T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÖNÜ KARARLI HAFİF KALİBRE MERMİLER İÇİN BALİSTİK KATSAYILARIN DENEYSEL OLARAK HESAPLANMASI VE DOĞRULANMASI

İHTİMAM MERT VARDAR

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEMMUZ 2019


GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

DÖNÜ KARARLI HAFİF KALİBRE MERMİLER İÇİN BALİSTİK KATSAYILARIN DENEYSEL OLARAK HESAPLANMASI VE DOĞRULANMASI

İhtimam Mert VARDAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2019

İhtimam Mert VARDAR tarafından hazırlanan "DÖNÜ KARARLI HAFİF KALİBRE MERMİLER İÇİN BALİSTİK KATSAYILARIN DENEYSEL OLARAK HESAPLANMASI VE DOĞRULANMASI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Öğr. Gör. Dr. Yavuz ZÜMRÜT
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Atilla BIYIKOĞLU
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Ahmet TAŞKESEN
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Osman Selim TÜRKBAŞ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KAYA
Havacılık ve Uzay Mühendisliği Ana Bilim Dalı,
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 05/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İhtimam Mert VARDAR

05/07/2019

DÖNÜ KARARLI HAFİF KALİBRE MERMİLER İÇİN BALİSTİK KATSAYILARIN DENEYSEL OLARAK HESAPLANMASI VE DOĞRULANMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

İhtimam Mert VARDAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Balistik katsayı, referans mermi geometrilerine göre belirlenmekte olup dönü kararlı merminin hava direncinden ne oranda etkilendiğinin ve aerodinamik performansının iyi bir ölçütüdür. Dönü kararlı merminin balistik katsayı değeri, merminin yörüngesi boyunca Mach Sayısı cinsinden değişen hızına bağlı olarak değişmesine rağmen, mermi üreticisi firmalar tüm yörünge için genellikle tek bir balistik katsayı değeri yayımlamaktadırlar. Diğer taraftan, referans mermi geometrisinin ele alınan mermiyi yüksek bir doğrulukla temsil edememe durumu mevcut ise, tek bir balistik katsayı değeri ile mermi yörüngesinin tamamının yeterli doğrulukla temsil edilemeyeceği de bilinmektedir. Bunun sonucu olarak, bilhassa uzun menzil atışlarında yeterli isabetin sağlanamaması problemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, bir 7,62 mm kalibre dönü kararlı hafif silah mermisinin Mach Sayısı cinsinden hızına bağlı olarak değişen sürüklenme katsayıları doppler radarı kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen verilerden, ele alınan mermi için G1 referans mermisine göre etkili menzilinin tamamını temsil edebilecek çoklu balistik katsayılar ve G7 referans mermisine göre de tek bir balistik katsayı değeri hesaplanmıştır. Hem çalışmada hesaplanan balistik katsayı değerlerine, hem de üreticinin G1 referans mermisine göre yayımladığı balistik katsayı değerine göre Quick Target yazılımı yardımıyla balistik tablolar hazırlanmıştır. Elde edilen bu balistik tablolara göre yapılan 300, 550, 700 ve 800 metre mesafe atışlı performans testlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile bilhassa referans mermi geometrisinin ele alınan mermiyi yeterince doğru bir biçimde temsil edemediği durumda çoklu balistik katsayı değerleri ile, referans mermi geometrisinin ele alınan mermiyi yeterince doğru bir biçimde temsil ettiği durumda ise tek bir balistik katsayı değeri ile, mermi yörüngesi etkili menzil boyunca kabul edilebilir bir hata oranı ile belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 91405
Anahtar Kelimeler : Balistik Katsayı, Şekil Faktörü, Sürüklenme Katsayısı, Sürüklenme Kuvveti, Atış Tabloları, Dış Balistik, Mermi Yörüngesi
Sayfa Adedi : 112
Danışman : Öğr. Gör. Dr. Yavuz ZÜMRÜT

EXPERIMENTAL CALCULATION AND VERIFICATION FOR THE BALLISTIC COEFFICIENTS OF SMALL CALIBER SPIN STABILIZED PROJECTILES

(M. Sc. Thesis)

İhtimam Mert VARDAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

The ballistic coefficient of a spin-stabilized bullet can be determined with respect to a reference model and it is a good measure of spin-stabilized bullet's aerodynamic performance and extent to which bullet is affected from air drag. Even though the ballistic coefficient value for the bullet of spin-stabilized small caliber ammunition varies according to the change in the speed of bullet in terms of Mach number throghout the trajectory, the manufacturer firms issue a single mean ballistic coefficient value for the entire trajectory. On the other hand, in case of the reference bullet geometry can not represent the given bullet well enough, it is known that the entire bullet trajectory can not be represented accurately with a single mean ballistic coefficient value. As a result of this issue, insufficient hit problem occurs especially at long range shooting. In the present study, drag coefficient values, which change depending on the speed in terms of Mach Number, were measured by using doppler radar for the spin-stabilized bullet of 7,62 mm caliber ammunition. Based on the data obtained from these measurements, multiple ballistic coefficient values according to the G1 reference bullet and a single mean ballistic coefficient value according to the G7 reference bullet, which represent the entire effective firing range of the investigated bullet, were calculated for the investigated bullet. Ballistic tables were prepared by using Quick Target software according to both calculated ballistic coefficients in this study and the ballistic coefficient value which were issued by manufacturer for the G1 reference bullet. Results of the shooting performance tests, which were carried out to 300, 550, 700 and 800 meters distances according to these ballistic tables, were compared with each other. With this study, bullet trajectory was determined over the effective firing range with an acceptable error rate with multiple ballistic coefficient values, especially in case where the reference bullet geometry can not represent the investigated bullet accurately, and with a single ballistic coefficient value when the reference bullet geometry can represent the investigated bullet accurately.

Science Code : 91405
Key Words : Ballistic Coefficient, Form Factor, Drag Coefficient, Drag Force, Ballistic Table, Exterior Ballistics, Projectile Trajectory
Page Number : 112
Supervisor : Instructor Dr. Yavuz ZÜMRÜT

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince hayata dair tüm sorumlulukları üstlenerek bana tez çalışması yapabilme olanağı sunan sevgili eşim Burcu VARDAR'a, varlıklarıyla motivasyon kaynağım olan oğlum Latif Umut VARDAR'a ve kızım Öykü VARDAR'a,

Hayatım boyunca gerçekleştirmek istediğim her şey de olduğu gibi akademik çalışma yapmam konusunda da bana destek olan, cesaret veren özlemle andığım babam Latif VARDAR'a, beni büyütebilmek adına sayısız fedakârlık yapan annem Serpil VARDAR'a,

Tez çalışması süresince yaşadığım ve yaşattığım onca olumsuzluğa rağmen benden vazgeçmeyen, yardımını esirgemeyen tez danışmanım Öğr. Gör. Dr. Yavuz ZÜMRÜT'e,

Deneysel çalışmalarımı gerçekleştirebilmem için bana tüm altyapı imkânlarını sunan ve benim için mesai harcayan değerli arkadaşım Başmühendis Ali Hakan ŞAFAK'a, Kırıkkale Silah Fabrikası Emekli Müdürü Derviş Mehmet OCAKÇIOĞLU'na ve fabrikalarda emeği geçen tüm personele,

Tez yazım aşamasında kendine ayırdığı zamandan fedakârlık ederek, yardımını esirgemeyen çalışma arkadaşım Latif KESEMEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

RESİMLERİN LİSTESİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR xvi

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE ÇALIŞMANIN KAPSAMI 11

2.1. Literatür Araştırması 11

2.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 16

3. BALİSTİK KATSAYI 19

3.1. Balistik Katsayının Belirlenmesi 19

3.2. Balistik Katsayının Belirlenmesinde Atmosferik Koşulların Etkileri 23

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 27

4.1. Deneysel Altyapı 27

4.1.1. Deney numunesi: 7,62 mm kalibre hafif silah mühimmatı 27

4.1.2. Keskin nişancı tüfeği 31

4.1.3. Keskin nişancı tüfeği gündüz optik sistemi 36

4.1.4. Meteoroloji ölçüm sistemi ve anemometre 38

4.1.5. Doppler radarı 40

4.2. Deneysel Çalışmaların Gerçekleştirilmesi 42

4.2.1. Birinci deneysel aşama: Doppler radarı ile yapılan hız ölçümleri 42

Sayfa

4.2.2. İkinci deneysel aşama: Atışlı doğrulama testleri 55

4.3. Deney Numunelerinin Doğruluk ve Dağılım Ölçüm Sonuçları 63

4.3.1. 300 metre mesafe atışları 63

4.3.2. 550 metre mesafe atışları 67

4.3.3. 700 metre mesafe atışları 71

4.3.4. 800 metre mesafe atışları 75

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 79

KAYNAKLAR 83

EKLER 87

EK-1. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için deniz seviyesi rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 88

EK-2. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için 500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 89

EK-3. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için 1.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 90

EK-4. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için 1.500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 91

EK-5. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için 2.000 metre rakım-(-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 92

EK-6. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için 2.500 metre rakım-(-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 93

EK-7. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için 3.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 94

EK-8. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için 0 m/s - 7 m/s rüzgâr hızı yan cetveli 95

EK-9. B.C. (G1-çoklu deneysel) için deniz seviyesi rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 96

EK-10. B.C. (G1-çoklu deneysel) için 500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 97

EK-11. B.C. (G1-çoklu deneysel) için 1.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 98

Sayfa

EK-12. B.C. (G1-çoklu deneysel) için 1.500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 99

EK-13. B.C. (G1-çoklu deneysel) için 2.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 100

EK-14. B.C. (G1-çoklu deneysel) için 2.500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 101

EK-15. B.C. (G1-çoklu deneysel) için 3.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 102

EK-16. B.C. (G1-çoklu deneysel) için 0 m/s - 7 m/s rüzgâr hızı yan cetveli..... 103

EK-17. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için deniz seviyesi rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 104

EK-18. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 105

EK-19. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 1.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 106

EK-20. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 1.500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 107

EK-21. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 2.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 108

EK-22. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 2.500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 109

EK-23. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 3.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli 110

EK-24. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 0 m/s - 7 m/s rüzgâr hızı yan cetveli 111

ÖZGEÇMİŞ..... 112

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Hedefi etkisiz hale getirmek için sağlanması gereken minimum enerji değeri ve maksimum dağılım değeri 6

Çizelge 4.1. Çalışmada incelenen hafif silah mühimmatının fiziksel özellikleri 29

Çizelge 4.2. Doppler radarı testlerindeki rakım ve atmosferik koşullar 42

Çizelge 4.3. Deney numunesi mermilerin sürüklenme katsayıları ve G1 ve G7 referans mermi geometrilerine göre form faktörleri ile balistik katsayılarının Mach sayısına göre değişimi 51

Çizelge 4.4. Çalışmada incelenen 7,62 mm kalibre dönü kararlı mermi için G1 ve G7 referans mermi geometrilerine göre deneylerle belirlenen balistik katsayı değerleri ile G1 referans mermi geometrisine göre üretici tarafından yayımlanan balistik katsayı değeri..... 54

Çizelge 4.5. Balistik tablolardan düzeltme değerlerinin bulunmasına dair örneğe ait veriler 58

Çizelge 4.6. Atışlı testlerin yapıldığı poligonların rakım ve atmosferik koşulları 59

Çizelge 4.7. Atışlı doğrulama testlerinde kullanılan optik sistem düzeltme değerleri ... 60

Çizelge 4.8. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 300 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar 64

Çizelge 4.9. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,438 için gerçekleştirilen 300 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar 65

Çizelge 4.10. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 300 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar 66

Çizelge 4.11. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 550 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar 67

Çizelge 4.12. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,414 için gerçekleştirilen 550 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar 68

Çizelge 4.13. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 550 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar 69

Çizelge 4.14. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 700 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar 71

Çizelge 4.15. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,396 için gerçekleştirilen 700 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar 72

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.16. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 700 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar 73

Çizelge 4.17. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 800 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar..... 75

Çizelge 4.18. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,375 için gerçekleştirilen 800 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar 76

Çizelge 4.19. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 800 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar..... 77

Çizelge 5.1. Üç farklı balistik tablo setine göre gerçekleştirilen atışlı testlerin sonuçları..... 80

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Dönü kararlı hafif silah mühimmatının kısımları ve yivli-setli namlu..... 1

Şekil 1.2. Hafif silah namlusuna ait kesit görünüş 4

Şekil 1.3. Standart hedef ölçüleri ve hedef üzerindeki dağılım..... 6

Şekil 1.4. G1 Referans mermi geometrisi, ölçüler (in) 8

Şekil 1.5. G7 Referans mermi geometrisi, ölçüler (in) 8

Şekil 2.1. Becker ve Kranz'ın farklı ulusların kalibresinin 1,49 katında yarıçapı olan ojive sahip topçu mermisine yönelik hesapladıkları mermi sürüklenme katsayısının (CD), Mach cinsinden mermi hızına göre değişimini gösteren bulguları 12

Şekil 2.2. Gavre Komisyonu ile Ingalls ve Mayevski tarafından yayımlanan sürüklenme katsayılarının (CD) karşılaştırılması..... 14

Şekil 2.3. Kent ve Hitchcock tarafından yayımlanan G7 referans geometrisinin sürüklenme katsayısı (CD) eğrisi 14

Şekil 4.1. Çalışmada incelenen 7,62 mm kalibre dönü kararlı merminin geometrisi..... 28

Şekil 4.2. Yivli hafif silah namlusunun kesit görünüşü 32

Şekil 4.3. Optik sistemde artıkıl ile hedef olarak seçilen noktaya nişan alınması..... 37

Şekil 4.4. Şematik Doppler radar düzeneği..... 40

Şekil 4.5. Doppler radarı çalışma prensibine ait model 40

Şekil 4.6. G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin sürüklenme katsayısı (CD) - Mach sayısı (Ma) grafikleri 44

Şekil 4.7. Birinci deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri 45

Şekil 4.8. İkinci deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri 45

Şekil 4.9. Üçüncü deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri 46

Şekil 4.10. Dördüncü deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri 46

Şekil 4.11. Beşinci deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri 47

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.12. Altıncı deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri 47

Şekil 4.13. Yedinci deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri 48

Şekil 4.14. Sekizinci deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri 48

Şekil 4.15. Dokuzuncu deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri 49

Şekil 4.16. Onuncu deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri 49

Şekil 4.17. G1 ve G7 referans mermi geometrilerine göre belirlenen Balistik katsayı-Mach sayısı grafikleri 52

Şekil 4.18. Quick Target balistik yazılımının menülerinden bir görüntü 54

Şekil 4.19. Tüfek sıfırlama aparatı ve sıfırlama işlemi 57

Şekil 4.20. 300 metre, 550 metre, 700 metre ve 800 metre mesafelerde kullanılan hedef kâğıtları 61

Şekil 4.21. Orta vuruş noktası, doğruluk ve dağılım kavramlarının gösterimi 62

Şekil 4.22. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 300 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 64

Şekil 4.23. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,438 için gerçekleştirilen 300 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 65

Şekil 4.24. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 300 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 66

Şekil 4.25. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 550 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 67

Şekil 4.26. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,414 için gerçekleştirilen 550 metre metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 68

Şekil 4.27. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 550 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 69

Şekil 4.28. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 700 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 71

Şekil 4.29. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,396 için gerçekleştirilen 700 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 72

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.30. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 700 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 73

Şekil 4.31. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 800 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 75

Şekil 4.32. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,375 için gerçekleştirilen 800 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 76

Şekil 4.33. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 800 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları 77

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 1.1. Hafif silah mühimmatı kovanlarına ait görüntü 2

Resim 1.2. Hafif silah mühimmatı kapsüllerine ve ateşleme iğnesine ait görüntü..... 2

Resim 1.3. Hafif silah mühimmatının ateşlenme sürecine ait görüntü 3

Resim 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan hafif silah mühimmatları..... 27

Resim 4.2. Birinci deneysel çalışmada kullanılan numune deney mermileri 29

Resim 4.3. Deney numunesi mühimmatlarında kullanılan barutun eleme işlemi ve tanecik boyutları..... 30

Resim 4.4. Deney numunesi mühimmatlarında kullanılan barutun tartılma ve kovanlara doldurulma işlemi 30

Resim 4.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan keskin nişancı tüfeği 31

Resim 4.6. Keskin nişancı tüfeği ve kısımları..... 34

Resim 4.7. Keskin nişancı tüfeği dipçiği ve kısımları 35

Resim 4.8. Keskin nişancı tüfeği gündüz optik sistemi ve kısımları..... 36

Resim 4.9. Optik sistem yükseliş ve yan ayar tamburaları 37

Resim 4.10. Tomes Meteoroloji ölçüm sistemi..... 39

Resim 4.11. Kestrel 4500 NV Horus model anemometre..... 39

Resim 4.12. B481 Doppler radar sistemine ait görüntüler..... 41

Resim 4.13. B481 Doppler radarı ile yapılan ölçüm çalışmalarından bir görüntü..... 43

Resim 4.14. Kestrel 4500 NV Horus model anemometre ve aksamlarının yerleşimi.... 56

Resim 4.15. Keskin nişancı tüfeği sıfırlama işlemi ve 100 m mesafedeki hedef kâğıdı 58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

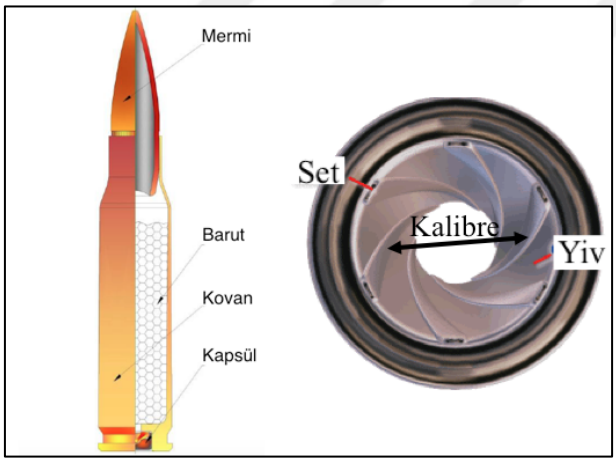
Simgeler	Açıklamalar
atm	Atmosfer
d	Çap
db	Desibel
db	Desibel
g	Gram
Hz	Hertz
in	İnç
j	Joule
k	Hava direnci ölçek katsayısı
kg	Kilogram
kg/cm^2	Kilogram bölü santimetrekare
lb	Libre
m	Kütle
m	Metre
m/s	Metre bölü saniye
m3	Metreküp
mm	Milimetre
°C	Santigrad derece
C_D	Sürüklenme katsayısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
BC	Balistik katsayı
i	Form faktörü
KNT	Keskin Nişancı Tüfeği
OVN	Orta vuruş noktası
SD	Kesit yoğunluğu

1. GİRİŞ

Mühimmat; düşmanı veya donanımını hedef alan, imha eden, fonksiyonunu kaybettiren, silahlı veya silahsız kullanılabilen her türlü patlayıcı terkip kompleleridir [1]. Hafif silah mühimmatı, düşmanı veya donanımını hedef alarak imha eden, fonksiyonunu kaybettiren, mermisi olmadan eğitim amaçlı kullanılabilen, 20 mm çapa kadar her türlü hafif silahta kullanılan patlayıcı terkip kompleleridir [2]. Dönü kararlı hafif silah mühimmatı ise 20 mm çapa kadar yivli hafif silahlarda kullanılan, namludaki setlere sürtünerek dönü hareketi kazanan, yörüngesinde dönerek ilerleyen mermiye sahip mühimmattır. "Dönü kararlı" terimi, merminin dış atmosferde hava sürüklenme kuvvetine dirençli ve stabil kalmasını, hedefte etkili olmasını sağlayan, yörüngesi boyunca öteleme hareketi yaptığı eksendeki dönüyü ifade etmektedir.

Şekil 1.1'de gösterilen dönü kararlı hafif silah mühimmatı; kovan, kapsül, mermi ve barut olmak üzere dört aksamdan meydana gelir [3].



Şekil 1.1. Dönü kararlı hafif silah mühimmatının kısımları ve yivli-setli namlu

Kovan: Resim 1.1'de gösterilen kovan, hafif silah mühimmatının pirinç malzemeden imal edilen aksamı olup barut, kapsül ve mermiye yataklık eder [4].

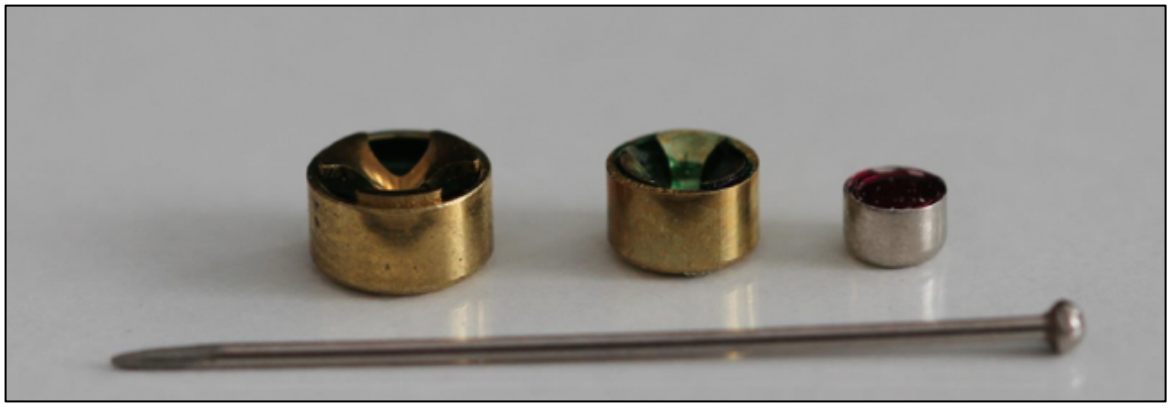
Barut: Yalnızca nitroselülozdan veya nitroselüloz ve nitrogliserinden meydana gelen, küresel, silindirik veya yaprak tanecik boyutunda olabilen patlayıcı türüdür. Yanmasının etkisiyle oluşan basınçlı gazlar itki kuvvetini oluşturur. Oluşan itki kuvveti mermiyi

kovandan ayırarak, merminin hareketlenmesini ve kontrollü bir hızda namludan çıkmasını sağlar [4].



