLİ DENEYSEL</b>	
<b>ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>61</b>
5.1. Teori ile Pratiğin Karşılaştırılması.....	61
5.2. Namlu boyunun geri tepme kuvveti üzerindeki etkisi.....	67
5.3. Gaz çevrimli, kinetik ve hibrit sistem karşılaştırması.....	75
5.4. Yivli tüfeklerde namlu freninin geri tepme kuvveti üzerindeki etkisi.....	78
<b>6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>83</b>
6.1. Sonuçlar.....	83
6.2. Öneriler.....	85
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>87</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>90</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>97</b>

## **KISALTMALAR**

**GA** : (İng.) Gauge



## SEMBOLLER

$p_t$ .....	: Tüfeğin momentumu
$p_m$ .....	: Mühimmatın momentumu
$m_t$ .....	: Tüfeğin kütlesi
$v_t$ .....	: Tüfeğin hızı
$m_m$ .....	: Mühimmatın kütlesi
$v_m$ .....	: Mühimmatın hızı
$F_t$ .....	: Tüfeğe uygulanan kuvvet
$F_m$ .....	: Mühimmata uygulanan kuvvet
$p$ .....	: Momentum
$\sum F$ .....	: toplam kuvvet
$dp$ .....	: momentum değişimi
$dt$ .....	: zaman değişimi
$J$ .....	: İmpuls
$F_R(t)$ .....	: Geri tepme kuvvetinin zamana göre fonksiyonu
$h$ .....	: Aralıkları eşit iki nokta arası kuvvet farkı
$t_0, t_1, \dots, t_n$ .....	: n+1 sayıda eşit olarak yerleştirilmiş noktalar (zaman eksenini)
$F_R(t_0), F_R(t_1), \dots, F_R(t_n)$ .....	: $F_R(t)$ fonksiyonunun bilinen değer noktaları
$V$ .....	: Tüfeğin hızı (fps)
$W_E$ .....	: Çekirdek ağırlığı (gr)
$V_E$ .....	: Çekirdek çıkış hızı (fps)
$W_{PG}$ .....	: Gaz (barut) ağırlığı (gr)
$V_{PG}$ .....	: Gaz çıkış hızı (fps)
$W_F$ .....	: Tüfeğin ağırlığı (lb)

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 5.1:</b> Gazlı 12GA 66cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları.....	62
<b>Çizelge 5.2:</b> Hibrit 12GA 71cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları.....	63
<b>Çizelge 5.3:</b> Kinetik 12GA 66cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları.....	64
<b>Çizelge 5.4:</b> Hibrit 12GA tüfek ile 61cm ve 76cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar.....	68
<b>Çizelge 5.5:</b> Kinetik 12GA tüfek ile 66cm ve 76cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar.....	70
<b>Çizelge 5.6:</b> Gazlı 12GA tüfek ile 66cm ve 71cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar.....	72
<b>Çizelge 5.7:</b> Kıрма tüfek modeli süperpozenin 61cm ve 71cm namlu boyları ile yapılan atış değerleri.....	74
<b>Çizelge 5.8:</b> 28g fişek ile Gaz Çevrimli, Kinetik ve Hibrit Sistem Karşılaştırma Sonuçları .....	76
<b>Çizelge 5.9:</b> Keskin Nişancı Tüfeği 308 kalibre 61cm ile namlu freni farkı ölçümleri .....	80
<b>Çizelge 5.10:</b> Keskin Nişancı Tüfeği .338 Lapua Magnum kalibre 68cm namlu ile namlu freni farkı ölçüm değerleri .....	82

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Örnek bir geri tepme kuvvet grafiği .....	2
Şekil 2.1: Tüfek parça gruplarının örnek bir tüfek ile gösterimi .....	5
Şekil 2.2: Yivsiz av tüfeği fişek kalibreleri .....	6
Şekil 2.3: Bazı yivli tüfek fişeklerinin 12GA yivsiz av tüfeği ile birlikte gösterimi...	7
Şekil 2.4: Yivli (solda) ve yivsiz (sağda) tüfek fişekleri .....	7
Şekil 2.5: Gaz çevrimli tüfeklerin çalışma sistemi .....	10
Şekil 2.6: Kinetik tüfeklerin çalışma döngüsü gösterimi.....	11
Şekil 2.7: Sürgü mekanizmalı tüfek.....	12
Şekil 2.8: Tek namlulu bir kırma tüfek.....	13
Şekil 2.9: Süperpoze bir tüfeğin kırılmış hali .....	13
Şekil 2.10: Atıştan önce tüfek.....	14
Şekil 2.11: Atış ile tüfeğe ve çekirdeğe etkiyen kuvvetler .....	14
Şekil 2.12: Atış sonrası toplam momentum eşitliği.....	14
Şekil 2.13: Ayakta Tüfek Atışının Ergonomi ve Biyomekaniğinin İncelenmesi isimli tezin deney altyapısı .....	19
Şekil 2.14: İnsan Tüfek Tepki Kuvveti Üzerine Deneysel ve Sonlu Eleman Çalışmaları isimli çalışmanın geri tepme ölçüm grafik sonuçlarından biri .....	23
Şekil 3.1: Örnek pnömatik yük hücresi .....	24
Şekil 3.2: Piezoelektrik malzeme çalışma prensibi gösterimi .....	26
Şekil 4.1: Piezoelektrik Sensör Kullanım Şeması .....	31
Şekil 4.2: Elektronik Sistem Tasarımı .....	32
Şekil 4.3: Sensör temininden önce veri toplama sistemi bağlantılarının denenmesi.	33
Şekil 4.4: Aparat tasarımında sensör konumu .....	33
Şekil 4.5: Aparat tasarımı öncesi fikir geliştirme süreci.....	34
Şekil 4.6: Atış aparatı tasarım konsepti .....	35
Şekil 4.7: Atış aparatı tasarımı.....	36
Şekil 4.8: Tüfek yerleştirilmiş hali ile atış aparatı tasarımı .....	36
Şekil 4.9: Aparat arka kısmı detaylı gösterimi .....	37
Şekil 4.10: Aparat arka kısmı parça isimleri .....	37
Şekil 4.11: Arka takoz sabitleme gösterimi .....	38
Şekil 4.12: Aparat arka kısım kesiti.....	38
Şekil 4.13: Farklı tüfekler için tasarlanan omuzluk dayama parçaları .....	39
Şekil 4.14: Sensör bloğunun imalat sürecinden fotoğrafı.....	40
Şekil 4.15: Yan tamponlar gösterimi .....	41
Şekil 4.16: Atış yapılacak salyangoz tipi kapalı atış poligonu .....	41
Şekil 4.17: Atış masası tasarımı trimetrik görünüm .....	42
Şekil 4.18: Atış aparatı ve atış masası ön görünüm.....	43
Şekil 4.19: İmal edilen atış masası .....	44
Şekil 4.20: Namlunun yere paralel olduğunu kontrol etmek için kullanılan aparat ..	44

<b>Şekil 4.21:</b> Namlu istikametinin ayarlanması için kullanılan aparat .....	45
<b>Şekil 4.22:</b> Tüfek bağlanan aparatın arka kısmının fotoğrafı .....	45
<b>Şekil 4.23:</b> Tüfek bağlanan aparatın ön kısmının fotoğrafı .....	46
<b>Şekil 4.24:</b> Aparata yerleştirilen sensör .....	46
<b>Şekil 4.25:</b> Aparatın arka kısmının tüfeksiz fotoğrafı .....	47
<b>Şekil 4.26:</b> Tüfek ile birlikte aparatın genel fotoğrafı .....	47
<b>Şekil 4.27:</b> Verilerin toplanması sürecinin akış şeması olarak gösterimi .....	48
<b>Şekil 4.28:</b> Yazılım ara yüzünden yapılması gereken ayarlar .....	49
<b>Şekil 4.29:</b> Okunan verilerin ekranda görüntülenmesi .....	50
<b>Şekil 4.30:</b> Program ara yüzünde tüfek bilgilerinin girileceği kısım .....	51
<b>Şekil 4.31:</b> Programın veri yönetimi ile ilgili kısmı .....	52
<b>Şekil 4.32:</b> Veri kaydetme ayarları .....	55
<b>Şekil 4.33:</b> Grafik çizim alanı .....	57
<b>Şekil 4.34:</b> Grafik alanının gösterimi .....	58
<b>Şekil 4.35:</b> Grafik içerisinden alınan bir parça .....	58
<b>Şekil 4.36:</b> Grafikten alınan parçanın Y ve X eksenindeki değerlerinin gösterimi ...	58
<b>Şekil 4.37:</b> Grafikten alınan parçanın alanının bulunması için Y ekseninin ortalamasının alınması .....	59
<b>Şekil 4.38:</b> Grafikten alınan parçaların alanlarının toplamı .....	59
<b>Şekil 5.1:</b> Gazlı 12GA 66cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları .....	62
<b>Şekil 5.2:</b> Hibrit 12GA 71cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları .....	63
<b>Şekil 5.3:</b> Kinetik 12GA 66cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları .....	64
<b>Şekil 5.4:</b> Geri tepme kuvvet grafiği üzerinde çekirdek ve gaz hareketlerinin gösterimi .....	66
<b>Şekil 5.5:</b> Hibrit 12GA tüfek ile 61cm ve 76cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar .....	67
<b>Şekil 5.6:</b> Kinetik 12GA tüfek ile 66cm ve 76cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar .....	69
<b>Şekil 5.7:</b> Gazlı 12GA tüfek ile 66cm ve 76cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar .....	71
<b>Şekil 5.8:</b> Kıрма tüfek modeli süperpozenin 61cm ve 71cm namlu boyları ile yapılan atışlar .....	73
<b>Şekil 5.9:</b> 28g fişek ile Gaz Çevrimli, Kinetik ve Hibrit Sistem Karşılaştırması .....	75
<b>Şekil 5.10:</b> Örnek bir namlu freni .....	79
<b>Şekil 5.11:</b> Örnek bir keskin nişancı tüfeğinin namlu ucundaki namlu freni ile gösterimi .....	79
<b>Şekil 5.12:</b> Keskin Nişancı Tüfeği 61cm modeli .308 Win kalibre ile namlu freni farkı ölçümleri .....	80
<b>Şekil 5.13:</b> Keskin Nişancı Tüfeği .338 Lapua Magnum kalibre 68cm namlu ile namlu freni farkı ölçüm grafiği .....	81

## GERİ TEPME KUVVETLERİNİN YİVLİ VE YİVSİZ TÜFEKLERDE ÖLÇÜMÜ, ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRMASI

### ÖZET

Ateşli silahlar yüzyıllardır insanlığın savunma araçlarından biri olmuştur. Ateşli silahlar içerisinde ise tüfekler, insanların bireysel savunma araçlarının başında gelmiştir. Bugün kullanılan tüfekler ile ilgili ilk geliştirmeler yüz yıldan uzun süre öncelerde başlamış, bugün hala devam etmektedir. Bugün ise tüfeklerin gelişimi genel mekanizma ve çalışma düzenlerinden öte, detaylı mühendislik hesapları desteğiyle birlikte konfor ve müşteri ihtiyaçları ile yön değiştirmekte ve geliştirilmektedir.

Bu çalışmada ise tüfeklerin geri tepme kuvvetlerinin ölçümü ve analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı tüfek tipleri ve çalışma mekanizmaları incelenmiş, çalışma adımları açıklanmıştır. Geri tepme kuvvetlerinin oluşumu ve etkileri ile ilgili incelemeler yapılarak, bu kuvvetlerin nasıl ölçülebileceği ile ilgili araştırma ve literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Ölçüm için gerekli olan deneysel altyapı bir piezoelektrik kuvvet sensörü, sinyal şartlandırıcı, veri toplama sistemi ve bu çalışma için Visual Basic .NET yazılım dili ile geliştirilen bir yazılımın kullanıldığı bir bilgisayar ile oluşturulmuştur. Tüm bu donanımı ve atış yapılacak tüfekleri bir araya getirecek bir ölçüm aparatı tasarımı yapılmış ve imal edilmiştir. Bu aparat ve donanımlar ile birlikte poligonda 28 farklı tüfek ile 600'den fazla atış yapılmıştır. Atışlar 35 kHz ölçüm kapasitesine sahip piezoelektrik sensör vasıtası ile ölçülmüş ve tüm veriler gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir. Bu tüfek ve atışlardan bir kısmı değerlendirmeye alınarak incelenmiş ve karşılaştırmalı olarak analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ölçümler, tüfeklerin çalışma mekanizmaları, namlu boyları, ağırlıkları ve geri tepme kuvvetlerine etki edebilecek diğer bileşenler göz önüne alınarak değerlendirilmiş ve anlamlandırılmıştır. Ölçümlerden alınan sonuçlara göre, bir tüfeğin geri tepme kuvvet grafiğinden çekirdeğin namluyu terk ettiği anın tespit edilebileceği tespit edilmiştir. 12GA kalibreye sahip gaz çevrimi, kinetik ve hibrit yarı otomatik av tüfekleri karşılaştırmasında, hibrit tüfeğin en az geri tepme enerjisine sahip olduğu görülmüş ve bunun sebebinin namlu içi basınç kontrolü olduğu öngörülmüştür. Kinetik yarı otomatik tüfek ise en yüksek geri tepme enerjisine sahip model olmuştur. Ayrıca kinetik tüfeklerin atalet yayları ile mekanizma içi hareketlerinin de geri tepme kuvvet grafiğinde izlenebileceği öngörülmüştür. Benzer tüfekler farklı namlu boyları ile atışlar yapılarak karşılaştırılmış, namlu boyunun geri tepme kuvveti üzerindeki etkisi görülmüştür. Namlusunda gaz deliği bulunan hibrit ve gaz çevrimli modellerde namlu boyunun uzaması ile birlikte geri tepme kuvveti azalma eğilimi gösterirken, kinetik tüfeklerde ise tam tersi görülmüştür. Yivli tüfekler ile yapılan namlu freni parçasının denemelerinde, namlu freninin geri tepme kuvvetinin en yüksek değeri üzerinde %49'a kadar etkili olabileceği, toplam grafik alanını ise %22 kadar azaltabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** *Tüfekler, geri tepme, kuvvet sensörü, piezoelektrik sensör, veri toplama, sinyal işleme*

## MEASUREMENT, ANALYSIS AND COMPARISON OF RECOIL FORCES OF SHOTGUNS AND RIFLES

### ABSTRACT

Firearms have been one of the defense tools of humanity for centuries. Among firearms, rifles and shotguns have become one of the primary choices for home defense. The first developments regarding the rifles used today started more than a hundred years ago and are still continuing today. Today, the development of rifles is more than general mechanism and system design. It changes direction with comfort and customer needs with the support of detailed engineering calculations.

In this study, measurement and analysis of recoil forces of the rifles and shotguns were carried out. Different rifle and shotgun types and working mechanisms have been examined, and their mechanical systems are explained. By investigating the formation and effects of recoil forces, research and literature review on how these forces can be measured has been carried out. The experimental infrastructure required for measurement was created with a piezoelectric force sensor, signal conditioner, data acquisition system and a computer using software developed for this study in Visual Basic .NET programming language. A measuring fixture has been designed and manufactured to bring together all these equipment and the rifles to be shot on. With this fixture and equipment, more than 600 shots were made with 28 different rifles on the range. The shots were measured by a piezoelectric sensor with a measurement capacity of 35 kHz and all data were recorded in real time. Some of these rifles and shots were evaluated, examined and analyzed comparatively.

The measurements made were evaluated and interpreted by considering the working mechanisms of the rifles, barrel lengths, weights and other components that may affect the recoil forces. According to the results obtained from the measurements, it has been determined that the moment when the bullet leaves the barrel can be determined from the recoil force graph of a gun. In the comparison of 12GA caliber gas operated, kinetic and hybrid semi-automatic shotguns, it was seen that the hybrid shotgun had the least recoil energy and it was predicted that the reason for this was the pressure control in the barrel. The kinetic semi-automatic shotgun was the model with the highest recoil energy. In addition, it is predicted that the movements of the inertia springs of the kinetic shotgun and the movements within the mechanism can be observed in the recoil force graph. Similar shotguns were compared by shooting with different barrel lengths, and the effect of the barrel length on the recoil force was observed. While the recoil force tends to decrease with the length of the barrel in hybrid and gas cycle models with gas holes in the barrel, the opposite is observed in kinetic rifles. In the trials of the muzzle brake part made with rifles, it has been seen that the muzzle brake can be effective up to 49% on the peak value of the recoil force, while reducing the total graphic area by 22%.

**Keywords:** *Rifles, recoil, force sensor, piezoelectric sensor, data acquisition tool, signal processing*

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Konusu

Barut gazının itici gücü ile birlikte, uygun mühimmatı belirlenen hedefe yüksek hızda aktaran bütün silahlara ateşli silah denmektedir. Silahlar, farklı boy ve çaptaki namlu ölçülerine ve kullanılabilir uygun mühimmatlara göre ayrılır. Bu ayırım için ifade edilen değere kalibre denir. Farklı kalibrelerdeki mühimmatlar, mühimmat çapına, boyuna, ağırlığına, içerdiği barut miktarına ya da belirlenmiş başka ölçü ve değerlere göre sınıflandırılır.

Geri tepme kuvveti, bir mühimmatın namlu içerisinde (fişek yatağında) patlaması sonucu, patlama ile birlikte ortaya çıkan gazların ve merminin, Newton'un üçüncü yasasına göre tepki kuvveti olarak ortaya çıkar. Merminin ve barut gazının ileriye doğru gerçekleşen hareketini dengeler ve yönü geriye doğrudur. Bu kuvvet, elden ya da omuzdan ateşlenen küçük ateşli silahlarda, atıcının vücudu üzerinden yere aktarılır. Sürekli olarak atış yapan, atıcılığa alışkın olan insanlarda bu geri tepme kuvveti, geri tepme kuvvetinin gerçekleştiği anda silahı ileri doğru karşıt bir kuvvet ile iterek, atıcının refleks geliştirmesine neden olur.

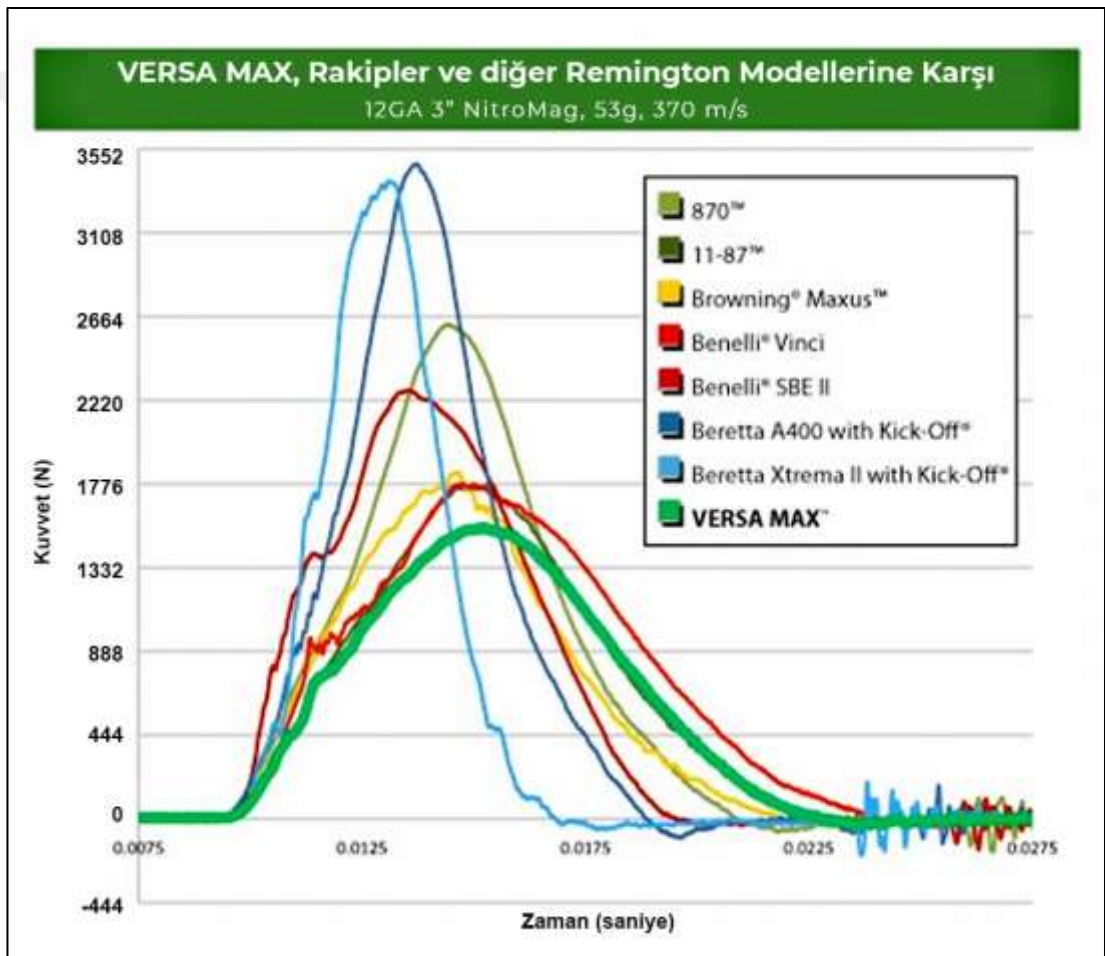
Tarihte, geri tepme esnasında ortaya çıkan enerjiyi kullanarak çalışan ateşli silahlar da geliştirilmiştir. Günümüzde de bu tür geliştirmeler ve yeni model silahların tasarım çalışmaları devam etmektedir. Bir ateşli silahın yalnızca mühimmatı belirlenen hedefe sevk etmesi, süreklilik için yeterli değildir. Bu esnada oluşan tüm yük ve kuvvetlere ile birlikte bir sonraki atış için gereken tam bir çevrimi (ateşleme, boş kovanın tahliyesi, dolu mühimmatın fişek yatağına sürülmesi) gerçekleştirmesi ve devamlı olarak bu döngüyü tekrar edebilmesi gerekmektedir.

## 1.2. Tezin Amacı

Ateşli silahlarda sistem üzerine etki eden tüm kuvvetler, mekanik sistemin çalışması, ömrü, devamlılığı ve bakımı gibi pek çok konu için önem arz etmektedir. Bu sebeple

tüm ateşli silahlarda, ortaya çıkan geri tepme kuvvetinin bilinmesi, anlaşılması ve mümkünse kontrol altına alınması önemlidir. Bu tez çalışmasında, yivli ve yivsiz tüfeklerin geri tepme davranışları, tüfeklerin sahip oldukları farklı özelliklere göre geri tepme kuvvetlerindeki değişim incelenecek ve karşılaştırılacaktır.

Yapılacak tez çalışması ve tüm ölçümler, günümüzde geri tepme kuvvetinin nasıl ortaya çıktığını, geri tepme kuvvetine etki eden tüm etkenleri, geri tepme kuvvetinin sistem, atış ve atıcı üzerindeki etkisini ve sonuçlarını analiz edecek ve gösterecektir. Tüm bu incelemeler ve ölçüm sonuçları, gelecekte geliştirilecek yivli ve yivsiz tüfek projelerinde girdi olarak kullanılarak yeni sistem ve tasarımlara yol gösterecektir.



Şekil 1.1: Örnekle bir geri tepme kuvvet grafiği

Kaynak: (Wakeman 2010)

Şekil 1.1'de Remington markasıyla tüfek üreten bir Amerikan firmasının, pazarlama amaçlı olarak yaptığı bir çalışma ile duyurduğu geri tepme kuvvetlerinin ölçümü gösterilmektedir. Bu örnekte görülebileceği gibi, geri tepme kuvvetinin ortaya çıkması ve sönümlenmesinin, grafikte verilen örnek av tüfekleri ile en fazla 15

milisaniye zaman almaktadır. Buradan yola çıkarak yapılacak araştırmalar ile kullanılacak ölçüm sensörünün sahip olması gereken özellikler kabaca belirlenebilir. Bu ölçüm verilerinin bilgisayar ortamına aktarımı için gerekli ara yüzler de yine benzer çalışmalar üzerinden elde edilecek değerler yardımı ile belirlenecektir.

Bu tez çalışması kapsamında ortaya konacak tüm sonuçlar, bugüne dek pek çok kez sönmölenmeye, yok edilmeye ve azaltılmaya çalışılan geri tepme kuvvetleri ile ilgili detaylı bilgiler edinmemize yardımcı olacaktır. Teknolojinin gelişmesi ve geçmişte yapılmış benzer araştırmaların üzerine geçen zaman içerisinde bulunmuş yeni sistemler, yeni mühimmatlar ve kalibreler ile nelerin değiştiğini de görmemizi sağlayacaktır.



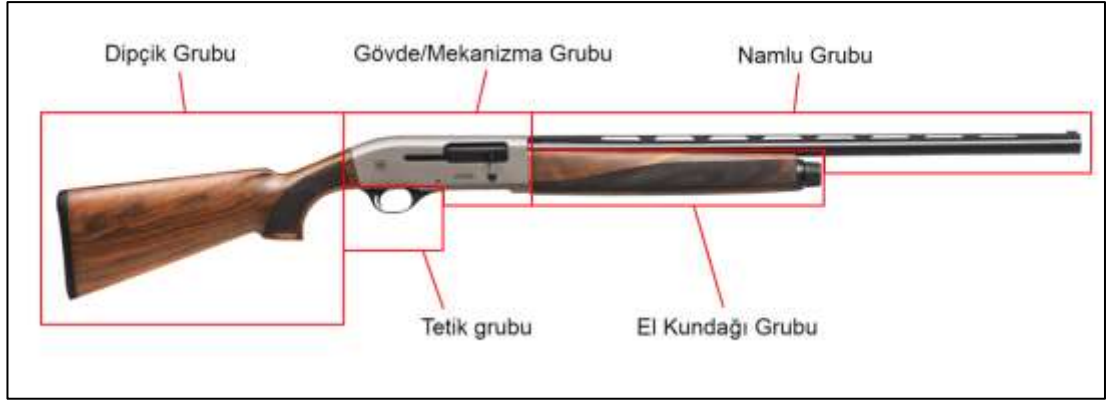
## **2. ATEŞLİ SİLAHLARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE GERİ TEPME KUVVETİ**

### **2.1. Ateşli Silahların Çalışma Prensibi**

#### **2.1.1. Yivli ve yivsiz tüfeklerin çalışma prensibi**

Amerika Birleşik Devletleri Kanunlar Kanunu'na göre (18 U.S.C., § 921(A)(7)) yivli tüfek tanımı şöyledir; “Yivli tüfek, omuzdan ateşlenmek amacı ile tasarlanmış bir silahtır ve her bir tetik çekme hareketi ile birlikte içerisinde yiv ve setleri olan bir delik içerisinden, bir adet mermiyi patlama enerjisi ile ateşleme amacıyla yapılmıştır.” (U.S. Government Publishing Office 2012). Yine aynı kaynağa göre yivsiz tüfek tanımı ile şu şekildedir; “omuzdan ateşlenmek amacı ile tasarlanmış, tetiğin her bir çekilmesinde patlama enerjisi ile iç yüzeyi düz bir namlu içerisinden saçma parçalarını veya tek bir çekirdeği ateşleme amacıyla yapılmıştır”. Türk Standartları Enstitüsü tarafından yayınlanan TS870 (Ateşli Silahlar – Yivsiz-Setsiz Tüfekler – Av, Spor ve Müsabakalar İçin) standardına göre ise ‘tüfek’ şu şekilde tanımlanmıştır; “Av ve spor amaçlı kullanılan yivsiz-setsiz ateşli silah” (Türk Standartları Enstitüsü 2019).

Genel olarak İngilizce’de ‘firearm’ ve aynı anlamı ile Türkçe’de ‘ateşli silah’ denildiğinde akla gelen ve sözlüklerde tanımlananın ise “taşınabilir silah” olduğu görülecektir. ‘Tüfek’ kelimesinin tanımını ise, omuza dayanarak, elde veyahut kucakta ateşlenebilecek hafif ateşli silah olarak yapılmaktadır (Tüfek 2021). Tüfekler, kullanıldıkları yere göre piyade tüfeği, av tüfeği gibi adlar alır. Genelde mekanizma grubu (bazı tüfeklerde gövde grubu olarak anılabilir), el kundağı grubu (bazı kaynaklarda kundak grubu olarak geçmektedir), dipçik grubu, namlu grubu ve tetik grubu olmak üzere 5 ana parça grubundan oluşur (Jensen-Jones & Schroeder 2018).



**Şekil 2.1:** Tüfek parça gruplarının örnek bir tüfek ile gösterimi

**Kaynak:** (CY Gri t.y.)

Şekil 2.1’de bu gruplar örnek bir tüfek ile gösterilmiştir. Mekanizma grubu, ateşlemeyi ve boş kovanın dışarı atılmasını sağlar. El kundağı grubu, atış esnasında tüfeği tutmak, el ile destek almak amacıyla kullanılır. Çatal ayak gibi tüfeği istenen zemine yerleştirme amacıyla özelleştirilebilir. Aynı zamanda bazı modellerde namluyu destekler, yataklar ya da gaz sistemini gizleyici/koruyucu olarak işlev görür. Dipçik grubu ise tüfeği omuza dayama amacıyla kullanılır. Namlu grubu, mühimmatın sevk edilmesi görevini üstlenir ve bazı modellerde barut gazını mekanizmaya yönlendirir. Tetik grubu ise, tetik ve bağlantılı tüm parçaların bulunduğu, mekanizma ile birlikte çalışan gruptur.

Öncelikle askeri alanda kullanılan ateşli silahların 13. yüzyılda ortaya çıktığı görülmektedir. Önceleri namludan doldurulan ve pratik olmayan tasarımlar, 19. yüzyılda yerini arkadan doldurmalı tasarımlara bırakmıştır. Sanayi devrimi ile birlikte üretimi kolaylaşan tüfekler hem uygun fiyatları hem de pratik kullanımları sebebiyle avcılıkta da ok ve yayın yerini almıştır. Browning, Remington, Winchester gibi yivli ve yivsiz tüfek tarihine, sahip oldukları tasarım ve patentlerle yön veren firmaların popülaritesi de 19. yüzyılın sonları ile 20. yüzyılın başlarında artmıştır.

### **2.1.2. Yivli ve yivsiz tüfeklerde kullanılan mühimmatlar**

Yivli ve yivsiz av tüfeklerinde kullanılan mühimmatlara ‘fişek’ denmektedir. Fişekler genel olarak kapsül, barut ve çekirdekten oluşur. Yivsiz av tüfeklerinde kullanılan fişeklerde bunlara ek olarak bir de tapa isimli bir parça bulunur. Kapsül, içerisinde sıkıştırılmış barut bulunmaktadır. Tüfeğin iğnesinin çarpması ile birlikte sahip olduğu tasarım sebebiyle kıvılcım çıkararak bir patlama gösterir. Bu ilk patlama, fişekin içerisindeki baruta oranla yok sayılabilecek kadar küçük ölçeklidir.

Barut, bu kapsülün patlaması ile birlikte yanmaya başlar. Günümüzde yivsiz tüfek fişeklerinde hızlı yanan, yivli tüfek fişeklerinde ise yavaş yanan barutlar kullanılır. Yanmaya başlayan barut, açığa çıkardığı gaz ile birlikte yüksek basınca sebep olur. Çekirdek, bu basıncın etkisi ile birlikte hareket etmeye başlar ve hızla namluyu terk eder. Tüfek içerisinde ise boş fişek (kovan) kalır. Bu kovan tüfek içerisinden tahliye edilir ve şarjörden yeni bir dolu fişek namluya yüklenerek aynı çevrim bir kez daha gerçekleştirilir.

Yivsiz av tüfeği fişekleri, 12GA, 20GA, 28GA, 36GA şeklinde en kalını 12GA , en incisi 36GA olacak şekilde isimlendirilen, İngilizce’de ‘gauge’ olarak anılan (kısaca GA) kalibrelere göre çapları ile, içerisinde bulunan çekirdeğin (kurşun) ağırlığına göre de gramajları ile anılmaktadırlar. Şekil 2.2’de en çok kullanılan yivsiz tüfek fişekleri gösterilmiştir.



**Şekil 2.2:** Yivsiz av tüfeği fişek kalibreleri

**Kaynak:** (Shotgun Ammunition: Shotshells t.y.)

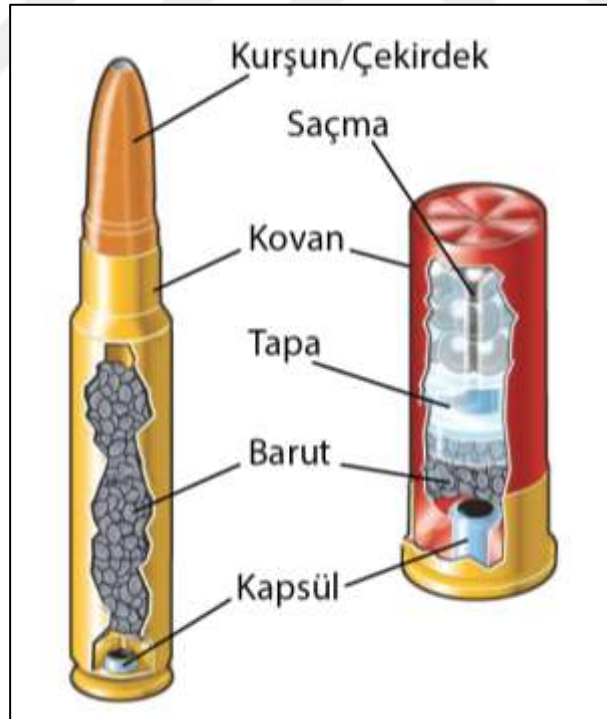
Yivli tüfek fişeklerinin tamamında uygulanabilir standart bir isimlendirme kuralı yoktur. Fakat yine de bu fişeklerin büyük bir çoğunluğu İngiliz ölçü birimi inç kullanılarak çekirdek çaplarına, İngilizce’de ‘grain’ olarak anılan ağırlık ölçü birimiyle ise (kısaca gr) çekirdek ağırlıklarına göre anılırlar. Şekil 2.3’te en çok bilinen yivli tüfek kalibrelerinin biz kısmı, iki farklı yivsiz av tüfeği fişegi ile birlikte gösterilmiştir.



**Şekil 2.3:** Bazı yivli tüfek fişeklerinin 12GA yivsiz av tüfeği ile birlikte gösterimi

**Kaynak:** (Rifle caliber assortment t.y.)

Şekil 2.4'te yivli ve yivsiz tüfeklerde kullanılan fişekler iç yapıları ile birlikte gösterilmiştir. Tüfeğin mekanizması içerisinde yer alan ve ateşlemenin başlamasını sağlayan iğne parçası, kapsüle vurmaktadır. Kapsülün ateşlenmesi ile birlikte kovan içerisinde yer alan barut yanmaya başlar. Yükselen basınç ile birlikte kurşun, diğer bir deyişle çekirdek ya da saçmalar harekete geçer ve hedefe sevk edilir.