Resim 1.1. Hafif silah mühimmatı kovanlarına ait görüntü

Kapsül: Resim 1.2'de gösterilen kapsül, kovan dip tablasının merkezine çakılan, hafif silahın ateşleme iğnesinin kendisine çarpmasıyla veya elektrik akımıyla fünye işlevi görerek barutun yanmasını sağlayan eczadır [4].

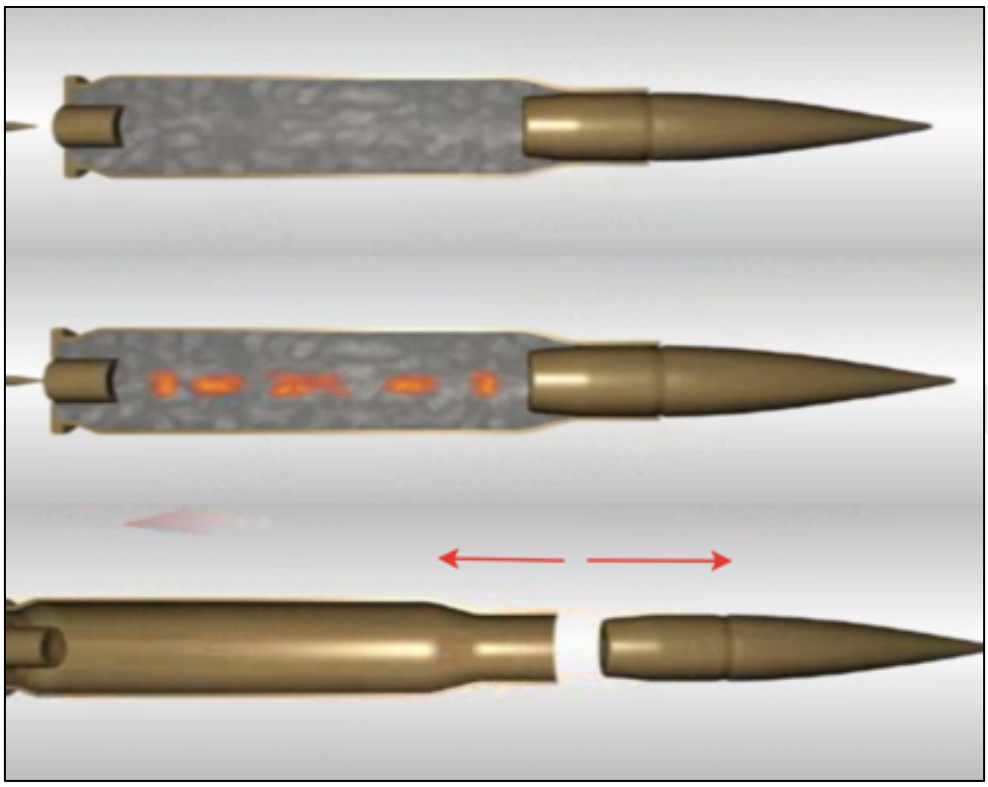


Resim 1.2. Hafif silah mühimmatı kapsüllerine ve ateşleme iğnesine ait görüntü

Dönü kararlı mermi: Hafif silah mühimmatının hedefe gönderilen ve hedefi etkisiz hale getirmesi istenen, namludaki setlere sürtünerek dönü hareketi kazanan, yörüngesi boyunca dönerek ilerleyen, kurşun, çelik vb. malzemeden imal edilmiş aksamıdır. Kovan içerisindeki barutun yanması sonucu oluşan basıncın etkisiyle sıkı geçme olarak monte edildiği kovandan ayrılır ve hareketine başlar. Set adı verilen ve namlu iç yüzeyinde namlu

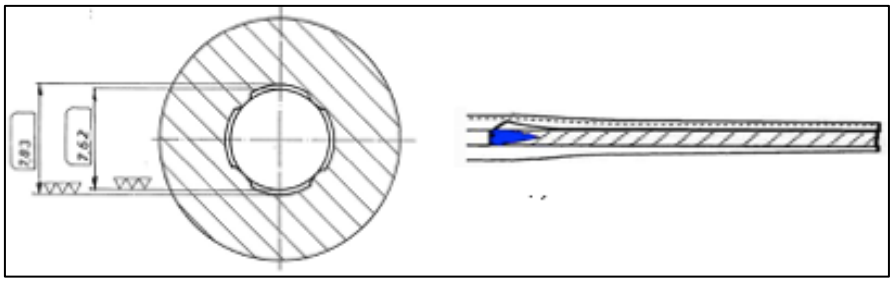
boyunca karşılıklı olarak uzanan helezon çıkıntılara sürtünerek hareketine devam eder. [4]. İki set arasındaki en kısa mesafeye "çap" denir. [5]. Tez çalışmasında deney numunesi olarak kullanılan dönü kararlı hafif silah mühimmatı mermisinin çapı 7,62 mm'dir.

Resim 1.3'de hafif silah mühimmatının ateşlenme süreci gösterilmiştir. Mühimmat ateşlendikten sonra, kovanın içerisindeki barutun yanmasıyla ortaya çıkan yüksek basınçlı gazların oluşturduğu itki kuvveti, merminin sıkı geçme olarak imla edildiği kovan ile arasındaki irtibat kuvvetini yener ve mermi kovandan ayrılır.



Resim 1.3. Hafif silah mühimmatının ateşlenme sürecine ait görüntü

Mermi Şekil 1.2'de gösterilen kendisinden daha düşük çaptaki namlu yolu boyunca itki kuvvetinin etkisiyle doğrusal hareketine devam ederken, aynı zamanda namlu içindeki setlere de sürtünmek suretiyle bir dönü hareketi de kazanır. Mermi setlere sürtünmesi neticesinde bir miktar enerji kaybetmesine rağmen, kazandığı dönü sayesinde, dış atmosferdeki havanın sürüklenme kuvvetine karşı koyarak, stabil bir uçuş gerçekleştirir. Mermi hedefini vurması halinde bu dönü, merminin hedefindeki delme etkinliğini ve parçalayıcı etkisini önemli ölçüde artırıcı bir rol de oynar.



Şekil 1.2. Hafif silah namlusuna ait kesit görünüş

Hafif silah mühimmatları ve hafif silahlar 15. yüzyıldan bu yana bir gelişim süreci içerisindedirler. Hafif silahlar, 18. yüzyılın sonuna kadar yalnızca kısa mesafede etkili olarak kullanılabilmiş ve hafif silah kullanımı nişan alıp tetiği çekmekten başka bir anlam ifade etmemiştir. 17 Haziran 1775 tarihinde Büyük Britanya ile Kuzey Amerika kolonileri arasında gerçekleşen Bunker Tepesi Savaşı'nda Albay William Prescott'un askerlerine verdiği "Düşmanınızın gözünün beyazını görmeden ateş etmeyin!" emri o dönemki hafif silahların ve hafif silah mühimmatlarının etkili menzillerinin düşüklüğü hakkında iyi bir fikir vermektedir. 19. yüzyılın ortalarında çok hızlı gelişen hafif silah ve hafif silah mühimmatı teknolojisinde, kara barut kalitesindeki iyileştirmeler, yivli namluların hassas olarak imal edilebilmesi ve yaygın hale gelmesi, aerodinamik açıdan yüksek performansa sahip sivri uçlu ve uzun, kaplama uygulanabilen, yivli namlularla kullanılabilen dönü kararlı hafif silah mühimmatı mermilerinin üretilebilmesi, hafif silahların etkili menzilini birkaç yüz metreye kadar çıkarmıştır. Bu durum beraberinde mermi yörüngelerinin en az hata oranı ile hassas olarak hesaplanması gereğini ortaya çıkarmıştır. 19. yüzyılın sonlarında 1890 yılında sıçrama niteliğinde bir ilerleme olan, elektro-mekanik kronografın Francis Bastforth tarafından icat edilmesiyle mermi yörüngeleri hesaplanmaya başlanmış ve "Referans mermi" fikri ortaya çıkmıştır. Bu gelişmeler "Balistik katsayı" teriminin ortaya çıkışının temelini oluşturmuştur [6].

Balistik katsayı

Mermi hareketini inceleyen bilim dalı balistik olarak adlandırılmaktadır. Balistik, merminin ateşlendikten sonra namlu içerisindeki hareketini inceleyen iç balistik, merminin namludan çıktıktan hedefe varıncaya kadarki hava ortamındaki hareketini inceleyen dış balistik ve merminin hedefte meydana getirdiği etkileri inceleyen hedef balistiği olmak üzere üç ayrı dala ayrılmıştır [7].

Dış balistiğin ele aldığı balistik katsayı kavramı, temel olarak merminin yörüngesindeki hareketi boyunca hava direncine karşı göstermiş olduğu performansın bir ölçüsü olarak nitelendirilir [8]. Eşitlik 1.1 ile verilen balistik katsayı, dönü kararlı hafif silah mühimmatı mermisinin kesit yoğunluğunun şekil faktörüne bölümüyle hesaplanan ve birimi olmayan bir katsayıdır. Eşitlik 1.2 ile verilen kesit yoğunluğu, dönü kararlı merminin kütlesinin en büyük kesit çapının karesine bölümüyle elde edilmektedir. Eşitlik 1.3 ile verilen şekil faktörü ise dönü kararlı merminin sürüklenme katsayısının, birbiriyle aynı kesit yoğunluğuna sahip referans geometrilerden birinin (G1… G8) aynı Mach sayısındaki sürüklenme katsayısına bölümüyle elde edilmektedir [9]. Eşitlik 1.1'in pay kısmında balistik katsayısı belirlenmek istenen dönü kararlı merminin kesit yoğunluğu aslında referans geometrinin kesit yoğunluğuna bölünmüş durumdadır. İşlem kolaylığı sağlaması açısından tüm referans mermi geometrilerinin (G1, …, G8) çapı 1 in., kütlesi ise 1 lb olarak alındığından referans merminin kesit yoğunluğu değeri 1 lb/in^2 olmaktadır. Bu nedenle Eşitlik 1.1'in pay kısmı birimsiz olmakta fakat değer olarak da dönü kararlı merminin kesit yoğunluğunu vermektedir.

$$BC = SD / i \tag{1.1}$$

BC : Balistik katsayı (birimsiz)

SD : Kesit yoğunluğu ($\frac{lb}{in^2}$)

i : Form faktörü (birimsiz)

$$SD = m / d^2 \tag{1.2}$$

d : Merminin en büyük kesit çapı (in)

m : Merminin kütlesi (lb)

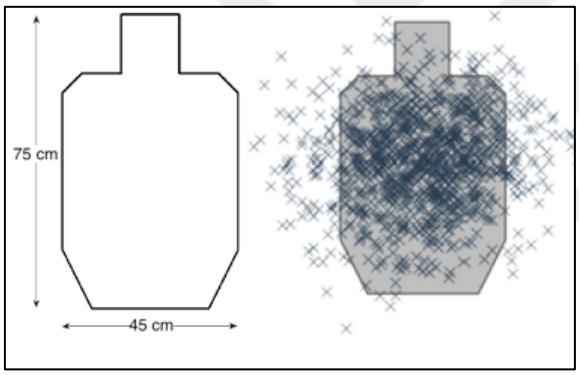
$$i = \frac{C_D}{(C_D)_G} \tag{1.3}$$

C_D : Merminin sürüklenme katsayısı (birimsiz)

$(C_D)_G$: Referans merminin sürüklenme katsayısı (birimsiz)

Balistik katsayı, kullanıcıların mermi yörüngelerini etkili menzil boyunca oluşturabilmeleri maksadıyla imalatçılar tarafından belirlenmekte ve sağlanmaktadır. Etkili menzil, hafif silah terminolojisindeki en önemli kavramlardan biri olup dönü kararlı hafif silah mühimmatı mermisinin hedefte istenilen hasarı ve dağılımı sağladığı maksimum menzil anlamına gelmektedir. Hedef üzerindeki hasar, merminin hedefe çarptığında sahip olması gereken minimum enerji miktarı ile dağılım ise bir seri atımdaki her bir merminin vuruş noktasının mermilerin orta vuruş noktasına göre standart sapması ile ölçülmektedir. Etkili menzil bu iki parametre ile sınırlandırılmıştır.

Standart hedef olarak 75 cm x 45 cm boyutlarında vücuda sahip, herhangi bir koruyucu donanım kullanmayan birey baz alınmaktadır. Şekil 1.3'de standart hedef ölçüleri ve bu hedef üzerindeki dağılım gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Standart hedef ölçüleri ve hedef üzerindeki dağılım

Çizelge 1.1'de dönü kararlı hafif silah mühimmatı mermisinin hedefte istenilen hasarı sağlaması için gerekli minimum enerji miktarı J cinsinden, maksimum dağılım değeri de cm cinsinden gösterilmektedir [10].

Çizelge 1.1. Hedefi etkisiz hale getirmek için sağlanması gereken minimum enerji değeri ve maksimum dağılım değeri

Hedef / Koşul	Minimum Enerji miktarı	Maksimum Dağılım değeri
Balistik koruyucu donanım kullanmayan birey	80 J	48 cm

Dönü kararlı merminin balistik katsayı değeri kullanılarak oluşturulan balistik cetveller; menzil, rakım ve hava sıcaklığı değerlerine göre optik sistemin ayar parametrelerini

içermektedirler. Hafif silah mühimmatı üreticisinin kullanıcıya bildirdiği balistik katsayı değerinin, kullanıcı tarafından günümüzde kolaylıkla erişimi sağlanabilen akıllı telefonlarda, tabletlerde ve bilgisayarlarda kullanılabilen yazılımlara girdi olarak verilmesiyle, mermi yörüngesi ve balistik cetveller (tablolar) kolaylıkla elde edilebilmektedir. Kullanıcı, atış esnasında bulunduğu hava şartlarına uygun parametreleri kullanmaktadır.

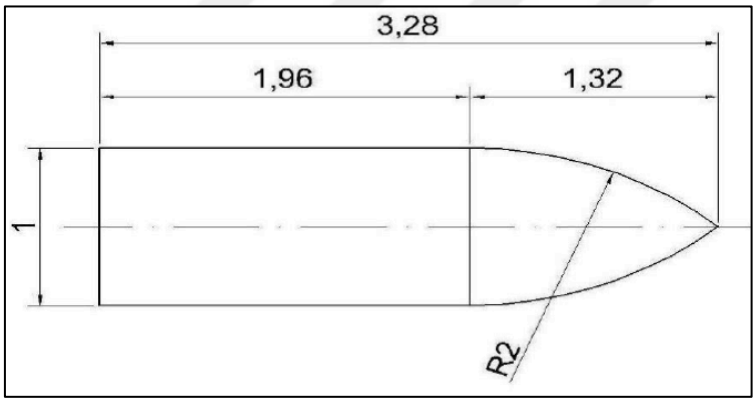
Mermi geometrisi

Saha tecrübelerinden de bildiğimiz üzere hafif silah mühimmatı üreticisi tarafından bildirilen balistik katsayı değerinin belirli bir menzilden sonra mermi yörüngesini doğru bir biçimde temsil edemediği durumlar ortaya çıkmaktadır. Bunun iki ana sebepten kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Birincisi, dönü kararlı hafif silah mühimmatı üreticisinin, merminin namlu çıkış hızını hangi namluyla, hangi atmosferik koşullarda, hangi ölçüm hassasiyetinde ölçtüğünün belli olmamasıdır [11]. İkincisi ise çoğu üretici firmanın mühimmatını pazarlayabilmek amacıyla, merminin menzili boyunca değişen hızına bağlı değişim gösteren balistik katsayı değerleri yerine, tüm menzil için tek bir tek balistik katsayı değeri yayımlamasıdır [12]. Tek bir balistik katsayı değeri, bilhassa yüksek atış mesafelerinde dönü kararlı hafif silah mühimmatının yörüngesini iyi bir biçimde temsil edememekte, hedefte yeterince isabet sağlanamamasına neden olmaktadır. Bu sebeple bir dönü kararlı hafif silah mühimmatının balistik katsayısı/katsayıları hesaplanırken uygun yöntemin belirlenmesi gerekmektedir.

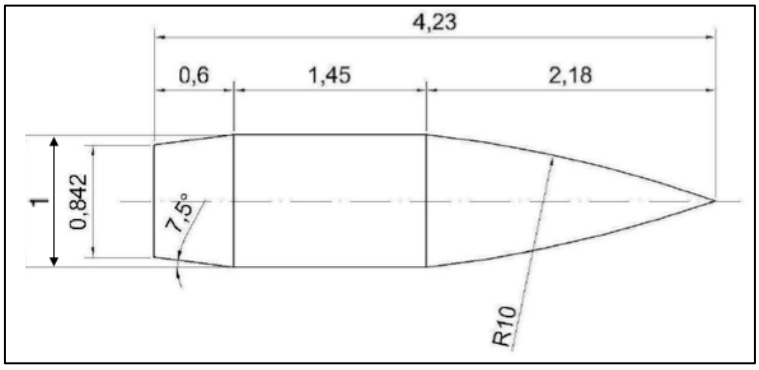
Dönü kararlı hafif silah mühimmatının balistik katsayısı yukarıda da belirtildiği üzere, bir referans mermi geometrisi seçilerek belirlenir. Balistik katsayı değeri ölçeklendiği referans mermi geometrisine bağlı olarak 0 ila 1 arasında değişir. Mermilerin aerodinamik performansı aynı referans geometrisine göre belirlenmiş balistik katsayı değerlerine göre kıyaslanabilirler. Daha büyük balistik katsayı değeri, daha iyi bir aerodinamik performans anlamına gelir.

1873-1898 yılları arasında Fransa'da faaliyetlerini sürdüren ve Fransız Deniz Topçu Birliği mensuplarından oluşan Gavre Komisyonu, anılan tarihler arasında atışlı testler gerçekleştirmiş, farklı ülkelerden gelen atış verilerini analiz etmiştir. Bu komisyonun anısına referans mermi geometrileri "G" harfi ile G1'den G8'e kadar adlandırılmıştır.

Sırasıyla Şekil 1.4 ve Şekil 1.5 ile teknik resimleri verilen G1 ve G7 referans mermi geometrileri geçmişten beri kullanılagelen hafif silah mühimmatı mermilerinin şekline en yakın standart modellerdir [10]. Günümüzde üretilen ve kullanılan mermilerin çoğu G1'den çok G7 referans mermi geometrisine benzemektedir. G7 referans mermi geometrisi hava direncinden G1 referans geometrisine nazaran daha az etkilenen bir aerodinamik tasarıma sahiptir. Ancak çoğu hafif silah mühimmatı imalatçısı referans mermi geometrisi olarak, G1 referans mermi geometrisini tercih etmekte, kullanıcılara G1 referans mermi geometrisine göre belirlenen balistik katsayı değerini bildirmektedir. Bunun sebebi G7 referans geometrisine göre hava direncinden daha çok etkilenen, daha kötü aerodinamik tasarıma sahip G1 referansına göre hesaplanacak balistik katsayı değerinin, G7 referansına göre hesaplanacak balistik katsayı değerinden daha büyük olacağı gerçeği ve böylece kullanıcı nezdinde merminin iyi bir aerodinamik performansa sahip olduğu izlenimini yaratma beklentisidir. Ticari kaygılardan ileri gelen bu sebepten ötürü G1 referans mermi geometrisi, G7 referans mermi geometrisine göre daha yaygın olarak kullanılan bir referans geometri haline gelmiştir [10].



Şekil 1.4. G1 Referans mermi geometrisi, ölçüler (in) [9]



Şekil 1.5. G7 Referans mermi geometrisi, ölçüler (in) [9]

Deneysel çalışma

Hafif silah mühimmatı mermileri için balistik katsayının belirlenmesi amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında balistik katsayı hesaplamalarında Şekil 1.4'deki G1 ve Şekil 1.5'deki G7 referans mermi geometrileri seçilmiştir. Hafif silah mühimmatı olarak 7,62 mm çapında dönü kararlı mermiye sahip bir mühimmat seçilmiştir.

Testlerde, 7,62 mm çapında dönü kararlı merminin sürüklenme katsayısının yörüngesi boyunca hassas olarak ölçülmesi amacıyla doppler radarı kullanılmıştır. Tüm deney numunelerinin sürüklenme katsayılarının Mach sayısı cinsiden hızına bağlı olarak değişimini gösteren grafikler çizilmiştir. Grafikler yorumlanarak, balistik katsayıların hesaplanmasında kullanılacak yöntemler belirlenmiştir. 7,62 mm kalibre hafif silah mühimmatı için belirlenen yöntemler doğrultusunda hem G1 referans geometrisine göre hesaplanan balistik katsayılar, hem de mühimmat üreticisi tarafından G1 referans geometrisine göre yayımlanan balistik katsayı değeri Quick Target yazılımı kullanılarak balistik cetveller hazırlanmıştır. Ayrıca söz konusu mermi için aynı yaklaşımda bulunularak, G7 referans geometrisine göre de balistik katsayı hesabı yapılmış ve balistik cetveller hazırlanmıştır. Nihai olarak mermilerin doğruluk performansının ölçülmesi amacıyla atışlı testler gerçekleştirilmiştir. Üç farklı balistik tablo setine göre gerçekleştirilen atışlı testler; 300 metre, 550 metre, 700 metre ve 800 metre mesafelerde yapılmıştır. Anılan mühimmatın maksimum menzildeki etkinlik ölçümünün sağlanması amacıyla, atışlar keskin nişancı tüfeği kullanılarak yapılmıştır. Keskin nişancı tüfeği, dönü kararlı hafif silah mühimmatlarına yönelik gerçekleştirilen balistik hesaplamaların en kritik hale geldiği silahların başında gelmektedir. Keskin nişancı tüfeği, hafif silah sınıfında yer alan en uzun etkili menzile sahip tüfektir ve keskin nişancı tüfeğinde ilk atışta hedefte isabet sağlanması, büyük önem taşır [13]. Çünkü ilk atışın ortaya çıkarmış olduğu ses, farkındalık yaratmakta ve bu atıştan sonraki atışlar için hedefe siper alma şansı yaratmaktadır. İlk atışta hedefe isabet sağlanması ve tüfeğin etkili menzilinde verimli olarak kullanılabilmesi, tüfek ile kullanılacak dönü kararlı merminin yörüngesinin en az hata oranıyla hesaplanmasını zorunlu kılmaktadır [14].

Tüm bu hususlar doğrultusunda bu tez çalışması ile balistik katsayının belirlenmesine yönelik gelecekteki çalışmalara da ışık tutacak bir yöntemin oluşturulması, bu yöntemin ülkemizce yurtiçi ve yurtdışından tedarik edilen tüm dönü kararlı hafif silah mühimmatlarına uygulanması ve mermi yörüngelerinin en az hata oranı ile belirlenebilmesi hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE ÇALIŞMANIN KAPSAMI

2.1. Literatür Araştırması

Çalışmamızda izlenecek yöntemin belirlenmesi amacıyla yapılan literatür araştırmasında, dış balistik alanında mermi yörüngelerinin hesaplanmasına ve referans geometrik modellerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar incelenmiştir.

Mermi yörüngesinin hesaplanmasına dair çalışmalar Galileo'ya kadar dayanır. 1636 yılında Galileo "Mermi yörüngelerinin analizi" yöntemini ortaya çıkarmış, bu yöntem kullanılarak mermilerin uçuş hızları hesaplanmıştır [15].

Newton (1642-1727) çalışmalarıyla modern dış balistiğin en önemli kurucularından biri olmuştur. Newton'un hareket kanunları, balistiğin henüz bir bilim dalı olarak ortaya çıkmadığı dönemde modern balistiğin temellerini oluşturmuştur [16].

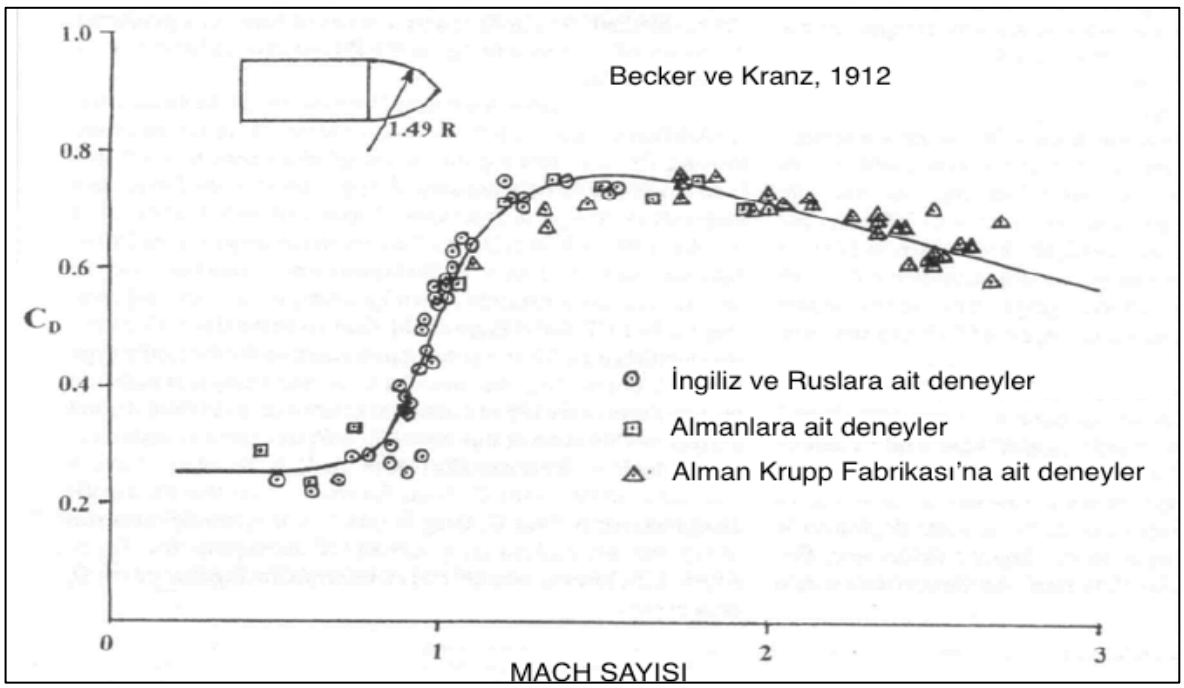
1742 yılında, bir İngiliz matematikçi olan Robins balistik sarkacı icat etmiş, bu sarkaç mermi hızlarının doğrudan ölçülebilmesine olanak tanımıştır. Balistik sarkacın icadı mermilerin ses hızının çok daha üzerinde bir hızla hareket ettiğini ve hava direncinin mermi yörüngeleri üzerindeki ihmal edilemeyecek düzeyde etkisi sebebiyle mermilerin hızlarının uçuşları süresince Galileo'nun tahmin ettiğinden çok daha hızlı bir şekilde düştüğünü ortaya çıkarmıştır [17].

Robins'in elde ettiği verilere dönemindeki birçok bilim adamı tarafından güvenilmemiş olmasına rağmen Robins'in akabinde Hutton (1737-1823) tarafından yapılan çalışmalar ve günümüzde de küresel mermilere yönelik modern yöntemlerle yapılan hava direnci ölçümleri Robins'in bulgularını doğrulamıştır. 19. yüzyılın ortalarında çok hızlı gelişen hafif silah ve hafif silah mühimmatı teknolojisi (kara barut kalitesindeki iyileştirmeler, yivli namluların hassas olarak imal edilebilmesi, aerodinamik açıdan yüksek performansa sahip sivri uçlu ve uzun, kaplama uygulanabilen, yivli namlularla kullanılabilen dönü kararlı hafif silah mühimmatı mermilerinin üretilebilmesi) hafif silahların etkili menzilini birkaç yüz metreye kadar çıkarmıştır. Bu durum beraberinde mermi yörüngelerinin en az hata oranı ile hassas olarak hesaplanması ihtiyacını da ortaya çıkarmıştır.

19. yüzyılın sonlarında yılında sıçrama niteliğinde bir ilerleme olan, elektro-mekanik kronografın Bastforth tarafından icat edilmesiyle mermi yörüngeleri hesaplanmaya başlanmıştır. Bashforth bu kronografla 1865-1880 yılları arasında İngiltere'deki topçu mühimmatlarının yavaşlama ivmelerini ölçmüş, ateşlediği mühimmatların düşeceği yerleri deneysel olarak belirlemeye çalışmıştır [18].

Bastforth'un çalışmaları ile aynı dönemde (1868-1869) Rus araştırmacılar Mayevski ve Nikolai farklı aerodinamik tasarıma sahip mermilerin hava direnci karşısındaki davranışlarını ölçmek amacıyla, deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir [19].

1875-1881 yılları arasında Becker ve Kranz, Almanya'daki Krupp askeri fabrikasında üç farklı ulusa ait topçu mermi geometrilerinin sürüklenme katsayılarının hesaplanması amacıyla, çok sayıda ölçüm yapmış, 1912 yılında bu çalışmaları derleyerek, en büyük kesit çapının 1,49 katında yarıçapı olan ojive sahip bu topçu mermilerine yönelik hesapladıkları mermi sürüklenme katsayılarının (C_D), Mach cinsinden mermi hızına göre değişimini gösteren Şekil 2.1'deki bulguları yayımlamışlardır [20].



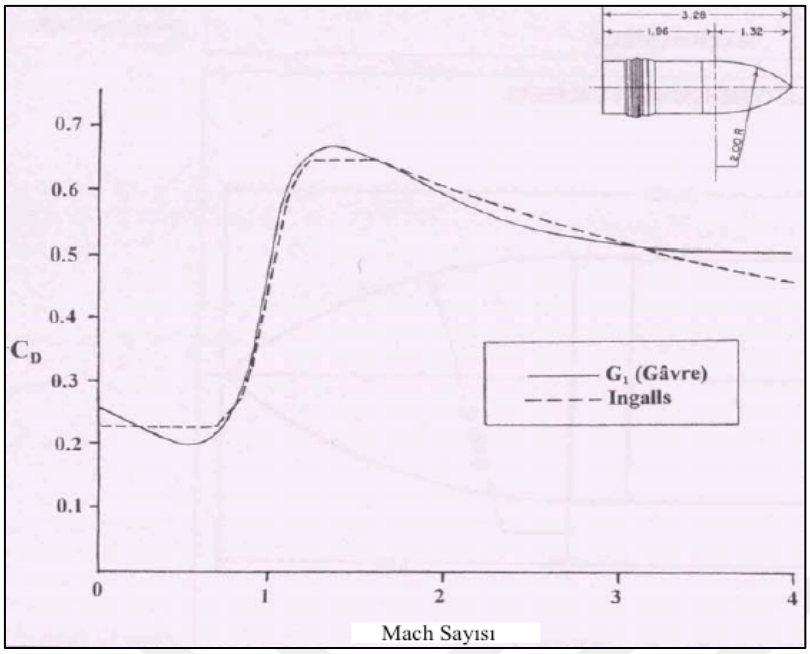
Şekil 2.1. Becker ve Kranz'ın farklı ulusların kalibresinin 1,49 katında yarıçapı olan ojive sahip topçu mermisine yönelik hesapladıkları mermi sürüklenme katsayısının (C_D), Mach cinsinden mermi hızına göre değişimini gösteren bulguları [20]

1883 yılında Mayevski Krupp Fabrikası'nın atış verilerini analiz ederek, kalibresinin 2 katında yarıçapı olan ojive sahip, kalibresinin 3 katı uzunluğunda düz tabanlı merminin hava direnci karşısındaki davranışını formüle etmiştir [19]. Amerikan Topçu Birliği'nden Ingalls, Mayevski'nin bulgularını İngiliz birim sistemine çevirmiş ve bu bulgulara dayanan sürüklenme katsayıları tablolarını, 1900 yılında "Ingalls' Ballistics Tables, Artillery Circular M" adıyla yayımlamıştır [1, 21]. Siacci 1880 yılında düz tabanlı mermilerin yörünge hesaplamalarının yapılması amacıyla, "Siacci Metodu" 'nu öne sürmüştür [22]. Siacci, 1896 yılında Krupp Fabrikası'nda yapılan atışlı testlerin sonuçlarını yayımlamıştır.

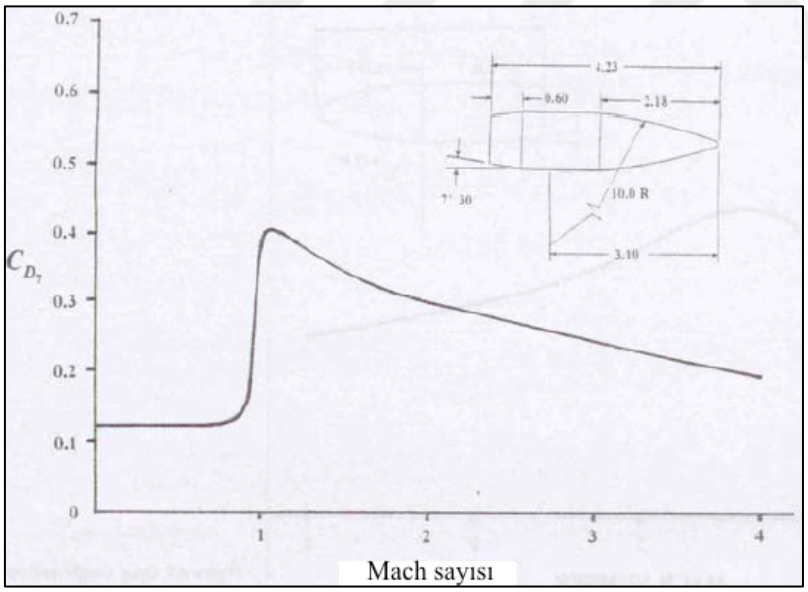
1873 yılından 1898 yılına kadar Fransız Deniz Topçu birliği mensuplarından oluşan Gavre Komisyonu, Belçika'da 1875 yılında geliştirilen kronografı hız ölçümlerinde kullanarak, birçok atış yapmıştır. 1893 yılında Gavre Komisyonu, test mermilerinin geometrilerine bağlı hava sürüklenme katsayılarının grafiklerini oluşturmaya başlamıştır. 1917 yılında Gavre Komisyonu'ndan Gamier, birinci tip referans merminin hava sürüklenme katsayısı eğrilerini yayımlamıştır [23]. Amerikan Ordusu Donatım Birimi'nde görevli Hermann 1926 yılında Gavre Komisyonu tarafından verilen sürüklenme katsayısı fonksiyonunun mermi hız aralığını daha yüksek hızları kapsayacak şekilde genişletmiş, bugün G1 adıyla bilinen mermi geometrisini ortaya çıkarmış, G1 mermi geometrisinin sürüklenme fonksiyonunu tablo haline getirmiştir [24].

Birinci Dünya Savaşı'nın sonuna kadar (1918) tüm uluslar dış balistik hesaplamalarında Şekil 2.2'de C_D eğrileri karşılaştırmalı olarak verilen Ingalls ya da G1 tablolarını kullanmışlardır. [25].

1922-1925 yılları arasında Kent ve Hitchcock ilk önce sürüklenme kuvvetinden G1 mermi geometrisine göre daha az etkilenen, "Tip J" adını verdikleri ve G2 olarak anılan mermi modelini, ilerleyen yıllarda hava direncinden daha da az etkilenecek G5, G6 modellerini ve Şekil 2.3'de sürüklenme katsayısı eğrisi gösterilen G7 mermi modelini tasarlamışlardır. Kent ve Hitchcock G2'den G8'e kadar tüm referans geometrik modellerin sürüklenme eğrilerini yayımlamışlardır [26, 27].



Şekil 2.2. Gavre Komisyonu ile Ingalls ve Mayevski tarafından yayımlanan sürüklenme katsayılarının (C_D) karşılaştırılması [16]



Şekil 2.3. Kent ve Hitchcock tarafından yayımlanan G7 referans geometrisinin sürüklenme katsayısı (C_D) eğrisi [16]

Birinci ve İkinci Dünya Savaşları arasındaki süreçte, aerodinamik sürüklenme direncinin hesaplanmasına yönelik, birçok gelişme meydana gelmiştir. Balistik ölçüm ekipmanları önemli ölçüde iyileştirilmiş, daha uzun, sivri uçlu, düşük sürüklenme katsayısına sahip mermiler tasarlanabilmiştir. Mermilerin süpersonik hızlardaki aerodinamik davranışlarının incelenmesine yönelik yeni bir bilimin ortaya çıkması, hava sürüklenmesinin daha iyi

anlaşılabilmesini sağlamıştır. Birçok devlet, yeni geliştirilen mermilere yönelik sürüklenme katsayısı ölçümleri gerçekleştirmiştir.

G7 ve G8 geometrisi, 1940 yılında İngiliz ordusunda yapılan çalışmalar sonucunda modifiye edilmiştir. G7 ve G8 geometrilerinin 0,5 Mach - 2,8 Mach aralığında aerodinamik testleri gerçekleştirilmiş, G7 konvansiyonel silah sistemlerine, G8 ağır kalibre toplara uygun olarak optimize edilmiştir [28].

Farklı mermi geometrilerinin sürüklenme katsayılarının ölçümüne yönelik başka bir çalışma, geometrilerde iyileştirmeler yapılarak 1953 yılında Murphy tarafından gerçekleştirilmiştir [29].

1970 yılında Chapman ve Kirk merminin hareketini temsil eden altı serbestlik dereceli diferansiyel denklemleri çözmüşler ve mevcut deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır [30].

1969 yılında Whyte tarafından geliştirilen SPINNER adındaki bilgisayar kodu ile geometrik benzeşimi temel alan bir sayısal çözücü kullanılarak, farklı mermi geometrilerinin aerodinamik katsayıları hesaplanmaya çalışılmıştır [31].

İlerleyen bilgisayar teknolojisine bağlı olarak, sayısal çözücülerde de gelişmeler kaydedilmiştir. 1985 yılında Sahu, Nietubicz ve Steger, farklı geometrilerde mermiler için transonik ve süpersonik hızlarda sayısal analizler gerçekleştirmişlerdir [32].

1998 yılında Chen ve diğerleri, doppler radarı kullanarak, en uygun mermi geometrisini geliştirmeye yönelik, sürüklenme katsayılarının deneysel olarak ölçümünü gerçekleştirmişlerdir [33].

17. yüzyıldan başlayarak günümüze kadar dünyada ateşli silah ve mühimmat teknolojisinin gelişim süreci boyunca, bu gelişime bağlı olarak mermi yörüngelerinin hesaplanabilmesi ve mermilerin etkili menzilleri içerisinde verimli kullanılabilmesi amacıyla, birçok çalışma yapılmıştır. Teorik alanda yapılan çalışmalar, gelişen imalat ve bilgisayar teknolojisi ile birleşerek aerodinamik açıdan daha stabil mermilerin ve yüksek vuruş hassasiyetine sahip

silahların üretilebilmesini, ileri düzeyde test ölçüm ve ekipmanlarının kullanılabilmesini, hız ölçümlerinin yüksek hassasiyetle yapılabilmesini, sayısal çözücülerle hesaplamaların yapılabilmesini mümkün kılmıştır.

2.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Literatür araştırmalarından da anlaşıldığı üzere yüzyıllardır askeri alanda etkili menzilleri içerisinde mermi yörüngelerinin doğru bir biçimde hesaplanabilmesi amacıyla pek çok teorik ve deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmaların önemli bir kısmı merminin havadaki yörüngesini belirleyen en etkili parametrelerden birisi olan mermi sürüklenme Katsayısının (C_D) belirlenmesi üzerinedir. Bu noktada sahada kolaylık olması adına referans mermini kavramı oluşturularak mermilerin sürüklenme katsayıları referans mermi temelli ifade edilmiştir. Ayrıca direkt olarak sürüklenme katsayıları ile ilintili merminin balistik katsayıları (BC) tanımlanmıştır. Balistik Katsayı değeri merminin referans mermiye kıyasla hava direncinin bir ölçütü olup balistik katsayısı bilinen herhangi bir merminin yörüngesi de doğru bir biçimde ve kolaylıkla hesaplanabilir.

Bu noktada merminin yörüngesinin doğru olarak hesaplanabilmesi için balistik katsayısının da doğru olarak belirlenmesinin önemi vurgulanmalıdır. Ancak balistik katsayının sabit bir değer olmayıp merminin yörüngesi boyunca hızına bağlı olarak değiştiğini de göz ardı etmemek gerekir. Önemli diğer bir husus ise ele alınan merminin referans mermi ile geometrik olarak ne kadar benzeşip benzeşmediğidir. Ele alınan mermi geometrik olarak referans mermiye ne kadar çok benziyorsa belirlenen balistik katsayı/katsayılar ile hesaplanacak yörünge de o derece doğru olacaktır.

7,62 mm çapta hafif silah mühimmatları ülkemiz askeri envanterinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu mühimmatlar için hali hazırda üretici firma tarafından yalnızca G1 referans mermisine göre tek bir balistik katsayı değeri bildirilmektedir. Merminin geometrisi G7 referans mermisine daha çok benzediği halde G7 referans mermisine göre balistik katsayı değeri verilmemektedir.
Firmanın mermi için G1'e göre bildirdiği balistik katsayı değeri kullanılarak oluşturulan yörünge hesabına dayanan balistik atış cetvelleri yardımıyla yapılan bilhassa uzun menzil

atışlarında saha tecrübelerinden bilindiği üzere yeterli doğruluk performansı elde edilememektedir. Yukarıdaki açıklamaların ışığında bunun muhtemel iki ana sebebinin olduğu düşünülmektedir. Birincisi, G1 referans mermisinin söz konusu mermiyi geometrik olarak yeterli doğrulukla temsil edememesine rağmen balistik katsayı değerinin bu referans mermiye göre verilmiş olması; ikincisi ise bu geometrik benzersizliğe rağmen tek bir balistik katsayı değerinin bildirilmiş olmasıdır.

Ortaya konulan bu probleme çözüm getirmek hedefiyle, bu tezde deneysel yöntemleri kullanarak 7,62 mm dönü kararlı hafif silah mühimmatı mermisi için balistik katsayıların belirlenmesi ve doğrulanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda izlenen yöntemin özellikle ülkemiz askeri envanterindeki tüm dönü kararlı hafif silah mühimmatlarına uygulanabileceği değerlendirilmektedir.

Tez kapsamında yapılan çalışmaların ilk aşamalarında ele alınan 7,62 mm kalibre dönü kararlı hafif silah mühimmatı mermisinin sürüklenme katsayıları Doppler radarı ile deneysel olarak ölçülmüştür. Bu aşamada elde edilen sürüklenme katsayıları verilerinden merminin G1 referans mermisine göre beş farklı hız aralığı için beş farklı balistik katsayı değeri, G7 referans mermisine göre ise tek bir balistik katsayı değeri hesaplanmıştır.

Daha sonra merminin hem üretici tarafından bildirilen hem de deneysel yolla belirlemiş olduğumuz tüm balistik katsayılarına göre Quick Target balistik yazılımı kullanılarak menzil, rakım, sıcaklık ile rüzgâr hız ve yönüne göre kullanıcı için optik sistem düzeltme parametrelerini içeren balistik cetveller oluşturulmuştur.

Nihai aşamada ise üreticinin G1 için bildirdiği tek bir balistik katsayı, deneysel yolla G1 için beş farklı hız aralığı için belirlediğimiz balistik katsayılar ve yine deneysel yolla G7 için belirlediğimiz balistik katsayıya göre oluşturulmuş balistik cetveller kullanarak 300 m, 550 m, 750 m ve 800 m hedef mesafelerine atışlar yapılmış ve bu atışların doğruluk performansları mukayeseli olarak irdelenmiştir.

3. BALİSTİK KATSAYI

"Balistik katsayı" birçok silah kullanıcısının aşina olduğu bir terimdir. Atıcılar merminin balistik katsayısının merminin hava direncinden ne kadar etkilendiğinin bir ölçüsü olarak belirlendiğini bilmektedirler. Ancak yalnızca çok az sayıda kullanıcı balistik katsayı teriminin tam olarak ne anlama geldiğini bilmektedir. 1970'lere kadar balistik katsayı hakkında çok az sayıda akademik çalışma bulunmasına rağmen bu tarihten itibaren birçok yazar tarafından balistik katsayı ile ilgili makaleler yayımlanmıştır.