**Şekil 2.4:** Yivli (solda) ve yivsiz (sağda) tüfek fişekleri

**Kaynak:** (Basic components of ammunition t.y.)

### **2.1.3. Yivli ve yivsiz tüfeklerin kullanım alanları**

Yivli ve yivsiz tüfeklerin genel olarak kullanım alanları Şu Şekilde sınıflandırılabilir,

- Spor Amaçlı Kullanım
- Avcılık Amaçlı Kullanım
- Kolluk Kuvvetleri Kullanımı
- Askeri Kullanım
- Bireysel Savunma Amaçlı Kullanım

#### **2.1.3.1. Spor amaçlı kullanım**

Olimpiyatlarda da yer alan skeet ve trap atıcılık disiplinleri için yivsiz av tüfekleri tercih edilir. Uçar avları taklit etme amaçlı olarak tasarlanan bu oyun senaryoları, kilden yapılma plakların tıpkı bir kuŐ gibi havada hareket halindeyken vurulması Őeklindedir. Havada aynı anda iki plağın bulunabildiği atışlar sırasında, atıcı çok kısa bir süre içerisinde iki plağı da vurmak için art arda iki atış yapmak zorundadır. Dolayısıyla tüfeğin atıcı tarafından kontrolü ve dolayısıyla geri tepme kuvveti oldukça önemlidir. Bu oyunlarda en çok 12GA kalibreye sahip tüfekler ve 24g fişekler ile kullanılır (Meinert 2006).

#### **2.1.3.2. Avcılık amaçlı kullanım**

Yivli tüfekler, çekirdeğe kazandırdıkları açısal momentum sebebiyle yivsiz tüfeklere oranla çok daha uzak hedeflere isabetli atışlar yapma imknı tanırırlar. Bu sebeple yivli tüfekler daha çok uzak mesafelerdeki, çoğunlukla dürbünle atış yapmayı gerektiren, büyük hayvanların avı için tercih edilir.

Yivsiz tüfekler ise, namludan ayrıldıktan sonra belirli bir alan içerisinde dağılarak, sadece bir noktaya değil, bir bölgeye etki edebilen, hızlı ve hareketli hedeflerin daha kolay vurulmasına yardımcı olan samalı fişekler sebebiyle, çoğunlukla küçük ve hızlı hayvanların avcılığı için tasarlanmakta ve tercih edilmektedir.

Avcılık amaçlı kullanımda da geri tepmenin az olması, artarda yapılacak atışlarda hedefte kalmayı kolaylaŐtırma amacıyla gerekse de tüfeğin hafif olması da taşınabilirlik için gereklidir.

### **2.1.3.3. Kolluk kuvvetleri kullanımı**

Kolluk kuvvetleri tarafından daha çok toplumsal olaylara müdahale amacıyla yivsiz tüfekler tercih edilmektedir. Yivsiz tüfekler, yine toplumsal olaylara müdahale amacıyla göz yaşartıcı gaz bombaların fırlatılması amacı ile de kullanılabilir. Ateşleme sonrası dağılarak giden saçmalar, hedefin vurulma ihtimalini artırır. Bu sebeple kullanımı kolaydır ve detaylı eğitimler gerektirmez.

### **2.1.3.4. Askeri kullanım**

Askeri amaçlı kullanımda, uzun mesafede sahip oldukları etki ve hedefte oluşturabildikleri tahribat sebebiyle yivli tüfekler daha çok tercih edilmektedir. Teknik standartlara girmiş yüzlerce yivli mühimmat kalibresi olsa da bazı kalibreler diğerlerine oranla daha çok tercih edilmekte ve bu ünleri sebebiyle dünyanın her yerine bulunabilmektedirler.

### **2.1.3.5. Bireysel savunma amaçlı kullanım**

Kolay kullanımı, her yerde bulunabilir fişek seçenekleri ve bu amaca yönelik pek çok farklı tasarımın ve farklı fiyat aralıklarındaki seçeneklerin bulunabilir olması sebebiyle yivsiz av tüfekleri, bireysel savunma amaçlı kullanımlarda tercih edilmektedir. Kısa mesafede kullanımda, hedef gözetmeksizin yapılacak atışlarda kullanımı kolaydır.

### **2.1.4. Kullanılacak yivli ve yivsiz tüfeklerin çalışma sistemleri**

Geçmişten bugüne pek çok farklı tasarım ve çalışma mekanizması ile tasarlanmış olsalar da bugün itibariyle kullanıcılar tarafından tercih edilen çalışma sistemleri sınırlıdır. Bunun bir sebebi uzun yıllar içerisinde geliştirilen bazı sistem tasarımlarının optimum verimlilik seviyesine ulaşmış olmasıdır. Bir diğer sebebi ise erişilebilirliktir.

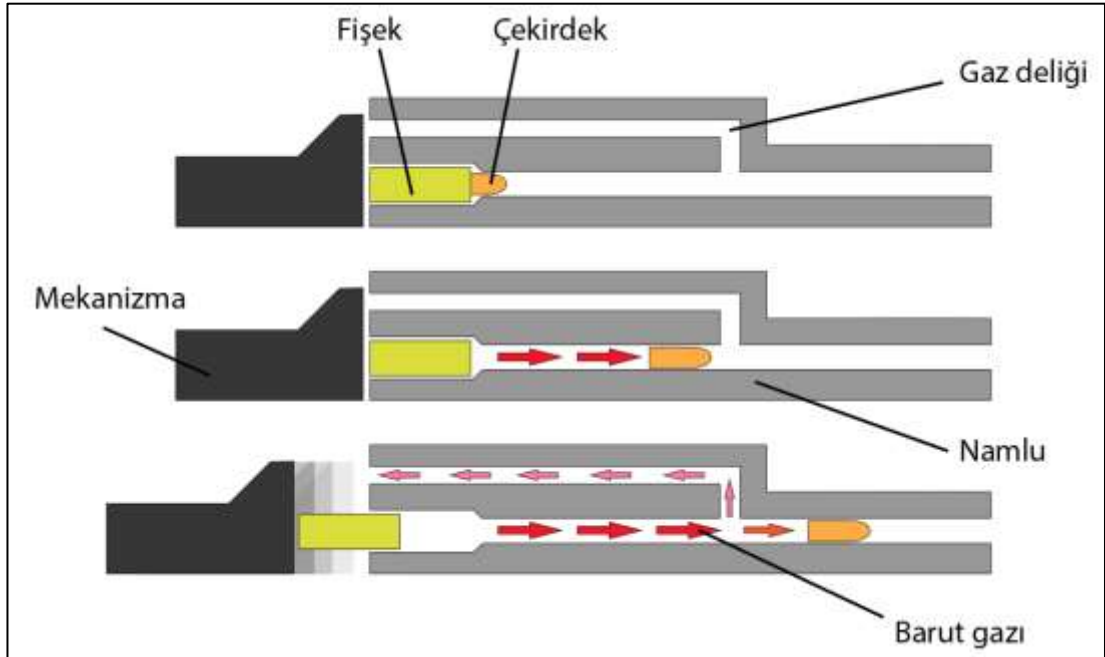
Geçmişte namluların ön tarafından doldurularak ateşlenen ilkel tüfekler, yerini zaman içerisinde arkadan doldurulan tüfeklere bırakmıştır. Bu tüfekler sahip oldukları şarjör kapasiteleri ile birden fazla kez artarda atış yapabilmektedir. Günümüzde kullanılan tüfeklerin tümü, teknik standartlar ile belirlenen kriterlere göre üretilebilmektedir. Bu sebeple günümüzde kullanılan tüfeklerin tümü, arkadan doldurulan tüfeklerdir. Namlunun doldurulabilmesi için tüfeğin namlu arka kısmının

açığa çıkarılması, dolayısı ile fişek doldurulabilmesi gerekir. Atış yapabilmek için ise namlu arkası kapatılmalı ve kilitlenmeli, fişegin patlaması yalnızca namlu ucunun açıkta olduğu bir ortam içerisinde gerçekleşmelidir.

#### 2.1.4.1. Gaz çevrimli otomatik ve yarı otomatik tüfekler

Bu çalışma sisteminde tüfek, patlama esnasında namlu içerisinde oluşan yüksek basınç yardımı ile çalışır. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi, namlu içerisine açılan delikler ile yüksek basınçlı gazın bir kısmı, tüfek mekanizmasının çalıştırılması için kullanılır. Gaz basıncı ile harekete geçen mekanizma, boş fişegi tahliye ettikten sonra şarjörden yeni bir dolu fişek alarak tekrar namluya sürer ve atışa hazır hale gelir (Donnelly 2013). Şekil 2.5'te bu adımlar yukarıdan aşağı doğru sırasıyla gösterilmiştir.

Namlu içerisindeki gazın bir kısmının kullanılması sebebi ile bu tüfeklerin namlu çıkış hızlarının ve dolayısı ile etkilerinin daha düşük olduğu yönünde bir kanaat bulunmaktadır. Aynı sebeple bu tüfeklerin geri tepme kuvvetlerinin, muadil fakat namlusunda delik bulunmayan, yani gaz çevrimi ile çalışmayan modellere göre daha az geri tepme kuvvetine sahip olduğu yönünde akademik olmayan çalışmalar yapılmıştır (Wakeman 2016).



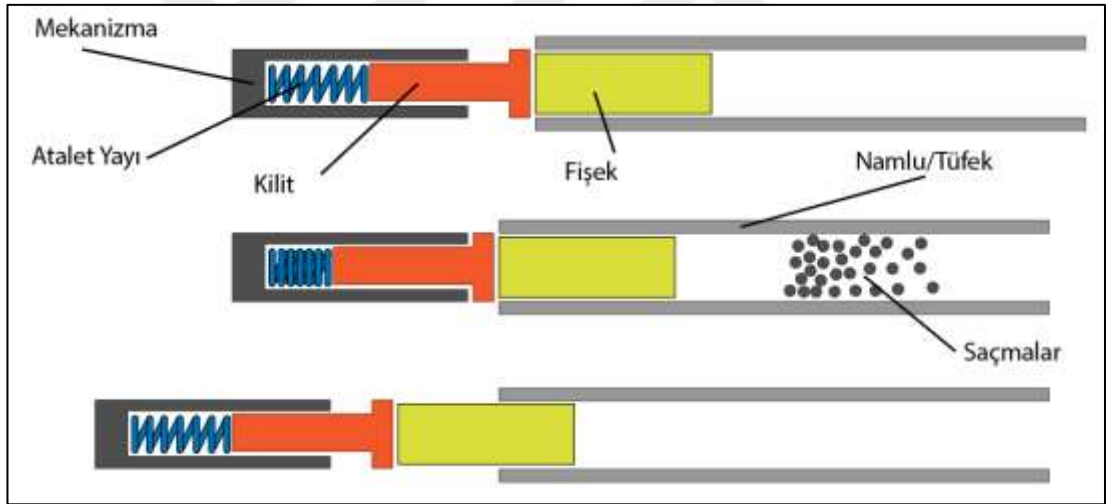
Şekil 2.5: Gaz çevrimli tüfeklerin çalışma sistemi

Ağır çekirdek ağırlığına sahip mühimmatların harekete geçmesi hafif çekirdeklere oranla daha zor olduğu için yüksek gramajlı fişeklerin namlu içi basınçları da daha

yüksek olmaktadır. Bu sebeple gaz çevrimli tüfeklerin çalışma hızları da fişek gramajına göre değişiklik gösterir. Hatta bazı tüfeklerin hafif gramajlı fişekler ile çalışmadığı bilinmektedir.

#### 2.1.4.2. Kinetik otomatik ve yarı otomatik tüfekler

Fişegin patlaması ile birlikte ortaya çıkan geri tepme kuvveti, tüfeği çekirdeğin aksi istikametinde harekete geçirir. Kinetik tüfeklerde mekanizma, belirlenen bir mesafe içerisinde serbestçe hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu geri tepme anında serbest hareket edebilen mekanizma, eylemsizlik göstererek yerinde kalır. Bu esnada önünde yer alan yayı, sahip olduğu eylemsizlik momenti ile kurar. Kapanan ve enerji depolanan yay, geri gelme hareketi tamamlandıktan sonra (kullanıcının omuzu ile tüfeği desteklemesi) serbest kalarak mekanizmayı geriye doğru harekete geçirir ve doldur-boşalt çevrimini başlatır. Şekil 2.6'da bu adımlar yukarıdan aşağı doğru sırasıyla gösterilmiştir.

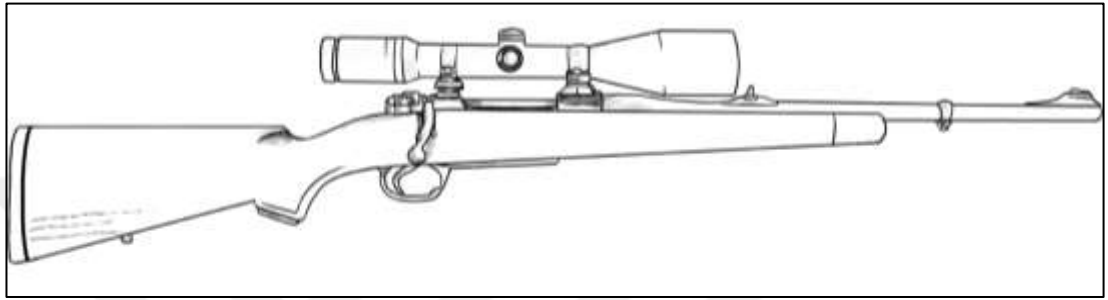


**Şekil 2.6:** Kinetik tüfeklerin çalışma döngüsü gösterimi

Kinetik tüfeklerin kullanımı sırasında tüfeğin çok sıkı tutulması, tüfeğin hareket etmesine izin verilmemesi durumunda mekanizma, atalet yayını kuramayacak, dolayısı ile görevini yerine getiremeyecek, tüfek çalışmayacaktır. Bu tüfeklerde barut gazının tamamı mühimmatın sevki için kullanılır. Bu sebeple avcılar arasında gaz çevrimli tüfeklere göre daha yüksek çıkış hızlarında atış yapabildikleri konusunda bir inanç hakimdir.

### 2.1.4.3. Sürgü mekanizmalı tüfekler

Sürgü mekanizmalı tüfeklerde ise sistem, mekanizmanın kullanıcı tarafından hareket ettirilmesi, diğer bir deyişle ‘sürülmesi’ ile gerçekleşir. Bu tüfeklerde mekanizmanın kullanıcı tarafından geri ve ileri sürülmesi için bir sürgü kolu bulunur. Kullanıcı bu kolu kullanarak mekanizma kilidini açma, boş kovani fırlatma ve dolu kovani namluya sürme işlerini yapar. Şekil 2.7’de örnek bir sürgü mekanizmalı tüfek gösterilmiştir.



**Şekil 2.7:** Sürgü mekanizmalı tüfek

**Kaynak:** (Down 2010)

### 2.1.4.4. Kıрма tüfekler

Kullanıcı tarafından manipüle edilen bir mandal yardımı ile tüfeğin namlu kısmı açılır. Namlu kısmı bir mafsal etrafında hareket ettiği için bu işleme “kıрма” adı verilir. Kırlan tüfeğin namlusu içerisine dolu fişekler yüklenerek, namlular kapatılır ve namlu grubu tüfeğin gövdesi üzerindeki kilitlere tutunur. Atış yapıldıktan sonra yine kullanıcı tarafından “kıрма mandalı” adı verilen mandal yardımı ile namlular kırılır ve boş kovanlar çıkarılır. Bu şekilde doldur-boşalt çevrimi gerçekleştirilmiş olur. Kıрма tüfekler, tek namlulu, üst üste iki namlulu, yan yana iki namlulu ve iki alt bir üst olacak şekilde üç namlulu olabilir. Bunlar dışında başka varyasyonları da vardır. Bu tez çalışmasında yalnızca üst üste iki namluya sahip, “süperpoze” olarak adlandırılan modeller kullanılacaktır. Şekil 2.8’de örnek bir tek namlulu kıрма tüfek gösterilmiştir. Şekil 2.9’da ise örnek bir süperpoze tüfeğin kırılmış hali gösterilmektedir.



**Şekil 2.8:** Tek namlulu bir kırma tüfek

**Kaynak:** (Armsan Pointer 12GA single shot t.y.)



**Şekil 2.9:** Süperpoze bir tüfeğin kırılmış hali

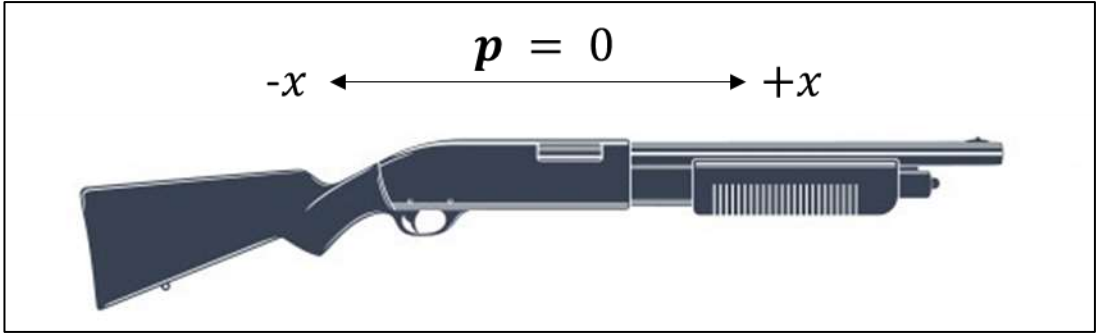
**Kaynak:** (Url1 t.y.)

## 2.2. Geri Tepme Kuvveti

### 2.2.1. Geri tepme kuvvetinin oluşması ve özellikleri

Bir önceki başlıkta da bahsedildiği gibi, Newton'un 3. yasasına göre namlu içerisinde hareketsiz halde bulunduğu sırada, patlamanın etkisi ile birlikte birkaç milisaniye içerisinde ses hızını aşabilen mühimmat çekirdeği, tüfek üzerinde bir etki oluşturacaktır.

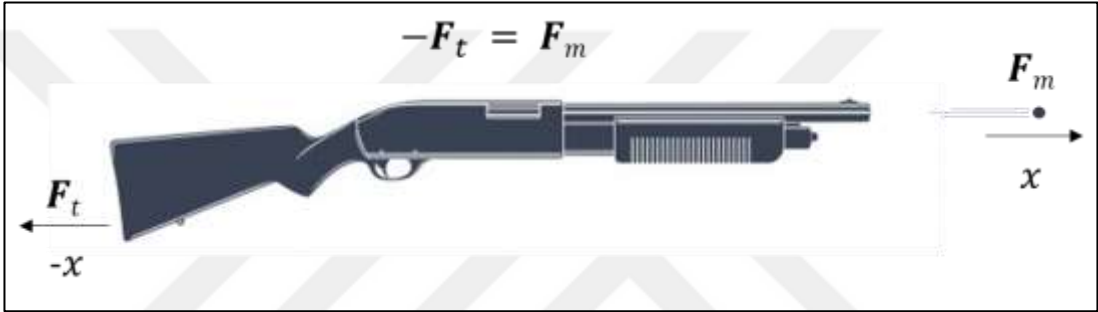
Her iki cisim de (tüfek ve mühimmat) hareketsiz halde duruyor iken, ateşleme ile ortaya çıkan enerji, tüfek ve mühimmat çekirdeğine eşit miktarda etki eder. Mühimmatın kazandığı toplam enerji ile tüfeğin kazandığı toplam enerjinin de eşit olmalıdır. Ateşleme öncesinde durum Şekil 2.10'da gösterildiği gibidir.



Şekil 2.10: Atıştan önce tüfek

$p$ : Momentum

Ateşleme ile birlikte ortaya çıkan durum ise Şekil 2.11’de gösterilmiştir.

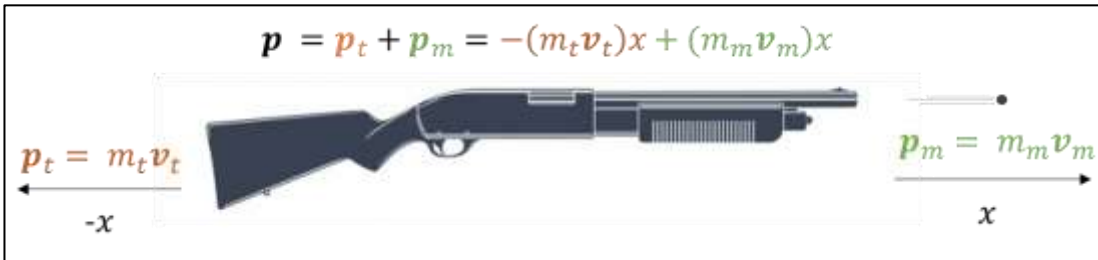


Şekil 2.11: Atış ile tüfeğe ve çekirdeğe etkiyen kuvvetler

$F_t$ : Tüfeğe uygulanan kuvvet

$F_m$ : Mühimmata uygulanan kuvvet

Tüfeğin ve çekirdeğin toplam momentumlarının eşitlenmesi, Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12: Atış sonrası toplam momentum eşitliği

$p_t$ : Tüfeğin momentumu

$p_m$ : Mühimmatın momentumu

$m_t$ : Tüfeğin kütlesi

$v_t$ : Tüfeğin hızı

$m_m$ : Mühimmatın kütlesi

$v_m$ : Mühimmatın hızı

Yivsiz av tüfeklerinde mühimmat, namlu içerisinde serbestçe ilerler. Bu sebeple bu tüfeklerde kullanılan fişeklerin içerisinde yer alan barutlar, hızlı yanan barut tipidir. Yivli tüfeklerde ise çekirdek, namlu içerisindeki setlere sürtünerek ilerler. Tüm namlu boyunca açılan yiv ve setler üzerinde hız kaybetmeden ilerleyebilmesi, yivli tüfek fişeklerinde kullanılan yavaş yanan barut etkisi iledir.

### 2.2.2. Geri tepme kuvvetinin hesaplanması

Ani bir patlama ile harekete geçen mühimmat çekirdeğinin kazandığı toplam enerjinin, bu patlama esnasında tüfeğin kazandığı toplam enerjiye eşit olması gerekir. Mühimmatların çekirdek ağırlıkları ve namlu çıkış hızları, katalog verilerinde belirtilmektedir. Dolayısı ile ağırlığı da bilinen bir tüfek ile, tüfeğin atış sonrasında sahip olması gereken hız hesaplanabilir. Yapılacak bir örnek için, kütlesi  $m_m$  ile ifade edilen bir mühimmatın 30g kütleye sahip olduğu ve çıkış hızının da  $v_m=400$  m/s olduğu kabul edilecektir. Bu mühimmatın ateşleneceği tüfeğin kütlesi ise  $m_t = 3$  kg'dır. Bu hesap için Şekil 2.12'de gösterimi yapılan denklem 2.1 (Hibbeler 2006, ss. 201-205) kullanılacaktır.

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_t + \mathbf{p}_m = m_t \mathbf{v}_t + m_m \mathbf{v}_m \quad (2.1)$$

Eşitlik sağlayabilmek için yukarıdaki formülü, denklem 2.1a'da (Hibbeler 2006, ss. 201-205) gösterildiği gibi yazılabilir.

$$m_t \mathbf{v}_t = m_m \mathbf{v}_m \quad (2.1a)$$

Tüfeğin hızını, mühimmat hızı ve kütlesi bilindiği sürece, tüfeğin sürtünmesiz bir ortamda bulunduğu ve çalışma sisteminden doğan geri tepme yükü kayıpları sıfır kabul edilerek yukarıdaki sonuca ulaşabilmek mümkündür. Newton'un 2. yasasına göre bir cismin ivmesi, üzerine etki eden bileşke kuvvetle doğru orantılı, kütlesi ile ters orantılıdır. Buna göre,

$$3000 \cdot v_t = 30 \cdot 400$$

$$v_t = 4 \text{ [m/s]}$$

Tüfek üzerine etki eden toplam kuvveti bulabilmek için geri tepme yükünün, yani toplam momentumun zamana göre değişimi bilinmelidir. Bu süre ise ancak bir kuvvet-zaman ölçümü yapılarak tespit edilebilir.

$$\sum F = \frac{dp}{dt} \quad (2.2)$$

$\sum F$ : toplam kuvvet

$dp$ : momentum değişimi

$dt$ : zaman değişimi

Denklem 2.2’de (Hibbeler 2006, ss. 201-205) gösterilen hesap içerisinde, toplam momentum bulunmuş olsa dahi, momentumun zamana göre değişimi bilinmeyeceği için kuvvet değerine ulaşılamamaktadır.

Amerika’da ateşli silahlar konusunda standart belirleyici kurumlardan birisi olan Spor Silahları ve Mühimmat Üreticileri Enstitüsü (SAAMI) tarafından 2018 yılında yayımlanan bir dokümanda (Sporting Arms and Ammunition Manufacturers’ Institute, Inc. 2018) ise bir tüfeğin geri tepme enerjisinin ve geri tepme hızının nasıl hesaplanacağı konusundan bahsetmiştir. Bu yazıda denklem 2.3’te gösterilen formül kullanılmıştır.

$$V = \frac{W_E V_E + W_{PG} V_{PG}}{7000 W_F} \quad (2.3)$$

**Kaynak:** (Sporting Arms and Ammunition Manufacturers’ Institute, Inc. 2018)

$V$ : Tüfeğin hızı (fps)

$W_E$ : Çekirdek ağırlığı (gr)

$V_E$ : Çekirdek çıkış hızı (fps)

$W_{PG}$ : Gaz (barut) ağırlığı (gr)

$V_{PG}$ : Gaz çıkış hızı (fps)

7000: Grain-libre dönüşümü sabiti

$W_F$ : Tüfeğin ağırlığı (lb)

Burada  $V_{PG}$  gaz çıkış hızı değeri, 1929 yılında yayınlanan “İngiliz Taşınabilir Silahlar Kitabı” (British Text Book of Small Arms) isimli bir kitap referans gösterilerek, bazı sabit katsayılar ile ifade edilmiştir

*Yüksek güçlü yivli tüfeklerde VPG = 1.75VE*

*Yivsiz av tüfeklerinde (ortalama boy) VPG = 1.50VE*

*Yivsiz av tüfeklerinde (uzun namlulu) VPG = 1.25VE*

*Tabanca ve altıpatlarlarda VPG = 1.50VE*

Denklem 2.3 daha önce başka akademik araştırmalarda kullanılmış (Canfield-Hershkowitz ve arkadaşları 2013) ve yapılan geri tepme ölçümleri ile karşılaştırılarak, yakın sonuçlar elde edilebildiği görülmüştür. Ancak yapılan bazı örnek hesaplamalar ile görülmüştür ki, denklem 2.1 ve 2.3'ten alınan sonuçlar arasında yok sayılabilecek kadar küçük farklar çıkmaktadır. Bu sebeple bu tez çalışmasında daha sade olan yöntem tercih edilerek denklem 2.1 ile ilerlenecektir.

### **2.2.3. Geri tepme kuvvetinin kullanıldığı alanlar**

Bugüne kadar pek çok tüfek “geri tepme önleyici sistem” adı altında geliştirilen, geri tepme kuvvetinin tepe noktasını azaltmayı hedefleyen sistemler ile satılmış ve satılmaktadır. Eski askeri topların sahip oldukları hareketli namlu sistemleri, geri tepme yükünün sönümlenmesi amacıyla birkaç metre hareket edebilmektedir. Bugün tüfeklerde kullanılan hızlı geri tepme sönümleyici sistemler de temelde aynı amaçla ve daha öncelerde icat edilen, fakat tank ve toplar için üretilen hidro-pnömatik geri tepme sönümleyici sistemlere benzemektedir. Tüm bu sistemler geri tepme yükünün daha uzun bir sürede, farklı parçalar üzerine aktararak sönümlenmesi ve ana silah sistemi ve kullanıcı tarafından en az şekilde hissedilmesi için tasarlanmıştır.

Geri tepme kuvvetinin etkisi ile çalışan kinetik tüfeklerde ise tüfek, atalet momenti ile çevrimini tamamlar. Bu sebeple bu mekanizmaya sahip olan tüfeklerin, geri tepme yükünün sönümlenmesi, diğer bir değişle tüfeğin atış esnasında geri tepme kuvvetinden doğan hareketi gerçekleştirmemesi, tüfeğin çalışmamasına sebep olur. Bu sistemlerde geri tepme enerjisi, sistemin bir parçası olarak, çevrimin başlatılması için kullanılmıştır.

Bazı tek tetikli kırma tüfeklerde yer alan kinetik tetik sistemleri ise, birinci namlunun ateşlenmesinden sonra ikinci namlunun ateşlenebilmesi için, birinci namlunun sebep olduğu geri tepme kuvvetine ihtiyaç duyar. Hatalı mühimmat, bozuk tüfek, nemli barut, vb. sebeplerle ateşlenmeyen birinci namludan sonra ikinci namlu ateşlenmez.

Bu tarz tetik sistemleri çoğunlukla atıcılık yarışmalarında kullanılmak üzere tercih edilmektedir.

#### **2.2.4. Geri tepme kuvvetinin etkileri**

The Effects of Recoil on Shooters Performance (Harper ve arkadaşları 1996) isimli çalışmada edinilen sonuçlarda geri tepme kuvvetinin atış isabeti, atış konforu ve kullanım üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Bu çalışmada da görülmektedir ki, geri tepme kuvveti öncelikle konfor ve sağlık açısından bakıldığında yüksek önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında da incelenen, omuzdan ateşlenen tüfekler için geri tepme, atış konforu, atış isabeti, tüfeğin rahat kullanımı ve aksesuar kullanımı üzerinde de etkindir. Çok yüksek geri tepme kuvvetleri, tecrübesiz atıcıların omuzunda ve yüzünde morarma, kemiklerde incinme, çatlak ve hatta kırılmalara sebep olabilmektedir.

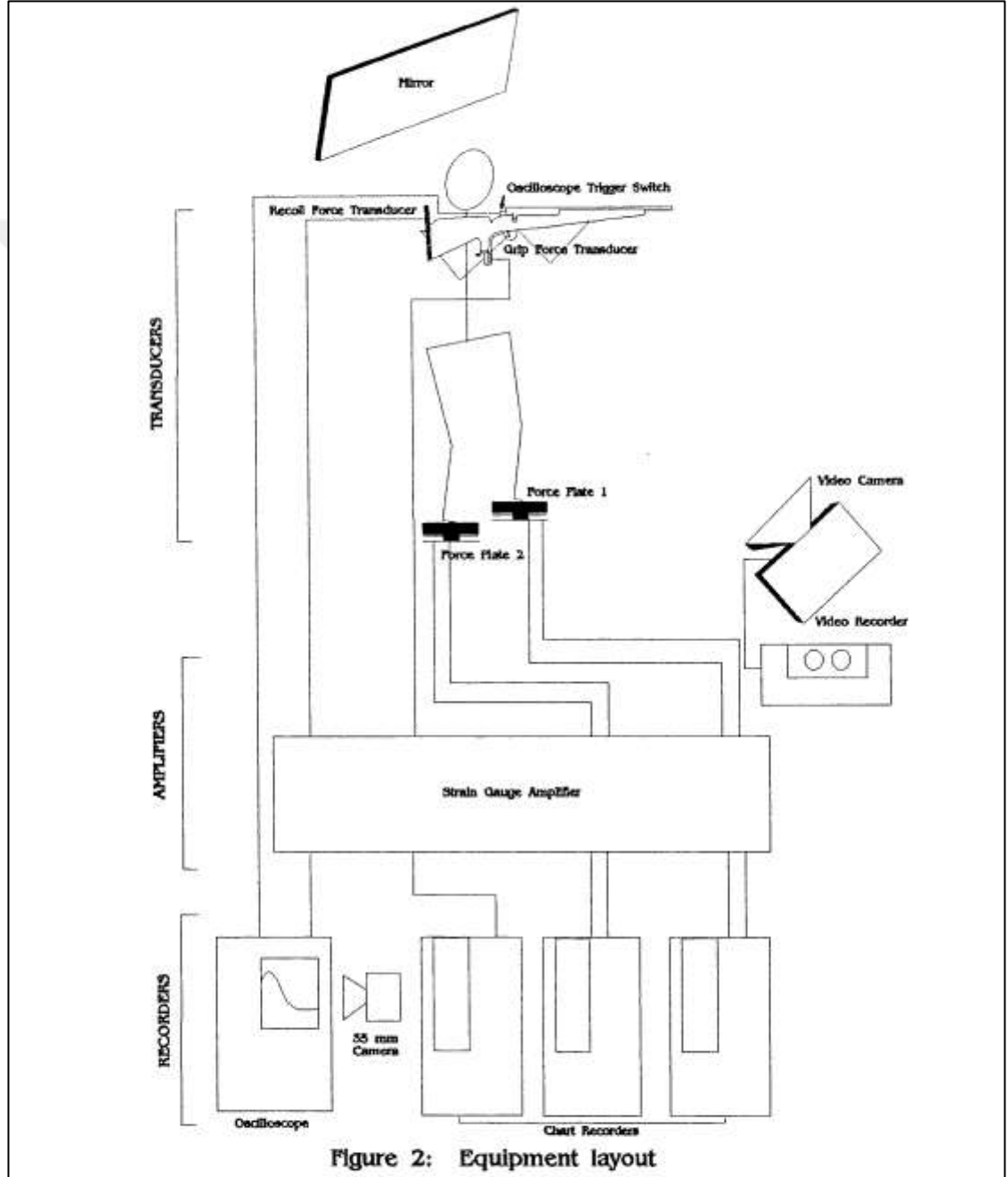
Ayrıca tüfeklerin geri tepme enerjisi, atıcının omuzu ile buluştuğunda, çoğunlukla tüfeklerde namlu ekseni, tüfeğin atıcının omuzuna temas ettiği noktadan daha yukarıda konumlandığı için, namlunun yukarı doğru kalkmasına sebep olmaktadır. Bu durum ‘şahlanma’ olarak bilinmektedir. Dolayısıyla geri tepme kuvvetinin şiddeti, tüfeğin şahlanması üzerinde de doğrudan etkilidir. Şahlanma ise art arda yapılan atışlarda hedef isabeti konusunda atıcıları zorlayan bir durumdur.

#### **2.3. Geri tepme kuvvetinin ölçülmesi ve analizi ile ilgili literatür araştırması**

Geri tepme kuvvetlerinin ölçümü ile ilgili akademik araştırmalar 1991 yılına kadar uzanmaktadır. Hesaplama yöntemleri ise daha da eskiye dayanmaktadır. 1982 yılında Amerikan Donanması’nda ergonomi üzerinde yapılan “Omuzdan Atılan Tüfeklerde Geri Tepme: Literatür Araştırması” isimli Spine (1982) tarafından gerçekleştirilen çalışmada geri tepme ile ilgili farklı kalibrelere dair hesaplamalar yapılmış ve gösterilmiştir. Ayrıca geri tepme üzerine etki eden değişkenler incelenmiş ve açıklanmıştır.