3.1. Balistik Katsayının Belirlenmesi

Balistik katsayı fikri, balistik uzmanlarının iki yüzyıla yakın çalışmaları sonucunda hava sürüklenmesi teriminin, bu sürüklenmenin ve atmosferik koşulların uçuş halindeki mermiye olan etkilerinin anlaşılabilmesi ve mermi yörüngesinin hesaplanabilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Balistik katsayı değeri tüm dönü kararlı hafif silah mühimmatları için kullanılan ortak bir değer olup bu değer ile kullanıcı elindeki herhangi bir mühimmatın farklı atmosferik koşullara, rüzgâr hızına ve yönüne göre değişen yörüngesini yazılımlar yardımıyla elde edebilmektedir. Bu yörünge, kullanıcının atışları esnasında pratik olarak kullanabileceği ve optik sistemini kalibre edebileceği balistik cetvellere de dönüştürülebilir. Dönü kararlı hafif silah mühimmatı mermisinin balistik katsayısı, her zaman bir referans geometri (G1, G7) temel alınarak belirlenir. Dönü kararlı hafif silah mühimmatının balistik katsayısının belirlenebilmesi için, merminin yörüngesi boyunca sahip olduğu hız değerlerinin (veya hız değişiminin) bilinmesi gerekmektedir. Bu hız ölçümleri, mermi üreticileri ve kullanıcılar tarafından kronograf, doppler radarı gibi muhtelif yöntemler kullanılarak yapılmaktadır [34].

Mermi yörüngelerinin yüksek doğrulukta hesaplanmaya çalışıldığı dönemde matematikte ve fizikte teorik gelişmeler kaydedilmesiyle birlikte, hava direncinin anlaşılabilmesi amacıyla sayısız deney de yapılmış, öncelikle "Referans mermi" fikri ortaya çıkmıştır. Bu fikrin ortaya çıkmasının temel nedeni, tüm mermiler için kullanılabilecek bir hava direnci ölçek katsayısının elde edilebilmesidir.

$$\text{Mermideki hava direnci} = (d^2_{\text{mermi}} / m_{\text{mermi}}) \tag{3.1}$$

d_{mermi} : Merminin çapı (in)
m_{mermi} : Merminin kütlesi (lb)

Referans mermideki hava direnci = $d^2_{referans\ mermi} / m_{referans\ mermi}$ (3.2)

$d_{referans\ mermi}$: Referans merminin çapı (in)
$m_{referans\ mermi}$: Referans merminin kütlesi (lb)

olarak tanımlanmıştır. Eşitlik 3.1. ve Eşitlik 3.2. kullanılarak;

$$k = (d^2_{mermi} / m_{mermi}) / (d^2_{referans\ mermi} / m_{referans\ mermi}) \quad (3.3)$$

k : Hava direnci ölçek katsayısı (birimsiz)

olarak hesaplanmıştır.

Bu yaklaşım işe yaramış, Eşitlik 3.3'deki "k" hava direnci ölçek katsayısı sonunda merminin çapı ve kütlesinin, referans merminin çapı ve kütlesine oranlanmasıyla hesaplanabilmiştir. Referans merminin çapı 1 in ve kütlesi 1 lb alınmıştır. Bu, Eşitlik 3.3'deki paydanın 1'e eşit olması anlamına gelmektedir. Yani

$$(d^2_{referans\ mermi} / m_{referans\ mermi}) = 1 \quad (3.4)$$

olur.

Bu durumda, merminin çapı in, kütlesi lb cinsinden ölçüldüğünde, hava direnci ölçek katsayısı Eşitlik 3.5'deki gibi hesaplanır.

$$k = (d^2_{mermi} / m_{mermi}) \quad (3.5)$$

Eşitlik 3.5 ile hesaplanan "k" hava direnci ölçek katsayısının birimsiz olacağı gözden kaçırılmamalıdır [6].

Referans mermi fikri balistik katsayının başlangıcını oluşturmuş, büyük teorik sadeleştirmelerin yapılabilmesine olanak tanımıştır. Bu fikir kilometre taşı olarak nitelendirilebilecek bir gelişme olarak kaydedilmiştir.

İlerleyen dönemlerde Eşitlik 3.5'de gösterildiği şekilde hesaplanan hava direnci ölçek katsayısının mermi için istenilen hassasiyeti vermediği tespit edilmiştir. Bu duruma, daha önce mermi hareketine etkisi ihmal edilen mermi geometrisinin neden olduğu anlaşılmıştır. Mermi geometrisinin hava sürüklenme kuvvetine dolayısıyla hava direncine olan etkisini hesaba katmak amacıyla, Eşitlik 3.5'e bir "form faktörü" eklenmiştir. Bu "form faktörü" genellikle "i" harfi ile gösterilmekte ve Eşitlik 3.5 aşağıdaki forma dönüşmektedir.

$$k = (i * d^2_{mermi} / m_{mermi}) \tag{3.6}$$

k : Hava direnci ölçek katsayısı (birimsiz)
i : Form faktörü (birimsiz)
d_{mermi} : Merminin çapı (in)
m_{mermi} : Merminin kütlesi (lb)

Eşitlik 3.6'daki form faktörü "i", hava direnci ölçek katsayısı olan "k" 'nın belirlenmesinde kullanılan bir başka sabittir. Merminin sürüklenme katsayısının referans merminin sürüklenme katsayısına bölünmesiyle Eşitlik 3.7 elde edilmektedir.

$$i = \frac{C_D}{(C_D)_G} \tag{3.7}$$

i : Form faktörü (birimsiz)
C_D : Merminin sürüklenme katsayısı (birimsiz)
$(C_D)_G$: Referans merminin sürüklenme katsayısı (birimsiz)

Tüm bu gelişmelerden sonra balistik katsayı, Eşitlik 3.8'de verildiği üzere ile hava direnci ölçek katsayısının tersi olarak tanımlanmıştır:

$$BC = \frac{1}{k} = [\, m_{mermi} / (i * d^{2}_{mermi}) \,] \quad (3.8)$$

BC : Balistik katsayı (birimsiz)

k : Hava direnci ölçek katsayısı (birimsiz)

i : Form faktörü (birimsiz)

m_{mermi} : Merminin kütlesi (lb)

d_{mermi} : Merminin çapı (in)

Daha büyük olan değerin daha iyi olduğu kanısının toplumda yerleşmiş olması, hava direnci ölçek katsayısının tersinin alınmasına sebep olmuştur. İki mermi karşılaştırılırken, daha küçük balistik katsayıya sahip olan mermi daha fazla hava direncine maruz kalırken, daha büyük balistik katsayıya sahip olan mermi daha az hava direncine maruz kalır. Bu nedenle kullanıcılara balistik katsayı değeri daha büyük olan merminin, balistik performansının daha iyi olduğu, rahatlıkla aktarılabilmiştir. Mermi kütlesi birimi pound ile merminin çapı birimi inç ile balistik katsayı ise birimsiz olarak ifade edilmektedir [35].

Mermi kütlesinin mermi çapının karesine oranı, kesit yoğunluğu (SD) olarak adlandırılmaktadır. Böylece balistik katsayı, Eşitlik 3.10 ile gösterilen kesit yoğunluğunun form faktörüne bölümü sonucunda Eşitlik 3.9 ile hesaplanmaktadır.

$$BC = SD \,/\, i \quad (3.9)$$

BC : Balistik katsayı (birimsiz)

SD : Kesit yoğunluğu (lb / in^2)

i : Form faktörü (birimsiz)

$$SD = m / d^2 \quad (3.10)$$

d : Merminin en büyük kesit çapı (in)

m : Merminin kütlesi (lb)

Mermi üzerindeki hava direnci, her zaman merminin kütlesi ve çapıyla ölçülememektedir. Deneysel olarak form faktörünün sabit olmadığı, farklı hız bölgelerinde değişim gösterdiği görülmüştür. Buna bağlı olarak, tüm mermilerin balistik katsayılarının mermi hızı ile değiştiği tespit edilmiştir [36].

Yörünge hesabının yapılması amacıyla, her referans hava sürüklenme katsayısı, sayılardan meydana gelen bir tablo haline getirilmiştir. Tablodaki her çift girdi ölçümün yapıldığı noktadaki referans merminin hızından ve referans mermideki yavaşlama ivmesi değerinden oluşmaktadır. Her referans merminin kendi şekil formuna özgü referans hava direnci fonksiyonu oluşturulmuştur.

Her bir hava direnci fonksiyonu G harfinin önüne rakam ekleyerek G1'den başlayarak adlandırılmıştır. G harfi, 1873'ten 1898'e kadar atış testleri yapmış ve diğer ülkelerden gelen atış test verilerinin analizini gerçekleştirmiş, Fransa'daki Gavre Komisyonu onuruna seçilmiştir.

3.2. Balistik Katsayının Belirlenmesinde Atmosferik Koşulların Etkileri

Mermi üzerine etkiyen sürüklenme kuvvetinin;

$$F_D = \frac{1}{2}\rho V^2 C_D A \tag{3.11}$$

olduğu bilinmektedir.

F_D : Sürüklenme Kuvveti (Newton veya lb_f)

ρ : Akışkanın yoğunluğu ($\frac{kg}{m^3}$ veya $\frac{lb_m}{ft^3}$)

V : Merminin kesit alanına dik hızı $\left(\frac{m}{s} \text{ veya } \frac{ft}{s}\right)$

C_D : Sürüklenme katsayısı (birimsiz)

A : Merminin en geniş kesit alanı (m^2 veya ft^2)

Eşitlik 3.11'den anlaşılacağı gibi sürüklenme kuvveti değeri, artan hava yoğunluğu, mermi kesit alanı, mermi hızı ve sürüklenme katsayısı değerlerine bağlı olarak artmaktadır.

Newton'un hareket denklemi

$$F = ma \tag{3.12}$$

şeklinde olup bu denklem Eşitlik 3.11'de yerine koyulursa "a" ivmesi

$$a = \frac{\rho V^2 C_D A}{2m} \tag{3.13}$$

olarak elde edilir. Eşitlik 3.12 ve Eşitlik 3.13'deki "a" ivmesi yavaşlama ivmesidir. Görüldüğü gibi yavaşlama ivmesi hava yoğunluğu ile doğru orantılı olarak artmakta ve azalmaktadır. İdeal gaz denklemi

$$\rho_{\text{kuru hava}} = \frac{p_{\text{hava}}}{R.T} \tag{3.14}$$

olarak ifade edilir. Burada

$\rho_{\text{kuru hava}}$: Hava yoğunluğu ($\frac{kg}{m^3}$)

p_{hava} : Hava basıncı (Pa)

R : Kuru hava gaz sabiti ($287{,}05 \frac{J}{kg°K}$)

T : Hava sıcaklığı (°K)

Eşitlik 3.14'den anlaşılacağı gibi, sıcaklığın düşüşü ve basıncın yükselmesiyle birim hacimdeki hava molekülü miktarı artacağından, hava yoğunluğu da artmaktadır. Basınca benzer şekilde, havadaki nem oranının artışı da hava yoğunluğunu artırmaktadır. Hava yoğunluğunun artması, dönü kararlı mermi üzerindeki hava sürüklenme kuvvetinin ve dolayısıyla dönü kararlı merminin yavaşlama ivmesinin artmasına sebep olacaktır [37].

Hava bir gazdır ve herhangi bir gazın en önemli özelliklerinden biri kendi içinden geçen sesin hız değeridir. Mach sayısı, cismin hızının bulunduğu atmosferik koşullardaki ses hızına oranı olarak Eşitlik 3.15'de tanımlanmıştır [38].

$$M = \frac{\mu}{c} \tag{3.15}$$

M : Mach sayısı (birimsiz)
μ : Cismin hızı (m/s)
c : Ses hızı (m/s)

M < 1 olduğu bölge, ses altı bölge; 0,8 < M < 1,2 olduğu bölge, transonik bölge; M > 1,2 olduğu bölge ses üstü bölge olarak adlandırılmaktadır. Sürüklenme kuvveti denkleminde yer alan C_D (sürüklenme katsayısı) Mach sayısına bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanmıştır [39].

Dönü kararlı merminin sürüklenme katsayısı merminin tasarım parametrelerine ve Mach sayısına göre değişim gösteren birimsiz bir katsayıdır [40]. Ses hızı deniz seviyesinde 1 atm basınçta, 15 °C derece sıcaklıkta ve % 50 bağıl nemde 340 m/s'dir ve hava özelliklerine (sıcaklık, basınç ve nem) bağlı olarak değişim göstermektedir. Dolayısıyla, test numunelerinin sürüklenme katsayılarının ölçülerek, farklı hız bölgelerinde, farklı referans geometrik modellere (G1 ve G7) göre balistik katsayılarının hesaplandığı, balistik tabloların hazırlandığı, hazırlanan balistik tablolara göre doğruluk performansının ölçülmesi amacıyla atışların yapıldığı deneysel çalışmalarda, atmosferik koşulların bilinmesi ve hesaplamalarda kullanılması büyük önem arz etmektedir [40].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez kapsamındaki deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiş olup birinci aşamada doppler radarı kullanılarak deney numunelerinin sürüklenme katsayıları belirlenmiştir. İkinci aşamada sürüklenme katsayıları kullanılarak hesaplanan balistik katsayılarla oluşturulan atış cetvellerine göre atışlı performans testleri gerçekleştirilmiştir.

Deneylerin gerçekleştirilmesi amacıyla, temin edilen deney ekipmanları, kullanılan sistemler ve deney aşamaları bu bölümde detaylı olarak açıklanacaktır.

4.1. Deneysel Altyapı

Tez çalışması süresince deneylerde kullanılan ve deneysel altyapıları oluşturan cihaz ve ekipmanlar aşağıda anlatılmıştır.

4.1.1. Deney numunesi: 7,62 mm kalibre hafif silah mühimmatı

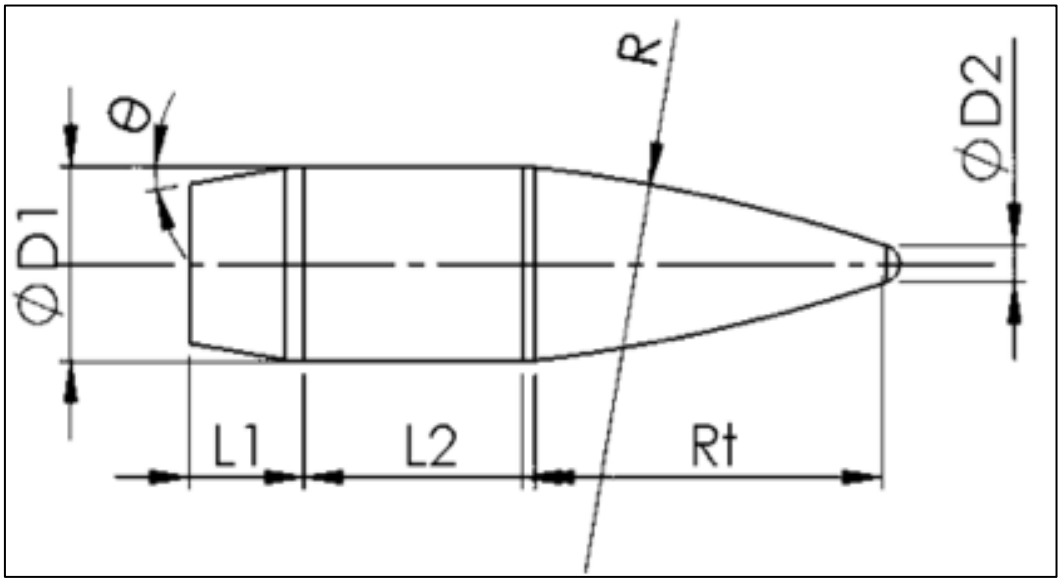
Deneysel çalışmalarda deney numunesi olarak, Resim 4.1'de gösterilen 7,62 mm kalibre dönü kararlı hafif silah mühimmatı kullanılmıştır.



Resim 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan hafif silah mühimmatları

Dönü kararlı mermiye sahip hafif silah mühimmatları, “inç” veya “milimetre” cinsinden kalibre değerleri ve kovan boyları ile anılır. Birim olarak “inç” kullanıldığında, merminin en büyük kesit çapı değeri; “milimetre” kullanıldığında, merminin kullanılacağı yivli-setli namlunun iki seti arasındaki en kısa mesafe, kalibre değeri olarak anlaşılmalıdır. Ayrıca birim olarak “inç” kullanıldığında yalnızca kalibre değeri ile anılırken, “milimetre” kullanıldığında hem kalibre hem de kovan boyu değeri aralarına “x” işareti konularak birlikte ifade edilirler [4].

7,62 mm kalibre hafif silah mühimmatının dönü kararlı mermisinin, doppler radarı kullanılarak sürüklenme katsayılarının ölçüldüğü deneysel çalışmanın birinci aşamasında gerçekleştirilen testlerde kullanılmak üzere, Fişek Fabrikası’nda hazırlanan 100 adet hafif silah mühimmatının aksamları, imalattan kaynaklanabilecek hataların minimize edilmesi amacıyla, seri üretim bandındaki aynı kafileden özel olarak seçilerek imla edilmiştir. Merminin namlu çıkış hızını ve uçuş parametrelerini (yavaşlama ivmesi, sürüklenme katsayısı, hücum açısı) doğrudan etkileyeceği bilinen 7,62 mm kalibre hafif silah mühimmatı fiziksel özellikleri (mühimmatın boyu, çapı ve kütlesi), mühimmatın aksamlarının fiziksel özellikleri (mermi kütlesi, barut kütlesi, barut tanecik çapı ve nem oranı, kovan boyu ve çapı), merminin Şekil 4.1’de gösterilen geometrik ölçüleri (mermi boyu ve çapı, mermi ojiv yarıçapı, mermi burun boyu ve çapı, mermi kuyruk boyu ve açısı, mermi gövde boyu) gerekli ölçümler yapılarak Çizelge 4.1’de belirtilen tolerans aralıklarında tutulmuştur.



Şekil 4.1. Çalışmada incelenen 7,62 mm kalibre dönü kararlı merminin geometrisi

Çizelge 4.1. Çalışmada incelenen hafif silah mühimmatının fiziksel özellikleri

Hafif Silah Mühimmatı Komplesi	
Hafif silah mühimmatı boyu	71,12 mm – 0,2 mm
Hafif silah mühimmatı kütlesi	24,5 g ± 1 g
Mermi	
Mermi irtibat kuvveti	min. 27 kgf
Mermi çapı (D1)	7,836 mm – 0,035 mm
Mermi boyu (L)	30,30 mm – 0,30 mm
Mermi kuyruk boyu (L1)	4,44 mm – 0,04 mm
Mermi kuyruk açısı (θ)	9° – 0,1°
Mermi gövde boyu (L2)	6,05 mm – 0,05 mm
Mermi burun boyu (Rt)	19,48 mm – 0,20 mm
Mermi burun çapı (D2)	1,5 mm – 0,01 mm
Ojiv yarıçapı (R)	76,2 mm – 0,20 mm
Mermi malzemesi	Tombak-Kurşun çekirdek (Kurşun-Antimon alaşımı)
Mermi kütlesi	9,55 g ± 0,05 g
Barut	
Barut tipi	Küresel
Barut tanecik çapı	0,06 mm – 0,36 mm
Barut hakkı (kütlesi)	2,740 g – 0,02 g
Barut nem oranı	% 0,8 - % 1,0
Kovan	
Kovan malzemesi	Pirinç (CuZn28 veya CuZn30)
Kovan boyu	51 mm – 0,05 mm

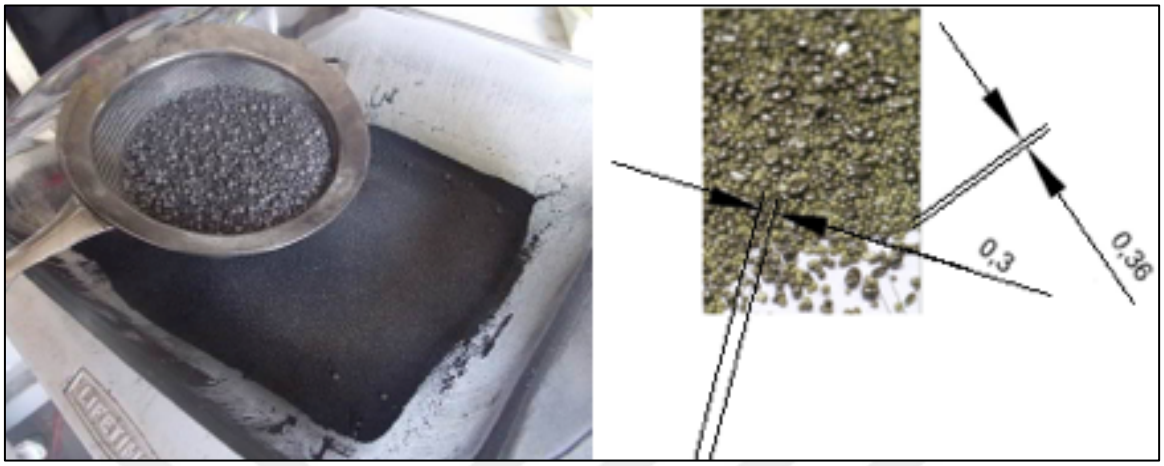
Resim 4.2'de gösterilen mermilerin uçuş parametreleri (hızı, konumu, yavaşlama ivmesi, sürüklenme katsayısı vb.) doppler radarı kullanılarak ölçülmüş, ölçülen bu parametreler doğrultusunda farklı hız bölgeleri belirlenerek bu bölgeler için, farklı referans geometrik modellere (G1 ve G7) göre balistik katsayıları belirlenmiştir. Doğru açıda ateşleme yapılamaması, doppler radarının ölçüm alamaması, veri toplama sisteminden ve bilgisayardan alınan hatalar ve benzeri sebeplerden ötürü ölçümler esnasında çok sayıda fire verilmiştir.



Resim 4.2. Birinci deneysel çalışmada kullanılan numune deney mermileri

Belirlenen balistik katsayılar doğrultusunda, balistik tablolar hazırlanmıştır. Balistik tablolara göre dönü kararlı mermilerin doğruluk performansının ölçülmesi amacıyla atışlı testlerin yapıldığı deneysel çalışmanın ikinci aşamasında, Fişek Fabrikası seri üretim hattından toplam 200 adet hafif silah mühimmatı rastgele seçilmiştir.

Küresel barutlar aynı kafileden Çizelge 4.1'de verilen tanecik çapı tolerans aralığına uygun olarak Resim 4.3'de gösterildiği gibi elenmiştir.



Resim 4.3. Deney numunesi mühimmatlarında kullanılan barutun eleme işlemi ve tanecik boyutları

Barutlar Resim 4.4'de gösterildiği gibi Çizelge 4.1'de verilen ağırlık tolerans aralığına uygun olarak tartılmış, kovanlara dolumu hassas terazi ve huni kullanılarak elle yapılmıştır.



Resim 4.4. Deney numunesi mühimmatlarında kullanılan barutun tartılma ve kovanlara doldurulma işlemi

Hafif silah mühimmatı aksamlarının bütünlenmesi anlamına gelen imla işleminin ardından, çeşitli mastarlar ve ölçüm cihazları yardımıyla her bir deney numunesinin geometrik ölçüleri ve kütlesi kontrol edilmiştir.

4.1.2. Keskin nişancı tüfeği

Askeri alanda, yüksek vuruş hassasiyetinin amaçlandığı kritik hedeflere karşı, sürgülü veya yarı-otomatik mekanizma ile çalışan, genellikle mekanik veya elektro-optik sistemlerin entegre edilebildiği, kendi kalibresindeki diğer tüfeklere nazaran daha uzun ve daha yüksek et kalınlığında namluya sahip, kullanımı uzmanlık gerektiren muhtelif kalibrelerde keskin nişancı tüfekleri kullanılmaktadır. Keskin nişancı tüfekleri tasarlanırken, etkili menzilin artırılmasına ve yüksek vuruş hassasiyetinin yani düşük dağılım değerinin sağlanmasına öncelik verilmektedir. Deneysel çalışmalarda, Resim 4.5'de gösterilen 7,62 mm keskin nişancı tüfeği kullanılmıştır.

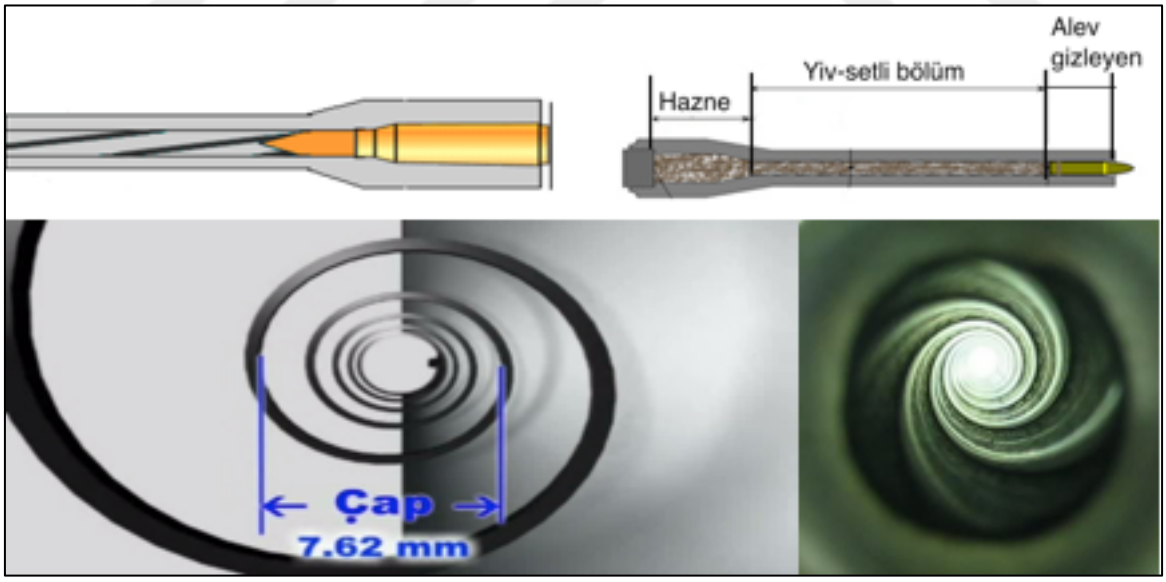


Resim 4.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan keskin nişancı tüfeği

Yivli hafif silahlarda merminin namluyu terk ettikten sonraki uçuş sürecinde, hava sürüklenme kuvvetinin mermi üzerindeki etkilerini minimize etmek amacıyla, mermiye dönü hareketi verilmesi amaçlanmaktadır. Bunu sağlamak için belirli bir çapa sahip mermi, kendisinden daha küçük çapa sahip, helisel yivli-setli bir namlu boyunca harekete zorlanmaktadır.

Namlu iç yüzeyinde namlu boyunca uzanan helisel çıkıntı şeklindeki setler, tasarım kriterlerine bağlı olarak farklı sayıda olabilir. Deneysel çalışmada kullanılan keskin nişancı tüfeğinin kalibresi 7,62 mm olup namluda 4 adet sağ yönlü yiv-set mevcuttur. Deney numuneleri olarak kullanılan dönü kararlı mermilerin en büyük çap ölçüsü 7.83 mm'dir.

Mermi, namluyu terk edinceye kadar Şekil 4.2'de gösterilen namlunun iç yüzeyinde, namlu boyunca uzanan helisel setlere sürtünerek hareketine devam eder. Setlere sürtünmesinin sonucunda dönü hareketi kazanan mermi, namludan ayrıldıktan sonraki uçuş sürecinde hava sürüklenme kuvvetine karşı dirençli hale gelir ve hedefe karşı delme etkinliği kazanır.



Şekil 4.2. Yivli hafif silah namlusunun kesit görünüşü

Yivli hafif silahlarda dönü kararlı merminin namlu ekseni boyunca devam eden hareketinde kendi ekseni etrafında tamamlaması istenilen tur sayısı ile namlu boyu, hedeflenen etkili menzile göre belirlenir. Keskin nişancı tüfeklerinin namluları, piyade tüfeklerine göre daha uzundur. Namlu iç yüzeyinde namlu boyunca uzanan setlerin bir tam

turunu tamamladığındaki uzunluk değeri olan “dönü oranı”, keskin nişancı tüfeklerinin namlularında piyade tüfeklerinin namlularına göre daha düşüktür. Bunun sebebi, keskin nişancı tüfeği namlularının, mermileri hedeflenen menzilde etkili kılabilmek amacıyla, mermilere yeterli dönüyü verebilecek uzunlukta olmalarıdır. Namludaki dönü oranı değerinin azaltılması, merminin dış atmosferdeki yalpalanmasının, minimal düzeyde tutulmasını sağlar. Dönü oranı inç mertebesinde “1/x (inç)” olarak ifade edilir. Burada “x” merminin setlere sürtünerek kazandığı dönüyle 1 tam tur dönüşünü tamamladığı anda aldığı doğrusal mesafeyi ifade eder. Deneylerde kullanılan keskin nişancı tüfeğinin namlusunun boyu 660 mm, dönü oranı 1/12’dir.

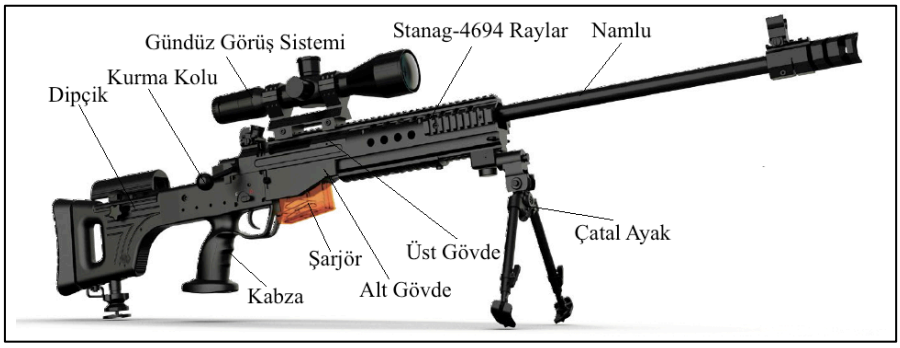
Keskin nişancı tüfeğinin namlusu diğer tüfek namlularına nazaran daha büyük et kalınlığında tasarlanır. Böylece, atış esnasındaki salınım azaltılarak hedefteki dağılım iyileştirilir. Kullanılan keskin nişancı tüfeğinin namlusunun et kalınlığı 10 mm’dir. Diğer taraftan piyade tüfeklerinin uzun süre taşınabilir olması gerektiğinden ağırlıklarının belirli bir mertebede tutulması da gerekmektedir.

Deneysel çalışmalarda yivli hafif silah olarak kullanılan 7,62 mm çapta keskin nişancı tüfeği, kullanıcının her defasında kendi kol gücünü kullanarak sistemi kurduğu “bolt-action” adı ile bilinen sürgülü mekanizmaya sahiptir. Sürgülü mekanizmalı bu keskin nişancı tüfeğinde, fişek kovanındaki barutun yanmasıyla oluşan basınçlı barut gazının oluşturduğu toplam kuvvetin geri tepmede harcanan kısmı hariç tamamı, mermiye namlu ekseni boyunca itki kuvveti olarak etkir. Böylece menzil maksimize edilmiş olur. Oysa piyade tüfeklerinde yarı-otomatik veya seri atış modu bulunması gerektiğinden, kullanılan mekanizma yardımıyla fişek kovanındaki barutun yanmasıyla ortaya çıkan basınçlı barut gazının bir bölümü namlu boyunca mermiye itki kuvveti oluştururken, bir bölümü farklı tahliye yöntemleri ile sistemin her defasında yeniden kurulması için kullanılmakta, bir bölümü de geri tepme kuvveti olarak kullanıcıya etki etmektedir. Bu nedenle piyade tüfeklerindeki mermiye namlu ekseni boyunca etki eden itki kuvveti, sürgülü mekanizma kullanan keskin nişancı tüfeğine nazaran daha az olmaktadır.

Kullanılan keskin nişancı tüfeğinin uzunluğu, 1.220 mm - 1.265 mm aralığında ayarlanabilmektedir. Tüfeğin kütlesi 6.5 kg’dır. Dipçik boyu ve yüksekliği ayarlanabilmektedir. Tüfek üzerindeki STANAG-4694 standardındaki raylara gündüz görüş sistemi, gece görüş sistemi, termal görüş sistemi, lazer noktalayıcı gibi elektro-optik

cihazlar takılabilmektedir. Deneysel çalışmada, tüfek üzerine 3 kat büyütmeden 12 kat büyütmeye kadar yakınlaştırma-uzaklaştırma yapabilen, 50 mm objektif çapına sahip bir gündüz optik sistemi monte edilmiştir.

Deneylerde kullanılan keskin nişancı tüfeği, Resim 4.6'da verilmiş ve tüfeği oluşturan kısımlar üzerinde belirtilmiştir. Kullanıcının keskin nişancı tüfeği ile hedefine doğru nişan alabilmesi ve ateş edebilmesi için omzuna dayayarak destek aldığı, kendi vücudunun ve tüfeğin pozisyonunu ayarladığı kısım dipçik olarak adlandırılır. Mekanizmaya yataklık eden, namlunun, alt gövdenin ve dürbünün monte edildiği kısım üst gövde, şarjöre ve emniyet mandalına yataklık eden, kabzanın ve çatal ayağın monte edildiği parça alt gövde olarak adlandırılır. Kabza, tetik mekanizmasına yataklık eden ve kullanıcının tetiği çekerken kavradığı parçadır. Şarjör, fişeklerin namlu haznesine sürülebilmesi için fişeklere yataklık eden ve alt gövdeye monte edilen parçadır. Sistemin kurulması, şarjördeki fişeklerin namlu haznesine sürülmesi ve haznede patlayan fişeğin boş kovanının dışarı atılması amacıyla, her defasında kullanıcı tarafından ileri-geri hareket ettirilen parçalar, mekanizma ve ona bağlı kurma koludur. Kullanıcının yatarak atış yapabilmesi amacıyla, tüfeğin zeminde istenilen pozisyonda sabitlenebilmesini sağlayan ve alt gövdeye monte edilen parça, çatal ayak olarak adlandırılır. Pikatini raylar, çeşitli optik sistemlere ve aksesuarlara yataklık eden, üst gövdenin üst ve yan kısımlarındaki ara yüzlerdir. Namlu, atış esnasında fişeklere yataklık eden, dönü kararlı merminin hedefe isabet ettirilmesi amacıyla, mermi hareketine yön veren ve iç yüzeyindeki setlerle, merminin dönü hareketini kazanmasını sağlayan parçadır.

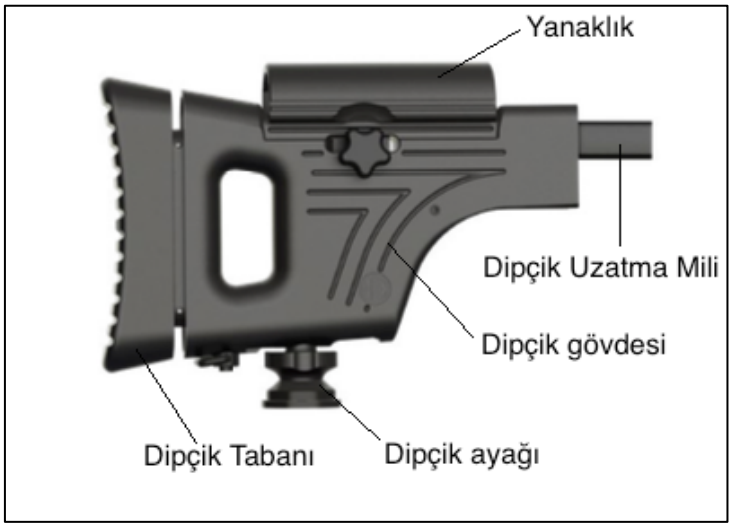


Resim 4.6. Keskin nişancı tüfeği ve kısımları

Deneylerde kullanılan keskin nişancı tüfeğinin namlusu krom, molibden ve vanadyum alaşımlı çelikten üretilmiştir. Namlu kullanıldıkça, iç yüzeyindeki setlere sürtünerek dönü

hareketi kazanan mermiler setleri aşındırmakta, set yüzeyleri bozulmakta ve setler arasındaki mesafe açılmaktadır. Setler arasındaki mesafenin belirli bir düzeyin üzerine çıkması sonucunda, namlu mermiye gerekli dönüyü kazandıramamakta ve kullanılamaz hale gelmektedir Bu sebeple, testlerde namludaki aşınmadan kaynaklı hataların minimize edilmesi amacıyla, atış yapılmamış yeni bir namlu kullanılmıştır.

Resim 4.7'de gösterilen dipçik, kullanıcının keskin nişancı tüfeği ile hedefine doğru nişan alabilmesi ve ateş edebilmesi için omzuna dayayarak destek aldığı, kendi vücudunun ve tüfeğin pozisyonunu ayarladığı kısımdır. Dipçik üzerindeki kalibrasyon amaçlı kullanılan tüm mekanizmalar, dipçik gövdesi üzerinde yer almaktadır. Kullanıcı, dipçik tabanı adı verilen parçayı kendi omzuna dayayarak destek alır. Atış esnasında fişek kovanı içerisinde patlayan barut gazının oluşturduğu geri tepme kuvvetini, dipçik tabanı dipçik gövdesi ile arasında yer alan yaylar sayesinde sönümler. Kullanıcının doğru nişan alabilmesi için, dipçik tabanını omzuna dayayarak, gözünü dürbünün oküler ekseni hizasında, gözü ile oküler ünitesi arasında 60-80 mm mesafe kalacak şekilde sabitlemesi gerekir. Bu amaçla kullanıcı öncelikle dipçik gövdesini, kendi kolunun boyuna göre dipçik mili üzerinde ileri-geri hareket ettirerek, istediği noktada sabitler. Kullanıcı dürbünden nişan alabilmek amacıyla, yanağını dipçik gövdesi üstünde yer alan ve dikey doğrultuda aşağı-yukarı yönde ayarlanabilen yanaklık adı verilen parçaya dayamaktadır. Kullanıcı hedefe nişan aldıktan sonra, tüfeği istediği pozisyonda sabitleyebilmek için, dipçik gövdesinin alt kısmında yer alan dipçik ayağı yüksekliğini de ayarlar. Böylelikle, doğru nişan alabilmek ve atış yapabilmek için gerekli kalibrasyonları tamamlamış olur.

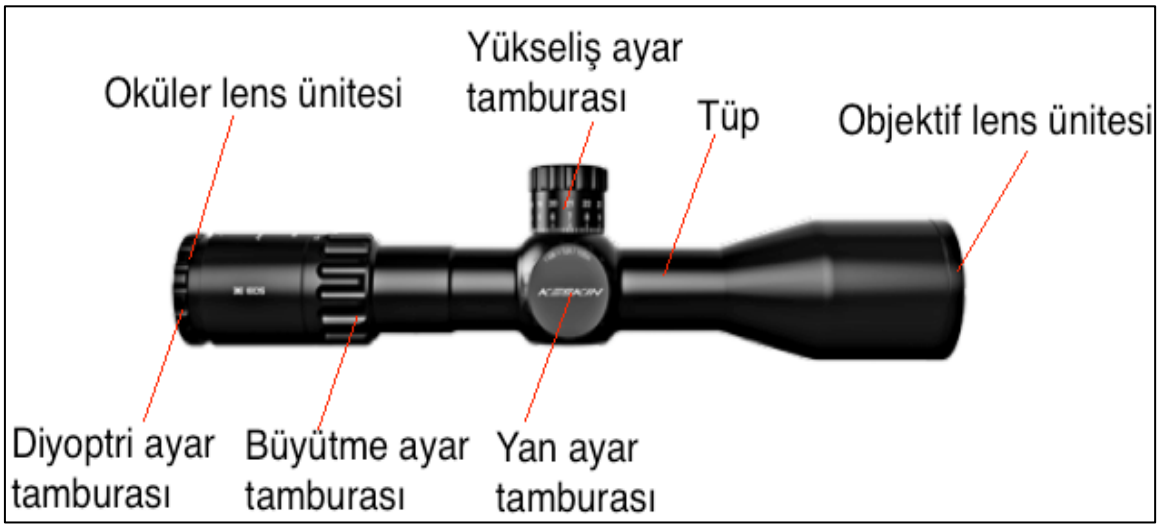


Resim 4.7. Keskin nişancı tüfeği dipçiği ve kısımları

4.1.3. Keskin nişancı tüfeği gündüz optik sistemi

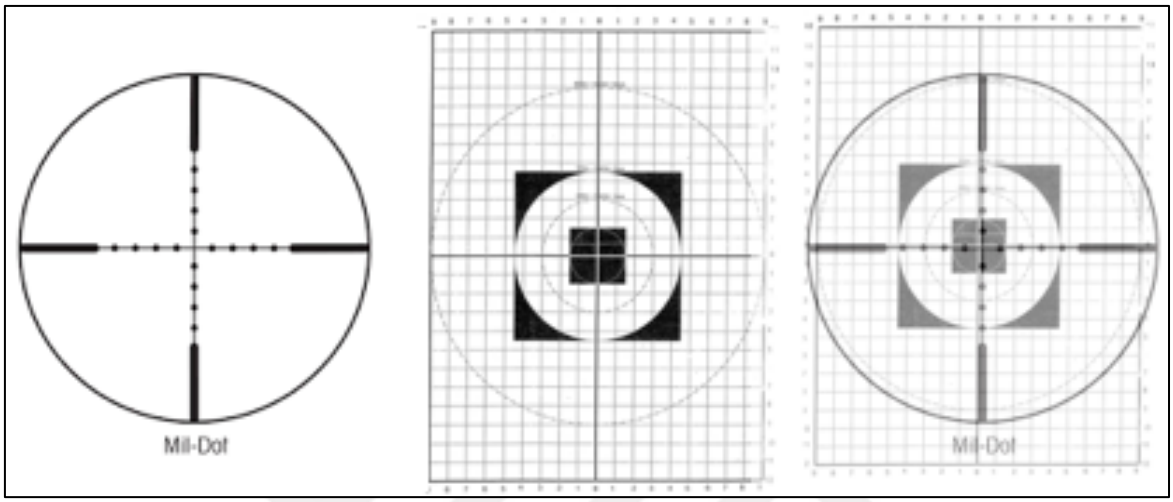
Keskin nişancı tüfeklerinde mekanik nişangâh (gez ve arpacık) ile görülemeyen uzun menzillerdeki hedeflere nişan almak, balistik kalibrasyon yapabilmek ve yüksek vuruş hassasiyeti sağlamak amacıyla, elektro-optik sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler arasında gündüz optik sistemleri, gece görüş sistemleri, termal görüş sistemleri gibi kullanıcının farklı görüş koşullarında hedefine nişan alabilmesi için kullandığı cihazlar yer almaktadır.

Keskin nişancı tüfeği ile birlikte, Resim 4.8'de gösterilen 3-12 x 50 model gündüz optik sistemi kullanılmıştır. Gündüz optik sistemi; mekanik kalibrasyon tamburaları, objektif ve oküler lens üniteleri ve iç şebekesinde aynı eksende birbiri ardına monte edilmiş birçok mercekten oluşan mekanik bir dürbün sistemidir. Kullanılan gündüz optik sistemini; tüp şeklindeki gövde, hedef mesafesinin uzaklığına göre 3 kat - 12 kat aralığında yakınlaştırma ve uzaklaştırma yapılabilen büyütme ayar tamburası, netlik ayarının yapıldığı diyoptri ayar tamburası, kullanıcının nişan almasını sağlayan optik sistemin iç şebekesinin giriş ünitesi olan oküler lens ünitesi, iç şebeke için gerekli gün ışığının alındığı 50 mm çapındaki optik sistemin çıkış ünitesi olan objektif lens ünitesi, hesaplanan mermi yörüngesine göre, sistemin iç şebekesinde yer alan artıkılın çizili olduğu merceği dikey ve yatay doğrultuda hareket ettiren yükseliş ve yan ayar tamburaları oluşturmaktadır.