Cape Town Üniversitesi’nde Biyomedikal Mühendisliği Yüksek Lisansı tez çalışması için Smith (1991) tarafından “Ayakta Tüfek Atışının Ergonomi ve Biyomekaniğinin İncelenmesi” (*An Investigation of the Ergonomics and Biomechanics of Rifle Shooting From the Standing Position*) ismiyle hazırlanan akademik çalışmanın amacı, atış pozisyonunda atışlar yapan bir kişinin ergonomi ve

biyomekaniklerinin incelenmesi olmuştur. Bu çalışmada atıcının ayaklarının altına, tüfeğin tutma yerlerinden biri olan kabzasına ve atıcının omuzlarına sensörler yerleştirilmiştir. Atıcının ayakları altına yerleştirilen sensörler, iki eksende ölçüm yapabilen kuvvetölçer plakalardır. Kabza ve omuzda yer alan sensörler ile birlikte tüm bu sensörler, 8 kanallı bir strain-gauge yükselticiye bağlanmıştır. Tüm bu deney yapısı şematik olarak Şekil 2.13’de görülebilir.



Şekil 2.13: Ayakta Tüfek Atışının Ergonomi ve Biyomekaniğinin İncelenmesi isimli tezin deney altyapısı

Kaynak: (Smith 1991)

Bu tez çalışmasında geri tepme kuvvetinin görüntülenmesi için osilaskop kullanılarak 35mm fotoğraf filmleri üzerine kuvvet grafiği çizilmiştir. Çıkarılan bu kuvvet grafiğinin integrali alınarak grafiğin altında kalan alan hesaplanmış, böylelikle impals değeri bulunmuştur. Bu hesaplama denklem 2.4'te gösterilmiştir. İmpalsin hesaplanabilmesi için trapezoidal kuralı kullanılmıştır. Bu işlem de denklem 2.5 ile gösterilmiştir.

$$J = \int_{t_0}^{t_n} F_R(t) dt \quad (2.4)$$

**Kaynak:** (Smith 1991)

**J:** İmpals

$F_R(t)$ : Geri tepme kuvvetinin zamana göre fonksiyonu

$$J \approx (h/2) \left[ F_R(t_0) + 2 \left( \sum_{j=1}^{j=n+1} F_R(t_j) \right) + F_R(t_n) \right] \quad (2.5)$$

**Kaynak:** (Smith 1991)

$h$ : Aralıkları eşit iki nokta arası kuvvet farkı

$t_0, t_1, \dots, t_n$ :  $n+1$  sayıda eşit olarak yerleştirilmiş noktalar (zaman eksenini)

$F_R(t_0), F_R(t_1), \dots, F_R(t_n)$ :  $F_R(t)$  fonksiyonunun bilinen değer noktaları

Bunların yanında ayrıca geri tepmenin en yüksek değeri ve geri tepmenin süresi hesaplanmıştır. Geri tepmenin süresi, geri tepme kuvvet değerinin atıştan önceki değere ulaştığı an baz alınarak hesaplanmıştır. Ortalama geri tepme kuvveti, geri tepme impalsinin geri tepme süresine bölümü ile bulunmuştur. Geri tepme öncesi değer, ortalama geri tepme kuvveti, en yüksek geri tepme kuvveti ve geri tepmenin süresi değerleri tablolar halinde değerlendirilmiştir. Yapılan atışlar sonrasında varılan sonuçlardan birisi, atış yapan kişiye dair değişkenlerin, atış sonuçlarını ne kadar değiştirebileceği olmuştur. Buna göre atış yapan kişinin duruşu, kıyafetleri, kas gerginliği ya da eklemlerinin esnekliği, ölçüm sonuçlarına etki etmiştir. Atış yapan kişinin omzunda hissettiği geri tepme yükünün yalnızca tüfeğin özelliklerine bağlı olmadığı görülmüştür. Aynı tüfekle atış yapılsa dahi geri tepme kuvvetinin farklı kişiler tarafından farklı hissedileceği tespiti yapılmıştır. Tüm bu sonuçlar değerlendirilirken kullanıcının dipçik üzerindeki yanağının, kabzayı tutan elinin ve

tüfeği desteklemek üzere ön tarafta el kundağı üzerinde bulunan elinin geri tepme üzerindeki etkilerinin hesaplanmadığı, bu değişkenlerinde sonucu değiştireceğine değinilmiştir.

Lee, Choe ve Chae (2008) tarafından yapılan “Ateşleme Şok Kuvvetini Azaltmak İçin Geri Tepme Padi üzerinde Deneysel Performans Analizi” (*Experimental Performance Analysis on Recoil Pad for Reducing Firing Shock Force*) isimli çalışmada bir geri tepme kuvveti ölçüm sistemi kurulmuş ve farklı sertliklerdeki tüfek omuzlukları ile atışlar denenmiştir. Geri tepme kuvveti bir aparat üzerine yerleştirilen bir yük hücresi yardımı ile ölçülmüştür. Burada elde edilen sonuçlara göre omuzluk parçasının sertliğinin değişimi ile ölçülen geri tepme kuvvetinin en yüksek noktada ulaştığı değer, %50’ye kadar değişiklik göstermektedir. Burada gözden kaçırılmaması gereken nokta, bu çalışmada farklı sertliklerdeki omuzluklar ile tüfeğin ulaşabildiği en yüksek geri tepme değeri karşılaştırılmıştır. Geri tepme esnasında ortaya çıkan toplam enerji miktarı ile karıştırılmamalıdır.

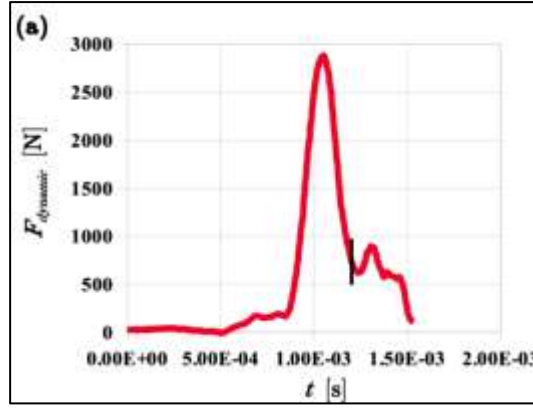
Hershkowitz, Foster ve Meijer (2013) tarafından yapılan “Yivli ve Yivsiz Av Tüfeği Geri Tepme Test Sistemi” (*Rifle and Shotgun Recoil Test System*) isimli çalışmada ise Amerikan Weatherby firmasının ürettiği tüfeklerin geri tepme kuvvetlerinin ölçümü için yapılmış bir test sistemi tasarımdan bahsedilmektedir. Teorik hesaplar ile tasarlanan ölçüm sistemi arasındaki tutarlılık kontrol edilmiş ve çalışma ölçüm sisteminin doğrulanması ile birlikte sonuçlandırılmıştır. Bu çalışmada tercih edilen elektronik donanımlar, bu tez çalışması için de katkı sunacaktır.

Lonzi ve arkadaşları (2017) tarafından gerçekleştirilen “Tüfeklerde Atış Darbe Kuvvetinin Ölçülmesi” (*Measurement of Firing Impulse Force in Rifles*) isimli çalışmada ise atıcıların omuzlarında hissedilen geri tepme kuvvetinin ölçümü için bir sistem tasarımına odaklanılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışma içerisinde yalnızca bir kuvvet sensörü değil, kuvvetin alan içerisindeki dağılımını göstermek üzere, film yüzey halindeki bir yük ölçer matris kullanılmıştır. Çalışma, örnek geri tepme yüklerinin bu matris, kuvvet sensörü ve ivmeölçer ile birlikte kombine ölçümlerinin yapılması ve analizi ile sonuçlandırılmıştır.

2015 yılında Koptuyug ve Ainegren (2015) tarafından yapılan “Biatlon Silahların Yarışma Atışları Sırasında Dinamiğinin Deneysel Ölçümü” (*Experimental Measurement of Rifle Dynamics During the Range Shooting of Biathlon Weapons*)

isimli çalışma, atıcıların daha gerçekçi atış simülasyonlarından faydalanabileceği bir atış simülasyon sistemi geliştirilmesi için biatlon silahlarının dinamiklerinin ölçümüne odaklanmıştır. Çalışmada kullanılan silahın geri tepme kuvveti omuzluk kısmında yerleştirilen bir yük hücresi ile ölçülmüş, aynı zamanda iki adet ivme ölçer ile silahın farklı yerlerinden de eş zamanlı olarak ivme değerleri kaydedilmiştir. Geri tepme kuvvetlerinin bu projede sıfırdan en yüksek değere ulaşması 10-15 milisaniye alırken, kuvvet değerinin sıfıra dönmesi ise 30 ila 40 milisaniye arası süreler almıştır. Çalışmanın sonucunda ince film tabakalar halinde olan kuvvet sensörlerinin bu gibi ölçümler için ideal olmadığı, yük hücrelerinin daha doğru bir tercih olacağı varılan sonuçlardan birisi olmuştur.

Suchocki ve Ewertowski (2017) tarafından yapılan “İnsan Tüfek Tepki Kuvveti Üzerine Deneysel ve Sonlu Eleman Çalışmaları” (*Experimental and Finite Element Studies on Man-Rifle Reaction Force*) isimli çalışmada ise atış esnasında insan ile silah arasındaki reaksiyon kuvvetlerine odaklanılmıştır. Testler için kalaşnikov olarak bilinen AK-47 model tüfek tercih edilmiştir. Geri tepme kuvvetinin ölçülmesi için omuzluk arkasına denk gelecek şekilde iki adet yük hücresi kullanılmıştır. Bu yük hücreleri omuzluğun üst ve alt kısımlarında yer alacak şekilde konumlandırılmıştır. Böylelikle geri tepme kuvvetinin omuzluğun hangi kısmında hangi değerlere ulaştığı kaydedilmiştir. Aynı zamanda namluda patlamanın meydana geldiği kısım olan fişek yatağındaki basıncın ölçülmesi için de bir basınç sensörü ile birlikte çekirdeğin namluyu terk ettiği anın kaydedilmesi için de namlu ucuna da bir anahtar yerleştirilmiştir. Bu çalışmada atıcıya ve atış pozisyonuna göre değişmekle birlikte, 3000 N'a kadar ulaşan geri tepme kuvvetleri ölçülmüştür. Kullanılan AK-47 tüfeğin 7.62x51mm kalibreye sahip olduğu unutulmamalıdır. Bu çalışmanın sonuçlarından birisi de şunu göstermiştir ki, çekirdeğin namluyu terk ettiği anda geri tepme kuvveti tepe noktasını aşmış ve başlangıç noktasına yaklaşmış olmaktadır. Bu detay şekil 2.14'de gösterilmektedir. Şekil 2.14'de grafik üzerinde yer alan siyah dikey çizgi, çekirdeğin namluyu terk ettiği anı göstermektedir.



**Şekil 2.14:** İnsan Tüfek Tepki Kuvveti Üzerine Deneysel ve Sonlu Eleman Çalışmaları isimli çalışmanın geri tepme ölçüm grafik sonuçlarından biri

**Kaynak:** (Suchocki & Ewertowski 2017)

Aynı çalışmanın sonuçlarından birisi de şunu göstermiştir. Omuzlukta üst kısımda yer alan sensör, alt kısımda yer alan sensörden %80 daha yüksek değerler okuyabilmiştir. Namlu içerisindeki basınç ile geri tepme kuvvetinin birbiri ile aynı formda yükseldiği ve benzer grafikler çizdiği kaydedilmiş ve geri tepme kuvvet grafiğinin, namlu içi basınca göre 0.3ms daha geç oluştuğu tespit edilmiştir.

2017 yılında R. Monzoni ve arkadaşları (2017), gerçekleştirdikleri çalışmada Benelli markasının 828U model isimli tüfeği ile, Benelli'nin tüfek ile birlikte sunduğu geri tepme önleyici sistemi test etmişlerdir. Geri tepme önleyici sistem olan ve olmayan aynı model, farklı tüfekler ile yapılan atışlar sonrasında, geri tepme önleyici sistemin, atıcıların omuzlarında daha az ısı artışına sebep olduğunu ve bunun geri tepmenin azaltıldığını doğruladığını söylemişlerdir. Atıcıların geribildirimleri ve denemeler ise, sistemin performans üzerinde ölçülebilir bir etki göstermediğini ortaya koymuştur.

P. Badurowicz ve arkadaşlarının (2021) gerçekleştirdikleri çalışmada bir tabancanın namlu iç basıncı ve namlu içi gazların çıkış hızları ile ilgili ölçümler sonrasında değerler, bilgisayar ortamında bulunan bir tabanca üzerinde sonlu elemanlar analizi yöntemi ile girdi olarak kullanılmış ve silahın diğer parçaları üzerindeki etkiler izlenmiştir. Bu çalışma geri tepme kuvvetlerinin tespitini içeren, farklı çalışmalardan birisidir. Bu çalışmanın sonucunda yazar, daha detaylı bir tasarım ve girdiler ile (sürtünme katsayıları, malzeme özellikleri, zaman ve ilerleme, katı modellerin hassasiyeti gibi) gerçekleştirildiğine daha doğru sonuçlar alınabileceğini belirlemiştir. Fakat buna rağmen sonuçlar pek çok yay özelliği, darbe kuvveti, hareket hızı gibi değerlerin kaydedilebilmesini sağlamıştır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. Kuvvet Sensörleri

Kuvvet ölçümü amacı ile kullanılan sensör tipleridir. Yük hücresi olarak da anılırlar. Kuvvet sensörleri çoğunlukla kuvvet-zaman *grafîği* çıktısı almak amacı ile kullanılırlar. Uygulanan kuvvete göre genlik, akım, direnç, basınç değeri değışikliği ile ölçülebilir sonuçlar iletebilen farklı tipleri bulunmaktadır.

##### 3.1.1. Kuvvet sensörlerinin çalışması

Kuvvet sensörleri, diğeri bir değışle yük hücreleri, üzerlerine uygulanan çekme ya da baskı kuvvetlerini, ölçülebilir şekilde bir çıkış sinyaline dönüştüren ölçüm cihazlarıdır (Polly 2020). Bu sinyal bir mikroişlemci, bilgisayar gibi sistem üzerindeki karar verici diğeri mekanizmalara iletilir. Yük sensörlerinin kullanım alanı oldukça geniş ve pek çok farklı çalışma prensibine sahip türleri vardır. Şekil 3.1’de bir pnömatrik yük hücresi, örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Örnek pnömatrik yük hücresi

**Kaynak:** (Url2 t.y.)

Bu farklı çalışma prensipleri ve türleri, farklı kullanım alanları için avantaj ve dezavantajlar sağlar. Kuvvetin frekansı, miktarı, statik ve dinamik kuvvet farklı, kuvvetin uygulanma süresi ve bunlar gibi pek çok değışken hesaba katılmalıdır. Bu sebeple kullanım amacına göre uygun sensörün belirlenmesi gerekir

### 3.1.2. Kuvvet sensörü tipleri

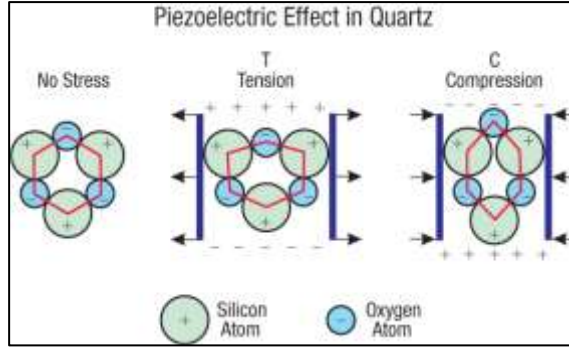
Kuvvet sensörleri aşağıda listelendiği şekilde ana tiplere ayrılabilir (All About Force Sensors t.y.).

- Pnömatik yük hücreleri
- Hidrolik yük hücreleri
- Piezoelektrik yük hücreleri
- İndüktif yük hücreleri
- Kapasitif yük hücreleri
- Manyetostriktif yük hücreleri
- Gerinim ölçer yük hücreleri

Pnömatik yük hücreleri, üzerlerine uygulanan yükün basınçlı bir oda içerisinde yer alan diyafram üzerine uygulanması mantığı ile çalışır. Uygulanan yük ile birlikte değişen basınç, kuvvet miktarını ortaya çıkarır. Bu fark bir basınç göstergesi ile ölçülür ve uygulanan kuvvet ortaya çıkar. Gerekirse bu veri elektrik sinyallerine dönüştürülerek kullanılabilir.

Hidrolik yük hücreleri de aynı pnömatik yük hücrelerinde yer alan mantık ile çalışır. Aradaki tek fark, basınçlı hava değil basınçlı sıvı kullanılmasıdır. Hidrolik yük hücreleri ile elektrik kullanmadan kuvvet ölçüm sistemleri oluşturmak mümkündür. Elektriğin kullanılmasının riskli olduğu alanlarda tercih edilebilir.

Piezoelektrik yük hücreleri, adından da anlaşılacağı gibi piezoelektrik malzemelerin çalışma prensibi temel alınarak kullanılır. Üzerinde oluşan elektrik enerjisini dışarı iletebilecek şekilde bağlantıları olan bir kristal malzemedir. Kristal malzeme üzerine mekanik olarak stres uygulanması ile birlikte kristal malzeme, çok küçük miktarlarda şekil değiştirir ve bu, malzeme içerisinde yer alan elektrik yükleri arasındaki simetri, yani denge değişir. Bu değişim ile birlikte ortaya bir elektrik enerjisi ortaya çıkar. Bu enerji ölçülerek malzeme üzerine uygulanan yük ölçülebilir (Introduction To Piezoelectric Force Sensors t.y.). Şekil 3.2’de piezoelektrik bir malzeme olan kuvarsın çalışması gösterilmiştir.



**Şekil 3.2:** Piezoelektrik malzeme çalışma prensibi gösterimi

**Kaynak:** (Fleischer t.y.)

İndüktif yük hücreleri, selenoid bir bobin içerisinde ferromanyetik bir çekirdek içerir. Uygulanan yük çekirdeğin bobin içerisindeki pozisyonunu değiştirir. İndüktanstaki bu değişimden yola çıkılarak uygulanan kuvvet ölçülür.

Kapasitif yük hücreleri ise, bir kapasitör görevi gören plakaların, dengeye gelene kadar şarj edilmesi ile oluşur. Sensörün tam şarj olduğu sırada sahip olduğu elektrik enerjisi, kapasitif plakaların yüzey alanı ile doğru orantılı, yüzeyler arası mesafe ile ise ters orantılıdır. Sensör üzerine yük uygulanması ile birlikte plakalar arası mesafe değişir. Bu da maksimum şarjın değişimine neden olur. Böylece uygulanan yük miktarı ölçülebilir.

Magnetostriktif sensörlerin üzerlerine uygulanan yük ile birlikte sensörün manyetik geçirgenliği değişir. Bu değişim ile birlikte uygulanan yük miktarı ölçülebilir.

Gerinim ölçer yük hücreleri ise İngilizce’de “strain gauge” olarak bilinen yük hücreleridir. Üzerlerine yük uygulanması ile birlikte sensör küçük miktarlarda deforme olur. Bu yer değiştirme ile birlikte sensör üzerinde yer alan direncin değeri değişir. Bu değişim, sensör üzerine uygulanan elektrik gerilimi üzerinde görülür ve böylece kuvvet ölçülebilir (All About Force Sensors t.y.).

### 3.2. Gerekli Kuvvet Sensörünün Belirlenmesi

Geçmişte yapılan bazı akademik ve akademik olmayan çalışmalardan edinilen bilgilere göre, geri tepme yüklerinin 10.000N seviyelerine kadar çıkabileceği öngörülmektedir. Yine geçmişte yapılan araştırmalardan edinilen bilgilere göre geri tepme kuvvetinin 5 ila 20 ms arası sürelerde başlayıp bittiği görülmektedir. Bu sebeple tercih edilecek sensör bu süre içerisinde, net bir grafik çizebilmek için yeterli

sayıda ölçüm yapabilmelidir. Sensörün örnekleme hızı, kaydedilecek verinin doğruluğu açısından önemlidir. Sensörün yakalayamayacağı bir ölçüm noktası, kuvvetin en yüksek olduğu tepe noktasındaki değerin belirlenmesinde ve dolayısı ile yapılacak diğer hesaplarda hatalara sebep olabilir.

Yalnızca ölçüm kapasitesi ve hızı değil, sensörün yapısı da önem arz etmektedir. Kullanılacak sensörün rijit ve sağlam bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Yüksek dinamik yükler altında çalışırken sensörün bu kuvvetlere dayanabilmesi önemlidir.

Bütün bunların yanında sensör, taşınabilecek boyutlarda ve test ortamında rahat kullanıma imkân verecek geometrik yapıya sahip olmalıdır. Kolay sökülebilir bir şekilde montajı yapılabilmesi ve bağlantı arayüzü taşınabilir aparat üzerinde kolaylıkla kullanılabilir olmalıdır. Dış mekânda yapılacak atışlarda kullanılabilmesi, yağmur, çamur, toz, yağ gibi dış etkenlere karşı dayanıklı olmalıdır.

Tüm bu bilgilere göre kullanılacak sensörün sahip olması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir.

- En az 20.000 N ölçüm kapasitesi
- En az 20.000 KHz ölçüm frekansı
- Sağlam dış yapı
- Kolay kullanılabilir bağlantı ara yüzü
- Sıcaklık, nem, toz, yağ gibi dış etkenlere dayanıklılık
- Taşınabilirlik

### **3.3. Veri Toplama Sistemleri**

Kullanılacak olan sensörün göndereceği verilerin okunabilmesi için veri toplama sistemi kullanılması gereklidir. Kuvvet sensörleri, farklı kuvvet değerlerine göre değişen çıktılar veren analog sensörlerdir. Bu sebeple kullanılacak veri toplama sisteminin de aynı türde analog veri okuyabilmesi gereklidir. Sensörden alınacak yüksek frekanslı analog verinin, yine aynı frekans değerlerinde veri okuyabilen bir veri toplama sistemi ile kullanılmalıdır. Aksi halde sensör ile veri toplama sistemi aynı frekansta haberleşemeyecek ve veri kayıpları oluşacaktır. Sensör seçiminde bahsedildiği gibi, veri toplama sistemi de yine taşınabilir, dayanıklı dış yapıya sahip, iç ve dış mekân atışlarında kullanılabilir şekilde olmalıdır.

Veri toplama sistemi için en önemli kriterlerden birisi de kullanıcı ara yüzüdür. Veri toplama sistemine gönderilen sensör verileri, bilgisayar ortamına kolay bir şekilde aktarılabilirdir. Tüm bu bilgilere göre tercih edilmesi gereken veri toplama sisteminin sahip olması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir.

- En az sensör değeri kadar okuma hızına ve genliğe sahip 1 adet analog giriş
- İç ve dış mekân atışlarına kullanılabilir dış yapı
- Taşınabilirlik
- Basit kullanıcı ara yüzü
- Kolay bağlantı ara yüzü
- Bilgisayar bağlantısından aldığı enerji ile çalışabilmesi



## 4. DENEYSEL ALTYAPININ HAZIRLANMASI

### 4.1. Sistem Tasarımı Yaklaşımı

Geri tepme kuvveti ölçümü yapılacak sistemin tasarımı, ölçüm sonuçlarının doğru bir şekilde elde edilebilmesi için hiç şüphesiz en önemli aşamalardan bir tanesidir. Bu sebeple tasarım yaklaşımında ilk öncelik, tüfeğin sahip olduğu tüm geri tepme enerjisini kayıpsız bir şekilde ölçebilecek bir sistem tasarlamaktır. Bir diğer öncelikli konu ise, ölçüm yapılmak istenecek tüm potansiyel tüfek tipleri ile uyum sağlayabilecek bir ölçüm sistemi tasarımı olmasıdır. Daha önce yapılan akademik ve akademik olmayan bazı çalışmalarda pek çok kez geri tepme kuvvetlerinin atıcıların atış yaptığı esnada, doğrudan tüfek üzerinden, atıcının omuzu ile tüfek arasına yerleştirilen bir sensör vasıtası ile ölçüldüğü görülmüştür (Wakeman 2010), (Suchocki & Ewertowski 2017), (Mayer 2004).

Geri tepme kuvvetinin kayıpsız bir şekilde ölçülebilmesi için, tüfeğin en sade hali ile ölçüm yapılmalı, ölçüm yapabilmek adına tüfeğin üzerine bir ağırlık eklenmemeli, herhangi bir kullanıcı tarafından tutuluyor olmamalıdır. Tüfeğin ağırlığının değişmesi ve bir kullanıcı mühadelesi, ölçüm sonuçlarını da değiştirecektir. Aynı şekilde tüfeğin namlu eksenine doğrultusunda serbest hareket edebilir halde bulunması gereklidir. Böylelikle atış esnasında tüfeğe etki eden kuvvetin tümü, tüfek ile birlikte sensöre aktarılabilir.

Sistem, birbirinden farklı ölçülere sahip tüfeklerin ölçümü için kullanılabilir, bu tarz ölçümler sırasında yapılacak ayarlamaların hızlıca gerçekleştirilebilmesi gerekecektir.

Tüm bunlarla birlikte genel olarak sistem sade olmalı, parça değişikliği, yeniden tasarlanması ve üretimi kolay olmalıdır. Bu sayede daha az parça sayısı ve basit sistem tasarımı ile problem yaşanma ihtimali azaltılabilir. Problem oluşması durumunda problemlerin çözümü için de kolaylık sağlanmış olur.

Ölçüm sonuçları bilgisayar ortamında analiz edilecek ve kaydedilecektir. Bu sebeple sistem, taşınabilir bilgisayar kullanımı için uygun bağlantı koşullarına ve yapıya sahip olmalıdır.

Geri tepme kuvvetlerinin ölçümü için çok farklı tüfekler ve mühimmatlar kullanılacaktır. Atışlar, hem kapalı alanlarda salyangoz atış makinalarında, hem de açık alanda yer alana poligonlarda yapılabilir. Bu sebeple sistemin taşınabilir olması ile birlikte götürüldüğü ortama uyum sağlayabilir olması da önemlidir. Ancak bu sayede tüm farklı tüfek tipleri ile birlikte kullanılabilir ve ihtiyaç duyulan koşullarda atışlar sağlanabilecektir.

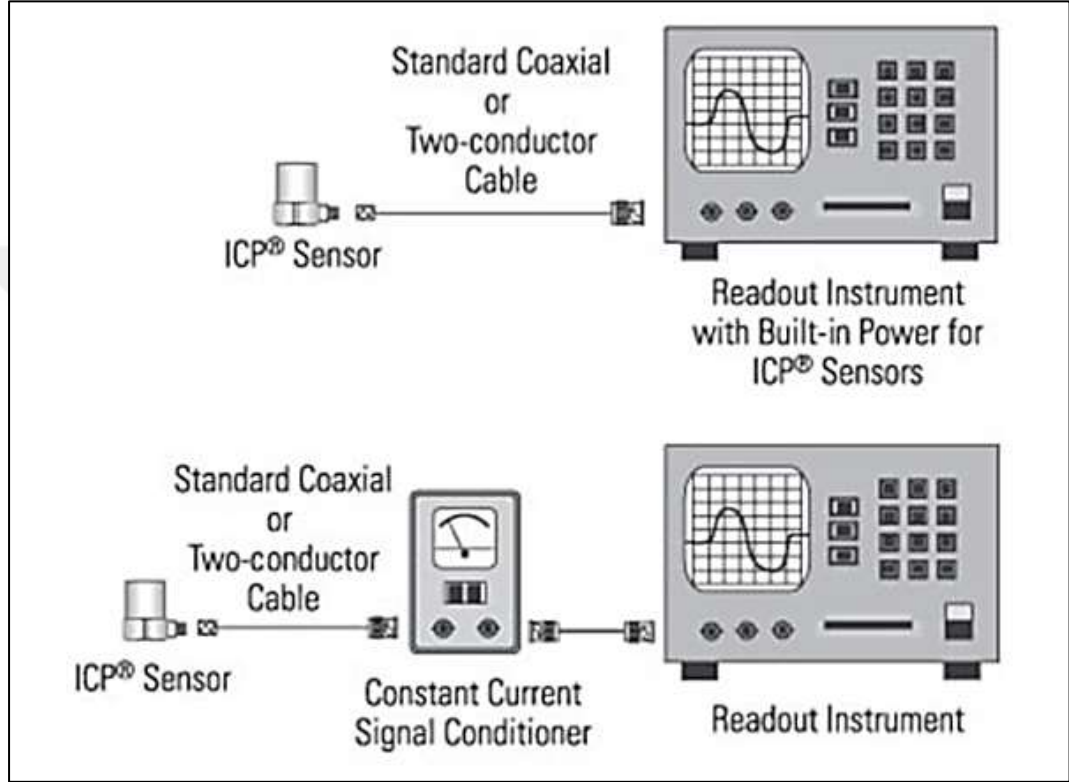
Tasarlanacak sistem ile birlikte elde edilmek istenen çıktılar şunlardır.

- Ateşlenen silahın en yüksek geri tepme kuvvet değerinin ölçülebilmesi
- Silahın ölçüm aparatı ile herhangi bir değişiklik gerekmeden kullanılabilmesi
- Kuvvet-zaman grafiği çıktısı
- Taşınabilir olması
- Herhangi bir aksaklık ve arıza durumunda kolay ve basit parçalar ile tamir edilebilmesi
- Atışların sebep olacağı yüklere dayanabilmesi

#### **4.2. Elektronik Donanım Tercihleri**

Tespit edilen tüm ihtiyaçlar doğrultusunda yapılan araştırmalar sonrasında piezoelektrik sensörlerin dinamik yük ölçümleri için uygun seçim olacağı kararlaştırılmıştır (Aydemir ve arkadaşları 2019) (Kleckers t.y.). Gerekli ölçüm için en uygun sensör, PCB firmasının 208C05 model numaralı piezoelektrik yük sensörü olmuştur. 36 kHz ölçüm frekansı, 22,24 kN maksimum yük ölçüm kapasitesi, ebatları ve bağlantı kolaylığı, tercih edilmesindeki öncelikli etkenlerdir. -54°C ile +121°C arasında çalışabilmektedir. 1 kg'da 2.2mV ölçüm hassasiyetine ve  $\pm 15\%$  toleransa sahiptir. 10-32 UNF diş ile istenilen herhangi bir yere vidalanarak kullanılabilir. Üzerine uygulanabilecek en fazla yük olan 22.24 kN yüke karşın ise çıkış uçlarından 5,5V değer okunabilmektedir. Tüm bu detaylar Ek A'de yer alan Şekil A.1'deki sensör katalog bilgilerinde ve Şekil A.2'deki sensör teknik çiziminde görülebilir.

Bu piezoelektrik yük sensörünün kullanımı için, sensörün 4mA ile 20mA arasında sabit bir doğru akım ve 20V ile 30V arası bir gerilim ile beslenmesi gerekmektedir. Şekil 4.1’de bulunan gösterim, PCB tarafından genel olarak piezoelektrik sensörlerin kullanımı amacıyla hazırlanan şematik gösterimdir. Sensör ya bir dahili besleme özelliği bulunan bir veri toplama/okuma sistemine bağlanmalı, ya da harici bir sinyal şartlandırıcı üzerinden veri toplama/okuma sistemine bağlantısı sağlanmalıdır.



**Şekil 4.1:** Piezoelektrik Sensör Kullanım Şeması

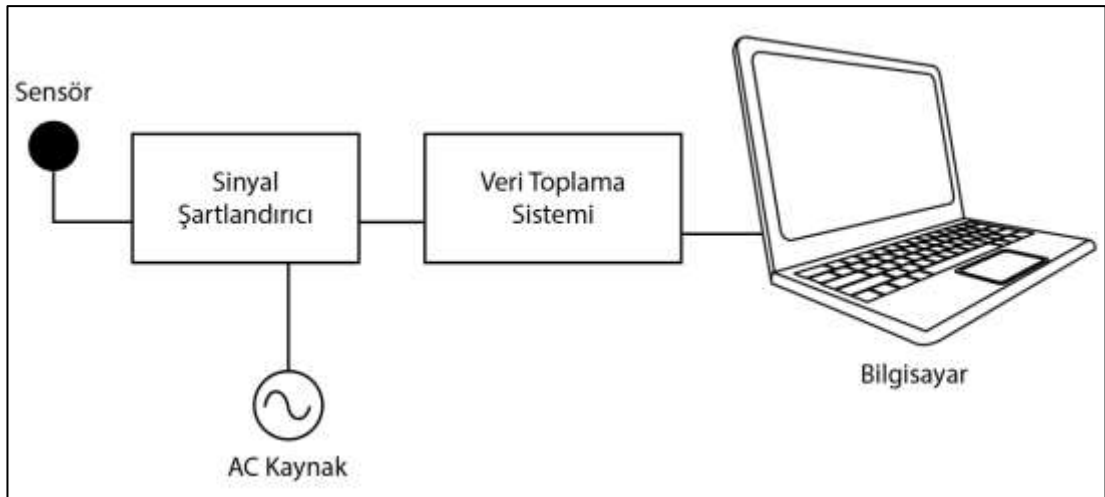
**Kaynak:** (Introduction To Piezoelectric Force Sensors t.y.)

Sensörün beslenmesi için de yine PCB firmasının bu sensör için önerdiği sinyal şartlandırıcı olan 482A21 modeli tercih edilmiştir. 32-38V arası gerilim sağlayan bir DC adaptör yardımı ile çalışan bu sinyal şartlandırıcı, 0°C-50°C arası sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Sensöre sağladığı sabit akım, şartlandırıcının tasarımında en az 2mA, en çok 20mA olacak şekildedir. Fabrika çıkışı olarak bu değer sabit olarak 4mA'e ayarlanmaktadır. Kullanıcı istediği takdirde bu akım değerini değiştirebilmektedir. Bu sinyal şartlandırıcı sensörü 25V ile 27V arası bir gerilim değeri ile beslemektedir. Boyutları ve ağırlığı ile taşınabilmesi oldukça kolay ve dayanıklı bir yapıya sahiptir. Tüm bu detaylar Ek A'da yer alan Şekil A.3 ve Şekil A.4 üzerinden görülebilir.

Veri toplama için de DATAQ firmasının DI-4208-U model numaralı, 8 analog girişe sahip veri toplama aracı tercih edilmiştir. Katalog verilerine göre bu model,  $\pm 100V$ 'a kadar analog girişlerden veri okuyabilmekte, en fazla  $\pm 120V$ 'a kadar dayanabilmektedir. İçerisinde yer alan Analog-to-Digital (ADC) dönüştürücüsü 16 bit çözünürlükte veri dönüştürebilmektedir. En fazla 160kHz analog veri dönüşümü sağlanabilmektedir. Bilgisayardan sağlanabilecek USB kablo bağlantısı ile çalışmakta ve verileri yine USB bağlantı yardımı ile bilgisayara aktarabilmektedir. Ayrıca istenildiği takdirde bilgisayar olmadan, taşınabilir bellek üzerine kayıt da yapabilmektedir fakat bu durumda çalışmak için harici bir doğru akım gerilim kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Tüm bu detaylar Ek A'da yer alan Şekil A.5 üzerinden görülebilir.

### 4.3. Elektronik Altyapının Tasarımı

Kullanılacak elektronik donanım tercihleri ile birlikte, Şekil 4.2'te görüldüğü gibi bir elektronik sistem tasarımı gerekli olacaktır. Bir prizden alınacak 220V şebeke elektriği ile sinyal şartlandırıcı beslenecek, sinyal şartlandırıcı da sensörü besleyecektir. Sinyal şartlandırıcı aynı zamanda sensörden okunan veriyi, veri toplama sistemine aktaracaktır. Veri toplama sistemi, USB üzerinden bilgisayara bağlanacaktır. Çalışmak için ihtiyaç duyduğu enerjiyi ve okunan verileri aynı USB kablo üzerinden aktaracaktır.