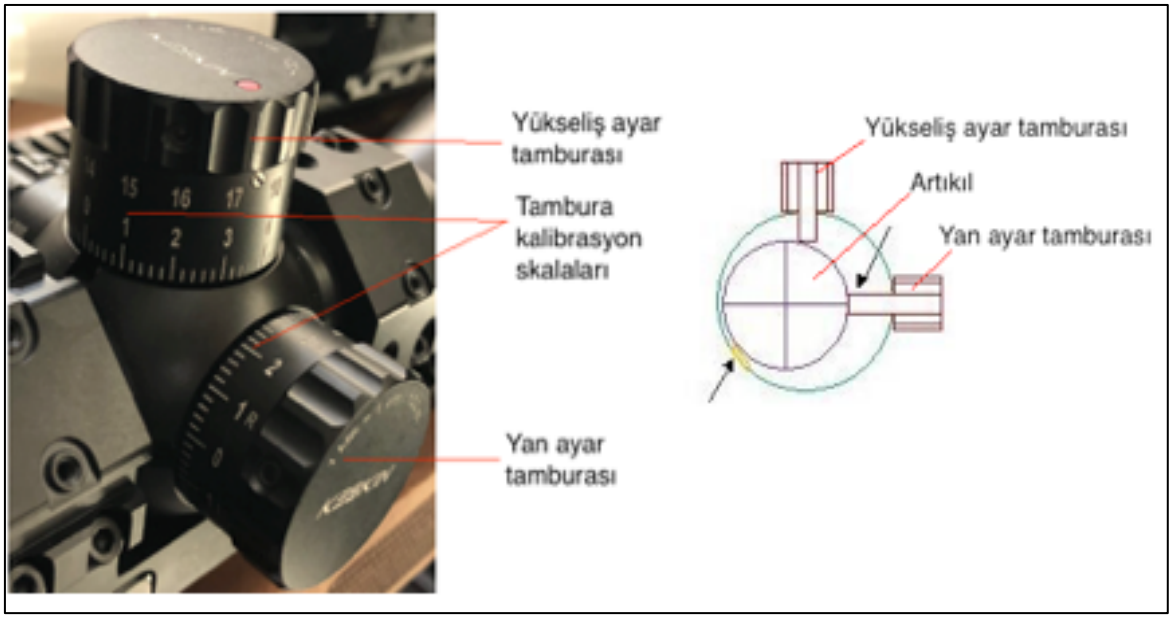
Resim 4.8. Keskin nişancı tüfeği gündüz optik sistemi ve kısımları

Kullanılan gündüz optik sisteminin iç şebekesindeki bir mercek üzerinde, artıkıl adı verilen ve Şekil 4.3'de gösterilen, kullanıcının nişan almasına yarayan yapı çizilidir. Kullanıcı oküler lens ünitesinden bakarak, artıkıldaki orta nokta ile hedef aldığı noktayı çakıştırarak atış yapmaktadır.



Şekil 4.3. Optik sistemde artıkıl ile hedef olarak seçilen noktaya nişan alınması

Farklı mesafelerdeki hedeflere gerçekleştirilen atışlarda, yatay ve dikey balistik kalibrasyonlar, gündüz optik sistemi üzerinde yer alan ve Resim 4.9'da gösterilen tamburalar kullanılarak yapılmaktadır.



Resim 4.9. Optik sistem yükseliş ve yan ayar tamburaları

Dikey balistik kalibrasyonlar gündüz optik sistemi üzerindeki yükseliş ayar tamburası, yatay balistik kalibrasyonlar ise yan ayar tamburası kullanılarak yapılmaktadır. Bu tamburalar, saat yönünde ve saat yönünün tersinde çevrilebilmektedir. Tamburalar taksimatlardan oluşmakta, kademeli olarak dönmekte, her kademenin kullanıcı tarafından algılanabilmesi için kademe geçişlerinde "klik" sesi oluşmaktadır. 1 klik değeri, 100 metre mesafede 1 cm'lik düzeltme anlamına gelmektedir. Kullanıcı yükseliş ayar tamburasını saat yönünde çevirdiğinde, tamburanın altında yer alan yaprak yay sıkışarak, dürbün iç şebekesindeki artıkılın çizili olduğu merceği dikey doğrultuda aşağı yönde hareket ettirir. Böylelikle kullanıcı, hedef olarak seçtiği noktaya nişan alabilmek için, namluyu dikey doğrultuda yukarı yönde hareket ettirecektir. Yükseliş tamburasının saat yönünün tersine çevrilmesi durumunda, artıkıl dikey doğrultuda yukarı yönde hareket edecek, kullanıcı bu kez hedef olarak seçtiği noktaya nişan alabilmek için, namluyu dikey doğrultuda aşağı yönde hareket ettirecektir. Bu çalışma prensibinin aynısı, yan ayar tamburasında yatay doğrultuda sağ ve sol yönde yapılan kalibrasyon için de geçerlidir. Yan ayar tamburasının saat yönünde çevrilmesi durumunda, artıkıl yatay doğrultuda sol yönde, yan ayar tamburasının saat yönünün tersine çevrilmesi durumunda, artıkıl yatay doğrultuda sol yönde hareket edecektir. Dolayısıyla kullanıcı da hedef olarak seçtiği noktaya nişan alabilmek için, namluyu hareket ettirmek durumunda kalacaktır. Yani dikey ve yatay doğrultudaki balistik kalibrasyon, mekanik olarak dürbün iç şebekesindeki artıkılın çizili olduğu merceğin hareket ettirilmesiyle yapılmaktadır.

4.1.4. Meteoroloji ölçüm sistemi ve anemometre

Bölüm 3.2'de atmosferik koşulların hassas olarak ölçülmesinin önemi, detaylı olarak açıklanmıştır. Deney numunelerinin sürüklenme katsayılarının ölçümlerinin yapıldığı deneysel çalışma süresince hava yoğunluğu, hava sıcaklığı, rakım, hava basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yönü doppler radarının veri toplama sistemine entegre Resim 4.10'da gösterilen Tomes Meteoroloji Ölçüm Sistemi ile ölçülmüştür. Doğrulama atışlarının gerçekleştirildiği deneysel çalışmada ise, ölçüm sistemi olarak Resim 4.11'de gösterilen Kestrel 4500 NV Horus model anemometre kullanılmıştır.

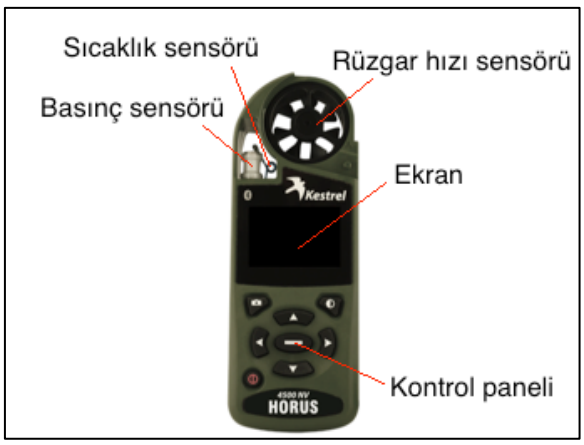
Tomes Meteoroloji Ölçüm Sistemi, atışlar süresince verileri anlık olarak kaydederek, veri toplama sistemi aracılığıyla verilerin işlendiği bilgisayara aktarmaktadır. Bu veriler

bilgisayar tarafından dönü kararlı mermiye etki eden kuvvet denklemlerinde ve ses hızının m/s cinsinden belirlenmesinde kullanılmaktadır.



Resim 4.10. Tomes Meteoroloji ölçüm sistemi

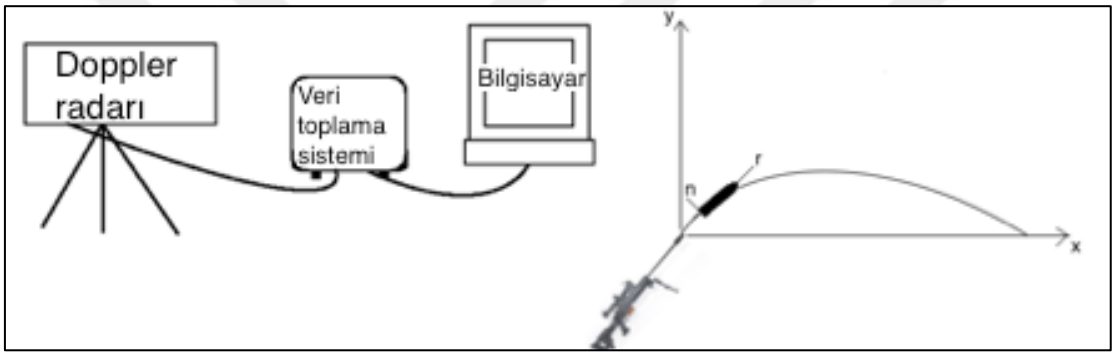
Deneysel çalışma süresince kullanılan Kestrel 4500 NV Horus model anemometre, kolay taşınabilir ve kullanılabilir bir yapıya sahiptir. Anemometrenin sıcaklık, basınç ve nem ölçümleri için, farklı sensörleri mevcuttur. Tüm veriler anemometre ekranından okunabilmekte, veriler arasındaki geçişler, tuşlardan oluşan kontrol paneli kullanılarak yapılmaktadır. Anemometre, rüzgâr hızını üst kısmında yer alan pervanenin anlık dönüş hızına göre algılamaktadır. Anemometre kullanılırken, rüzgârın estiği yöne göre dönebilen bir aparata monte edilmektedir. Aparat rüzgâr yönüne göre konumunu aldıktan sonra, anemometre o yöndeki rüzgâr hızını m/s cinsinden anlık olarak ölçmekte ve veriler anemometrenin ekranından okunabilmektedir. Anemometreden alınan verilerle eşleşen atmosferik koşul, balistik tablolardan bulunarak, bu koşuldaki balistik düzeltmelere göre keskin nişancı tüfeği gündüz optik sistemi kalibre edilmektedir.



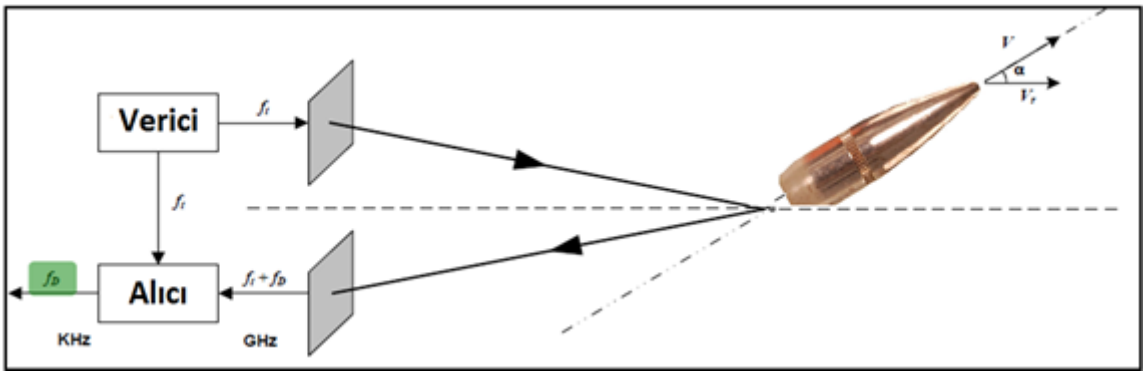
Resim 4.11. Kestrel 4500 NV Horus model anemometre

4.1.5. Doppler radarı

Deneysel çalışmada, dönü kararlı mermilerin Mach sayısı cinsinden hızlarına göre değişen sürüklenme katsayılarının ölçülmesi hedeflenmiştir. Şekil 4.4'de şematik olarak gösterilen ve küçük kalibre dönü kararlı mermilerin hızlarını, 20 m/s ila 2000 m/s aralığında %1 hassasiyet ile ölçme kabiliyeti bulunan ve yüksek hızda veri aktarımı sağlayabilen B481 Doppler radarı sisteminden alınan veriler, 24 bit 16 kanallı veri toplama sistemine uyumlu bir bilgisayar yardımıyla işlenmiştir. Doppler radarı, hafif silah mühimmatının ateşlenmesi sonucunda hareketine başlayan mermiye ait hız ölçümlerini, mermi namludan çıktığı andan itibaren almaya başlamaktadır.



Şekil 4.4. Şematik Doppler radar düzeneği



Şekil 4.5. Doppler radarı çalışma prensibine ait model

Şekil 4.5 ile Doppler radarının çalışma prensibine ait model verilmiştir. Doppler radarının vericisi uçuş halindeki cisme f_t frekansına sahip radyo dalgasını göndermekte, $f_t + f_D$ frekansına sahip radyo dalgası filtrelenerek f_D doppler frekansı elde edilmektedir. Böylelikle Eşitlik 4.1 kullanılarak cismin V_r radyal hızı hesaplanabilmektedir.

$$f_D = 2\frac{f_t}{c}V_r \qquad (4.1)$$

f_D : Doppler frekansı (Hz)

f_t : Gönderilen radyo dalgası frekansı (Hz)

V_r : Radyal hız (m/s)

c : Işık hızı (m/s)

Cismin teğetsel hızı "V" Eşitlik 4.2 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$V_r = V.\cos(\alpha) \qquad (4.2)$$

V : Teğetsel hız (m/s)

α : Radyal hız ile teğetsel hız vektörleri arasındaki açı

Resim 4.12'de Doppler radarı ölçümlerinin yapıldığı esnadaki görüntülere yer verilmiştir.



Resim 4.12. B481 Doppler radar sistemine ait görüntüler

4.2. Deneysel Çalışmaların Gerçekleştirilmesi

Deneysel çalışmalar aşağıda anlatıldığı üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Birinci deneysel aşama: Doppler radarı ile yapılan hız ölçümleri

Birinci aşamada deney numunelerinin (dönü kararlı mermilerin) doppler radarı ile hız ölçümleri yapılmış ve bunlara bağlı olarak, sürüklenme katsayıları ile balistik katsayıları G1 ve G7 referans mermi geometrilerine göre hesaplanmıştır. Daha sonra üretici firma tarafından yayımlanan balistik katsayı ile doppler radarı hız ölçüm sonuçları temel alınarak hesaplanan balistik katsayı değerleri için mermi üreticileri tarafından yaygın olarak kullanıldığı bilinen Quick Target balistik yazılımı yardımıyla balistik tablolar (cetveller) hazırlanmıştır.

Deneysel çalışma öncesi hazırlıklar

Birinci aşama Konya/Karapınar'da yerleşik Kara Kuvvetleri Komutanlığı'na bağlı Atış Test ve Değerlendirme Komutanlığı'nda gerçekleştirilmiştir.

10 adet deney numunesi merminin doppler radarı testleri Tomes Meteoroloji Ölçüm İstasyonu ile ölçülen ve Çizelge 4.2'de verilen rakım ve atmosferik koşullar altında gerçekleştirilmiştir.

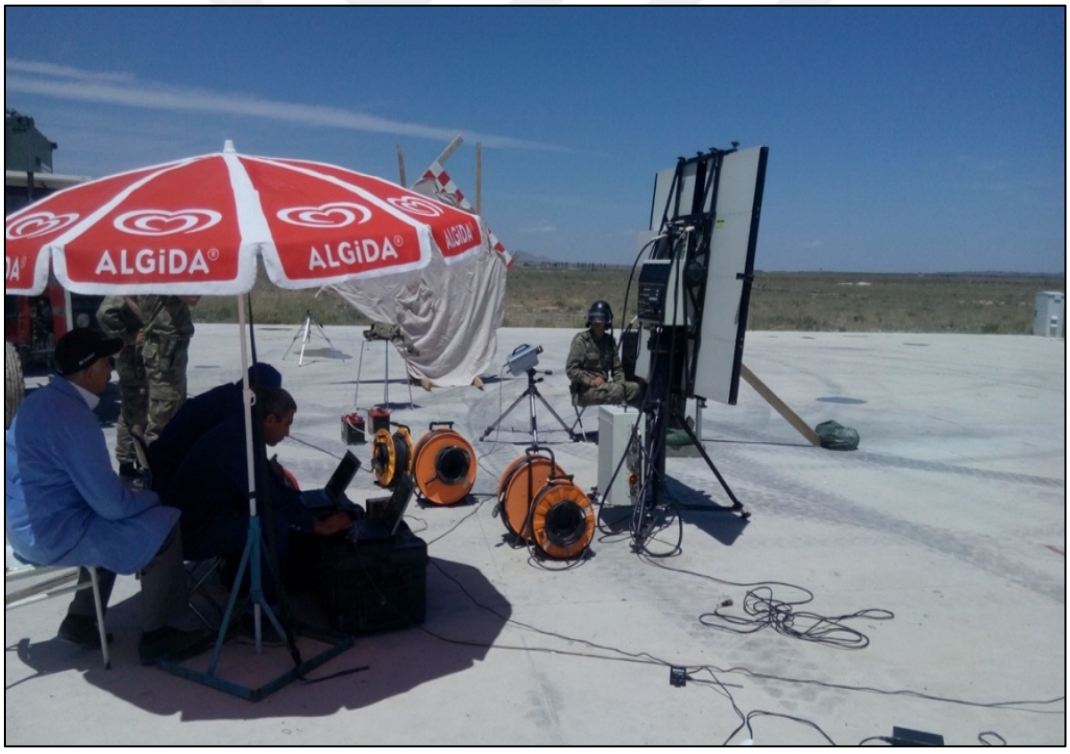
Çizelge 4.2. Doppler radarı testlerindeki rakım ve atmosferik koşullar

Konya/Karapınar arazisi rakım ve atmosferik koşulları	
Rakım	994 metre
Sıcaklık	25 °C
Basınç	0,9025 bar
Bağıl nem	%50
Hava yoğunluğu	1,07 kg/m^3
Rüzgâr hızı	0,2 m/s
Rüzgâr yönü	9 yönünde
Test numunelerinin (dönü kararlı mermilerin) özellikleri	
Merminin en büyük kesit çapı	0,308 in
Mermi kütlesi	0,0210 lb

Doppler radarının dönü kararlı mermiyi yörüngesi boyunca takip edebilmesi ve doğru ölçüm alabilmesi amacıyla, doppler radarı ve keskin nişancı tüfeği uygun pozisyonda konumlandırılmıştır.

Deneysel çalışmanın yapılışı

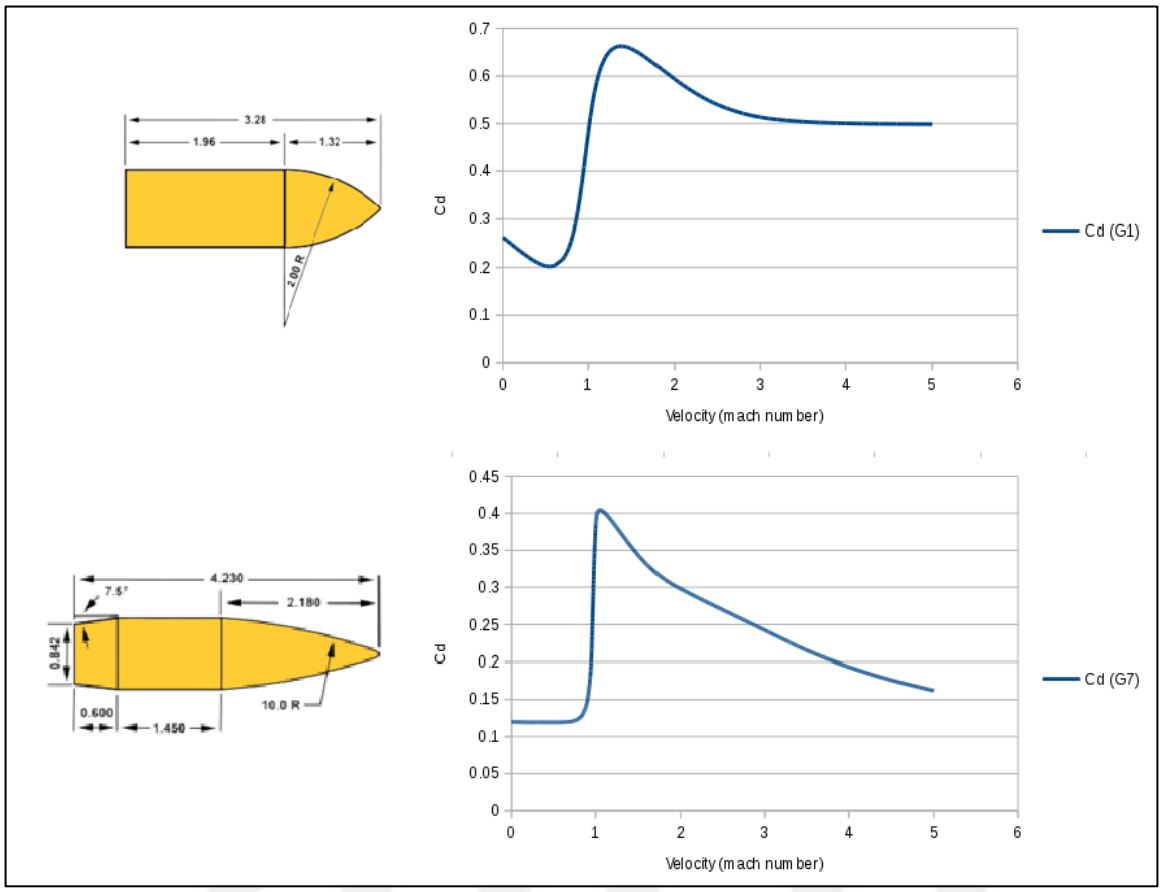
Birinci aşamada, fiziksel özellikleri Çizelge 4.1'de verilen tolerans aralıklarına uygun olarak seçilmiş ve imlası yapılarak hazırlanmış deney numunesi mermiler keskin nişancı tüfeği ile sırayla ateşlenmiştir. Her ateşleme öncesinde meteoroloji istasyonu ile atmosferik koşullar ölçülerek, veri toplama sistemi aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Resim 4.13'de B481 Doppler radarı ile yapılan ölçüm çalışmalarına ait bir görüntüye yer verilmiştir.