Şekil 4.2: Elektronik Sistem Tasarımı

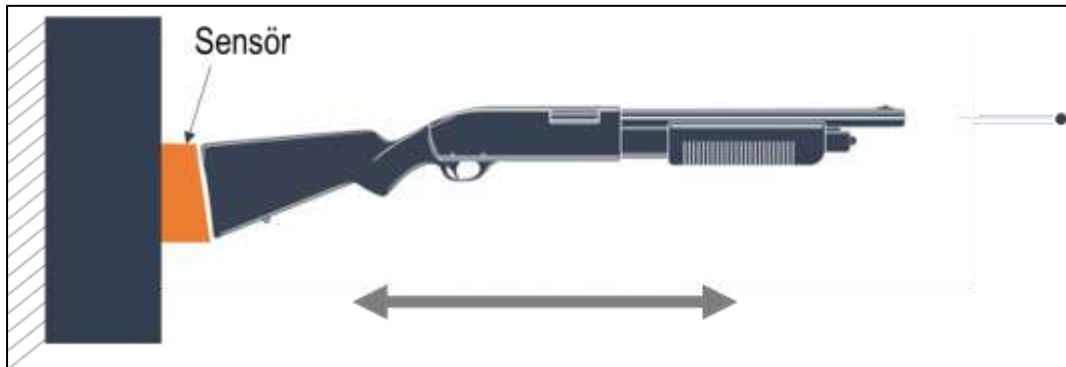
Sensörden temininden önce veri toplama sistemi bağlantıları ve çalışması, ucuz bir piezoelektrik yük sensörü ile test edilmiştir (bkz. Şekil 4.3). Böylece yazılım geliştirme süreci ve bağlantılar denenerek, temin edilecek asıl sensöre altyapı hazırlanmıştır.



Şekil 4.3: Sensör temininden önce veri toplama sistemi bağlantılarının denenmesi

#### 4.4. Atış Aparatı Tasarımı

Tüfek üzerine etkiyen kuvvetin ölçülebilmesi için, kuvvet sensörünün tüfeğin arkasına yerleştirilmesi gereklidir. Şekil 4.4 ile gösterildiği gibi, sensör bir yüzey üzerine sabitlenmeli ve tüfeğin tüm kuvveti sensör üzerine aktarması sağlanmalıdır.



Şekil 4.4: Aparat tasarımında sensör konumu

Daha önce gerçekleştirilen bazı çalışmalarda sensörün atıcı omuzu ile tüfek arasına yerleştirildiği görülebilmektedir (Mayer 2004). Fakat bu çalışmada atıcı faktörleri dahil edilmeyecektir. Yine bazı akademik çalışmalarda atıcılar arasında geri tepme kuvvetlerinin değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Smith 1991). Bu tez çalışmasında herhangi bir dış etki olmadan, yalnızca tüfeğin geri tepme kuvveti ölçülmek istenmektedir.

Tüfeğin hareket edebilmesine izin vermesi gereken aparat tasarımı için birden fazla yöntem düşünülmüştür. Şekil 4.5'te fikir geliştirme sürecinden bir fotoğraf gösterilmiştir.



**Şekil 4.5:** Aparat tasarımı öncesi fikir geliştirme süreci

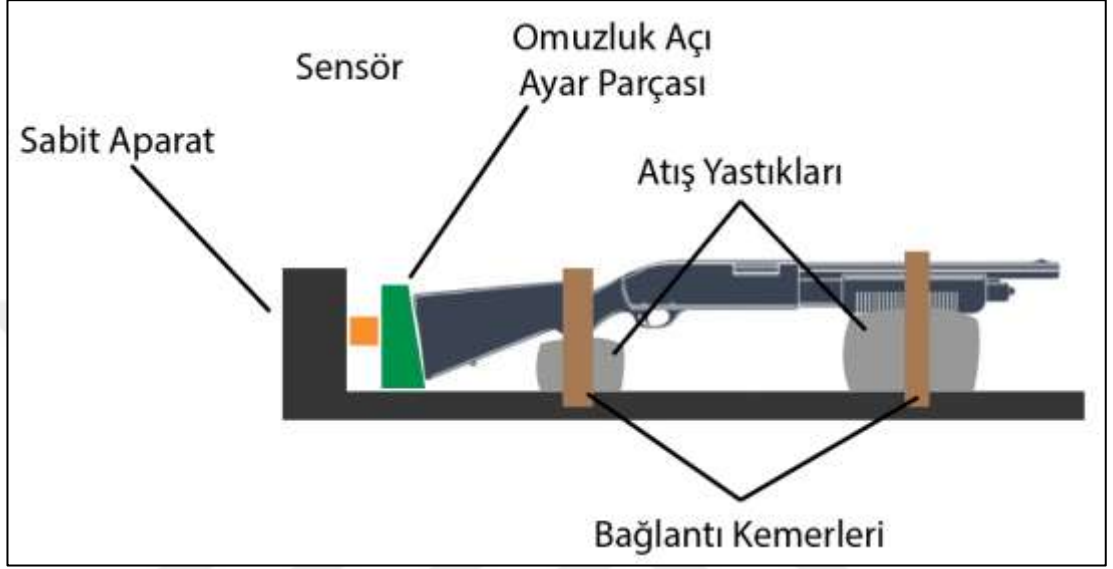
#### **4.4.1. Raylı aparat tasarımı**

Raylı tasarımda tüfek, bir ya da birden fazla ray üzerinde hareket eden kızaklara bağlanacaktır. Bu şekilde tüfeğin raylar üzerinde hareket edebilmesi sağlanacak, bu hareketiyle sensöre aktardığı veri okunabilecektir. Atış esnasında tüfeğin aparat üzerinden düşmemesi için, tüfeğin raylar üzerinde hareket edecek kızaklara sabitlenmesi gerekecektir. Tüfeğin atış sırasında şahlanması ve geri tepmesi ile birlikte yüksek zorlanmalara maruz kalacak raylar, zaman içerisinde deforme olarak kasılmalara ve yanlış ölçüm sonuçlarına sebep olabilir. Ayrıca tüfek ile birlikte hareket etmesi gereken olan ray parçaları, tüfeğin ağırlığını artırmış olacağı için ölçüm sonuçlarını da değiştirecektir. Bu sebeple raylı aparat tasarımı uygulanmamıştır.

#### **4.4.2. Sabit aparat tasarımı**

Sabit aparat tasarımında tüfek hariç sistemde yer alan tüm parçaların sabitlenmesi hedeflenmiştir. Tüfek, atıcılar ve avcıların kullandıkları türden atış yastıkları üzerine yerleştirilerek aparata bağlanacaktır. Böylelikle tüfeğin geri tepmesi üzerine herhangi

bir ağırlık eklenmeden ölçülebilecek, daha doğru ölçüm sonuçları okunabilecektir. Atış esnasında tüfekten başka hareket eden parça olmaması da hem ölçüm sonuçları hem de aparatın uzun ömürlü olmasına katkı sağlayacaktır. Farklı tüfek tipleri için ayarlanabilir parçalar ile uyumluluk sağlanacaktır. Tasarım konsepti Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

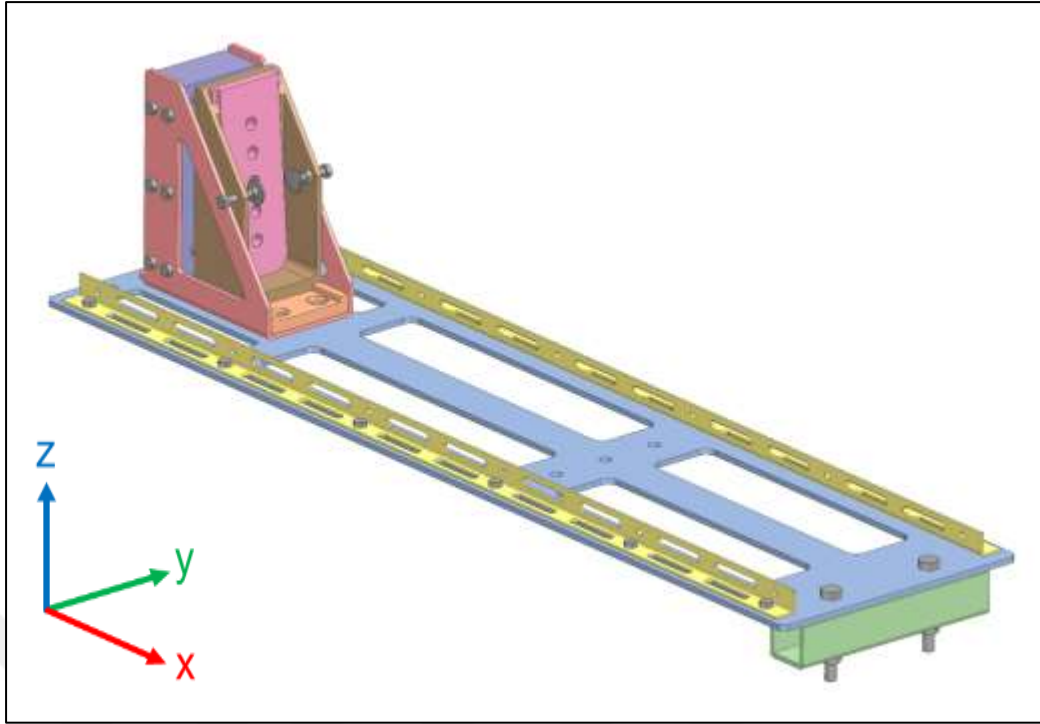


**Şekil 4.6:** Atış aparatı tasarım konsepti

Şekil 4.6'da görülebilen bağlantı kemerleri yardımıyla atış esnasında tüfekten aparat üzerinden düşmemesi sağlanacaktır. Her bir atış için namlu istikametinin tam olarak düz olduğuna emin olmak atış sonuçları için önemlidir. Bunun ölçümü için de 3 boyutlu yazıcılar yardımı ile kalibrasyon aparatları yazdırılarak, su terazisi yardımıyla her atışta tüfeklerin doğrultusu ve gönyesi kontrol edilecektir.

Kapalı alanda yapılacak salyangoz atış poligonları ve dış mekânda yapılacak açık poligonlardaki atışlara uygunluk için bir atış masası üzerinde kullanılması gerekecektir. Bu atış masasının yükseklik ölçüleri ayarlanabilir olmalı ve farklı tüfek tiplerinin salyangoz poligonlarda kullanımına izin vermelidir.,

Bu tasarım detayları ve bilgiler ışığında yapılan atış aparatı tasarımı, Şekil 4.7'de görülebilmektedir.



**Şekil 4.7:** Atış aparatı tasarımı

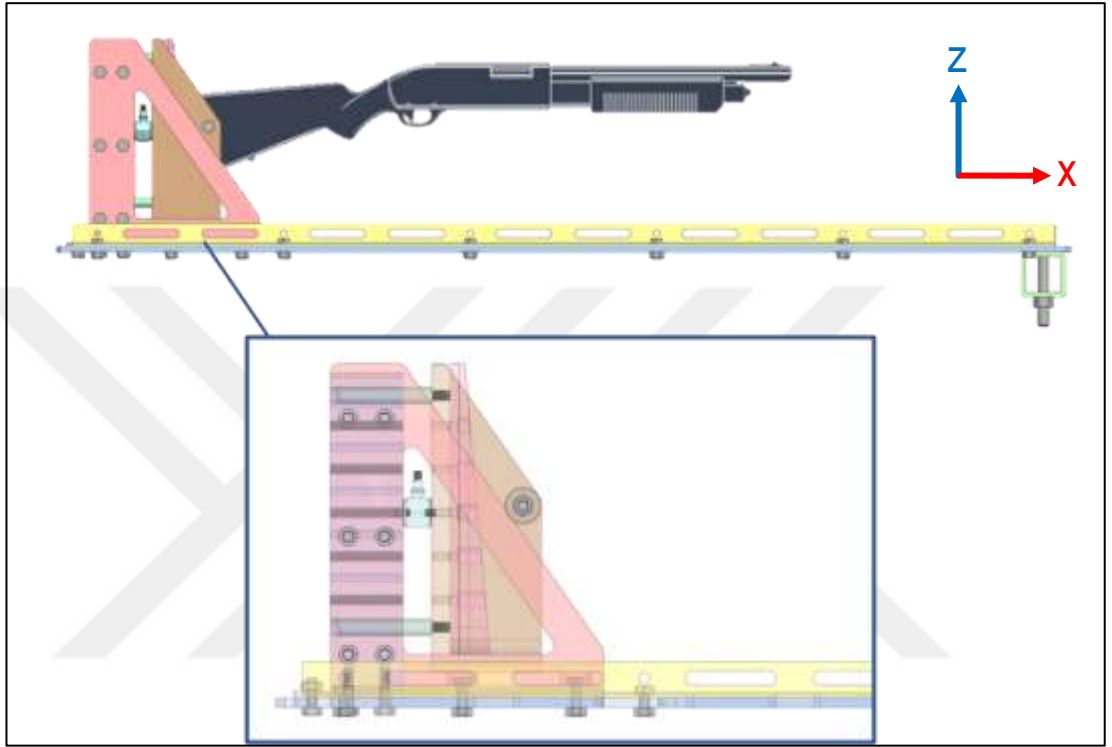
Şekil 4.7’de gösterilen pembe renkli, arka kısımda yer alan değiştirilebilir parçalar sayesinde farkı tüfeklere uyarlanabilecektir. Yine Şekil 4.7’de yarı renkler ile yer alan ve üzerinde kanal ve delikler bulunan profiller aparatın hem doğrusalığı korumasına hem de Şekil 4.6’da gösterilen atış yastıklarının ve bağlantı kemerlerinin yerleştirilmesi aşamasında kolaylık sağlayacaktır. Şekil 4.7’de gösterilen tasarım üzerinde tüfeğin yalnızca X eksenine doğrultusunda hareket etmesi istenmektedir. -X yönünde uygulanan kuvveti, bu yönde yerleştirilen sensör okuyacaktır. Şekil 4.8’de örnek bir tüfeğin yerleştirilmiş hali ile aparatın tasarımı bilgisayar destekli çizim (CAD) ortamında gösterilmektedir.



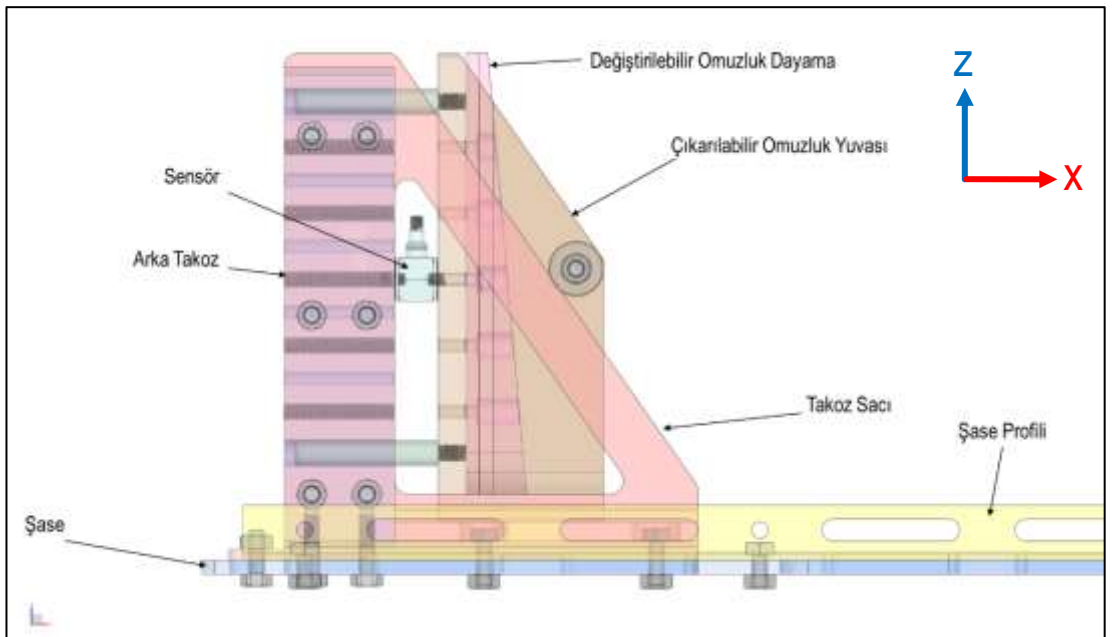
**Şekil 4.8:** Tüfek yerleştirilmiş hali ile atış aparatı tasarımı

Aparatın arka kısmında yer alacak olan sensör, sensör bloğu üzerine sabitlenecektir. Sensörün ön tarafında yer alacak değiştirilebilir omuzluk parçası da sensör üzerine sabitlenecektir.

Şekil 4.9’da daha yakından ve şeffaf olarak görülen arka kısım parçaları, Şekil 4.10’da isimleri ile birlikte daha yakından detaylandırılmıştır.

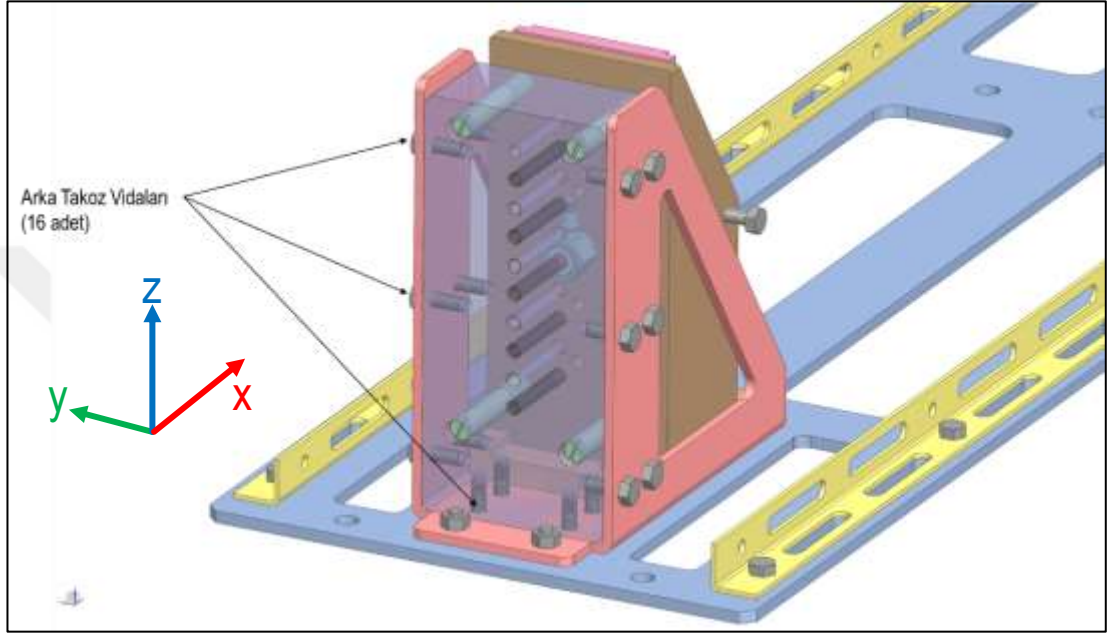


Şekil 4.9: Aparat arka kısmı detaylı gösterimi

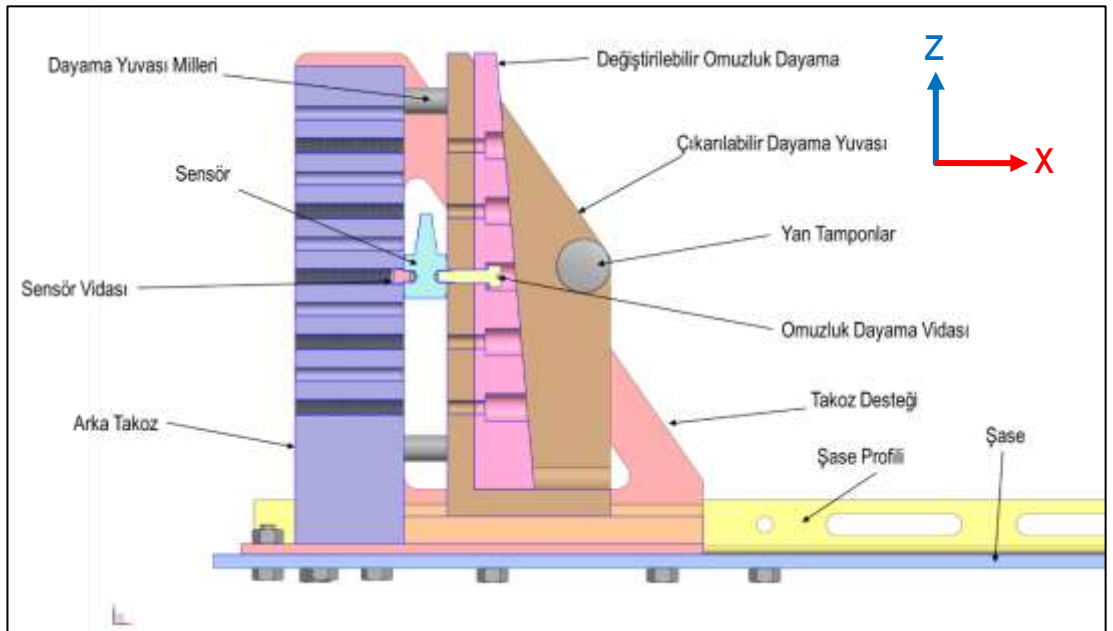


Şekil 4.10: Aparat arka kısmı parça isimleri

Şekil 4.10’da görülebildiği gibi, arka takoz isimli parça, doğrudan şaseye 4 adet M6 somun ile sabitlenmiştir. -X yönünde alacağı darbelere karşı mukavemet kazanması için Takoz Sacı isimli sac parçalar ile sağ ve sol taraftan 6’şar adet M6 somun ile sabitlenerek, Şekil 4.11’de gösterildiği gibi toplamda 16 adet M6 somun ile mukavemet sağlanmıştır. Şekil 4.12’de orta kısımdan kesit alınmış şekilde tüm parçalar daha detaylı gösterilmektedir.



Şekil 4.11: Arka takoz sabitleme gösterimi



Şekil 4.12: Aparat arka kısım kesiti

Arka takoz parçasının 4 köşesine yakın olacak şekilde 4 adet delik açılmıştır. Bu delikler içerisinden geçecek mil parçaları, çıkarılabilir dayama yuvası üzerine vidalanarak sabitlenmiştir. Sensör de bir taraftan arka takozu vidalanırken, diğer taraftan çıkarılabilir dayama yuvasına sabitlenmiştir. Böylelikle dayama yuvası parçası, gücün orantısız uygulanarak sensöre zarar verebileceği kaza durumlarına karşı güvene alınmıştır. Hem arka takoz hem de dayama yuvası üzerine, birbirine denk gelecek şekilde yukarıdan aşağı doğru farklı konumlarda sensör vidalama delikleri açılmıştır. Böylelikle bazı tüfeklerin ölçümleri için sensörün yeri değiştirilmesi gerektiğinde, o tüfeğe en uygun yere konumlandırılabilir. Sensörün dayama parçasına sabitlenmesi için kullanılan omuzluk dayama vidası, değiştirilebilir omuzluk dayama parçası içinden geçmektedir. Böylece bu parçayı da sistem üzerine sabitlemektedir. Değiştirilebilir omuzluk dayama parçası, farklı omuzluk açılara sahip tüfekler için aparatın uyarlanabilmesi için tasarlanmıştır. Böylelikle tüm tüfeklerin omuzlukları en iyi şekilde temas ederek aparata bağlanabilecektir. Tasarlanan farklı omuzluk dayama parçaları Şekil 4.13’de görülebilir. Bu parçaların dayama yuvasına oturan arka kısımları düz iken, tüfeğin omuzluk parçasına temas eden yüzeyleri farklı açılara sahiptir. Sensör bloğu parçası da Şekil 4.14’de görülmektedir.



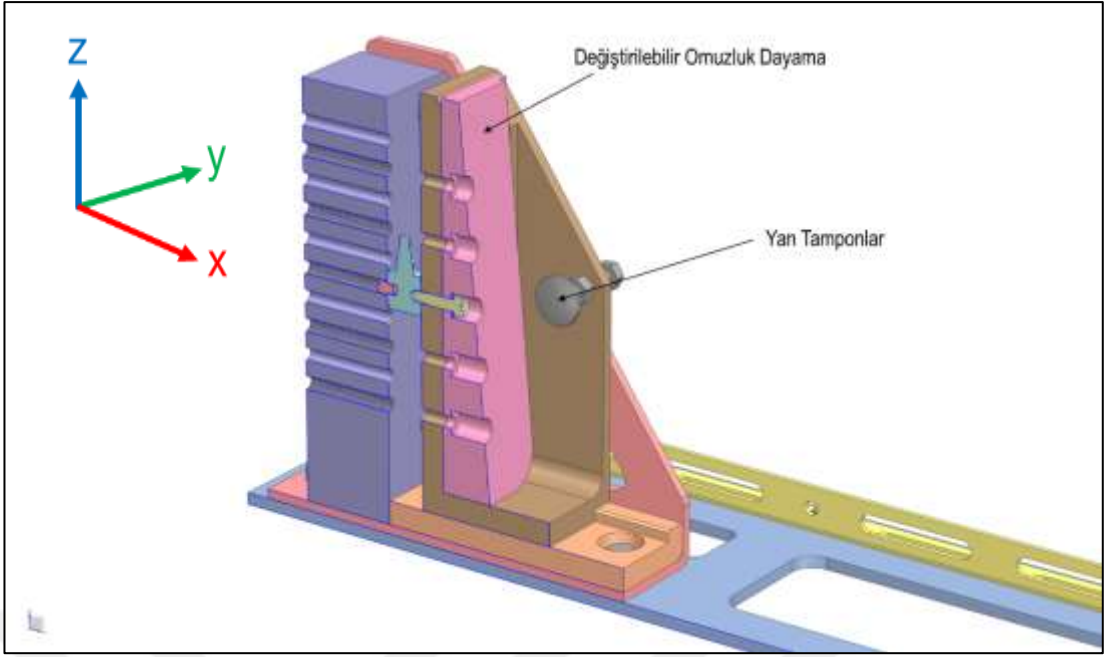
**Şekil 4.13:** Farklı tüfekler için tasarlanan omuzluk dayama parçaları



**Şekil 4.14:** Sensör bloğunun imalat sürecinden fotoğrafı

Malzeme tercihi, geri tepme sonuçlarından alınacak sonuçlara odaklanılarak yapılmıştır. Aparat üzerinde, tüfek ile sensör arasında bulunan parçalar hem atışlar sırasında deforme olmayacak geometri ve dayanımda olmalı, hem de olabildiğince hafif olmalıdır. Tüfek, geri tepme kuvvetini bu parçalar üzerinden sensöre aktaracaktır. Bu sebeple dayama yuvası ve omuzluk dayama parçaları hem hafif hem de yüksek dayanımı sebebiyle 7000 serisi alüminyum malzemeden üretilmiştir. Bu parçalar dışındaki imal edilen tüm parçalar farklı çelik malzemelerden üretilmişlerdir.

Yan tampon isimli parçalar ise, bağlanan tüfeğin dipçik ve omuzluk kısmının kenarlarında kalan boşlukların kapatılabilmesi için kullanılan, vidalı parçalardır. Bu parça doğrudan dayama yuvası üzerine vidalanmış, vida gevşetip sıkılarak tüfeğin omuzluk kısmı sabitlenebilmektedir. Bu parça ile ilgili daha detaylı görünüm Şekil 4.15’de sunulmuştur.



**Şekil 4.15:** Yan tamponlar gösterimi

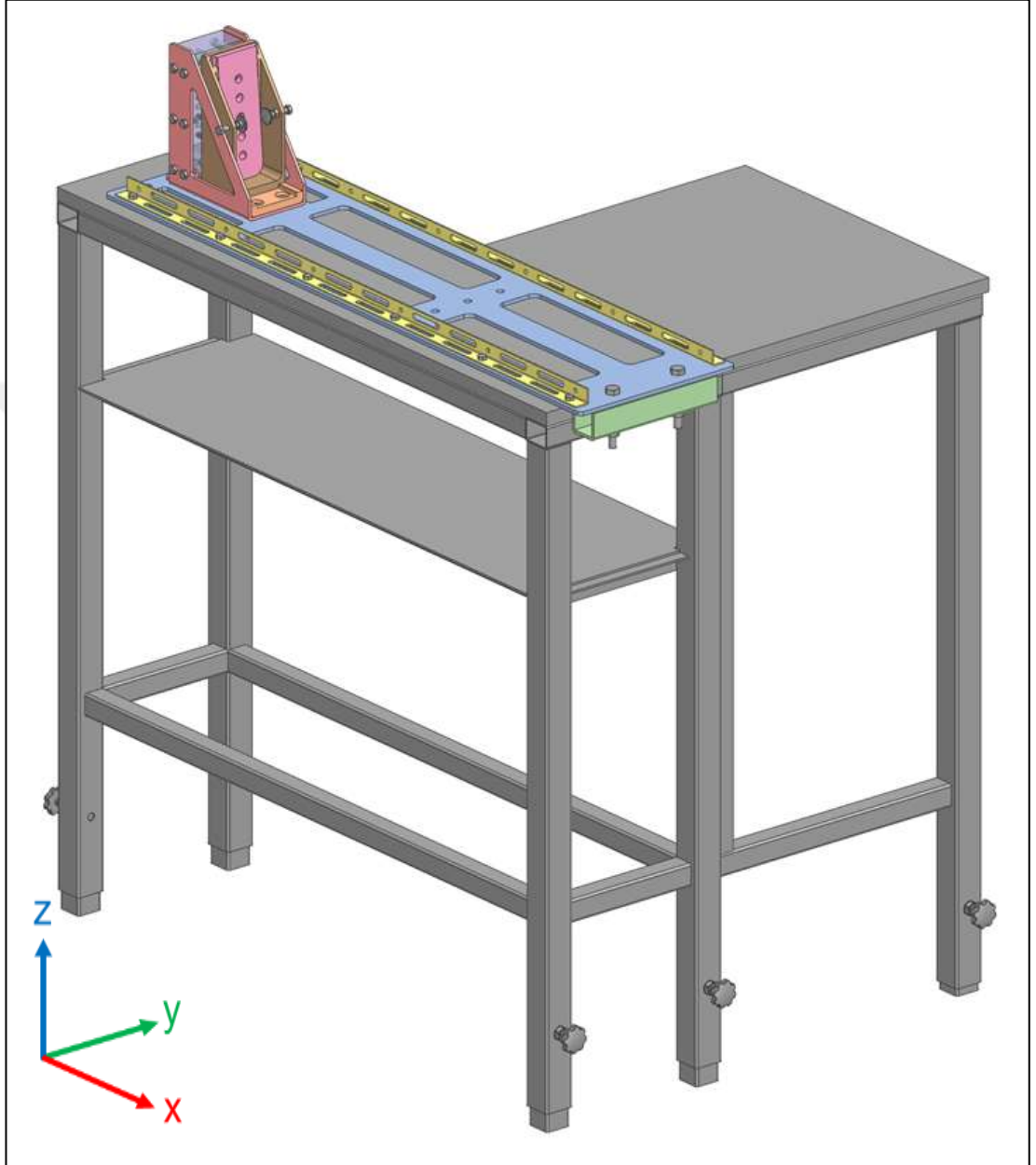
Atışlar, Ata Silah San. fabrikasında bulunan salyangoz tipi kapalı atış poligonunda yapılacağı için, tasarlanan atış aparatının atışlar için belirli bir yükseklikte olması gereklidir. Şekil 4.16’da kullanılacak salyangoz tipi poligon görülebilmektedir.



**Şekil 4.16:** Atış yapılacak salyangoz tipi kapalı atış poligonu

**Kaynak:** (Bullet Traps t.y.)

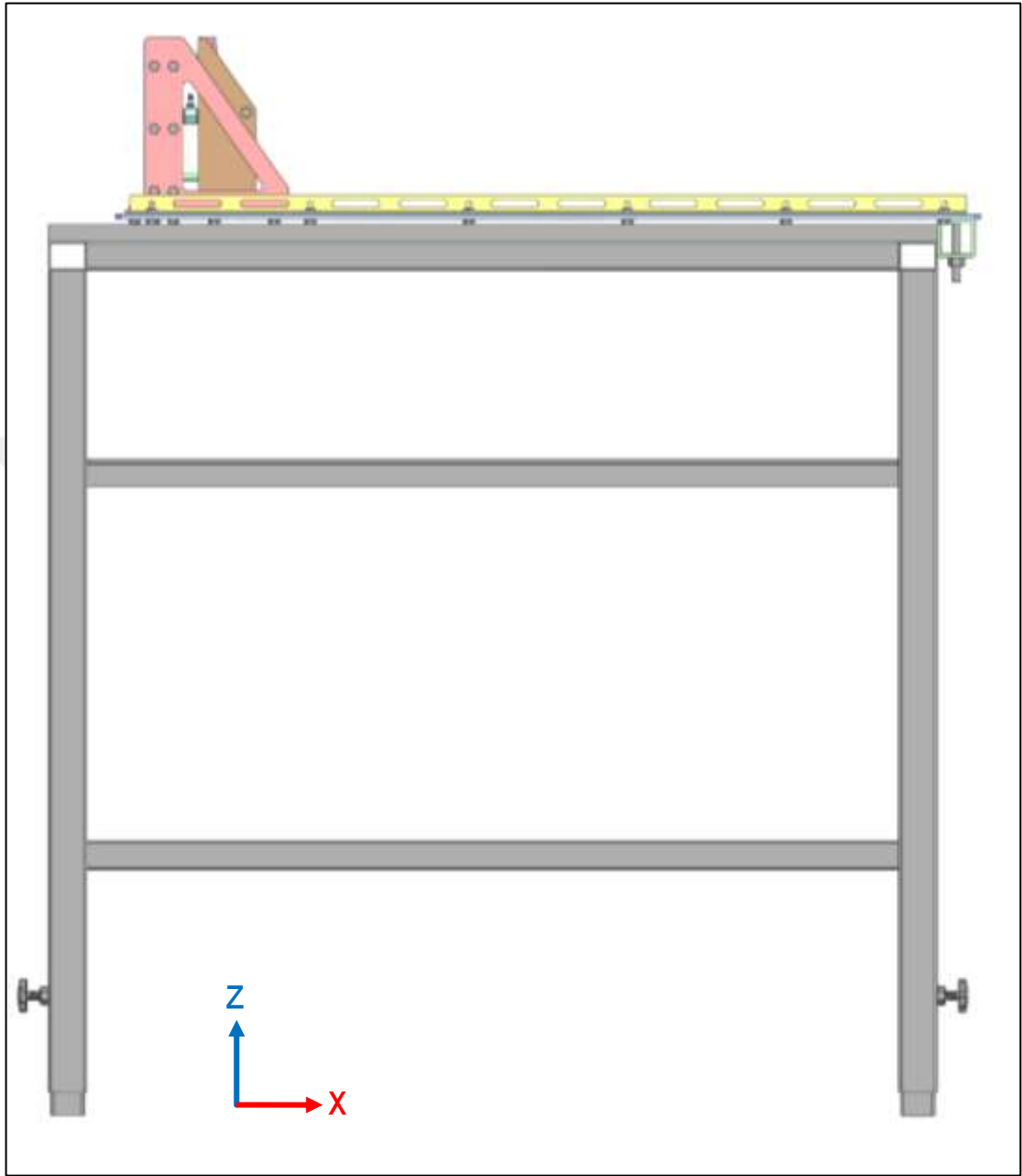
Kullanılacak tüm tüfeklerin tam olarak poligona denk gelebilmesi için, üzerinde atış yapılacak platformun yukarı-aşağı ayarlanabilmesi de gerekecektir. Bu sebeple Şekil 4.17'de gösterilen atış masası tasarımı gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.17:** Atış masası tasarımı trimetrik görünüm

Ayaklarının yüksekliği değiştirilebilir olarak tasarlanmıştır. Masa yüzeyinin altında yer alan orta raf kısmı, atış esnasında ölçüm cihazlarının konulması için düşünülmüştür. Yaparataın Y eksenine istikametinde bulunan çıkıntı kısmı ise atış esnasında kullanılacak bilgisayarın yerleştirilmesi için hazırlanmıştır. Bilgisayarın yerleştirileceği çıkıntı kısmı, masanın ana gövdesinden ayrı olarak tasarlanmış ve masaya somun ve civatalar yardımı ile sabitlenerek takılmıştır. Böylelikle taşınma

esnasında sökülerek kolaylık sağlanabilir. Aparatın masaya yerleştirilmiş ön görünümü ise Şekil 4.18’de görülebilir.



**Şekil 4.18:** Atış aparatı ve atış masası ön görünüm

Atış masası tamamı ile çelik konstrüsiyondan oluşmaktadır. En üst kısımda yer alan masa yüzeyi için MDF malzeme tercih edilmiştir. Ayarlı ayaklar masanın yüksekliğinin 15 cm’ye kadar değiştirilebilir olmasına imkân vermektedir. İmal edilmiş hali ile atış masası Şekil 4.19’da görülebilir.



**Şekil 4.19:** İmal edilen atış masası

Her tüfeğin aparata bağlandıktan sonra namlu ekseninin tam olarak yere paralel olması ve sensöre dik bir yönde baskı yapması için, her atış öncesi kontrol edilmesi gerekecektir. Bunun için 3 boyutlu parça yazıcıları yardımı ile Şekil 4.20’de ve Şekil 4.21’de gösterilen parçalar hazırlanmıştır. Bu parçalar yardımı ile su terazisi kullanılarak, her atış öncesinde tüfeğin doğrultusu tam olarak sensöre dik olarak şekilde ayarlanacaktır.



**Şekil 4.20:** Namlunun yere paralel olduğunu kontrol etmek için kullanılan aparat



**Şekil 4.21:** Namlu istikametinin ayarlanması için kullanılan aparat

Şekil 4.21’de gösterilen parça içerisine yer alan yarık, Şekil 4.20’de gösterilen parça ile hizalanarak, tüfeğin namlusunun tam olarak sensör doğrultusunda olduğuna emin olunabilir.

Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’te, Şekil 4.6’da konsept olarak gösterilen bağlantıların imalatından sonraki hali fotoğrafları ile gösterilmiştir.



**Şekil 4.22:** Tüfek bağlanan aparatın arka kısmının fotoğrafı



Şekil 4.23: Tüfek bağlanan aparatın ön kısmının fotoğrafı



Şekil 4.24: Aparata yerleştirilen sensör



**Şekil 4.25:** Aparatın arka kısmının tüfeksiz fotoğrafı

Tüm sistemin tamamlanmış hali ile montajı ve üzerine yerleştirilen bir örnek tüfek ile birlikte fotoğrafı Şekil 4.26’da gösterilmiştir.



**Şekil 4.26:** Tüfek ile birlikte aparatın genel fotoğrafı

#### 4.5. Veri Toplama

Bu aşamada gerçekleştirilecek adımlar özetle Şekil 4.27’de bir akış halinde gösterilmiştir. Bu akışa göre öncelikle geri tepme kuvvetinin ölçülen değerleri bilgisayara aktarılmalı, bunun için ise veri toplama sistemi ile bilgisayar arasındaki haberleşme sağlanmalıdır. Sonrasında ise alınan bu veriler anlamlı hale getirilerek analize hazırlanmalıdır.



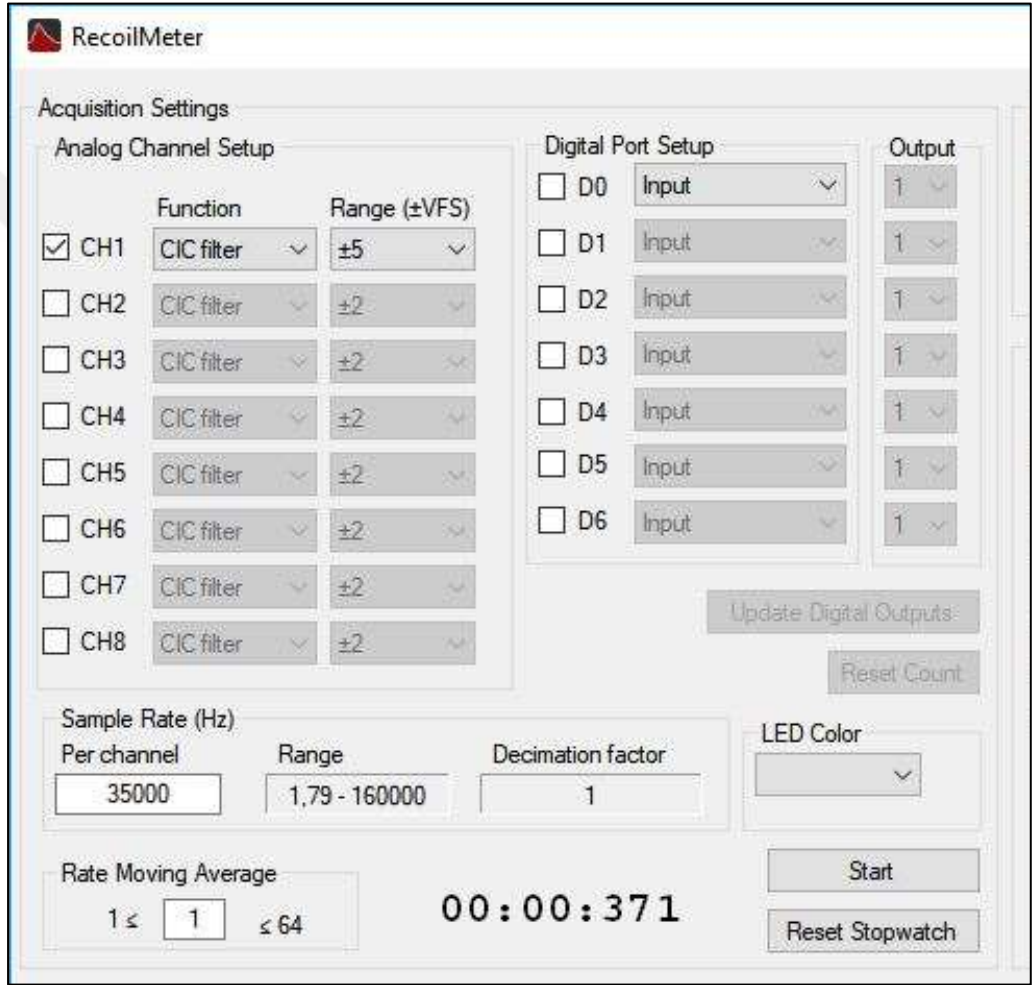
**Şekil 4.27:** Verilerin toplanması sürecinin akış şeması olarak gösterimi

Sensörden alınan ve sinyal şartlandırıcı üzerinden veri toplama sistemine gönderilen sinyallerin bilgisayara aktarılabilmesi için, veri toplama sistemi ile birlikte edinilen yazılımlardan birisi örnek alınmış ve üzerinde geliştirmeler yapılmıştır. Bu yazılım, Visual Basic .NET (VB.Net) programlama dili ile hazırlanmıştır. Dijital ve analog girişlerden alınan verilerin bilgisayar ekranında görüntülenebilmesi için hazırlanmış örnek bir kod parçasıdır. Bu kodlar kullanılarak yazılım geliştirilmiş ve bu proje için ihtiyaç duyulan özellikler geliştirilerek yazılıma eklenmiştir. Kodlama sürecinde Microsoft Visual Studio yazılımı tercih edilmiştir. Program ara yüzü İngilizce olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle kullanılacak yazılım üzerinden veri toplama sistemi bazı komutların verilmesi ve veri toplama koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu komutlar,

- Dinlenecek analog kanal
- Kanaldan alınacak sinyalin genlik aralığı
- Dinleme esnasında uygulanacak analog sinyal filtresi (gerekliyse)
- Dinleme frekansı
- Hareketli ortalamaya dahil edilecek veri sayısı (gerekliyse)

Hâlihazırda örnek yazılım içerisinde bulunan bu kısımların yazılım ara yüzündeki görünimleri Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



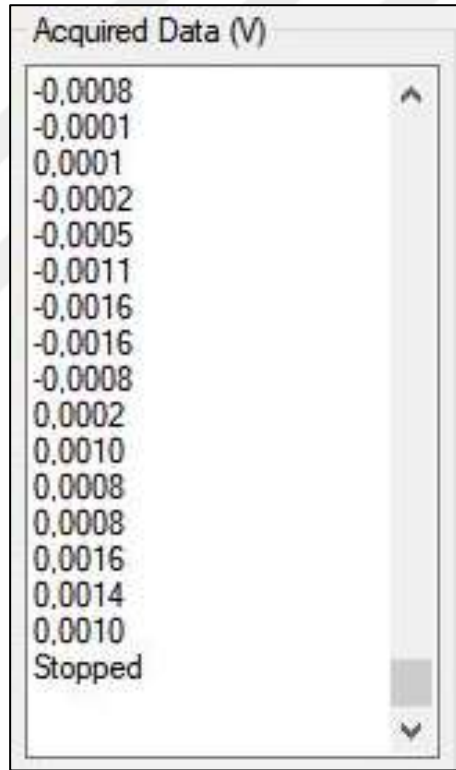
Şekil 4.28: Yazılım ara yüzünden yapılması gereken ayarlar

Bu çalışmada yalnızca bir analog giriş yer alacağı ve bu girişin de her zaman  $\pm 5V$  aralığında genliği okunacaktır. Bu programın ara yüzünde varsayılan olarak bu ayarlar seçili olacak şekilde ayarlama yapılmıştır. Kullanılacak giriş filtresi de yine varsayılan olarak CIC (cascaded integrator-comb) ayarı seçili bırakılmış, hareketli ortalama (rate moving average) değeri de 1 olarak bırakılarak değiştirilmemiştir. Örnek yazılım içerisinde ara yüzde bulunmayan kronometre ara yüze eklenerek,

sensör dinlemesinin başlanmasından itibaren geçen sürenin kaydedilmesi için kullanılmıştır. Sensörün okuma frekansı için ise varsayılan olarak 35.000Hz değeri tercih edilmiştir. Kullanılacak sensörün veri gönderebileceği en yüksek frekans 36.000Hz olmasına rağmen okuma değerinin 35.000 tercih edilmesinin sebebi, 1 saniyenin 36.000'e bölümünün devirli bir sayı ile sonuçlanmasıdır.

Tüm bu ayarlar gerçekleştirildikten sonra veri toplama sistemi ile senkronizasyon sağlanıp, gerçek zamanlı okuma bilgisayar ekranında görülebilmektedir.

Şekil 4.29'da gösterildiği gibi, Şekil 4.28'de yer alan Start butonuna basılması ile birlikte veriler Şekil 4.29'da gösterilen metin kutusu içerisine, okunan her bir verinin ayrı satırlara yazılması suretiyle görüntülenmektedir.

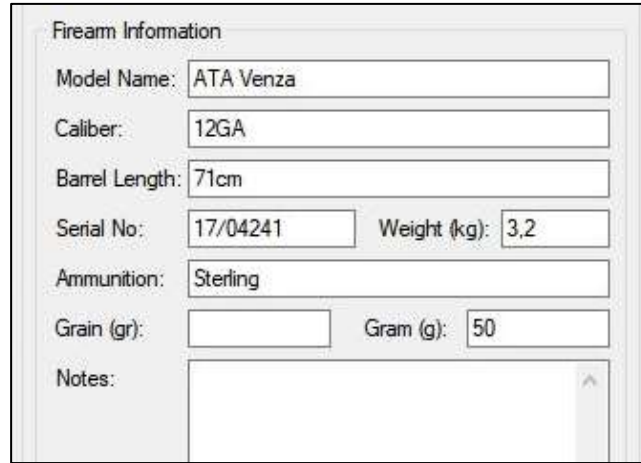


**Şekil 4.29:** Okunan verilerin ekranda görüntülenmesi

Start butonu, veri toplamanın başlamasıyla birlikte, yazısı değişerek Stop butonuna dönüşmektedir. Veri toplama tamamlandıktan, yani atış yapıldıktan sonra okumanın durdurulması için yine bu butona basılmalıdır. Şekil 4.29'da görüldüğü gibi veri toplama tamamlandıktan sonra metin kutusunun en son satırına "Stopped" metni eklenmektedir. Bu metin, veri analizi kısmında, verinin sonunun geldiğinin anlaşılması için kullanılacaktır.

Yukarıdaki akışta bahsedildiği gibi ölçümler, her bir atış için ayrı ayrı kaydedilecektir. Aynı anda birden fazla atış kaydedilmeyecektir. Bu sebeple her bir atış öncesinde Start butonuna basılacak, atış yapıldıktan sonra en kısa süre içerisinde Stop butonuna basılarak veri akışı durdurulacak ve kaydedilen veriler temizlenerek ihtiyaç duyulan kısımlar kayıt altına alınacaktır. Veri toplamanın başlaması ile sonuçlanması arasında geçen her 1 saniyelik sürede yazılım, 35.000 satır veri kaydedecektir. Bu 1 saniyelik süre içerisinde analiz edilecek kısım, yani geri tepme kuvvetinin oluşması ve sönümlenmesi arasında geçen sürenin en fazla 25 milisaniye olması ön görülmektedir. 1 milisaniyede 35 adet veri kaydeden sensör, 35 milisaniyede 875 adet veri kaydedecektir. Start butonuna basılması, atışın yapılması ve sonrasında Stop butonuna basılması arasında geçen sürede kaydedilen binlerce satır veri içerisinde yalnızca 875 satırlık kısım incelenmesi gereken verileri içerecektir. Dolayısı ile binlerce satır veri içerisinde, analiz edilmesi gereken kısım bulunmalıdır.

Yapılacak her atışın hangi tüfekle yapıldığı, tüfeğin kalibresi, ağırlığı, kullanılan mühimmat gibi bilgilerin de bu atış verileri ile birlikte kaydedilmesi gereklidir. Bunun için Şekil 4.30'da gösterildiği gibi program ara yüzüne bazı metin kutuları eklenerek kullanıcının bu verileri girmesi sağlanmıştır.



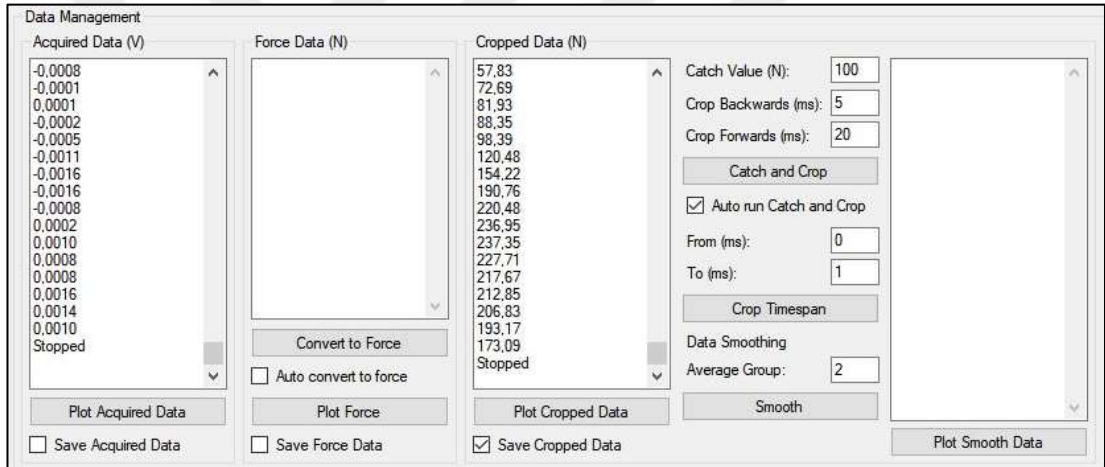
Firearm Information			
Model Name:	ATA Venza		
Caliber:	12GA		
Barrel Length:	71cm		
Serial No:	17/04241	Weight (kg):	3,2
Ammunition:	Sterling		
Grain (gr):		Gram (g):	50
Notes:			

**Şekil 4.30:** Program ara yüzünde tüfek bilgilerinin girileceği kısım

Model Name kısmına tüfeğin marka ve model bilgileri, Caliber kutusuna ise tüfeğin kalibresi yazılmalıdır. Barrel Length olarak adlandırılan bölüme namlu uzunluğu, santimetre ya da inç olarak girilebilir. Serial No kutucuğuna tüfeğin varsa seri numarası girilmeli, böylece atış yapılan tüfek tam olarak bilinebilmelidir. Weight (kg) kutucuğu ise belirtildiği gibi yalnızca kg cinsinden veri girişi için açılmıştır.

Buraya yalnızca sayısal veri girilebilmekte ve girilen veriler tüfeğin hızının hesaplanmasında kullanılacağı için sonuçları etkileyecektir. Bu sebeple doğru veri girilmesi önemlidir. Ammunition kutusuna ise kullanılan mühimmatın marka ve model bilgileri girilmelidir. Grain ve Gram olarak belirtilen iki kutu ise mühimmatın çekirdek ağırlığının girilmesi içindir. Bu kutulardan yalnızca birinin doldurulması yeterlidir. Program, doldurulan kutuda yer alan bilgiyi algılayarak, hesabı ona göre yapacaktır. Bu bilgi de atış sonrası yapılacak hesaplarda kullanılacağı için doğru girilmesi önemlidir. Bu kutulara yalnızca sayısal veri girilebilir. Notes yazan metin kutusu ise yapılan atışla ilgili not alınması gereken bilgiler var ise yazılması için hazırlanmıştır.

Kaydedilen verilerin yönetimi için ara yüzdeki ilgili kısım Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.31:** Programın veri yönetimi ile ilgili kısmı

Yukarıda da bahsedildiği gibi, Şekil 4.31’de en solda yer alan Acquired Data (V) metin kutusu içerisine, kaydedilen veriler listelenmektedir. Buradaki veriler Volt olarak kaydedilen, ham sensör verileridir. Altında yer alan Plot Acquired Data butonu ile bu verilerin grafiği çizilebilir. Save Acquired Data seçeneğinin işaretlenmesi ise, analiz tamamlandıktan sonra Kaydet butonuna basılması durumunda Acquired Data (V) kutusunda yer alan verilerin de kaydedileceği anlamına gelmektedir.

Force Data (N) metin kutusu ise, kaydedilen ham verilerin Newton olarak kuvvet değerlerine dönüştürülecek halinin gösterilmesi için konulmuştur. Ek A, Şekil A.7’de yer alan sensör kalibrasyon sertifikasından görülebileceği gibi, kullanılan sensör

5000 libre yük uygulandığında 5538 mV çıkış vermektedir. Kalibrasyon sertifikasında belirtilen diğer detaylara göre ise sensörün lineerliği 0 V'tan 5538 mV'a kadar olan tam bir ölçüm aralığı içerisinde %0,3 olarak verilmiş, hata payı ise  $\pm\%1$  olarak belirtilmiştir. Yine aynı sertifika üzerinde Sensitivity olarak belirtilen kısımda sensörün her 1 Newton kuvvet için 0,2482 mV çıkış verdiği belirtilmiştir. Kalibrasyon sertifikasında belirtilen 5538 mV değeri, 0,2482 mV olan hassasiyet değerine bölünecek olursa, kalibrasyon sırasında sensör üzerinde en fazla 22.312 N kuvvet uygulandığı bulunacaktır. 5000 libre kuvvet değeri Newton'a dönüştürüldüğünde ise 22.241 N değeri bulunmaktadır. Bu iki değer arasındaki %0,0031 fark çok düşük olduğu için sıfır kabul edilerek, 22.241 N değeri doğru kabul edilerek devam edilecektir. Sensör ile ölçülebilecek en yüksek değer olan 22.241 N'un %1 hatalı ölçülmesi durumunda ise okunabilecek en yüksek değer 22.463 N, en düşük değer ise 22.018 N olacaktır. Ölçüm sonuçları, sensöre uygulanabilecek en yüksek yük altında en kötü ihtimalle 445 N'luk bir aralıkta hata payına sahiptir. Bu hata payı, atışlar sırasında okunması ön görülen en yüksek değer olan 10.000 N'luk ölçümler içerisinde önemli bir fark oluşturmayacağı için bu hata payı da sıfır kabul edilerek devam edilecektir.

Convert to Force butonuna basılması durumunda, Acquired Data (V) kutusunda yer alan her bir satır veri, yukarıdaki paragrafta bahsedildiği gibi 0,2482 değerine bölünerek kuvvet karşılığı bulunarak Force Data (N) kutusuna aktarılacaktır. Auto convert to force seçeneği işaretli ise, ölçümün tamamlanması ile birlikte Stop butonuna basıldığı anda bu dönüşüm otomatik olarak yapılacaktır. Plot Force butonu, Force Data (N) kutusu içerisinde yer alan verilerin grafiğinin çizilebilmesi içindir. Eğer Force Data (N) kutusu içerisindeki veriler kaydedilmek isteniyorsa, Save Force Data seçeneği işaretlenmelidir.

Cropped Data (N) grubu içerisinde yer alan soldaki metin kutusu, okunan veriler içerisinde tespit edilen, yalnızca atışın gerçekleştiği zaman aralığına ait verilerin listelendiği kısımdır. Bu zaman aralığının tespit edilmesi ve verilerin kırılması için kullanılan algoritma, şu şekilde çalışmaktadır. Veri kaydının Start butonuna basılması ile birlikte başlayan kayıt, atış anına kadar yalnızca 0 mV dolaylarında gezinen gürültü değerleri kaydetmektedir. Bu gürültü değerleri, sistemde yer alan kabloların ve soketlerin yalıtımlarına bağlı olarak değişmekle birlikte mevcut sistemde 25 mV değerlerine kadar ulaşabilmektedir. Bu da atış anına kadar 0 ile 100

N arasında gürültü değerlerinin okunabileceği anlamına gelmektedir. Atışın yapılması ile birlikte geri tepme değerleri kaydedilerek okunan değerler bir süre sonra tekrar sıfıra, yani sensörün boşa durduğu ve yalnızca gürültü okunduğu seviyeye geri dönmektedir. 0 ile 100 N arası okunacak tüm değerlerin sıfır olması gerektiği kabulü ile, okunan değerlerin 100 N üzerine çıktığı ilk anın, yalnızca atışın gerçekleştiği an olduğu kestirilebilir. Okunan değerlerin 100 N üzerine çıktığı ilk anı bularak, atışın yapıldığı an bulunabileceğine göre, bu andan ileri ve geri doğru belirli sayıda veriyi kırparak yalnızca atışın yapıldığı anı veriler içerisinde kırpabiliriz.

Cropped Data (N) grubu içerisinde orta üstte yer alan Catch Value (N) değeri, kullanıcı tarafından girilen, atışın yapıldığı anın yakalanması için limit kabul edilecek kuvvet değeridir. Crop Backwards (ms) kutusuna ise atışın yakalandığı bu andan kaç milisaniye geriye gidilerek verinin kırılmak isteneceği yazılmalıdır. Crop Forwards (ms) kutusuna ise bunun tam tersi, atışın yakalanacağı andan itibaren kaç milisaniye ileri gidilerek verilerin kırılacağı bilgisi girilmelidir. Burada yer alan kutulara girilen milisaniye değerleri, Şekil 4.28'de gösterilen Sample Rate (Hz) kutusuna yazılan değer ile hesaplanmaktadır. Catch and Crop butonuna basılması ile birlikte yazılım, Acquired Data (V) kutusunda yer alan tüm verileri okuyarak kaydedilen değerlerin, Catch Value (N) kutusunda yazan değeri geçtiği an bulunur. Crop Backwards (ms) kutusunda yazan milisaniye değerinin, Sample Rate (Hz) kutusunda yer alan okuma frekans değerine göre kaç satır veriye denk geldiği hesaplanır. Bulunan satırdan başlayarak, Catch Value (N) değerinden Crop Forwards (ms) kutusunda yazan milisaniye değerine kadar olan zaman aralığı kırılır ve Cropped Data (N) grubu içerisinde yer alan soldaki metin kutusuna yazılır. Plot Cropped Data butonuna basılması ile birlikte ise bu değerlerin grafiği çizilir. Auto run Catch and Crop seçeneği ise, veri toplamanın tamamlanmasından sonra otomatik olarak önce Catch and Crop işlemini ve ardından Plot Cropped Data işlemini başlatır.

From (ms) ve To (ms) olarak yer alan metin kutuları ise, okunan toplam veri içerisinde başlangıç ve bitiş milisaniye değerleri vererek veri kırpmak için kullanılır. From (ms) yazan kutuya başlangıç değeri milisaniye olarak, To (ms) kutusuna ise bitiş değeri milisaniye olarak yazılır. Bu iki değer arasında yer alan verileri kırılarak yine Cropped Data (N) metin kutusu içerisinde girilir.

Save Cropped Data kutusu seçili ise, kaydedilecek veriler içerisinde kırılan değerlerin yer aldığı metin kutusu da eklenir.

Yine Şekil 4.31'deki Data Smoothing yazan kısımda yer alan Average Group değeri ise hareketli kırılan değerlerin hareketli ortalamasının alınması için kullanılmaktadır. Burada yer alan Average Group kutusuna yazılan kadar veri satırının hareketli ortalamasını alarak, Cropped Data (N) grubu içerisinde yer alan sağdaki metin kutusu içerisinde, Smooth butonuna basılması ile birlikte yazar. Plot Smooth Data isimli butona basıldığında ise hareketli ortalaması alınan değerlerin grafiğini çizer.

Şekil 4.32'te gösterilen Save grubu içerisinde yer alan File Path metin kutusu, dosyaların kaydedileceği klasörü göstermektedir.



**Şekil 4.32:** Veri kaydetme ayarları

Bu kısım başlangıçta varsayılan olarak C:\recoil\_data\ olarak gelmektedir. Eğer kullanılan bilgisayarda böyle bir klasör yok ise, kaydetme işlemi ile birlikte otomatik olarak yaratılacaktır. Verilerin kaydedileceği dosyanın ismi ise tüfek ismi, kalibri, namlu boyu ve kullanılan bilgisayarın sistem saatine göre kaydın yapıldığı anın bilgisi ile birlikte otomatik olarak oluşturulur. İsterse kullanıcı bu dosya ismini kendisi kutu içerisine müdahale ederek değiştirebilir. İçerisinde üç nokta bulunan “...” butonuna basılarak verilerin kaydedileceği klasör de değiştirilebilir. Save butonuna basılması ile birlikte, kaydedilmek istenen tüm veriler belirlenen formata uygun olarak bir “.csv” uzantılı dosya içerisine kaydedilir. Çizilen grafik ise “.png” uzantılı resim formatında, aynı dosya ismi ile aynı klasör içerisine kaydedilir. Böylece her kayıt butonuna basılması ile birlikte verilerin yazdığı bir dosya ile atış grafiğinin çizili olduğu bir resim dosyası halinde, iki dosya kaydedilmiş olur.

“.csv” uzantılı dosya formatı, virgülle ayrılan değerler dosya biçimidir. Bu dosya türleri, Microsoft Excel gibi bu formatı destekleyen yazılımlar içerisine otomatik olarak tablo oluşturmak için kullanılabilir. Kaydedilen verilerin formatı Çizelge 4.1'de gösterildiği gibidir. Kaydedilen her veri dosyasının en başındaki 5 satıra “DEVICE” başlığı ile birlikte ölçüm yapılan veri toplama sisteminin bilgileri yazılmaktadır. Bu bilgilerin devamındaki satıra ise ölçümün örnekleme frekansı, Sample Rate olarak eklenmektedir. Devamındaki 7 satıra ise “FIREARM” başlığı ile tüfek ve mühimmat bilgileri sıralanmaktadır. Buradan sonra ise “DATA” başlığı ile

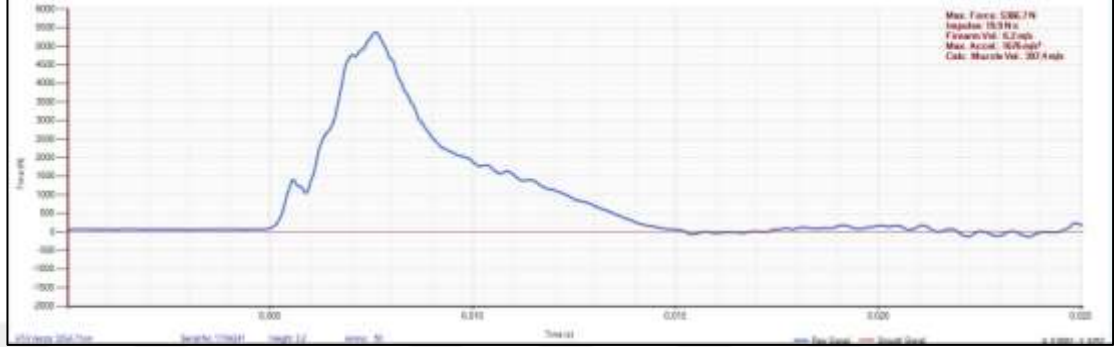
birlikte en başta Time (s) başlığı ile zaman sütunu yer alacak şekilde, sağa doğru ilerleyen sütunlar halinde kaydedilmek istenen tüm veriler sıralanmaktadır. Çizelge 4.1’de yalnızca Cropped Data (N) bilgisinin kaydediliği bir veri dosyasının başlangıcı örnek olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1: Verilerin kayıt formatı**

<b>--- DEVICE ---</b>	
<b>Found a DI-4208.</b>	
<b>Manufacturer:</b>	Dataq Instruments, Inc.
<b>Model:</b>	DI-4208
<b>Serial number:</b>	5F2D00C7
<b>Firmware revision:</b>	134
<b>Sample Rate:</b>	35000 Hz
<b>--- FIREARM ---</b>	
<b>Model Name:</b>	Örnek Gazlı Tüfek
<b>Caliber:</b>	12GA
<b>Barrel Length (cm):</b>	71cm
<b>Serial No:</b>	15/06743
<b>Weigth (kg):</b>	3
<b>Ammunition:</b>	Zuber Semi Magnum
<b>Grain (gr):</b>	
<b>Gram (g):</b>	42
<b>Notes:</b>	
<b>--- DATA ---</b>	
<b>Time (s)</b>	<b>Cropped Data (N)</b>
0	16,06
2,90E-05	17,27
5,80E-05	20,08
...	...

#### 4.6. Ölçüm Verilerinin Görüntülenmesi

Verilerin kırılması ve filtrelenmesi ile istenen hale getirilmesinden sonra, grafiğin çizilmektedir. Yazılım içerisinde yer alan grafik alanı, Şekil 4.33'de gösterildiği gibidir.



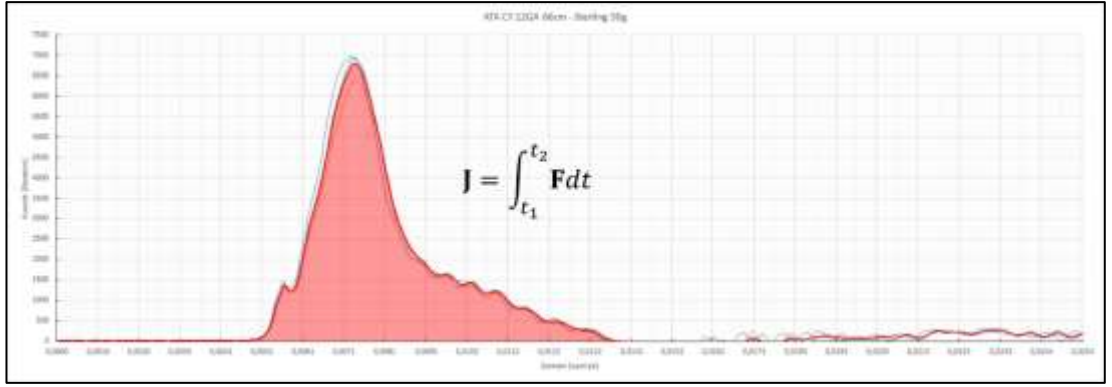
Şekil 4.33: Grafik çizim alanı

Burada gösterilen grafiğin Y eksenini çizilen grafiğe göre Volts (V) yada Force (N) şeklinde başlık almaktadır. Okunan ham verinin grafiği çizildi ise y ekseninde sensörden alınan gerilim değerleri volt olarak gösterilmektedir.. Kuvvet dönüşümü yapılan diğer metin kutularından birisi çizdirildi ise bu değerler Newton olarak gösterilmektedir. X eksenini ise saniye olarak sabit kalmaktadır. Grafiğin Y ve X ekseninde en yüksek değerlerine göre yazılım grafik ölçeğini ayarlamaktadır. Grafiğin sol alt kısmına, tüfek ve mühimmat ile ilgili bilgiler not olarak yazılmaktadır. Grafiğin sağ üst kısmında ise veriler ile yapılan hesaplardan elde edilen sonuçlar not olarak eklenmektedir.

#### 4.7. Ölçüm Verilerinin Analizi

Zamana göre değişen kuvvet grafiğinin çizilmesi ile birlikte atışla birlikte ortaya çıkan bazı sayısal veriler hesaplanabilmektedir. Bunlardan en kolay olan en yüksek kuvvet değeri, yazılım ile otomatik olarak bulunabilmektedir. Zamana göre değişen kuvvet grafiğinin integralinin alınması ile impuls değeri de bulunabilir.

Şekil 4.34'te de kırmızı renk ile işaretlenerek gösterildiği gibi grafiğin alanının bulunması için kullanılacak denklem, Denklem 2.4'te gösterilmiştir. Fakat yazılım yardımı ile bu hesabın yapılabilmesi için trapezoid kuralının uygulanması, grafiğin Şekil 4.35'teki gibi parçalara bölünmesi ve bölünen parçaların alanlarının toplanması gerekecektir. Bunun için kullanılacak denklem ise Denklem 2.5'te gösterilmiştir.