Resim 4.13. B481 Doppler radarı ile yapılan ölçüm çalışmalarından bir görüntü

Balistik katsayıların belirlenmesi ve tabloların oluşturulması

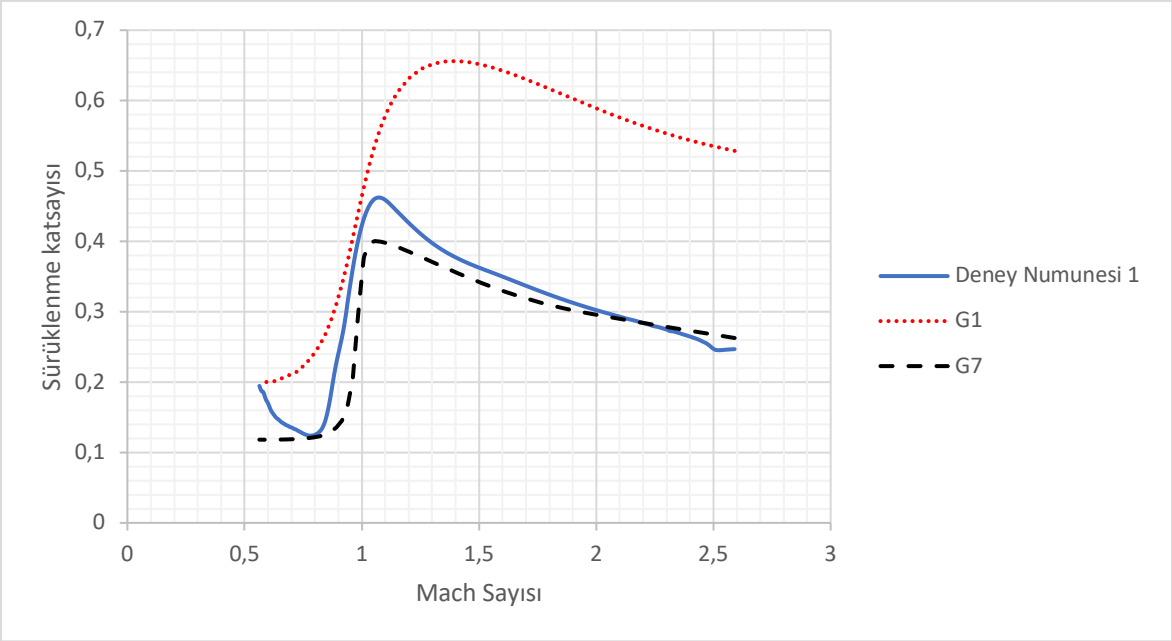
Balistik katsayının belirlenmesinde referans olarak alınan G1 ve G7 mermi geometrilerine ait Sürüklenme katsayısı-Mach sayısı grafikleri, Şekil 4.6'da gösterilmiştir [36].



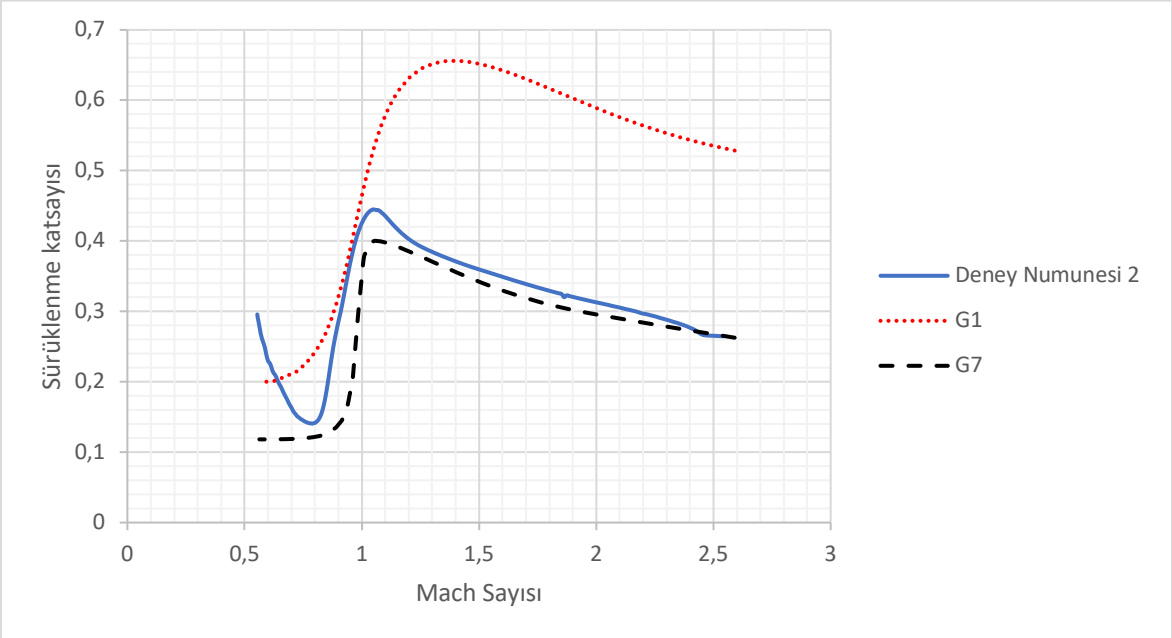
Şekil 4.6. G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin sürüklenme katsayısı (C_D) - Mach sayısı (Ma) grafikleri [36]

Toplam 10 adet deney numunesi mermi için doppler radar verisi elde edilmiştir. Veriler, mermilerin yörünge boyunca 0,01 saniyelik zaman aralıklarıyla konum, hız, ivme ve sürüklenme katsayısı değerlerinden oluşmaktadır. İleride anlatılacağı üzere mermilere ait balistik katsayıların hesaplanmasında da bu veriler kullanılmıştır.

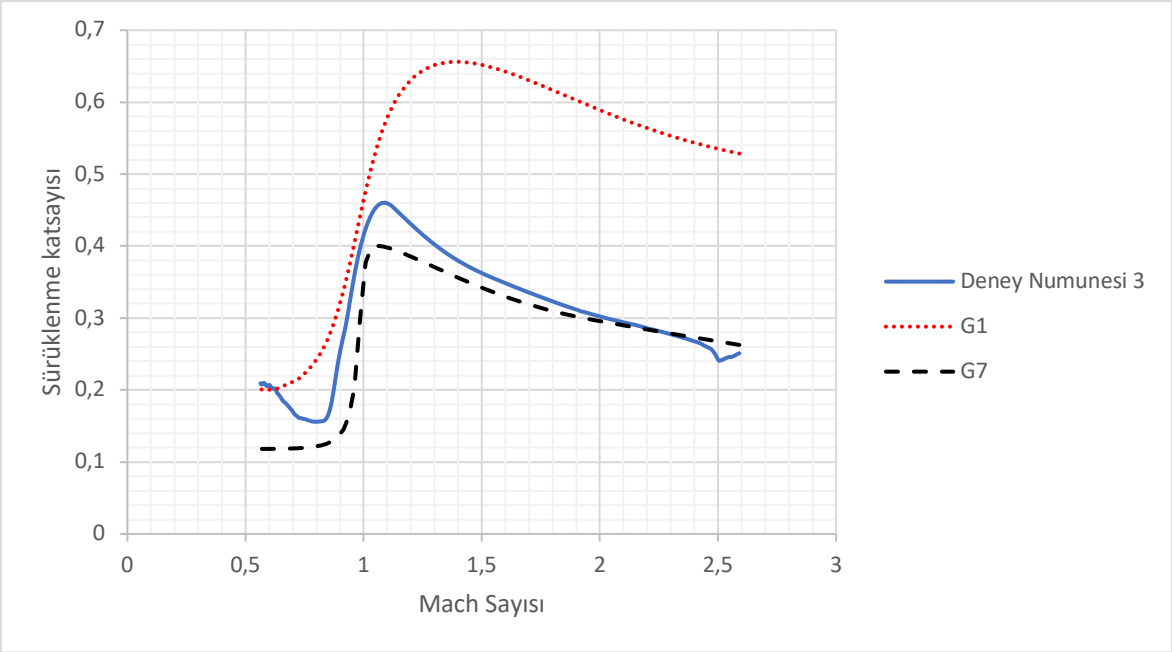
10 adet deney numunesi mermi için her bir 0,01 saniye zaman aralığı için elde edilmiş veri kullanılarak çizilen Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı grafikleri Şekil 4.7, … , Şekil 4.16'da verilmiştir. Doppler radarı veri tabanından alınmış G1 ve G7 referans modellerine ait eğriler de, deney mermileri ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla aynı grafik üzerinde verilmiştir. Çalışmada ele alınan merminin geometrisi G1'den çok G7 referans mermi modeline benzemektedir (Bkz. Şekil 1.4, Şekil 1.5, Şekil 4.1). Bu nedenle grafiklerden de açıkça görülebileceği üzere ele alınan merminin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı eğrileri G7 referans mermisinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı eğrisine oldukça yakın olarak belirlenmiştir.



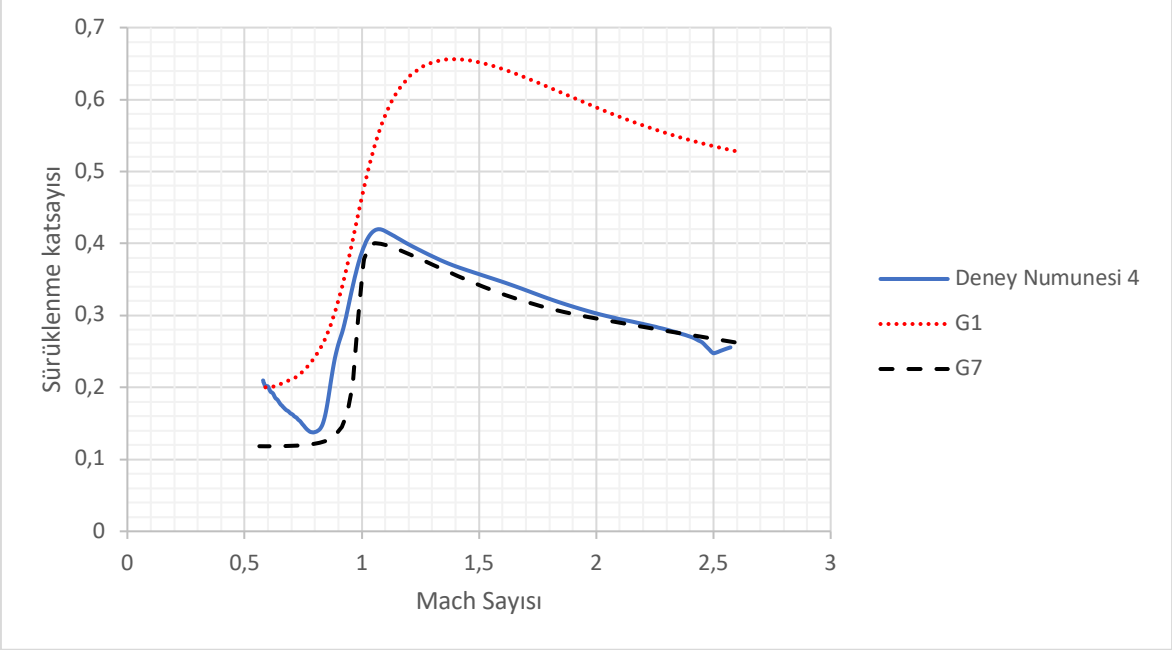
Şekil 4.7. Birinci deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri



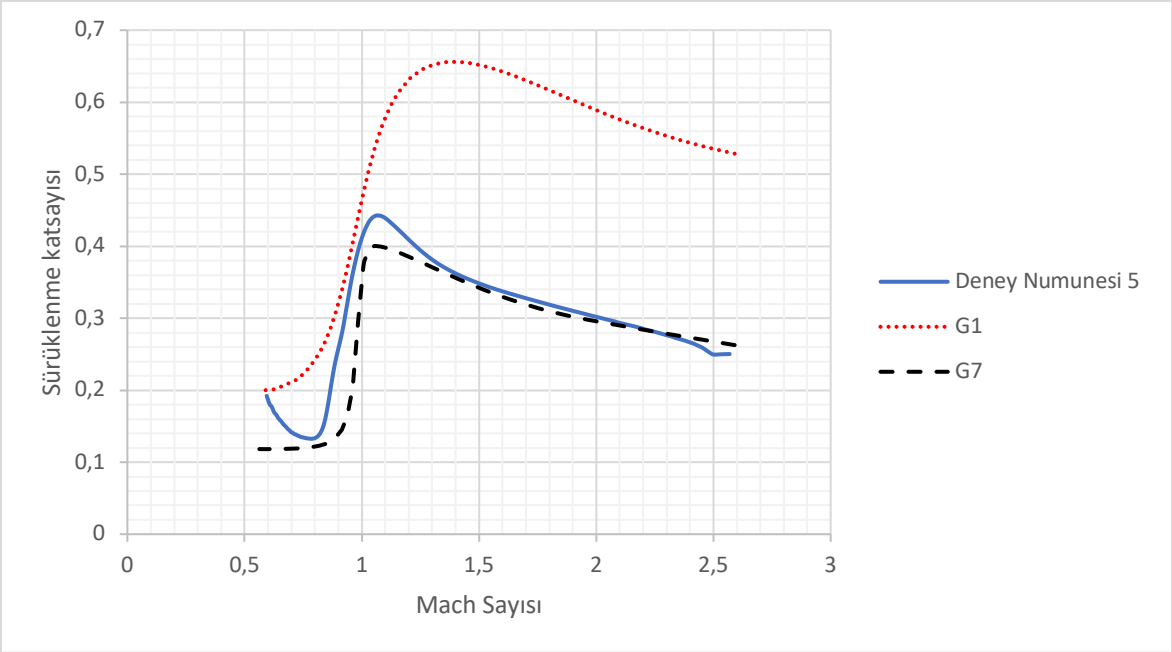
Şekil 4.8. İkinci deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri



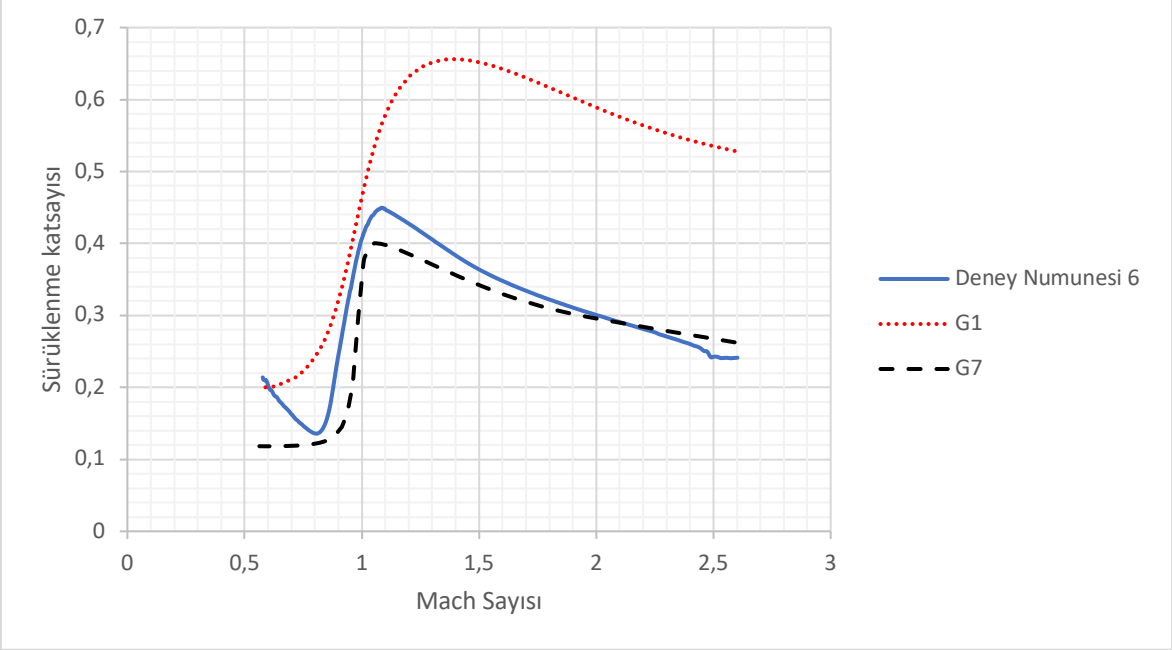
Şekil 4.9. Üçüncü deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri



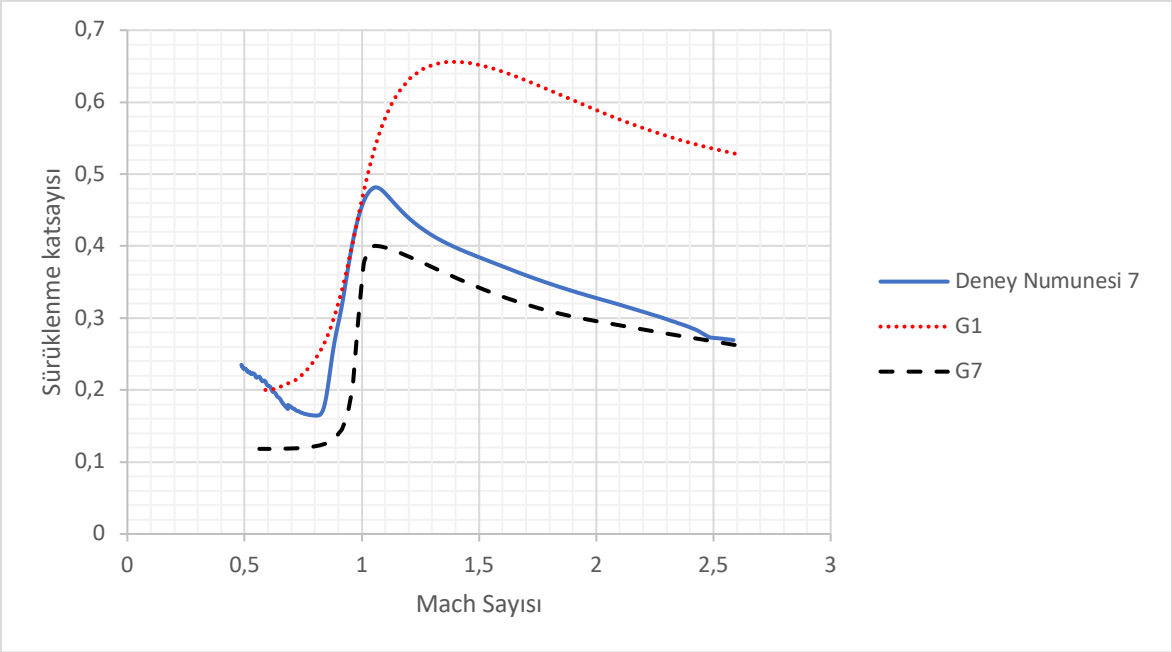
Şekil 4.10. Dördüncü deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri



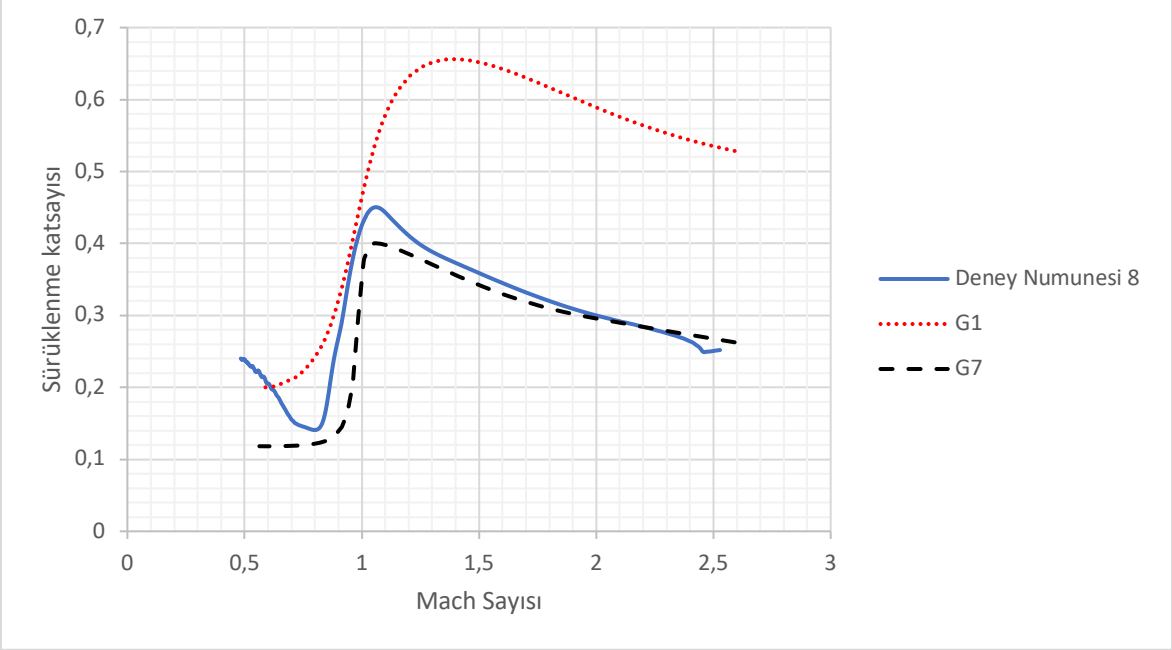
Şekil 4.11. Beşinci deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri