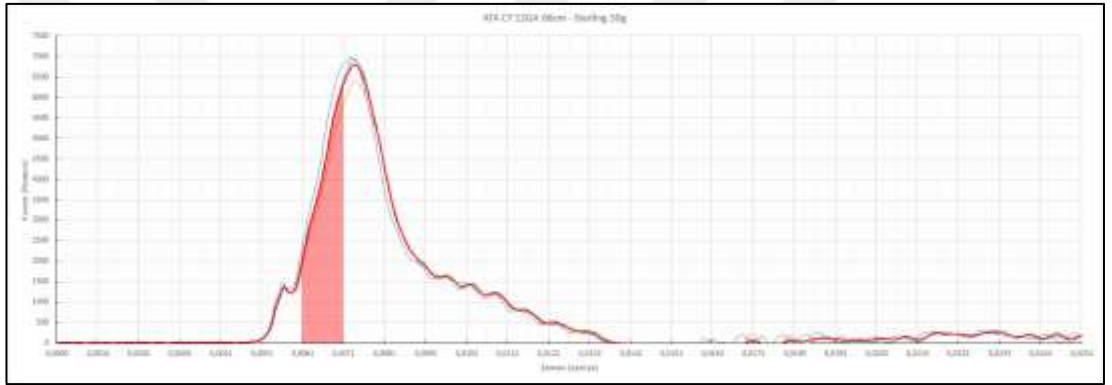


Şekil 4.34: Grafik alanının gösterimi

$J = \text{İmpuls}$

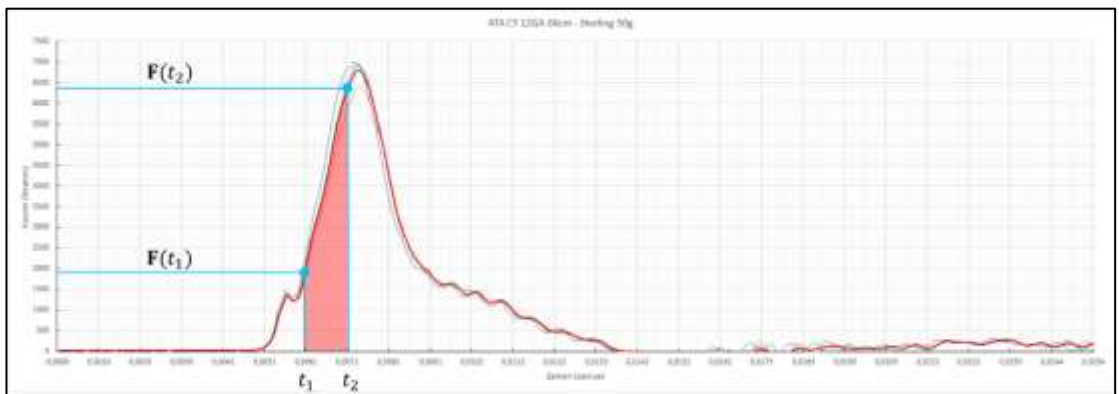
$t_1 = \text{Grafığın başlangıç anı}$

$t_2 = \text{Grafığın bitiş anı}$



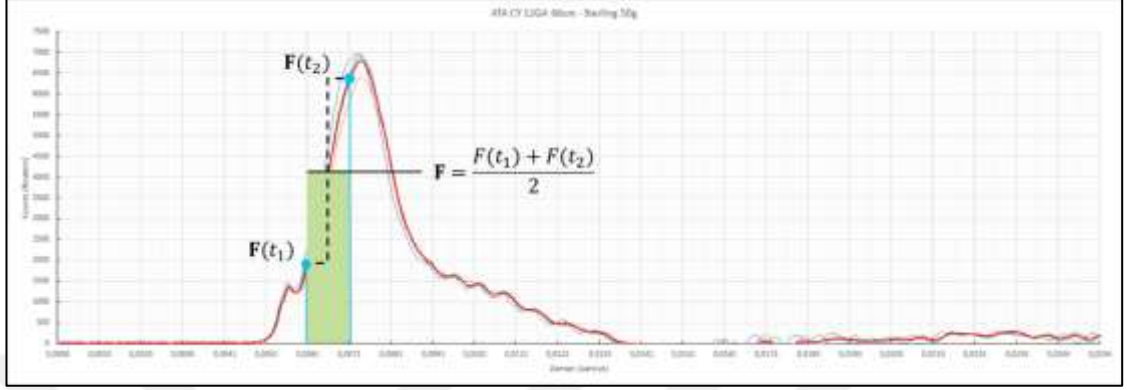
Şekil 4.35: Grafik içerisinde alınan bir parça

Şekil 4.35’de örnek olarak gösterilen grafik içerisinde yer alan bir parçanın alanının bulunabilmesi için şu adımlar izlenecektir. Öncelikle bu parçanın X eksenindeki başlangıç ve bitiş noktaları tespit edilecek, sonrasında ise bu noktaların Y ekseninde denk geldiği değerleri not edilecektir (bkz. Şekil 4.36)



Şekil 4.36: Grafikten alınan parçanın Y ve X eksenindeki değerlerinin gösterimi

Şekil 4.36’da gösterilen  $F(t_1)$  ve  $F(t_2)$  değerlerinin arasında yer alan bölgenin lineer olup olmadığı bilinmediğinden, alan hesabı ancak yakınsanarak yapılabilir. Bunun için ise  $F(t_1)$  ve  $F(t_2)$  değerlerinin toplamının ikiye bölümü ile, bu iki değerlerin orta noktası bulunacaktır (bkz. Şekil 4.37).



**Şekil 4.37:** Grafikten alınan parçanın alanının bulunması için Y ekseninin ortalamasının alınması

Böylelikle Şekil 4.37’te gösterilen  $t_1$  ve  $t_2$  zaman aralığındaki bölgenin alanı denklem 4.1’de gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$J_{t_2-t_1} = (t_2 - t_1) \left( \frac{Ft_1 + Ft_2}{2} \right) \quad (4.1)$$

Bu işlem,  $t_1$  ve  $t_2$  zaman aralığı ne kadar daraltılarak yapılırsa, bulunan grafiğin alanı gerçek sonuca o kadar yakın çıkacaktır (bkz. Şekil 4.38). Bu aralık, bu tez çalışmasında her bir satır veri arasında geçen zaman baz alınarak hesaplanmıştır. Bu da doğrudan okuma hızı olan 1 saniyenin 35.000’de biri, yani 0,028 milisaniyedir.



**Şekil 4.38:** Grafikten alınan parçaların alanlarının toplamı

Şekil 4.38’de grafikten alınacak tüm parçaların bir araya getirildiğinde oluşturduğu alan gösterilmektedir. Denklem 4.2’de gösterildiği gibi tüm bu alanların toplamı ile grafiğin toplam alanı, gerçeğe yakın olarak bulunabilir.

$$J = \sum_{k=1}^n \frac{F_k + F_{k+1}}{2} (t_{k+1} - t_k) \quad (4.2)$$

İmpuls değerinin bulunması ile birlikte, tüfeğin hızının bulunması da mümkün olmaktadır. İmpuls, bir cismin çizgisel momentumundaki değişimdir. Temel büyüklükler cinsinden gösterimi  $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 'dir. İmpuls değerinin cismin kütlesine bölünmesi ile, cismin hızı bulunabilir (bkz. denklem 4.3).

$$v_t = \frac{J}{m_t} \quad (4.3)$$

Bu hız hesabı grafiğin her bir anında, o ana kadarki toplam impuls değeri hesaplanarak bulunabilir. Hız değişimlerinin hesaplanabilmesi ile birlikte, toplam ivme de hesaplanabilir.

Tüfeğin kazandığı hız bilindiğine göre, Denklem 2.1a'da gösterildiği şekilde kütle ve hızlar arasındaki oran hesaplanarak mühimmatın çıkış hızı da hesaplanabilir. Elbette bu hesap sürtünme ve namlu içi balistiği gibi değişkenleri içermeyeceği için ancak gerçeğe yakın bir sonuca ulaşmak beklenmelidir.

## **5. GERİ TEPME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜMÜ İLE İLGİLİ DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

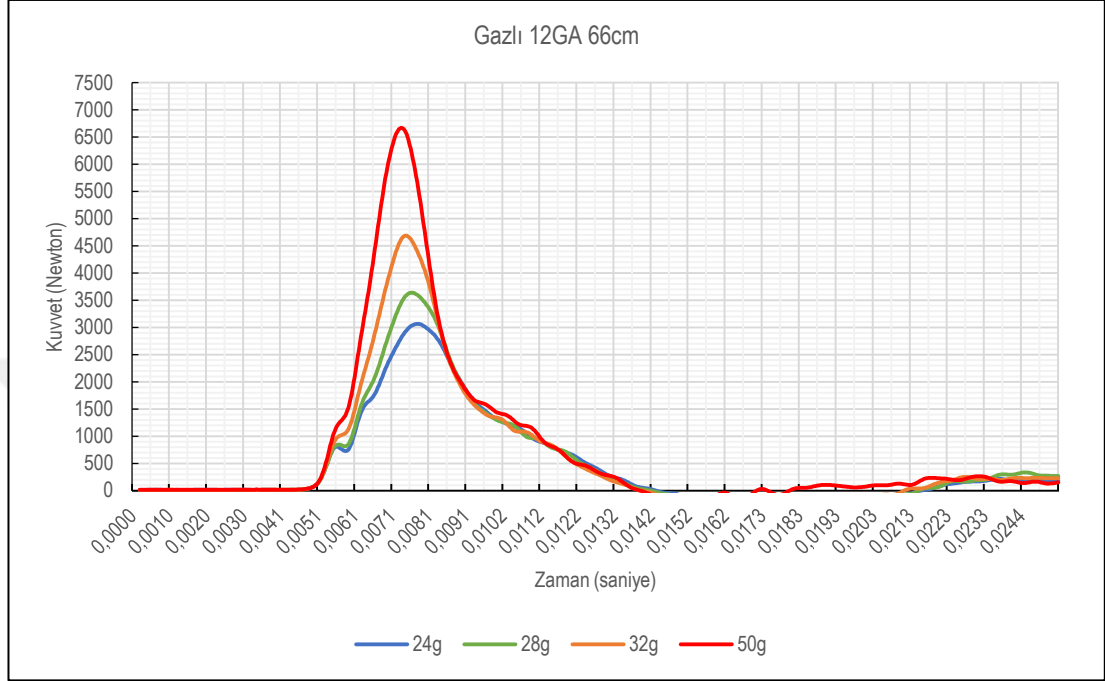
Bu tez çalışması için toplamda 600'ü aşkın atış yapılmıştır. Bu atışların 370 tanesi değerlendirmeye alınmıştır. Aşağıda gösterilen grafiklerin tamamı, aynı koşullarda gerçekleştirilen 3 atışın ortalamasının, 15'li hareketli ortalama filtresinden geçirilerek çizilmiş halidir. Pek çok deneme sonrasında 15'li hareketli ortalamanın değerleri yanılmayacak kadar yakın ve gürültüleri giderecek kadar yumuşak grafik sonuçları verdiği görülmüştür. Yapılan karşılaştırmalar ve hazırlanan grafikler için karşılaştırılabilir özelliklere sahip tüfekler ve koşullar gözetilmiştir. Kullanılan tüfeklerin marka ve modelleri, üretici firmalar için olumlu ya da olumsuz bir marka imajı oluşturmamak adına saklı tutulmuştur.

### **5.1. Teori ile Pratiğin Karşılaştırılması**

Yapılan ölçümlerin teorik hesaplar ile ne kadar yakın sonuçlar verdiğini tespit etmek üzere bir firmanın gaz çevrimli yarı otomatik tüfeği, hem gaz hem de namlu hareketi ile çalışan hibrit yarı otomatik tüfeği ve geri tepme hareketi ile çalışan kinetik yarı otomatik tüfeği ile atışlar gerçekleştirilmiştir. Grafiklerden yola çıkarak impals, tüfeğin kazandığı hız ve mühimmat çıkış hızı hesaplanmıştır. Bulunan değerler fişeklerin katalog bilgilerinde yer alan çıkış hızları ve çekirdek ağırlıklarından yola çıkarak yapılan hesaplar ile karşılaştırılmıştır. Tüm atışlarda Sterling markasının 24g, 28g, 32g ve 50g standart av fişekleri kullanılarak yapılmıştır.

Çalışma sistemi ve parçaları açısından en geleneksel ve sade sisteme sahip olan gazlı model tüfek ile yapılan atışlarda kaydedilen ölçüm sonuçları Şekil 5.1' ve Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Sahip olduğu valfli sistem ile gelen gaz basıncına göre sistemi tahrik etmek için kullanılacak gaz miktarını ayarlayan ve gazlı modele göre daha karmaşık bir hibrit tahrik sistemine sahip olan hibrit modelin ölçüm sonuçları ise Şekil 5.2 ve Çizelge 5.2 ile gösterilmiştir. Kinetik model ise sade bir kinetik çalışma mekanizmasına sahiptir ve Şekil 5.3 ile Çizelge 5.3'te ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

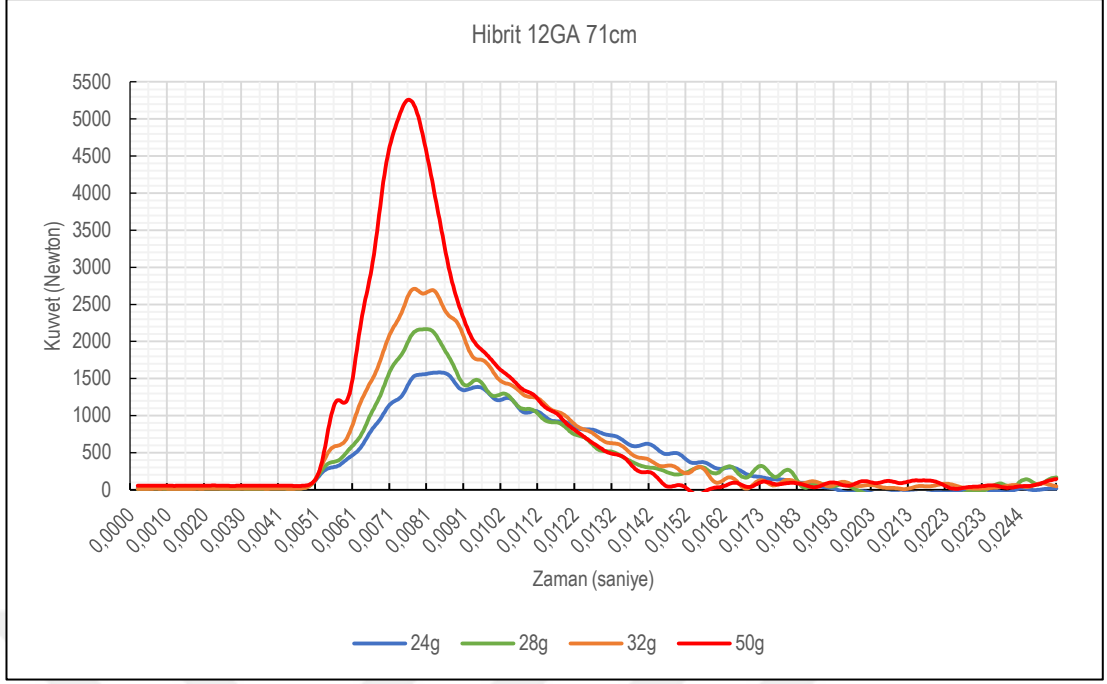
Burada kullanılan özellikle gazlı ve kinetik modeller, piyasada pek çok örneği bulunabilecek diğer gazlı ve kinetik çalışma mekanizmasına sahip sıradan tüfekler ile denk görülebilir. Dolayısıyla piyasada bulunabilecek muadil ürünlerin geri tepme ölçüm sonuçlarının da benzer olacağı öngörülebilir.



**Şekil 5.1:** Gazlı 12GA 66cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları

**Çizelge 5.1:** Gazlı 12GA 66cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları

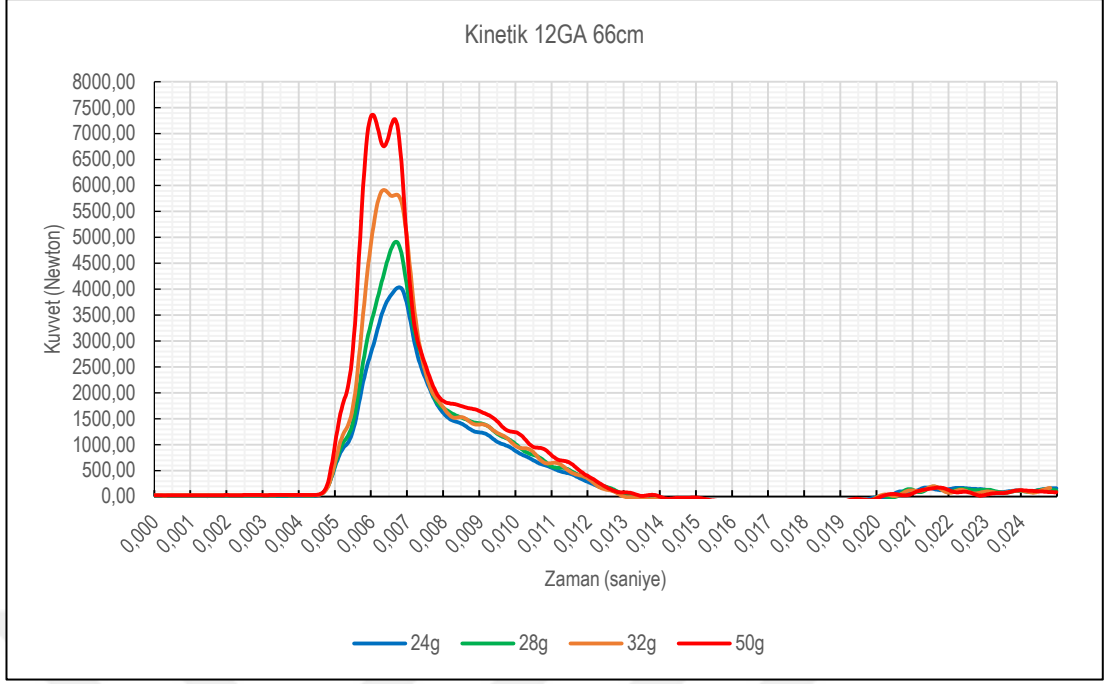
Gazlı 12GA 66cm	24g	28g	32g	50g
<b>Maks. Kuvvet (N)</b>	3091,6	3663,0	4782,3	6797,6
<b>İmpuls (kg·m/s)</b>	11,2	12,2	13,7	18,8
<b>Grafiğe Göre Çıkış Hızı (m/s)</b>	467,8	436,1	431,1	377,9
<b>Grafiğe Göre Tüfek Hızı (m/s)</b>	4,00	4,36	4,92	6,70
<b>Kataloğa Göre Çıkış Hızı (m/s)</b>	395,0	385,0	400,0	370,0
<b>Kataloğa Göre Tüfek Hızı (m/s)</b>	3,39	3,80	4,50	6,60
<b>Denklem 2.3'e Göre Tüfek Hızı (m/s)</b>	3,60	4,0	4,7	6,6
<b>Fark (kataloğa göre)</b>	15,5%	11,7%	7,2%	2,1%
<b>Fark (denklem 2.3'e göre)</b>	9,9%	7,5%	3,8%	1,0%



Şekil 5.2: Hibrit 12GA 71cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları

Çizelge 5.2: Hibrit 12GA 71cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları

Hibrit 12GA 71cm	24g	28g	32g	50g
Maks. Kuvvet (N)	1616,1	2215,5	2851,0	5343,8
İmpuls (kg·m/s)	10,2	10,8	13,7	18,9
Grafiğe Göre Çıkış Hızı (m/s)	426,6	385,4	429,0	378,2
Grafiğe Göre Tüfek Hızı (m/s)	3,2	3,4	4,3	5,9
Kataloğa Göre Çıkış Hızı (m/s)	395,0	385,0	400,0	370,0
Kataloğa Göre Tüfek Hızı (m/s)	3,0	3,4	4,0	5,8
Denklem 2.3'e Göre Tüfek Hızı (m/s)	3,3	3,7	4,3	6,1
Fark (kataloğa göre)	7,4%	0,0%	6,7%	2,1%
Fark (denklem 2.3'e göre)	%3	%8,1	%0	%3,2



**Şekil 5.3:** Kinetik 12GA 66cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları

**Çizelge 5.3:** Kinetik 12GA 66cm ile farklı gramajlarda yapılan atışların ölçüm sonuçları

<b>Kinetik 12GA 66cm</b>	<b>24g</b>	<b>28g</b>	<b>32g</b>	<b>50g</b>
<b>Maks. Kuvvet (N)</b>	4040,2	4917,1	5916,1	7369,3
<b>İmpuls (kg·m/s)</b>	11,1	12,6	14,6	18,2
<b>Grafiğe Göre Çıkış Hızı (m/s)</b>	465,2	452,5	459,0	365,0
<b>Grafiğe Göre Tüfek Hızı (m/s)</b>	3,6	4,0	4,7	5,8
<b>Kataloğa Göre Çıkış Hızı (m/s)</b>	395,0	385,0	400,0	370,0
<b>Kataloğa Göre Tüfek Hızı (m/s)</b>	3,0	3,4	4,1	5,9
<b>Denklem 2.3'e Göre Tüfek Hızı (m/s)</b>	3,49	3,90	4,58	6,42
<b>Fark (kataloğa göre)</b>	15,1%	14,9%	12,8%	1,3%
<b>Fark (denklem 2.3'e göre)</b>	3,2%	2,4%	2,6%	10,7%

Çizelge 5.1, 5.2 ve 5.3'te gösterilen grafiğe göre çıkış hızı, grafiğe göre tüfek hızı ve kataloğa göre tüfek hızı hesaplarının tümü denklem 2.1 kullanılarak yapılmıştır.

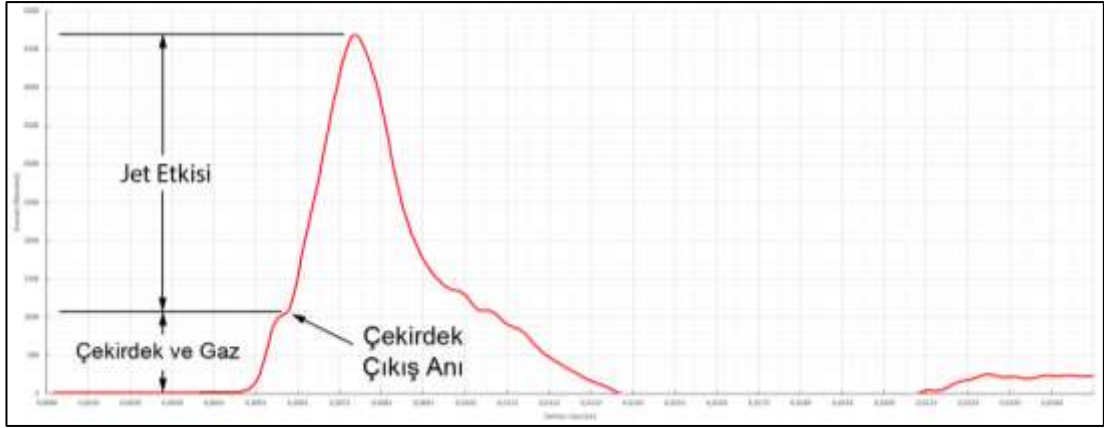
24g fişek ile yapılan atışlarda alınan sonuçlar, katalog verilerine göre yapılan hesaplar ile öngörülen değerlerden %7,4 ila %15,5 arasında değişen oranlarda daha

yüksek olduğu görülmektedir. Bu farkın gramaj yükseldikçe düştüğü, 50g ile yapılan atışlarda %1,3'lere kadar azaldığı görülmektedir. Tüfek hızı, mühimmat çıkış hızı, tüfek ağırlığı, çekirdek ağırlığı bilinse dahi teorik ve pratik olarak bilinmeyen barut gazının etkisinin bu farkı oluşturabileceği öngörülmektedir. Mühimmat namluyu terk ettikten sonra namludan çıkan yüksek barut basıncı, geri tepme yükünün önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Barut gazının sebep olduğu bu durum akademik olmayan bireysel çalışmalarda "jet etkisi" olarak anılmıştır (Robinette t.y.).

Denklem 2.3'e göre hesaplanan değerler ile ölçümlerden hesaplanan değerler karşılaştırıldığında ise, farkın ortalama olarak %4,6 seviyelerinde kaldığı görülmektedir. En düşük fark %0 bulunurken en yüksek fark ise kinetik tüfek ile yapılan 50g fişek atışlarında %10 olarak gerçekleşmiştir. Denklem 2.3 ile elde edilen sonuçların, jet etkisinin formüle dahil edilmiş olması sebebi ile gerçeğe daha yakın olması beklenir.

Başlangıç hızı sıfır olan mühimmat çekirdeği, barutun yanmaya başlaması ile birlikte harekete geçerek hızlanmaya başlayacaktır. Bu hareketin aksi yönünde aynı anda tüfek de hareket etmeye başlayacaktır. Yalnızca fişek içerisindeki kapalı alanda gerçekleşen yanma ile ortaya çıkan basınç, mühimmatın ilerlemesi ile birlikte mühimmatın arkasında yer alan bu barut gazı, namlu içerisinde kendisine daha geniş hacimli bir alan bulacak ve böylece basıncı azalacaktır. Azalan basınç ile birlikte tüfek üzerine uygulanan basınç da azalacağı için geri tepme ölçümlerinde, ateşlemenin ilk anında ani bir yükselme sonrasında yükselişi giderek yavaşlayan bir grafik görmek öngörülebilir. Çekirdeğin namluyu terk etmesinden sonra namlu ağzının açılması ile birlikte içerideki tüm basınçlı gaz, tüfeği namlu ağzından terk edecek ve geri tepme kuvvetinin yükselişini tekrar artıracaktır. Gerçekleşen bu durum Şekil 5.4'te grafikler üzerinde gösterilmiştir.

Basınçlı gazın etkisi ve davranışları farklı bir çalışmada değerlendirilmesi gereken bir konudur. Bu sebeple basınçlı gazların sayısal değerler üzerindeki etkisi bu çalışmada ancak varsayımlar ile değerlendirilebilir.



**Şekil 5.4:** Geri tepme kuvvet grafiği üzerinde çekirdek ve gaz hareketlerinin gösterimi

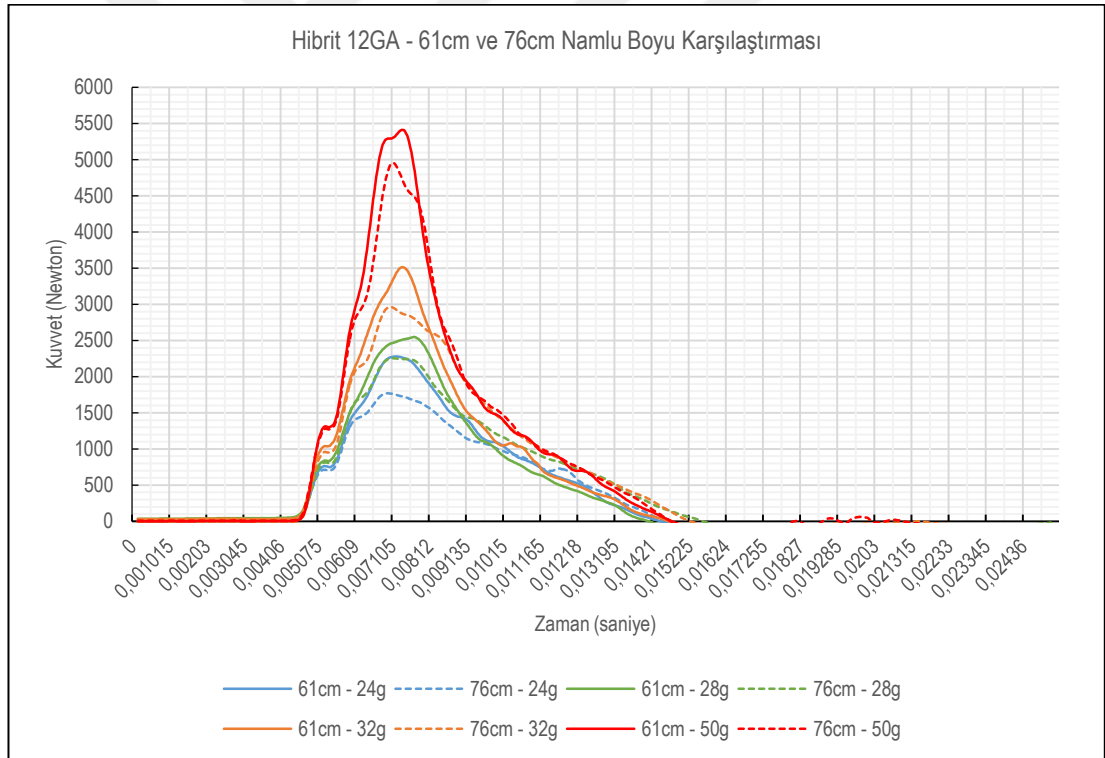
Gazlı model, sabit olarak namlu içi basıncın bir kısmını tüfeğin kurulması için kullanmaktadır. Kinetik modelde ise tüfek geri tepme esnasında atalet momenti ile kurulmakta ve namlu içerisinde herhangi bir gaz tahliye deliği bulunmamaktadır. Bu sebeple kinetik modelin gazlıya göre daha yüksek geri tepme değerlerine sahip olması tahmin edilebilir ve anlaşılabilir bir durumdur. Gazlıda namlu iç basıncının tüfeğin kurulmasında kullanılması sebebiyle, jet etkisinin sebep olduğu geri tepme kuvveti azalmaktadır. Hibrit modelde ise, üzerine uygulanan basınca göre çalışan ve tüfeğin her zaman sabit bir gaz basıncı ile kurulmasını amaçlayan bir gaz piston sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem fazla gaz basıncını tahliye ederek, tüfeğin kurulması için her zaman aynı miktarda kuvveti çalışma mekanizmasına aktarmaya çalışmaktadır. Hibrit modelin diğer modellere göre daha düşük tepe noktası değerleri ile ölçülmesinin sebebinin bu olduğu tahmin edilmektedir.

Sonuç itibariyle bazı atışlardan alınan sonuçlar, %2'den daha düşük hata payları ile hesaplanan değerlere yaklaşmış, diğer değerlerin ise öngörü ve varsayımlar ile paralel olduğu görülmüştür. Namlu ucundan barut gazının çıkışının hesaba katılması gereken noktalarda kullanılan denklemler ancak sonuca yakın sonuçlar verebilmektedir. Tüfek hızı doğrudan geri tepme kuvveti kullanılarak hesaplanabilmektedir. Fakat mühimmat çıkış hızı ve katalog verilerinden yola çıkarak tüfeğin hızı hesaplamak kesinlik arz etmemektedir. Yapılacak diğer atışlarda da benzer değişkenlikler göz önünde bulundurularak hareket edilmelidir. Geri tepme kuvvet grafikleri ile namlu çıkış hızları arasında doğru bir ilişki kurabilmek için ise, bu tez çalışmasında ölçülmeyen namlu çıkış hızlarının ayrıca çıkış hızı ölçüm cihazları ile ölçülere sonuçlara dahil edilmesi çok daha doğru ve yakın sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

## 5.2. Namlu boyunun geri tepme kuvveti üzerindeki etkisi

Namlu boyu hiç şüphesiz geri tepme kuvveti üzerine etki eden değişkenlerden birisidir. Mühimmatın içerisinde barutun yanması ve çekirdeğin namlu içerisinde ilerlemesi anında, namlu iç basıncı, namlu boyuna göre değişmektedir. Namlu boyu uzadıkça, namlu içerisinde yanan barut gazının doldurabileceği hacim arttığı için daha düşük bir namlu iç basıncı görülmesi beklenir. Bu sebeple jet etkisinin daha düşük olması öngörülmektedir. Namlu boyunun değişmesi ile birlikte çekirdeğin namlu içerisinde geçirdiği süre de değişecektir. Bu sebeple namlu iç basıncının sebep olduğu, çekirdeğin çıkış anına kadar gerçekleşen geri tepme kuvvetlerinin de kısa namlularda daha az olması öngörülebilir.

Hibrit çalışma sistemine sahip a12GA av tüfeği modelinin 61cm ve 76cm boylarındaki iki farklı seçeneği ile Şekil 5.5'te gösterilen atışlar gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 5.5:** Hibrit 12GA tüfek ile 61cm ve 76cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar

Şekil 5.5'te gösterilen grafikte kaydedilen değerler Çizelge 5.4 ile aşağıda gösterilmiştir.

**Çizelge 5.4:** Hibrit 12GA tüfek ile 61cm ve 76cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar

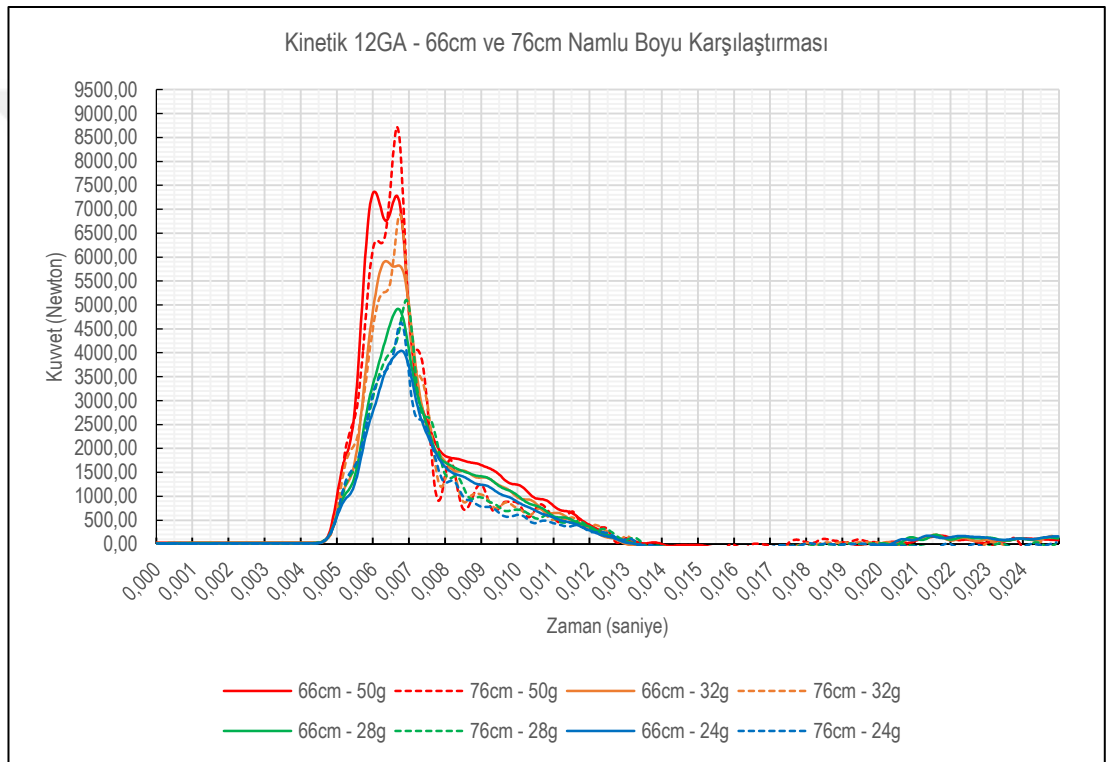
Değerler	61cm				76cm			
	24g	28g	32g	50g	24g	28g	32g	50g
<b>En Yüksek Kuvvet (N)</b>	2250	2550	3510	5400	1770	2250	2960	4960
<b>Çıkış Anı Kuvveti (N)</b>	756	835	1039	1307	707	807	956	1275
<b>Jet Etkisi</b>	66%	67%	70%	76%	60%	64%	68%	74%
<b>İmpals (kg·m/s)</b>	10,0	10,6	13,2	18,2	9,0	11,2	13,9	17,2

Çizelge 5.4'te de görülebileceği gibi uzun namlularda jet etkisinin en yüksek kuvvet değerine oranı, uzun namluda daha düşük olmuştur. Bunun sebebi yukarıda da bahsedildiği gibi uzun namlu içerisindeki hacmin daha fazla olması ve mühimmatın namludan çıktıktan sonra daha düşük basınçta bir gazın namlu ağzından tahliye edilmesi olduğu düşünülmektedir. Jet etkisinin kısa ve uzun namlular arasındaki farkı 24g fişekte %6 kadar kaydedilirken bu oran 50g'da %2 olarak izlenmiştir. Bununla bağlantılı olarak maksimum kuvvet değerlerinin de doğru orantılı olarak uzun namlularda daha düşük olduğu görülmüştür. Bu noktada üzerinde düşünülmesi gereken en önemli noktalardan birisi de jet etkisi yüzdesinin aynı tüfek ile yapılan farklı gramaj atışlarında değişmesidir. Uzun namlu ile yapılan atışlarda bu oranın %14 değiştiği görülmüştür.

Çıkış anı kuvvet değerleri namlu boyuna göre 24g fişekte en fazla farkı göstermiştir. Bu oran %7,7 olarak hesaplanırken, en düşük fark ise 50g fişek ile yapılan atışlarda %0,01 olarak hesaplanmıştır. Tüm gramajlarda çıkış anı kuvvet değerleri uzun namluda, kısa namluya göre daha az görülmüştür. Namlu uzadıkça mühimmatın namlu içerisinde geçirdiği süre ve dolayısıyla basınçlı gazın namlu içerisinde kaldığı süre uzayacaktır. Testi yapılan hibrit tüfek, valfli basınç tahliye sistemi üzerinden daha fazla basıncı tahliye etmeye zaman bulacaktır. Çıkış anı kuvvetinin uzun namluda daha düşük ölçülmesinin sebebinin bu durum olduğu düşünülmüştür.

İmpals değerleri öngörülerin aksine yalnızca 24g ve 50g fişeklerde uzun namluda bir miktar azalma gösterdiği, 28g ve 32g fişeklerde ise bir miktar fazla olduğu kaydedilmiştir. En yüksek kuvvet değerlerinin uzun namlularda daha düşük olması ile paralel olarak tüm fişek tiplerinde impals değerlerinin de uzun namluda daha

düşük çıkması öngörülebilir. Fakat bunun aksine uzun namlu ile yapılan bazı atışlarda geri tepme kuvvetinin sönümlenmesinin daha uzun sürede gerçekleştiği görülmüştür. Bunun sebebi olarak da toplam geri tepme enerjisi yüksek çıkmaktadır. Yine bu fark da en fazla 24g fişekte görülerek %10 olarak hesaplanmıştır. İmpuls değerlerinin uzun namluda daha fazla çıkmasının sebebi, daha yüksek namlu iç hacminin, barut gazının tahliyesinde daha uzun zaman alması olabileceği öngörülmektedir. Bu durumun daha isabetli tespiti için ağır çekim kameralar ile atış anı izlenebilir, namlu iç basıncının yüksek hızlarda kaydedebilecek sensör sistemleri ile ölçümler yapılabilir.



**Şekil 5.6:** Kinetik 12GA tüfek ile 66cm ve 76cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar

Şekil 5.6'da gösterilen grafikte kaydedilen değerler Çizelge 5.5 ile aşağıda gösterilmiştir.

**Çizelge 5.5:** Kinetik 12GA tüfek ile 66cm ve 76cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar

Değerler	66cm				76cm			
	24g	28g	32g	50g	24g	28g	32g	50g
<b>En Yüksek Kuvvet (N)</b>	4040	4917	5916	7369	4631	5106	6895	8728
<b>Çıkış Anı Kuvveti (N)</b>	1001	1108	1290	1853	1201	1212	1530	1930
<b>Jet Etkisi</b>	75%	77%	78%	75%	74%	76%	78%	78%
<b>İmpuls (kg·m/s)</b>	10,2	11,3	13,3	15,8	11,0	12,5	14,5	18,0

Şekil 5.6 ve Çizelge 5.5'te görülebilen örnek kinetik tüfek ile yapılan atışlarda alınan sonuçlar değerlendirilerek aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir. Unutulmamalıdır ki hibrit tüfek ile yapılan atışlarda 61cm namlu ile 76cm namlu karşılaştırılmışken bu kinetik tüfekte 66cm ile 76cm namlu boyları karşılaştırılmıştır. Bu testlerin gerçekleştirildiği sırada erişilmesi mümkün olan namlu boyları bunlar olduğu için bu durum oluşmuştur.

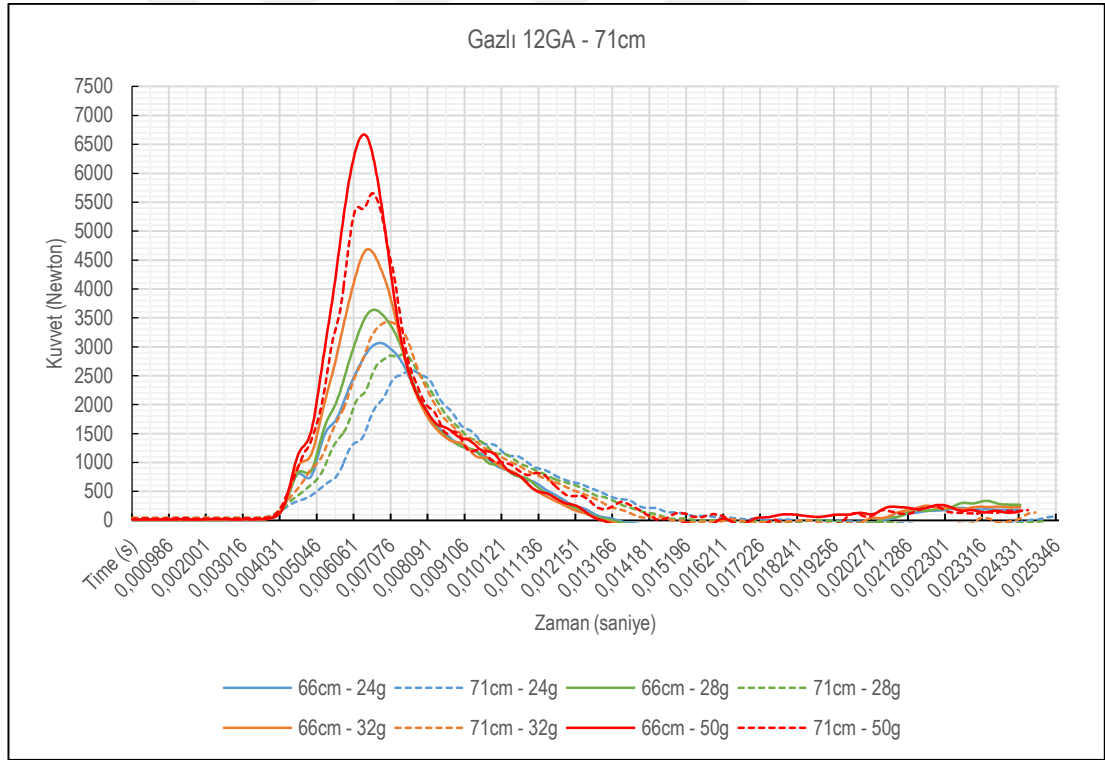
Kinetik tüfek çıkış anı kuvvet değerleri ve en yüksek kuvvet değerleri açısından diğer modellere oranla daha yüksek sonuçlar vermektedir. Namlu boyu karşılaştırmasında görülen sonuçlara göre ise kısa namlu, uzun namluya göre çıkış anı kuvvet değerlerinde daha düşük değerler vermiştir. Bu durum hibrit tüfekte tam tersi şekilde gerçekleşmektedir. Bilindiği üzere kinetik tüfeğin namlusunda herhangi bir gaz tahliyesi bulunmamaktadır. Bu sebeple mühimmatın namlu içerisinde geçirdiği her an, arkasındaki basınç hem mühimmat hem de tüfek üzerine etki etmektedir. Bu basınç ancak mühimmat namluyu terk edince yok olabileceği için, namlu boyu uzadıkça çıkış anı kuvvet değeri artmıştır.

Kuvvet değerlerinin ulaştığı en yüksek nokta ise tüm fişeklerle yapılan atışlarda arttığı görülmüştür. Bu durum irdelendiğinde, istikrarlı olarak tüm atışlarda (hibrit, gazlı ve kinetik tüfeklerde) namlu boyları karşılaştırması sırasında en yüksek farklar 32g fişek ile yapılan atışlarda görülmüştür. Bu durumun sebebinin 32g fişekte kullanılan mühimmat ağırlığı ile barut miktar oranı olabileceği düşünülmüştür. Bir diğer tespit ise bu tüfekte alınan sonuçlarda jet etkisi ortalama %75 dolaylarında gezinmiş, en az %70'e düşerken en fazla %78'e çıkmıştır. Hibrit tüfek ile yapılan atışlarda bu fark %14'e kadar çıkarken, kinetik tüfek ile yapılan atışlarda bu fark,

aynı tüfek ve namlu boyu ile farklı gramajlarda en fazla %7 olabilmıştır. Ortalama olarak 66cm namlu ile yapılan atışlarda, geri tepme kuvvetinin %76,25'i jet etkisi sebebi ile oluşurken bu oran 76cm namluda %73,5'e düşmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi namlu boyunun uzaması ile beraber, mühimmatın namluyu terk ettiği esnada namlu içerisinde kalan basınç da daha yüksek hacme kavuşması sebebi ile daha düşük olmaktadır. Bu sebeple uzun namluda bu oran bir miktar düşüş göstermiştir. Bu düşük hibrit tüfek ile yapılan atışlarda da izlenebilmektedir. Ortalama olarak kinetik tüfeklerde jet etkisinin, geri tepme kuvvetinin %75'ini oluşturduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

İmpuls değerleri de genel olarak çıkış anı ve en yüksek kuvvet değerleri ile orantılı olarak beklendiği gibi, her gramajda uzun namluda bir miktar daha yüksek çıkmıştır.

Şekil 5.7'de gösterilen grafikte kaydedilen değerler Çizelge 5.6 ile aşağıda gösterilmiştir.



**Şekil 5.7:** Gazlı 12GA tüfek ile 66cm ve 76cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar

**Çizelge 5.6:** Gazlı 12GA tüfek ile 66cm ve 71cm namlu boyları ile gerçekleştirilen atışlar

Değerler	66cm				71cm			
	24g	28g	32g	50g	24g	28g	32g	50g
<b>En Yüksek Kuvvet (N)</b>	3064	3640	4689	6671	2604	2873	3431	5655
<b>Çıkış Anı Kuvveti (N)</b>	729	830	1052	1513	667	596	933	1199
<b>Jet Etkisi</b>	76%	77%	78%	77%	74%	79%	73%	79%
<b>İmpuls (kg·m/s)</b>	11,1	12,0	13,6	18,6	11,7	12,3	13,2	18,0

Atışları yapılan gazlı örnek tüfeğe ait sonuçlar Şekil 5.7 ve Çizelge 5.6 üzerinden görülebilmektedir. Bu tüfeğin atışları için ise 66cm ile 71cm seçenekleri bulunabilmektedir.

Sırasıyla sonuçlar incelendiğinde en yüksek kuvvet değerinin hibrit tüfekten alınan sonuçlardan fazla, kinetik tüfekten alınan sonuçlardan az olduğu görülmektedir. Bu durumun beklendiği gibi olduğu rahatlıkla söylenebilir. Sabit bir gaz çıkış sistemi olan tüfek, aynı delikler üzerinden aynı pistonla, sabit bir oranda gaz ileterek tüfeği çalıştırmaktadır. Uzun namlu ile yapılan atışlarda alınan sonuçların daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar hibrit ve kinetik tüfekten alınan sonuçlar ile paralel görülmektedir.

Çıkış anı kuvvet değerleri de en yüksek kuvvet değerleri ile paralel olarak uzun namluda düşüş göstermiştir. Bu durum da daha önce kinetik ve hibrit tüfeklerle yapılan atışlarla görülen sonuçlarla benzerdir.

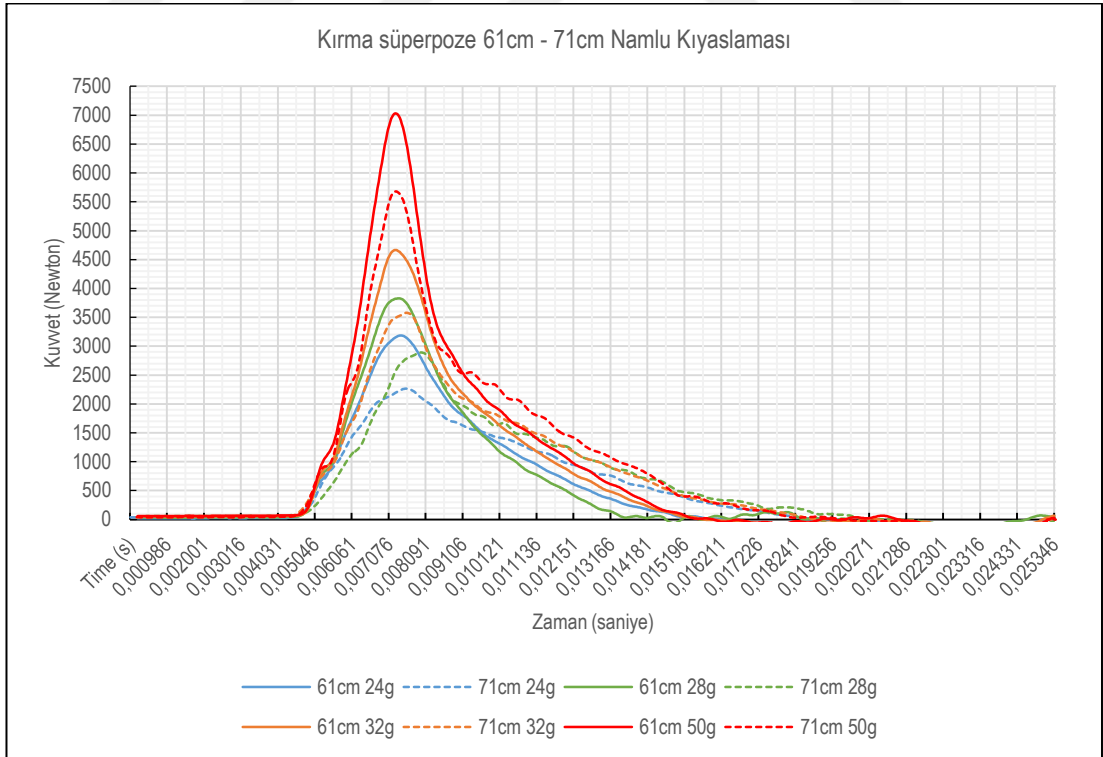
Jet etkisi yüzdeleri incelendiğinde ise artış ya da azalma yönünde belirgin bir fark gözlenmemiştir. Bunun sebebinin ise namlu boylarının çok yakın ölçülerde olması düşünülmüştür. Fakat yine de bu tüfekte de kinetik tüfekte olduğu gibi geri tepme kuvvetinin ortalama olarak %76'sının jet etkisi sebebiyle oluştuğu kaydedilmiştir.

İmpuls değerleri, en yüksek kuvvet değeri ile çıkış anı kuvvetleri ile paralel olarak artış ve düşüşler göstermiş, belirgin bir fark gözlenmemiştir. 24g ve 28g fişekler ile yapılan atışlarda impuls uzun namluda bir miktar artış gösterirken, 32g ve 50g atışlarında ise azaldığı gözlenmiştir.

Tüm bu atış ve denemelerden sonra şu çıkarımlar yapılabilir.

- Çıkış anı kuvvetinin azaltılması için namlu içerisinde sistemin çalışması için yeterli olan gaz miktarından fazlasının tahliye edilmesi işe yaramaktadır. Bunun mühimmat çıkış hızı üzerindeki etkileri farklı bir araştırma konusudur.
- Tüfek gaz çevrimli bir çalışma sistemine sahip değilse namlu boyunun uzaması ile birlikte çıkış anı kuvveti artmaktadır. Bu durum gaz çevrimli tüfeklerde ise tam tersi gerçekleşmektedir.
- En yüksek kuvvet değerleri namlu boyu uzadıkça kinetik tüfeklerde artmaya yönelik seyrederken, gaz basıncı ile çalışan tüfeklerde azalma yönünde ilerlemektedir.
- Namlu içi gaz basıncını farklı oranlarda tahliye etmek üzerine kurulu bir sisteme sahip olmayan tüfeklerde jet etkisinin çoğunlukla yaklaşık %75 olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.8’de örnek bir kırma tüfek olarak ölçümleri yapılan, süperpoze olarak anılan bir model olarak üst üste iki namluya ve 71cm namlusu ile 3,2kg ağırlığa, 61cm namlusu ile 3,1 kg ağırlığa sahip bir tüfeğin geri tepme kuvveti ölçüm sonuçları grafiği yer almaktadır. Bu grafiğe ait sayısal değerler Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.8:** Kırma tüfek modeli süperpozenin 61cm ve 71cm namlu boyları ile yapılan atışlar

**Çizelge 5.7:** Kıırma tñfek modeli sñperpozenin 61cm ve 71cm namlu boyları ile yapılan atış değerleri

Değerler	61cm				71cm			
	24g	28g	32g	50g	24g	28g	32g	50g
<b>En Yñksek Kuvvet (N)</b>	3186	3828	4665	7032	2267	2868	3578	5681
<b>Çıkış Anı Kuvveti (N)</b>	720	853	920	1090	808	838	864	942
<b>Jet Etkisi</b>	77%	78%	80%	85%	64%	71%	76%	83%
<b>İmpals (kg·m/s)</b>	12,4	13,3	16,7	21,8	13,2	15,6	17,0	22,0

Bu tñfeęin diğerlerinden farkı, ateşleme sonrasında tñfek üzerinde çalışan herhangi bir aksam bulunmamaktadır. Atış esnasında yalnızca horoz dñřmekte ve fişeği patlatmaktadır. Bunun dışında, gaz veyahut geri tepme etkisi ile harekete geçen bir sistem yoktur.

Bu tñfekte de uzun namlu ile yapılan atışlarda en yñksek kuvvet değerinin kısa namluya oranla daha az olduğu gñrñlmektedir. Yine Çizelge 5.7 incelendiğinde de gñrñlebiliyor ki çıkış anı kuvvet değerleri de 24g fişek hariç diğer tñm gramajlarda uzun namlu ile yapılan atışlarda daha dñřñktñr.

Bu tñfek ile yapılan atışlarda gñrñlen farklı nokta, jet etkisi oranlarının farklı fişek gramajlarında %19'a varan farklarda değişmesidir. Tıpkı kıırma tñfek gibi namlusunda herhangi bir gaz çıkışı bulunmayan kinetik modelde jet etkisi oranları %75 seviyelerinde gñrñlñrken, kıırma tñfekte, özellikle 71cm namluda jet etkisinin %64 ile %83 arasında değiştiği gñrñlmñřtñr. Ortalama olarak 71cm namluda kaydedilen jet etkisi oranları, diğer tñfeklerde tespit edildiği gibi kısa namluya oranla daha dñřñk olsa da farklı gramajlara sahip fişekler arasında ortaya çıkan bu fark net olarak açıklanamamıştır.

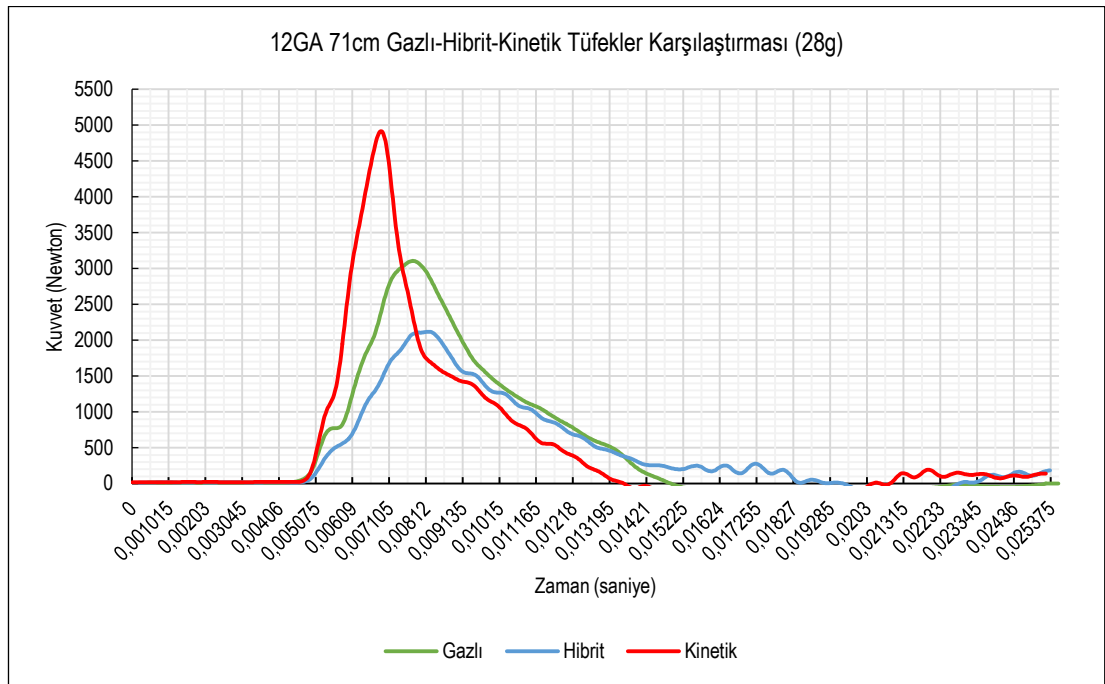
İmpals değerleri aynı gramajlı fişekler arasında uzun namluda daha yñksek kaydedilmiştir. En yñksek kuvvet noktaları uzun namluda daha dñřñk olsa da grafikte gñrñlmektedir ki uzun namlu ile yapılan atışlarda geri tepme daha uzun bir sñrede sñnñmlenmektedir. Daha yñksek hacme sahip uzun namlularda namlu içerisindeki gaz, daha uzun bir yol takip ederek namludan tahliye olabilmekte, bu da daha uzun zaman almaktadır. Bu farkın sebebi ancak bu şekilde izah

edilebilmektedir. Daha kesin bir tespit yapabilmek için daha önce de belirtildiği gibi atışlar ağır çekim kameralar ile kayıt altına alınarak incelenebilir ve yüksek hızlı basınç sensörleri ile namlu iç basıncı değişiklikleri izlenebilir.

### 5.3. Gaz çevrimli, kinetik ve hibrit sistem karşılaştırması

Bu incelemede gaz çevrimli, kinetik ve hibrit sisteme sahip 12GA av tüfekleri karşılaştırılmıştır. Tüm tüfeklerin namlu boyu 71cm seçilmiştir. Tüfeklerin ağırlıkları gazlı modelde 2,8kg, kinetik ve hibrit ise 3kg olarak kaydedilmiştir.

Hibrit tüfekler hem atalet momenti hem de gaz tahriki ile birlikte çalışan tüfeklerdir. Atalet momenti kullanımları ve geri tepme esnasındaki hareketleri, kinetik tüfeklerden daha azdır. Atış esnasında kazandığı atalet momentini ise kinetik modellerden farklı olarak 2 milimetrelilik bir namlu hareketi ile sağlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan hibrit modelin gaz tahrik sistemi ise gaz basıncı kontrol sistemine sahiptir. Bu sistem, mekanizmanın çalıştırılması için kullanılacak gaz miktarını her fişek tipinde aynı miktarda tutmaya çalışarak, yalnızca ihtiyaç duyulan basıncın mekanizmaya aktarılması ve fazla gazın tahliye edilmesi prensibi ile çalışmaktadır. Bu üç tüfeğin geri tepme kuvvet grafikleri Şekil 5.9'ta gösterilmiştir.



Şekil 5.9: 28g fişek ile Gaz Çevrimli, Kinetik ve Hibrit Sistem Karşılaştırması

Çekirdeğin namludan çıkış anı ve çıkış sonrası jet etkisi noktaları bu grafiklerde de net bir şekilde seçilebilmektedir. Görüldüğü gibi kinetik çalışma sistemine sahip tüfeğin çekirdek namluyu terk edene kadar herhangi bir gaz tahliyesi gerçekleşmediği için tüm gaz basıncı ile birlikte kuvvet değerleri diğer modellere göre yüksek görülmüştür. Kinetik sistemin ulaştığı en yüksek kuvvet değeri 4917N olarak kaydedilmiştir. Gazlı sistemin ise kinetik sisteme göre %37 daha az bir tepe noktası değerine ulaşarak 3106N değerlerine kadar ulaşabilmiştir. En düşük tepe noktasını gösteren hibrit tüfeğin kuvvet değerleri ise kinetiğe göre %58 daha az bir değere ulaşmış, en fazla 2120N'a kadar yükselebilmektedir.

**Çizelge 5.8:** 28g fişek ile Gaz Çevrimli, Kinetik ve Hibrit Sistem Karşılaştırma Sonuçları

Değerler	Kinetik	Gazlı	Hibrit
<b>Maks. Kuvvet (N)</b>	4917	3106	2120
<b>İmpuls (kg·m/s)</b>	12,6	11,9	10,6
<b>Yaklaşık Çekirdek Çıkış Anı (N)</b>	1200	775	550
<b>Jet Etkisi</b>	%75	%75	%74

Geri tepme anı sırasında ortaya çıkan toplam enerjiyi karşılaştırmak için Çizelge 5.8'te gösterilen impuls değerlerinin karşılaştırılması daha doğru olacaktır. Örneğin, kuvvet değerlerinin tepe noktaları karşılaştırıldığında gazlı modelin kinetik modele göre %37 daha az kuvvet değerlerine ulaşabildiği görülse dahi, gazlının kinetiğe göre daha uzun sürede sönmülmesi sonuçları değiştirmektedir. İmpuls değerleri karşılaştırıldığında, kinetik modelin grafik alanının gazlıya göre %5,5 daha yüksek olduğu görülmektedir. Hibrit tüfek ise yine kinetik tüfek ile karşılaştırıldığında %15,8 daha az grafik alanı ile geri tepme enerjisine sahip olduğu görülecektir.

Bu farkların görülme sebebi, tüfeklerin çalışma sistemlerinin özellikleri ile açıklanabilir. Kinetik modelin tüm gaz basıncını mühimmatın sevki için kullanması, gazlı ve hibrit modellerinin ise gazın bir kısmını tahrik ve regülasyon amaçlı tahliye etmesi arasında ölçümlerde alınan sonuçlar ile ilişki kurulabilir. Grafiğin yükselmeye başladığı ilk andan, jet etkisinin başlaması, yani çekirdeğin namluyu terk etmesi arasında geçen süre, kinetik tüfekte 0,8ms civarlarında ölçülebilirken, gazlı tüfekte bu süre 1,1ms, hibrit tüfekte ise 1,2ms olarak görülmüştür. Aynı şekilde kinetik

tüfeğin en yüksek kuvvet değerine ulaşması, diğer modellere göre daha kısa sürede gerçekleşerek 2,4ms sürmüştür. Bu süre gazlı tüfekte 3,3ms, hibrit tüfekte ise 3,7ms olarak kaydedilmiştir.

Çekirdeğin namluyu terk etmesi ile birlikte grafikte görülebilen jet etkisinin, en yüksek kuvvet değeri içerisindeki payı ise Çizelge 5.4'te Jet Etkisi başlığı ile gösterilmiş, sıfır ile en yüksek kuvvet değeri arasındaki değerlerin içerisinde jet etkisinin oranı hesaplanarak bulunmuştur. Çekirdeğin namluyu terk etmesi anında namlu içerisinde kalan basınç, kinetik tüfeğin en yüksek geri tepme değerine ulaşmasında %75'lik paya sahipken, aynı ağırlık, namlu boyu ve kalibredeki hibrit modelde %74 etki etmiştir. Tepe değerleri arasında iki katından fazla, bu oranlar arasında ise %1 fark olduğu göz önüne alındığında, jet etkisinin bazı çalışma sistemlerinde, kalibrelerde ve gramajlarda sabit bir oranda etki ettiği çıkarımı yapılabilir. Bu görüş diğer başlıklarda yapılan incelemeler ile detaylandırılmıştır.

Yine kinetik ve hibrit tüfekler maksimum kuvvet değerleri ile karşılaştırıldığında, kinetik tüfeğin hibrit modele göre 2,3 katı daha yüksek geri tepme değerlerine ulaşabildiği görülmektedir. Bu oran yaklaşık olarak grafik üzerinden tespit edilebilen çekirdek çıkış anı kuvvet değerleri ile karşılaştırıldığında, oranların oldukça yakın bulunabildiği görülmektedir. Hibrit tüfeğin çekirdek çıkış anındaki kuvvet değerleri 550N civarlarına görülebilirken, kinetik tüfekte bu değerler 1200N'a yakın kaydedilmiştir. Kinetik tüfeğin hibrit modele göre yaklaşık olarak 2,2 katı daha yüksek değerlere ulaşabildiği kaydedilmiştir. Aynı karşılaştırma kinetik ve gazlı modeller arasında yapıldığında bu oranın kinetik tüfeğin gazlıya göre 1,5 katı oranda daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir. İstikrarlı bir şekilde aynı oran gazlı ve hibrit karşılaştırmasında da görülebilmekte ve 1,4 olarak bulunabilmektedir.

Bir diğer noktada ise kinetik modelin, gazlı ve hibrit modellere göre daha yüksek kuvvet değerlerine ulaşip, daha kısa sürede sönümlenmesidir. Bunun sebebi olarak ise tüfeklerin çalışma sistemlerindeki fark gösterilebilir. Kinetik sistemli tüfeğin Şekil 2.5'te gösterildiği gibi ilk geri hareketli ile birlikte sıkışan atalet yayının, açıldığı anda sahip olduğu tüm enerjiiyi hem kullanıcı yönünde geriye doğru mekanizmaya, hem de mühimmat ile aynı yönde namluya doğru tüfeğe aktarmaktadır. Tüfek, basıncın yükselmesi ve mühimmatın namludan çıkması ile birlikte geriye doğru olan hareketine başlamaktadır. Bu esnada açılan ve enerjisini boşaltan atalet yayı, mekanizmanın çalışmasını sağlarken tüfeğin geriye doğru olan

hareketini de kesmektedir. Bu sebeple çok daha kısa sürede hızı düşmekte, geri tepme değerleri sıfıra yaklaşmaktadır. Gazlı ve hibrit modellerde ise namludaki basıncın bir kısmı namlu içerisinde alınarak mekanizmaya aktarılmaktadır. Bu basıncın diğer hareketli parçalara aktarılması ve mekanizmanın geriye doğru harekete başlaması esnasında oluşan tüm kuvvetler, geri tepme yükünün daha uzun zamanda sönmelenmesine sebep olmaktadır.

Tüm bu bilgiler ışığında aşağıdaki sonuçlara varılabilir.

- Aynı özelliklerdeki farklı çalışma sistemine sahip tüfekler, aynı özelliklerdeki fişekler kullanılarak, geri tepme kuvvetlerinin maksimum değerleri ve çekirdek çıkış anı geri tepme değerleri karşılaştırıldığında, bu değerler arasında aynı oranlarda fark görülmektedir.
- Kinetik tüfeklerin geri tepme kuvvetleri, gaz tahriki ile çalışan tüfeklere göre daha kısa sürede sönmelenmektedir. Fakat yine de namlu içerisinde kalan yüksek gaz basıncı sebebiyle en yüksek geri tepme enerji değerleri yine kinetik tüfeklerde görülmektedir.
- Namlu içerisinde hapsedilen gaz miktarı ile geri tepme kuvveti arasında yüksek oranda bir ilişki vardır. Bu ilişkinin tam olarak hesaplanabilmesi ve tespit edilebilmesi için namlu iç basıncı ile birlikte ölçümler yapılmalıdır.

Tüm bu bilgiler ile birlikte geri tepme grafiklerinde elde edilen sonuçların aynı zamanda tüfeklerin sahip oldukları dipçik, omuzluk ve geri tepmenin sönmelenmesi esnasında kuvvete maruz kalan diğer parçalarının etkisi olduğu unutulmamalıdır.

#### **5.4. Yivli tüfeklerde namlu freninin geri tepme kuvveti üzerindeki etkisi**

Namlu freni, mühimmat namluyu terk ettikten sonra namlu ağzından çıkan barut gazının farklı yönlere dağıtılması ile geri tepmeyi ve namlunun şahlanmasını önlemeyi amaçlayan bir parçadır. Çoğunlukla yivli tüfeklerde ve keskin nişancı tüfeklerinde tercih edilmektedir. Şekil 5.10'da örnek bir namlu freni fotoğrafı gösterilmiştir.

Jet etkisinin azaltılması ve basınçlı gazın namludan çıkarken yalnızca çıkış yönünde değil, geri tepmeyi azaltabilecek şekilde yönlendirilmesi mantığıyla tasarlanırlar. Çoğunlukla bu yönlendirme sağa ve sola doğru dağıtılan gazın belirli bir oranda da geriye ve yukarı dağıtılmasıyla gerçekleşir.



**Şekil 5.10:** Örnek bir namlu freni

**Kaynak:** (Url3 t.y.)

Bu çalışmada namlu freni ile kullanılabilen bir tüfek modeli olarak ismi gizli bir markanın keskin nişancı tüfeği tercih edilmiştir. İki farklı kalibrede ve namlu boyunda atışlar gerçekleştirilerek ölçüm sonuçları kaydedilmiştir. Namlu freni parçasının etkisi gözlemlenerek, özellikle jet etkisi denilen bölgedeki değişimler gözlemlenmiştir. Şekil 5.11’de testlerde kullanılacak namlu frenine benzer bir tasarım görülebilmektedir.

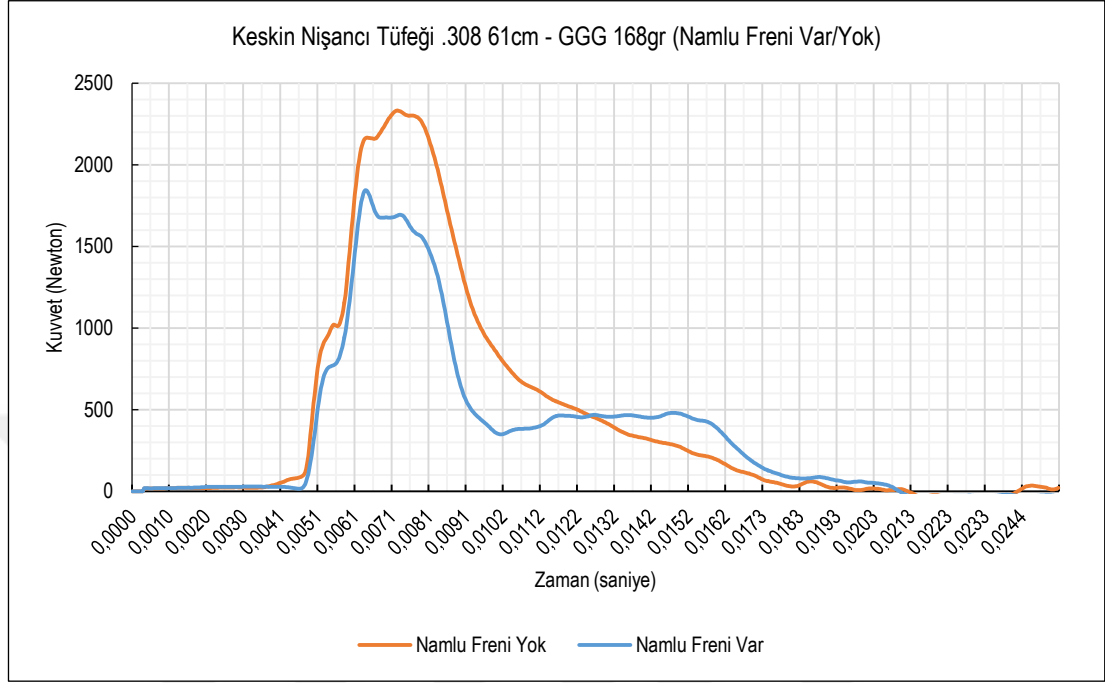


**Şekil 5.11:** Örnek bir keskin nişancı tüfeğinin namlu ucundaki namlu freni ile gösterimi

**Kaynak:** (ASR t.y.)

Mühimmatın geçmesi için açılan orta deliği açığa çıkaracak şekilde sağ ve sol yüzeylerden yarıklar eklenerek gazın dağıtılması sağlanmıştır. Örnek bir keskin

nişancı tüfeği ile yapılan atışlarda elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde olmuştur. Şekil 5.12’de ölçülen değerler ile ilgili bilgilerin karşılaştırması Çizelge 5.9’da yapılmıştır.



**Şekil 5.12:** Keskin Nişancı Tüfeği 61cm modeli .308 Win kalibre ile namlu freni farkı ölçümleri

**Çizelge 5.9:** Keskin Nişancı Tüfeği 308 kalibre 61cm ile namlu freni farkı ölçümleri

Keskin Nişancı Tüfeği .308 Win (61cm) – GGG 168gr	Namlu Freni Yok	Namlu Freni Var	Fark
<b>Maks. Geri Tepme Kuvveti (N)</b>	2333	1844	-%21
<b>İmpuls (kg·m/s)</b>	11,3	8,9	-%21
<b>Yaklaşık Çekirdek Çıkış Anı (N)</b>	1000	780	-%22
<b>Jet Etkisi</b>	%57,1	%57,7	%0,01

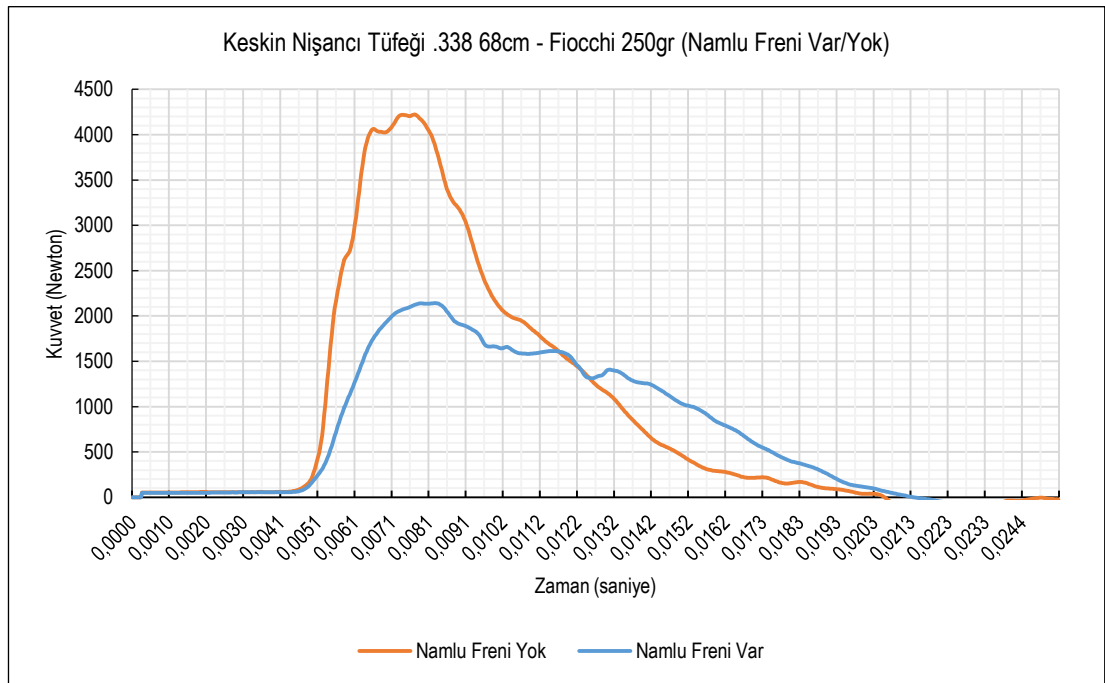
Gösterilen bu atışlarda GGG markasının 168gr çekirdek ağırlıklı HPBT (hallow point boat tail) fişekleri kullanılmıştır. Çizelge 5.9 ve Şekil 5.12’de görülebileceği gibi 308 kalibrede namlu freninin geri tepme yükünün tepe kuvvetinin azaltılmasındaki etkisi %21 olurken, grafik alanını da aynı oranda azaltarak toplam geri tepme enerjisinin azalmasına etki ettiği de görülebilmektedir. Bu karşılaştırmada görülebilecek farklardan birisi de geri tepme kuvvetinin sönümlenme süresidir.

Namlu freni ile yapılan atışlarda geri tepme kuvvet değerlerinin daha kısa sürede azaldığı görülmüştür. İki geri tepme grafiğinin tepe noktasına ulaşıldıktan sonra düşüşü esnasında ortaya çıkan bu fark, en yüksek olduğu anlarda 3,5 milisaniye olarak okunabilmiştir.

Namlu iç hacmi ve fişekler aynı olmasına rağmen jet etkisinin başladığı anda yaşanan kuvvet değeri farklılığı ise şu şekilde açıklanabilir. Yüksek bir ivme ile harekete geçen mühimmat, namlu içindeki yiv ve setler üzerinde ilerlerken namlu içerisinde yer alan havayı da önünde sürüklemekte ve namlu dışına doğru itmektir. Bu yüksek ivme ile havanın sıkışması ve bu sıkışan basınçlı havanın namluyu terk ederken, namlu freni vasıtasıyla geri tepme değerlerinin o ana kadarki süreçte düşmesine sebep olabileceği düşünülmektedir.

Bulunan bu sonuçlar Çizelge 5.4'te gösterilen ve başlık 5.6.1'de tartışılan sonuçlar ile aynı sonuçları vermektedir. Jet etkisinin başlama anında ortaya çıkan fark ile grafiğin tepe noktaları arasında ortaya çıkan farklar, oransal olarak aynı sonuçları vermektedir.

Aynı tüfek ve namlu freni tasarımının bu kez .338 Lapua Magnum kalibre denemesi yapılmış ve sonuçlar aşağıdaki şekilde kaydedilmiştir.



**Şekil 5.13:** Keskin Nişancı Tüfeği .338 Lapua Magnum kalibre 68cm namlu ile namlu freni farkı ölçüm grafiği

Bu atışlarda ise Fiocchi markasının 250gr HPBT fişekleri kullanılmıştır. Şekil 5.13'te grafiği gösterilen atışlara ait sayısal değerler Çizelge 5.10'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.10:** Keskin Nişancı Tüfeği .338 Lapua Magnum kalibre 68cm namlu ile namlu freni farkı ölçüm değerleri

<b>Keskin Nişancı Tüfeği .338 Lapua Magnum (68cm) – Fiocchi 250gr</b>	<b>Namlu Freni Yok</b>	<b>Namlu Freni Var</b>	<b>Fark</b>
<b>Maks. Geri Tepme Kuvveti (N)</b>	4223	2141	-%49
<b>İmpuls (kg·m/s)</b>	23,2	18,04	-%22
<b>Yaklaşık Çekirdek Çıkış Anı (N)</b>	2700	1360	-%49
<b>Tepe Noktası / Çekirdek Çıkış Anı</b>	%36,1	%36,5	%0,01

Burada görülebileceği gibi, kalibrenin değişmesi ile birlikte artan barut miktarı ve çekirdek ağırlığı, aynı tüfek ve namlu freni parçaları ile farklı sonuçlar görülmesine sebep olmuştur. Kullanılan namlu freni bir önceki atışta en yüksek geri tepme kuvvet değeri üzerinde %21 etkili olabilirken, bu atışlarda %49 azalma görülmüştür. Diğer analizlerde tespit edildiği gibi aynı oranda azalma çekirdek çıkış anında da kaydedilmiştir. Fakat bu atışlarda .308 Win kalibrede elde edilen sonuçlardan farklı olarak, namlu freni takılı iken geri tepme kuvvetinin sönümlenmesinin, namlu freni takılmadan yapılan atışlara oranla daha uzun sürdüğü görülmektedir. İmpuls değerleri hesaplandığında da bunun etkisi görülebilmektedir. En yüksek geri tepme ve çıkış anı kuvvet değerleri %49 oranda azalırken, toplam grafik alanının yalnızca %22 azaldığı görülebilmektedir. Çekirdek çapının büyümesi ile birlikte kütesinin artması, barut miktarının artması ve dolayısıyla namlu iç basıncının yükselmesi ile birlikte namlu freni kullanmanın geri tepme üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu kesinleşmiştir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada farklı çalışma sistemlerine sahip tüfekler, hazırlanan deney seti ile ortak koşullarda test edilerek geri tepme kuvvetleri ölçülmüş ve yukarıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Toplamda 28 farklı tüfekte 600'ü aşkın atış gerçekleştirilmiştir. Deneylemler ile elde edilen sonuçlara göre şu tespitler yapılabilmektedir.

- Bir tüfeğin geri tepme kuvveti ölçülerek ateşlenme anı ile mühimmatın namluyu terk ettiği an tespit edilebilmektedir. Bu iki an arasında geçen süre ile birlikte namlu içerisinde gerçekleşen olaylar bütünü de analiz edilebilmiştir.
- Geri tepme kuvvetinin ölçümü ile birlikte, tüfek üzerine uygulanan toplam kuvvet, toplam momentum ve impuls değerleri zamana göre değişimleri ile birlikte kaydedilebilmiştir. Bu veriler yardımı ile tüfeğin ivmelenmesi, anlık hız değişimleri hesaplanabilmiştir. Bu sayede mühimmata uygulanan kuvvet ve mühimmatın hız ve ivmelenmesi de hesaplanabilmiştir. Yapılan bu ölçümlerden elde edilen sonuçlar ile matematiksel hesaplar arasında sağlama yapılmıştır. Hesaplanan ile ölçülen değerler arasında %0 ile %15 arasında değişen farklar görülmüştür. Bu farkların oluşum sebebinin namlu iç basıncının hesaplanan değerlere tam olarak dahil edilememesi olarak tahmin edilmiştir.
- Tüfeklerin çalışma sistemleri ile oluşan geri tepme kuvvetleri arasında bağlantı kurulabilmiştir. Kinetik, gazlı ve hibrit tüfek modelleri aynı koşullarda karşılaştırılarak geri tepme kuvvetleri incelenmiştir. Bu karşılaştırma üç tüfeğin de 12GA kalibre ve 71cm namlu boyuna sahip modelleri ile 28g fişek kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre hem namlu hareketi hem de gaz tahriki ile çalışan ve valfli gaz tahliye sistemine sahip olan yarı otomatik tüfek modeli, muadil kalibre ve ağırlıktaki, benzer amaçlar için tercih edilen (aynı av hayvanları ve spor müsabakaları için tercih edilmeleri) diğer tüfek modellerine göre en az geri tepme değerlerini göstermiştir. Kinetik çalışma sistemine sahip

tüfek modeli en fazla 4917N değerine ulaşırken, gaz tahriki ile çalışan tüfeğin 3106N'a ulaşarak %37 daha düşük bir kuvvet değerine sahip olduğu görülmüştür. Hibrit çalışma sistemine sahip tüfek ise geri tepme kuvvetinin en yüksek olduğu noktada 2120N'a ulaşarak kinetik tüfek modeline göre %58 daha düşük bir değer kaydetmiştir. Aynı atışların impals değerleri karşılaştırıldığında da aynı sıralama fakat farklı oranlar görülmektedir. 12,6 kg·m/s ile kinetik tüfek en yüksek impals değerine sahipken, gazlı tüfek 11,9 kg·m/s, kinetik tüfek ise 10,6 kg·m/s değerleri ile kaydedilmiştir. Grafik sonuçları ve buradan yapılan tespitler ile hibrit çalışma sistemine sahip tüfeğin %15 daha az toplam geri tepme enerjisine sahip olduğu fakat geri tepme sürecini daha uzun zamanda gerçekleştirdiği için %58'e kadar daha düşük tepe noktası değerleri kaydedilebildiği görülmüştür. Tüfekler arasındaki bu sıralama ve kaydedilen değerler, tüfeklerin sahip oldukları çalışma sistemleri sebebiyle beklenen sonuçlara paraleldir.

- Kinetik av tüfeği modeli ile yapılan atışlarda geri tepme kuvvetinin, hibrit ve gazlı tüfeklere göre daha kısa sürede sönümlendiği görülmüştür. Bunun sebebi olarak kinetik tüfeğin sahip olduğu güçlü mekanizma yayı gösterilmiştir. Geri tepme anında tüfeğin hareketi ile sıkışan ve enerji depolanan yay, açılma ve enerji boşaltımı ile geri tepmenin sönümlenmesi üzerinde bir miktar rol oynadığı tahmin edilmiştir.
- Çekirdeğin namluyu terk etmesinin ardından namludan tahliye olan gazın sebep olduğu, jet etkisi olarak adlandırılan basınçlı gaz geri tepmesinin, toplam geri tepme kuvveti ve enerjisi içerisinde önemli bir yere sahip olduğu görülmüştür. 12GA av tüfeklerinde jet etkisinin en yüksek geri tepme kuvveti içerisindeki payının ortalama olarak %75 olduğu tespit edilmiştir. Yivli tüfeklerde ise bu oran .308 Win kalibrede %57, .338 Lapua Magnum kalibrede %36 olarak kaydedilmiştir.
- Jet etkisi oranının kalibre, namlu boyu, çalışma sistemi gibi değişkenler içerisinde en çok kalibreye göre fark ettiği görülmüştür. Ayrıca namlu içi gaz çıkışının yönetiminin de jet etkisi üzerinde etkili olduğu hibrit tüfek ile yapılan atışlarda görülmüştür.
- Geri tepme kuvvet grafiği altında kalan alanın hesaplanması ile bulunan impals değeri üzerindeki en etkili değişiklik namlu freni olmuştur. Yivli tüfekler ile yapılan atışlarda namlu freni kullanımının impalsi %22 oranında azaltabildiği

tespit edilmiştir. Aynı atışlarda namlu freninin en yüksek geri tepme kuvvetini %49 düşürebildiği görülmüştür. Bu duruma göre namlu freni geri tepme sürecini zamana yayarken, %22'lik bir oranda da enerjinin sönümlenmesi üzerinde etkili olmaktadır.

- Gaz çevrimli tüfeklerde namlu boyunun uzaması ile birlikte, çekirdeğin namluyu terk ettiği ana kadar oluşan geri tepme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Namlusunda gaz tahliye deliği bulunmayan kinetik tüfek modeline ise bunun tam tersinin yaşandığı gözlenmiştir. Aynı şekilde bu durum en yüksek kuvvet değerlerinde de görülmüştür.
- Geri tepme kuvvetinin ve toplam geri tepme enerjisinin sönümlenmesi ve indirgenmesi için etkin çözüm yollarından bazılarının namlu içi ve namlu çıkışı gaz tahliyesinin kontrolü olduğu görülmüştür. Neredeyse tüm modellerde elde edilen sonuçlar doğrudan namlu içi basınç kontrolü ile yüksek oranda ilintilidir. Bu sebeple basıncın tahliyesi esnasında gazın yönlendirilmesi ile geliştirilebilecek sistemler, geri tepme kuvvetleri üzerinde geliştirilebilecek etkili yöntemlerden birisi olacaktır. Bu yöntem ile geliştirilecek ve ölçülecek geri tepme kuvvetleri matematiksel olarak doğrulanmış bir şekilde azaltılabilir. Kuvvetin farklı noktalara aktarılması veyahut zamana yayılması ise göreceli bir konu olarak kullanıcılar arasında farklı şekillerde yorumlanabilir.

## 6.2. Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlarla birlikte geri tepme kuvvetlerinin ölçümünden elde edilebilecek bilgiler ortaya konmuştur. Bu bilgiler öncelikle silah sektöründeki üreticiler, konu ile ilgili araştırmacılar ve atıcılar, avcılar başta olmak üzere tüm kullanıcılar için faydalı bir kaynak olacaktır.

Ateşli silahlar ile ilgili yüzyıllardır gelişmeler devam etmekte olsa da bu uzun zaman içerisinde bile hala incelenmeye ve açıklanmaya ihtiyaç duyulan pek çok fenomen kalmıştır. Yüksek hızlarda cereyan eden ve gözlemlenemeyen bu durumlar geçmişte fizik kuralları ve matematiksel formüller ile ifade edilmiş olsa da günümüzün teknolojisi ile artık izlenebilir ve gözlemlenebilir hale gelmiştir. Gelecekte gerçekleştirilebilecek şu çalışmalar, bu tez çalışması ile elde edilen bilgileri destekleyici veyahut sorgulayıcı nitelikte olacak ve bu konu ile ilgili akademik bilgi havuzuna katkıda bulunacaktır.

- Geri tepme ölçüm sistemi ile birlikte kullanılacak bir yüksek hızlı ivme ölçerle, geri tepmenin ölçümüyle eş zamanlı olarak, atışlar esnasında tüfeklerin farklı noktalarından üç eksenli ivme ölçümleri yapmak.
- Yüksek hızlı kayıt yapabilen bir kamera yardımıyla, geri tepme ölçümü yapılmak üzere atışlar gerçekleştirilirken tüfeğin namlu, mekanizma ve dipçik kısımlarının kayıt altına alınarak izlenmesi, yorumlanması.
- Farklı geri tepme sönümlenme sistemleri ile geri tepme kuvvet ölçümlerinin gerçekleştirilmesi, temel geri tepme sönümlenme sistemlerinin verimliliğinin analizi ve karşılaştırması.
- Bu çalışmaya dahil edilememiş farklı silah sistemlerinin geri tepme kuvvetlerinin ölçümü.
- Mühimmat namlu çıkış hızlarının ölçümü ile birlikte geri tepme kuvvetlerinin analizi.
- Badurowicz ve arkadaşlarının (2021) gerçekleştirdiği çalışmada gösterilen bir örneği gibi, ölçülecek namlu iç basıncı ve çalışan parçaların hareket hızları ölçülerek, sonlu elemanlar analizi yöntemi ile karşılaştırmalı çalışmalar gerçekleştirmek.

Farklı gaz tahliye sistemleri geliştirilecek geri tepme üzerindeki etkilerinin incelenmesi.

## KAYNAKLAR

- All About Force Sensors** t.y., alındığı tarih 03 Mayıs 2021, <<https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/all-about-force-sensors/>>
- Armsan Pointer 12GA single shot** t.y., alındığı tarih 12 Mayıs 2021, <<https://www.smga.com/armsan/armsan-pointer-12ga-single-shot-219>>
- ASR** t.y., Ata Arms, alındığı tarih 02 Mayıs 2021, <<https://www.ataarms.com/asr.html>>
- Aydemir, B, Ayan, E, Elmas, BS, Dizdar H** 2019, 'Piezoelektrik kuvvet ölçme cihazlarının yapısı, avantajları ve kalibrasyonu', *4th International Mediterranean Science and Engineering Congress*, Antalya, ss. 1054-1060
- Badurowicz, P, Kupidura, P, Stępniaak, W, Fikus, B** 2021, 'Development of the preliminary numerical model of the short recoil operated weapon using the multibody systems', *Problems Of Mechatronics Armament, Aviation, Safety Engineering*, sayı 12, cilt 1, ss. 27-40
- Basic components of ammunition** t.y., alındığı tarih 08 Mayıs 2021, <[https://www.hunter-ed.com/pennsylvania/studyGuide/Basic-Components-of-Ammunition/20103901\\_88399/](https://www.hunter-ed.com/pennsylvania/studyGuide/Basic-Components-of-Ammunition/20103901_88399/)>
- Bullet Traps** t.y., alındığı tarih 28 Nisan 2021, <<https://savagerangesystems.com/content?p=traps>>
- Canfield-Hershkowitz, B, Foster, T & Meijer, W** 2013, 'Rifle and shotgun recoil test system', Lisans tezi, California Polytechnic State University, California
- CY Gri** t.y., alındığı tarih 05 Mayıs 2021, <<https://www.ataarms.com/cy-gri.html>>
- Donnelly, P** 2013, *Semi-Automatic Gas Action Shotgun*, alındığı tarih 27 Şubat 2021, <<http://sites.psu.edu/pzd5042english202c/files/2013/04/semi-auto-final.pdf>>
- Down** 2010, *How to draw a rifle*, alındığı tarih 14 Mayıs 2021, <<https://dragoart.com/tut/how-to-draw-a-rifle-4319>>
- Fleischer, C** t.y., *How piezoelectricity Works*, alındığı tarih 08 Mart 2021, <<https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/piezoelectricity/>>
- Harper, WH, Ellis, PH, Hanlon, WE & Merkey, RP** 1996, *The effects of recoil on shooter performance*, US Army Research Laboratory, Maryland
- Hibbeler, RC** 2006, *Mühendislik mekaniği: dinamik*, Literatür: Yayıncılık, İstanbul


- Introduction To Piezoelectric Force Sensors** t.y., alındığı tarih 11 Kasım 2020, <<https://www.pcb.com/resources/technical-information/introduction-to-force-sensors>>
- Jenzen-Jones, NR & Schroeder, M** 2018, *An introductory guide to the identification of small arms, light weapons, and associated ammunition*, Small Arms Survey, Geneva
- Kleckers, T** t.y., *Spoilt for choice: piezoelectric or strain gauge based force transducers?*, alındığı tarih 21 Kasım 2020, <<https://s3-eu-central-1.amazonaws.com/centaur-wp/theengineer/prod/content/uploads/2013/07/09112000/Ind2.pdf>>
- Koptyug, A, Ainegren M** 2015, 'Experimental measurement of rifle dynamics during the range shooting of biathlon weapons', 7th Asia-Pacific Congress on Sports Technology (APCST 2015), Östersund, ss. 349-354
- Lee, JH, Choe, EJ, Chae, JW & Kang JH** 2008, *Experimental performance analysis on recoil pad for reducing firing shock force*, NDIA International Infantry & Joint Services Small Arms Systems Symposium, Virginia
- Lonzi, B, Martarelli, M, Santolini, C & Scalise, L** 2014, 'Measurement of firing impulse force in rifles', The 26th International Conference on Noise and Vibration Engineering (ISMA2014), Leuven, ss. 2065-2076
- Mayer, SE** 2004, *Learn how to measure recoil force of firearms*, alındığı tarih 08 Kasım 2019, <[https://www.pcb.com/contentstore/mktgcontent/LinkedDocuments/Article\\_Reprints/WPL\\_Learn\\_How\\_To\\_Measure\\_Recoil.pdf](https://www.pcb.com/contentstore/mktgcontent/LinkedDocuments/Article_Reprints/WPL_Learn_How_To_Measure_Recoil.pdf)>
- Meinert, CS** 2006, *The CPSA clay target shooter's handbook*, The Clay Pigeon Shooting Association, London
- Monzoni, R, Lucertini, F, Lonzi, B, Aluigi, M, Mari, F, Banci, L, Vignaroli, M, Federici A** 2017, 'Effectiveness of an innovative damping device in reducing shotgun recoil', *Sport Sci Health*, Sismes IX National Congress, Milano, sayı 13, s. 88
- Polly** 2020, *How do force sensors work? And what are their benefits?*, alındığı tarih 02 Mart 2021, <<https://roboticsandautomationnews.com/2020/04/22/how-do-force-sensors-work-and-their-benefits/31897/>>
- Rifle caliber assortment** t.y., alındığı tarih 02 Mayıs 2021, <[https://www.dummybullet.com/bullet\\_assortment.html](https://www.dummybullet.com/bullet_assortment.html)>
- Robinette, R** t.y., *Gun Recoil Calculator*, alındığı tarih 13 Şubat 2021, <[https://rob Robinette.com/Gun\\_Recoil\\_Calculator.html](https://rob Robinette.com/Gun_Recoil_Calculator.html)>
- Shotgun Ammunition: Shotshells** t.y., alındığı tarih 05 Mayıs 2021, <<https://tpwd.texas.gov/education/hunter-education/online-course/firearms-and-ammunition-1/shotshells>>
- Smith, JR** 1991, 'An investigation of the ergonomics and biomechanics of rifle shooting from the standing position', Yüksek lisans tezi, University of Cape Town, Cape Town

- Spine, RJ** 1982, *Recoil in shoulder fired weapons: a review of the literature*, US Army Human Engineering Laboratory, New Jersey
- Sporting Arms and Ammunition Manufacturers' Institute, Inc.** 2018, *Gun recoil – technical*, alındığı tarih 09 Kasım 2020, <<https://saami.org/wp-content/uploads/2018/07/Gun-Recoil-Formulae-2018-07-9-1.pdf>>
- Suchocki, C, Ewertowski, J** 2017, 'Experimental and finite element studies on man-rifle reaction force', *Problems of Mechatronics. Armament, Aviation, Safety Engineering*, sayı 8, cilt 1, ss. 7-22
- Tüfek** 2021, alındığı tarih 29 Nisan 2021, <<https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCfek>>
- Türk Standartları Enstitüsü** 2019, *TS870 Ateşli silahlar - Yivsiz-setsiz tüfekler - Av, spor ve müsabakalar için*, TS870:2019, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- U.S. Government Publishing Office** 2012, *United states code, 2012 edition, title 18 - crimes and criminal procedure, part I – crimes, chapter 44 – firearms, sec. 921 – definitions*, alındığı tarih 11 Aralık 2020 <<https://www.govinfo.gov/content/pkg/USCODE-2012-title18/html/USCODE-2012-title18-partI-chap44-sec921.htm>>
- Url1** t.y., alındığı tarih 19 Nisan 2021, <[https://www.pngfind.com/mpng/hwhhbhR\\_fabarm-over-under-shotgun-with-a-paradox-barrel/](https://www.pngfind.com/mpng/hwhhbhR_fabarm-over-under-shotgun-with-a-paradox-barrel/)>
- Url2** t.y., alındığı tarih 12 Mayıs 2021, <[https://www.alibaba.com/product-detail/Pneumatic-load-cell\\_1479486695.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Pneumatic-load-cell_1479486695.html)>
- Url3** t.y., alındığı tarih 02 Mayıs 2021, <<https://aandjsporting.com/area-419-hellfire-muzzle-brake/>>
- Wakeman, R** 2010, *Recoil: According to Benelli, Beretta, Browning, and Remington*, alındığı tarih 08 Kasım 2019, <[http://randywakeman.com/Benelli\\_Beretta\\_Browning\\_Remington\\_Recoil.htm](http://randywakeman.com/Benelli_Beretta_Browning_Remington_Recoil.htm)>
- Wakeman, R** 2016, *Shotgun Recoil*, alındığı tarih 13 Şubat 2020, <<https://www.randywakeman.com/ShotgunRecoil.htm>>

EKLER

Ek A

Elektronik donanım katalog bilgileri.

Model Number <b>208C05</b>		<b>ICP® FORCE SENSOR</b>		Revision: H ECN# 45224		
<b>Performance</b> Sensitivity: ± 15 % Measurement Range(Compression) Measurement Range(Tension) Maximum Static Force(Compression) Maximum Static Force(Tension) Broadband Resolution(1 to 10,000 Hz) Low Frequency Response(± 5 %) Upper Frequency Limit Non-Linearity <b>Environmental</b> Temperature Range Temperature Coefficient of Sensitivity <b>Electrical</b> Discharge Time (Constant at room temp) Excitation Voltage Constant Current Excitation Output Impedance Output Bias Voltage Spectral Noise(1 Hz) Spectral Noise(10 Hz) Spectral Noise(100 Hz) Spectral Noise(1000 Hz) Output Polarity(Compression)		<b>ENGLISH</b> 1 mV/lb 5000 lb 500 lb 8000 lb 500 lb 0.05 lb-rms 0.0003 Hz 36,000 Hz ≤ 1 % FS -45 to +250 °F ≤ 0.05 %/°F ≥ 2000 sec 20 to 30 VDC 2 to 20 mA ≤ 100 Ohm 8 to 14 VDC 0.00168 lb/√Hz 0.00112 lb/√Hz 0.000495 lb/√Hz 0.000133 lb/√Hz Positive 6 lb/in 0.025 in x 0.625 in x 0.500 in 0.80 oz Stainless Steel Hermetic 10-32 Coaxial Jack Side 10-32 Female		<b>SI</b> 224.62 mV/kN 22.24 kN 2.224 kN 36.59 kN 2.224 kN 0.222 N-rms 0.0003 Hz 36,000 Hz ≤ 1 % FS -44 to +121 °C ≤ 0.05 %/°C ≥ 2000 sec 20 to 30 VDC 2 to 20 mA ≤ 100 Ohm 8 to 14 VDC 0.00750 N/√Hz 0.00501 N/√Hz 0.00205 N/√Hz 0.000592 N/√Hz Positive 1.05 kN/m 15.88 mm x 15.88 mm x 12.7 mm 22.7 gm Stainless Steel Hermetic 10-32 Coaxial Jack Side 10-32 Female		<b>OPTIONAL VERSIONS</b> Optional versions have identical specifications and accessories as listed for the standard model except where noted below. More than one option may be used. <b>N</b> - Negative Output Polarity Output Polarity(Compression) Negative Negative <b>W</b> - Water Resistant Cable
<b>NOTES:</b> [1] Typical [2] Calculated from discharge time constant. [3] Estimated using rigid body dynamics calculations. [4] 70°C based, least-squares, straight line method. [5] See PCB Declaration of Conformance PS023 for details.		<b>SUPPLIED ACCESSORIES:</b> Model 080461 Thread Locker (1) Model 081505 Mounting Stud (10-32 to 10-32) (2) Model 084403 Impact Cap (1) Model M081A62 Mounting stud, 10-32 to M8 x 1, BeCu with shoulder (2)				
<b>Entered UK</b> Date: 3/29/2016		<b>Engineer: MJK</b> Date: 3/29/2016	<b>Sales: KMM</b> Date: 3/29/2016	<b>Approved: APB</b> Date: 3/29/2016		
				<b>Spec Number:</b> <b>8369</b>		
		<b>PCB PIEZOTRONICS™</b> 3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043 <b>Phone: 716-684-0001</b> <b>Fax: 716-684-0987</b> <b>E-Mail: info@pcb.com</b>				
All specifications are at room temperature unless otherwise specified. In the interest of constant product improvement, we reserve the right to change specifications without notice. ICP® is a registered trademark of PCB Group, Inc.						

Şekil A.1: PCB 208C05 piezoelektrik sensör katalog bilgileri









~ Calibration Certificate ~

Model Number: 482A21 Customer: \_\_\_\_\_  
Serial Number: 13028 \_\_\_\_\_  
Description: Signal Conditioner P.O.: \_\_\_\_\_  
Manufacturer: PCB Method: Comparison Method (AT104-17)

**Calibration Data**

Temperature: 74 °F (23 °C) Humidity: 53%

Channel	Volts	Current (mA)	Gain X1
<u>1</u>	<u>25.7</u>	<u>4.27</u>	<u>0.999</u>

**Condition of Unit**

As Found: N/A  
As Left: New unit, in tolerance

**Notes**

1. Calibration is N.I.S.T. traceable through PCB control number QC-726.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 10012-1, ANSI/NCSL Z540.3 and ISO 17025.
4. Measurement uncertainty (95% confidence level with a coverage factor of 2) for the sensitivity reading is +/- 0.2 %
5. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.

Technician: Jessica Carlock  Date: 08/25/20  
Due Date: \_\_\_\_\_



**PCB PIEZOTRONICS™**

Headquarters: 3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043  
Calibration Performed at: 10869 Highway 903, Halifax, NC 27839

TEL: 888-684-0013

FAX: 716-685-3886

[www.pcb.com](http://www.pcb.com)

Şekil A.6: Sinyal şartlandırıcı kalibrasyon sertifikası



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İbrahim Sami İLTER

### ÖĞRENİM DURUMU

Yüksek Lisans : 2021, İstanbul Gedik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Lisans : 2013, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,  
Elektronik ve Haberleşme Öğretmenliği

### İŞ DENEYİMLERİ ve STAJLAR

Eyl. 2019 – ... Ata Silah  
Kıdemli Tasarımcı

Tem. 2017 – Ağu. 2019 DQS Denetim ve Belgelendirme  
Satış Müdürü

Tem. 2011 – Ağu. 2011 Marmara Üniversitesi  
Stajyer Elektronik ve Haberleşme Laboratuvarı ve  
Proje Sorumlusu

Tem. 2010 – Ağu. 2010 BELBİM A.Ş.,  
Stajyer Teknik Bakım Personeli

Eyl. 2007 – Haz. 2008 Spinner CNC  
Stajyer Montaj, İmalat, Teknoloji Personeli

## **YABANCI DİLLER**

İngilizce

## **TEZ ve PROJELER**

### **Yüksek Lisans Tezi**

Gerçek Tepme Kuvvetlerinin Yivli ve Yivsiz Tüfeklerde Ölçümü, Analizi ve Karşılaştırması

*Yivli ve yivsiz tüfeklerin gerçek tepme kuvvetlerinin ölçüm yöntemi, bilgisayar ortamına aktarımı ve elde edilen verilerin analizi ile tüfeklerin çalışma sistemleri, namlu uzunlukları, aksesuar gibi gerçek tepme üzerine etkiyen değişkenlerin tespiti ve karşılaştırması.*

### **Lisans Bitirme Projesi**

Kalp Seslerinin Dinlenmesi ve Gerçek Zamanlı Analizi

*Muhtemel kalp rahatsızlıklarını tespit edebilen akıllı bir sistem. Kalp seslerinin gerçek zamanlı olarak bilgisayar ortamına aktarılması ve ses grafikleri üzerinden yapılan frekans ve genlik analizleriyle muhtemel kalp rahatsızlıklarının tahmin edilmesi.*

## **SERTİFİKALAR**

- ISO 9001:2015 Baş Denetçiliği (Ağu. 2017)
- SolidWorks Simulation (Nis. 2016)
- Kurumsal MS Excel Eğitimi (Ara. 2016)
- MSC SimXpert (Eki. 2015)
- MSC Apex (Eki. 2015)