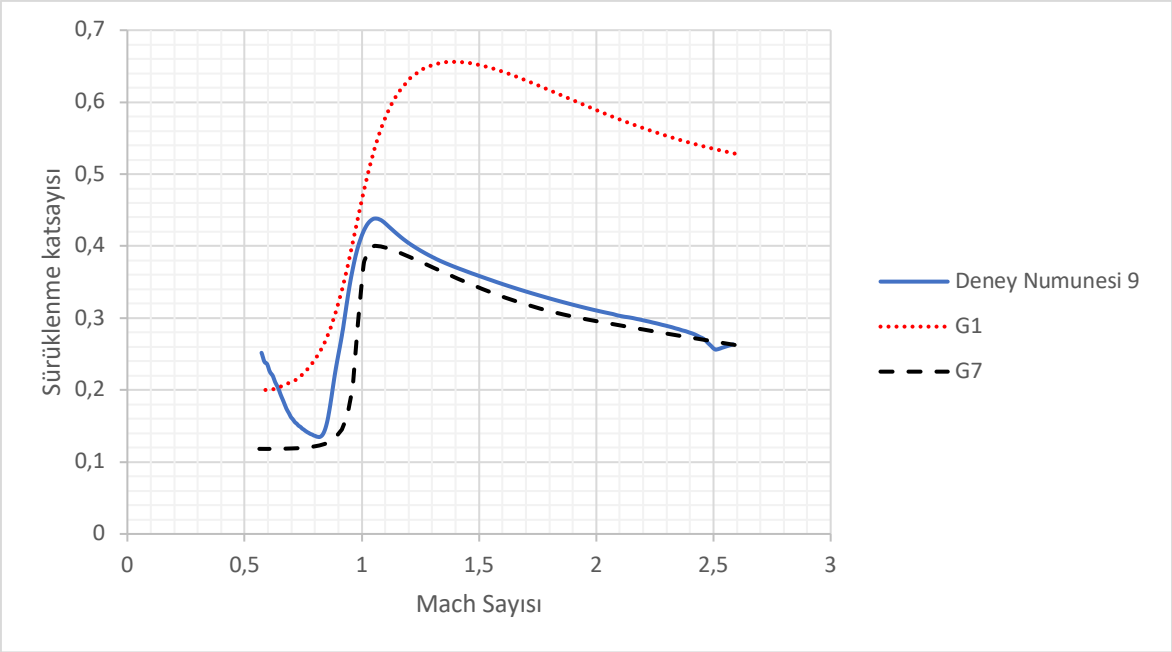
Şekil 4.12. Altıncı deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri



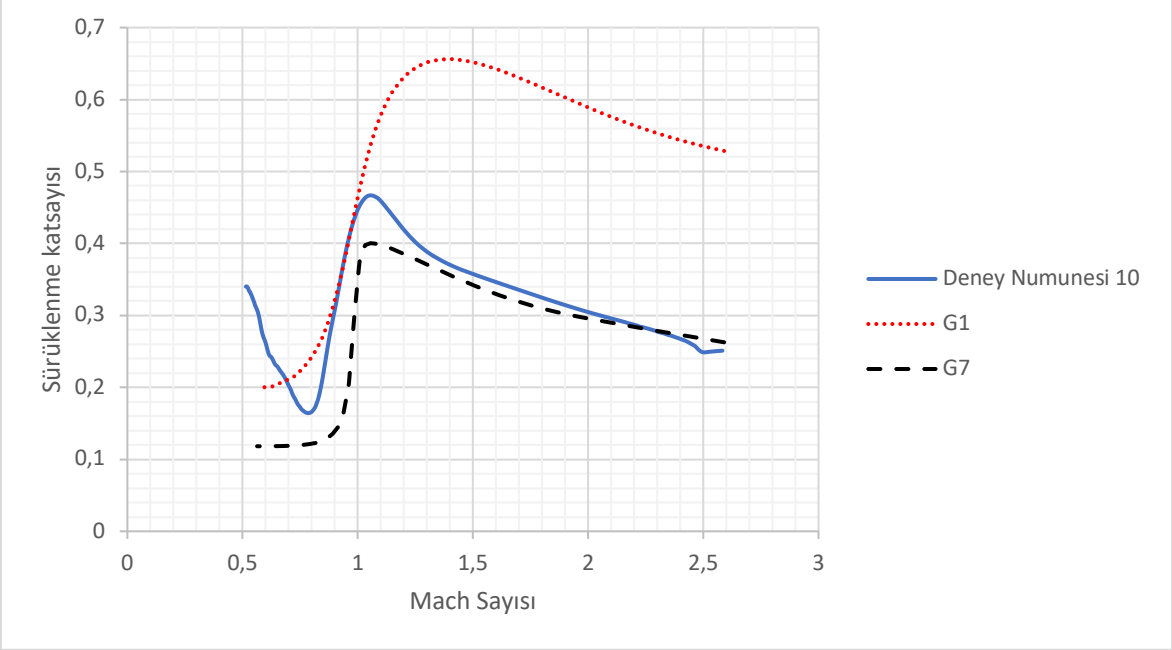
Şekil 4.13. Yedinci deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri



Şekil 4.14. Sekizinci deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri



Şekil 4.15. Dokuzuncu deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri



Şekil 4.16. Onuncu deney numunesi mermi ile G1 ve G7 referans mermi geometrilerinin Sürüklenme katsayısı - Mach sayısı değişim eğrileri

Dönü kararlı mermilerin balistik katsayıları, Eşitlik 4.3, Eşitlik 4.4 ve Eşitlik 4.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$BC = SD / i \tag{4.3}$$

BC : Balistik katsayı (birimsiz)

SD : Kesit yoğunluğu ($\frac{lb}{in^2}$)

i : Form faktörü (birimsiz)

$$SD = m / d^2 \tag{4.4}$$

d : Merminin en büyük kesit çapı (in)

m : Merminin kütlesi (lb)

$$i = \frac{C_D}{(C_D)_G} \tag{4.5}$$

C_D : Merminin sürüklenme katsayısı (birimsiz)

$(C_D)_G$: Referans merminin sürüklenme katsayısı (birimsiz)

İncelenen dönü kararlı mermilerin kütleleri m= 0,0210 lb ve en büyük kesit çap değerleri d= 0,308 in'dir. Bu değerler Eşitlik 4.4'de yerine konularak kesit yoğunluğu,

$$SD = \frac{0,0210}{0,308^2}$$

SD = 0,222 lb / in^2olarak bulunmuştur.

Eşitlik 4.5'deki "i" form faktörü, incelenen deney numunesi merminin "C_D" sürüklenme katsayısının referans olarak seçilen modelin sürüklenme katsayısı "$(C_D)_G$" 'ye oranıdır.

Deney numunesi mermilerin 2,60 Mach - 1,30 Mach sayısı aralığında belirlenen sürüklenme katsayıları ve G1 ve G7 referans mermi geometrilerine göre hesaplanan form faktörleri ile balistik katsayılarının ortalama değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan keskin nişancı tüfeğinin imalatçı firma tarafından bildirilen etkili

menzili 800 m olduğundan çalışmadaki maksimum menzil de 800 m ile sınırlandırılmıştır. Merminin namlu çıkış hızı ortalama 2,60 Mach, 800 m mesafedeki hızı ise ortalama 1,30 Mach olarak ölçülmüştür.

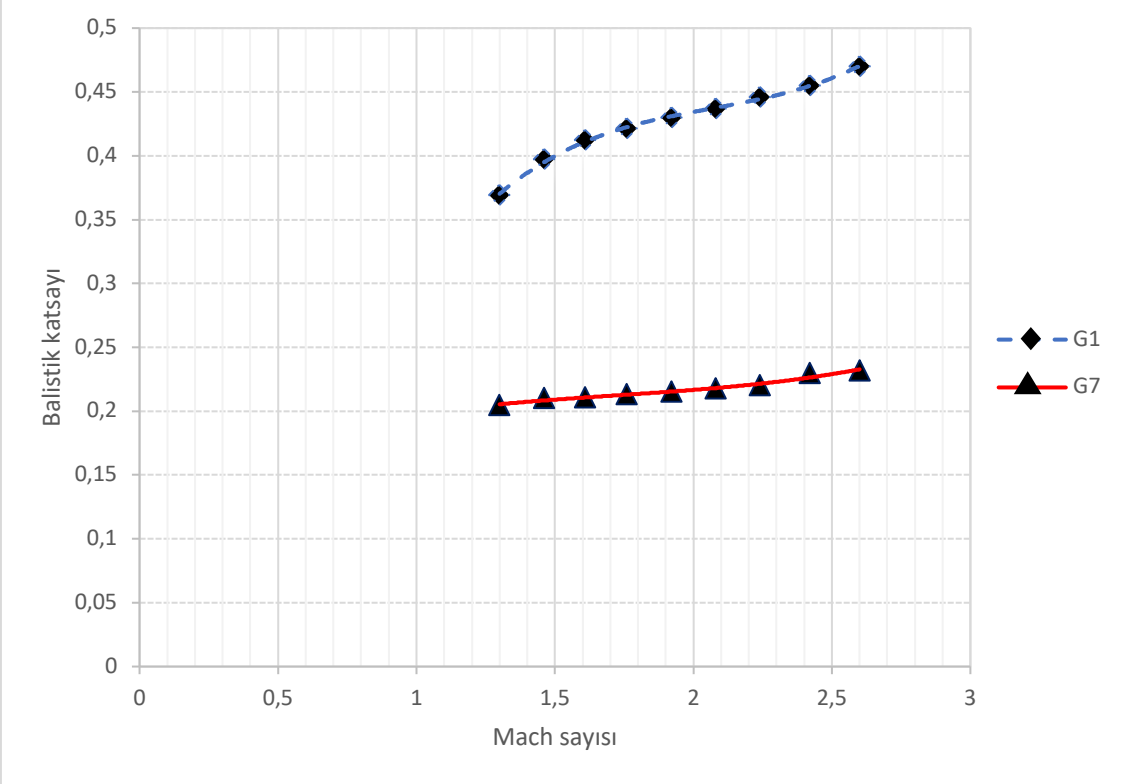
Çizelge 4.3. Deney numunesi mermilerin sürüklenme katsayıları ve G1 ve G7 referans mermi geometrilerine göre form faktörleri ile balistik katsayılarının Mach sayısına göre değişimi

Menzil (m)	Mach sayısı	SD	C_D	$(C_D)_{G_1}$	$(C_D)_{G_7}$	i_{G1}	i_{G7}	BC(G1)	BC(G7)
0	2,60	0,222	0,251	0,531	0,262	0,473	0,958	0,470	0,232
100	2,42	0,222	0,265	0,543	0,274	0,488	0,967	0,455	0,230
200	2,24	0,222	0,279	0,559	0,279	0,499	1,000	0,445	0,222
300	2,08	0,222	0,297	0,583	0,291	0,509	1,021	0,436	0,218
400	1,92	0,222	0,311	0,599	0,302	0,519	1,030	0,428	0,216
500	1,76	0,222	0,331	0,628	0,317	0,527	1,044	0,421	0,213
600	1,61	0,222	0,350	0,649	0,330	0,539	1,061	0,412	0,209
700	1,46	0,222	0,371	0,666	0,350	0,557	1,060	0,399	0,209
800	1,30	0,222	0,396	0,659	0,364	0,601	1,088	0,369	0,204

Çizelge 4.3'de gösterilen Mach sayısı ve menzil değerlerinde, G7 referans geometrisine göre belirlenen form faktörleri 0,958 - 1,088 aralığında; balistik katsayılar 0,232 - 0,204 aralığında değişim göstermiştir. 800 m menzil boyunca, G7 referans geometrisine göre belirlenen balistik katsayılardaki değişimin 0,028 mertebesinde olduğu görülmüş, bu sebeple deney numunesinin yörüngesini tüm hız bölgelerinde tek bir balistik katsayının temsil etmesinin yeterli olacağı değerlendirilmiştir. Nihai atışlı doğrulama testlerinden sonra da bu değerlendirmenin doğru olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.3'de gösterilen Mach sayısı değerlerinde, G1 referans geometrisine göre belirlenen form faktörleri 0,473 - 0,601 aralığında; balistik katsayılar 0,470 - 0,369 aralığında değişim göstermiştir. 800 m menzil boyunca, G1 referans geometrisine göre belirlenen balistik katsayılardaki değişimin 0,101 mertebesinde olduğu görülmüştür. Deney numunesinin yörüngesini, tüm hız bölgelerinde tek bir balistik katsayının temsil edemeyeceği değerlendirilmiştir. Bu nedenle balistik katsayıdaki değişimin yörünge hesabını etkileyecek derecede kritik hale geldiği Mach sayıları belirlenmiş ve hız bölgeleri oluşturulmuştur. Mermi yörüngesinin hangi hassasiyette belirleneceğini, yükseliş ve yan balistik düzeltmelerin yapıldığı tüfek üstü optik sistemin hassasiyeti tayin etmektedir. Deneylerde kullanılan tüfek üstü optik sistem maksimum menzil olan 800 m'de 8 cm hassasiyete sahiptir. Hız bölgesi sayısı arttıkça yörünge daha hassas olarak belirlenebilecektir. Mermi için 800 m menzil boyunca, G1 referans geometrisine göre,

2,60-1,30 Mach sayısı aralığında beş adet hız bölgesi bölgesi oluşturularak, beş farklı balistik katsayı belirlenmiştir. Beş adet hız bölgesinden daha az hız bölgesinin oluşturulduğu durumda, katsayılar arasında oluşan sayısal farkın yeterince hassas bir yörünge hesabı yapılamamasına sebebiyet verdiği, beş adet hız bölgesinden daha fazla hız bölgesinin oluşturulduğu durumda ise katsayılar arasında oluşan sayısal farkın tüfek üstü optik sistemin hassasiyetini dahi aşarak sonucu etkilemediği görülmüştür. G1 ve G7 referans mermi geometrilerine göre belirlenen balistik katsayıların Mach sayısına göre değişimi Şekil 4.17'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 4.17. G1 ve G7 referans mermi geometrilerine göre belirlenen Balistik katsayı-Mach sayısı grafikleri

Deneysel çalışmada, G1 ve G7 referans geometrilerine göre farklı hız bölgeleri için hesaplanan ortalama balistik katsayılar Siacci yöntemi kullanarak belirlenmiştir [22]. Bu yönteme göre istenilen iki Mach sayısı aralığındaki herhangi bir deney numunesinin ortalama form faktörünü (i_{numune}) belirlemek için söz konusu aralıkta numunenin istenilen sayıda noktaya (Mach sayısına) tekabül eden form faktörü değerleri bulunur ve bunların aritmetik ortalaması alınır. Böylece herhangi bir deney numunesinin bu aralığa ait ortalama form faktörü değeri (i_{numune}) hesaplanmış olur. Bu işlem Eşitlik 4.6'da verilmiştir.

$$i_{numune} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^{m} i_n \qquad (4.6)$$

i_{numune} : İlgili iki Mach sayısı aralığında söz konusu numunenin ortalama form faktörü
m : İlgili iki Mach sayısı aralığında seçilen toplam nokta sayısı
i_n : İlgili iki Mach sayısı aralığında söz konusu numunenin her bir noktadaki form faktörü

Örneğin, herhangi bir deney numunesinin 2,60 Mach-2,00 Mach aralığındaki ortalama form faktörünü (i_{numune}) hesaplamak için bu aralık 0,1 Mach aralıklar ile toplam 7 adet Mach sayısına (2,60 Mach, 2,50 Mach ,…, 2,000 Mach) bölünürse numunenin her bir Mach sayısına karşılık gelen form faktörü değerleri (i_n) toplanır ve 7'ye bölünür. Böylece numunenin söz konusu aralığa ait ortalama form faktör değeri (i_{numune}) hesaplanmış olur.

Söz konusu Mach sayıları aralığında bütün deney numunelerinin ortalama form faktörünü (i_{ort}) belirlemek için bütün deney numunelerinin aralık için hesaplanmış olan ortalama form faktörü değerlerinin (i_{numune}) aritmetik ortalaması alınır. Böylece bütün deney numunelerinin istenilen iki Mach sayısı aralığındaki ortalama form faktörü değeri (i_{ort}) bulunmuş olur. Bu işlem Eşitlik 4.7'de verilmiştir.

$$i_{ort} = \frac{1}{10} \sum_{r=1}^{10} (i_{numune})_r \qquad (4.7)$$

i_{ort} : İlgili iki Mach sayısı aralığında bütün numunelerin (10 adet) ortalama form faktörü

10 adet deney numunesi mermi için elde edilen doppler radar verileri, Bölüm 3'deki eşitlikler ile Eşitlik 4.6 ve Eşitlik 4.7'de kullanılarak, G7 referans geometrisine göre değeri 0,215 olan tek bir balistik katsayı; G1 referans mermi geometrisine göre Çizelge 4.4'de gösterildiği üzere beş farklı hız aralığının her biri için birer balistik katsayı hesaplanmıştır.

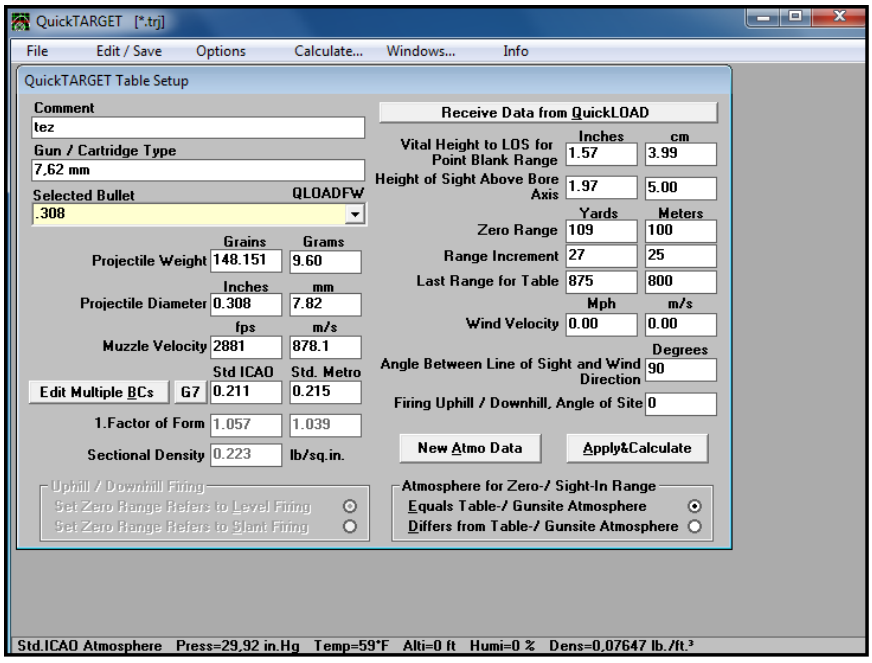
Söz konusu mermi için üretici firma tarafından, hali hazırda G1 referans geometrisine göre 0,450 değerinde tek bir balistik katsayı yayımlanmıştır.

İncelenen mermi için G1 ve G7 referans mermi geometrilerine göre belirlenen balistik katsayı değerleri ile G1 referans mermi geometrisine göre üretici firma tarafından yayımlanan balistik katsayı değeri Çizelge 4.4'de bir arada verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çalışmada incelenen 7,62 mm kalibre dönü kararlı mermi için G1 ve G7 referans mermi geometrilerine göre deneylerle belirlenen balistik katsayı değerleri ile G1 referans mermi geometrisine göre üretici tarafından yayımlanan balistik katsayı değeri

Hız aralığı (Mach)	Balistik Katsayı Değerleri		
	G1(üretici)	G1(Deney):Çoklu	G7(Deney)
2,60-1,82	0,450	0,438	0,215
1,82-1,51		0,414	
1,51-1,36		0,396	
1,36-1,32		0,382	
1,32-1,30		0,375	

Çizelge 4.4'de verilen balistik katsayılara göre, -25 C° / +40 C° aralığında 5 C°'lik aralıklarla değişen sıcaklık; 0 m / 3000 m aralığında 500 m'lik aralıklarla değişen rakım seviyeleri için menülerinden biri Şekil 4.18'de gösterilen Quick Target yazılımı kullanılarak, Eklerde Ek-1'den Ek-24'e kadar verilen üç farklı balistik tablo seti hazırlanmıştır. Balistik tablo setlerinin her biri yedi adet yükseliş düzeltme cetvelinden ve bir adet rüzgâr düzeltme cetvelinden oluşmaktadır. Tabloların içeriği ve kullanımı Bölüm 4.2.2'de anlatılmaktadır.



Şekil 4.18. Quick Target balistik yazılımının menülerinden bir görüntü

Ek-1'den Ek-8'e kadar verilen birinci set hali hazırda üretici firma tarafından yayımlanan G1 referans mermi geometrisine göre tüm hızları kapsayan 0,450 değerinde tek bir balistik katsayıya göre hazırlanmıştır.

Ek-9'dan Ek-16'ya kadar verilen ikinci set G1 referans mermi geometrisine göre Çizelge 4.4'de gösterilen 5 farklı hız bölgesi için, deneysel olarak bulunan 5 farklı balistik katsayıya göre hazırlanmıştır.

Ek-17'den Ek-24'e kadar verilen üçüncü set G7 referans mermi geometrisine göre tüm hızları kapsayan ve deneysel olarak bulunan 0,215 değerinde tek bir balistik katsayıya göre hazırlanmıştır.

4.2.2. İkinci deneysel aşama: Atışlı doğrulama testleri

İkinci deneysel aşamada, birinci deneysel aşamanın sonucunda oluşturulan üç farklı balistik tablo setine göre mermilerin hedefteki doğruluğunun test edilmesi amacıyla, 300 metre, 550 metre, 700 metre ve 800 metre mesafelere atışlar yapılmıştır.

Üretici tarafından i) G1 referans mermi geometrisine göre bildirilen tek bir balistik katsayıya, ii) deneysel çalışmalar sonucu G1 referans mermi geometrisine göre beş farklı hız aralığı için belirlenen çoklu balistik katsayılara ve iii) yine deneysel çalışmalar sonucu G7 referans mermi geometrisine göre belirlenen tek bir balistik katsayıya göre hazırlanan balistik tablo verilerine göre hedefe yapılan atışların sonuçları karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Deneysel çalışma öncesi hazırlıklar

İki farklı poligonda gerçekleştirilen atışlı testlerin öncesinde deney numuneleri mermiler, anemometre, keskin nişancı tüfeği ve tüfeğin gündüz optik sistemi ile hedef düzenekleri temin edilmiştir.

Doğruluk performansı ölçümlerinde kullanılan 200 adet 7,62 mm kalibre hafif silah mühimmatı, Fişek Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Numuneler fabrikanın seri üretim hattından rastgele yöntemle seçilmiştir.

Atmosferik koşulların ölçülmesi

Deneysel çalışmalar esnasında atmosferik koşullar Resim 4.14'de gösterilen Kestrel 4500 NV Horus model anemometre kullanılarak her atıştan önce ölçülmüş, anemometreden alınan verilere göre Eklerde verilen balistik tablolardan gerekli balistik düzeltmeler yapılarak keskin nişancı tüfeği gündüz optik sistemi kalibre edilmiştir.

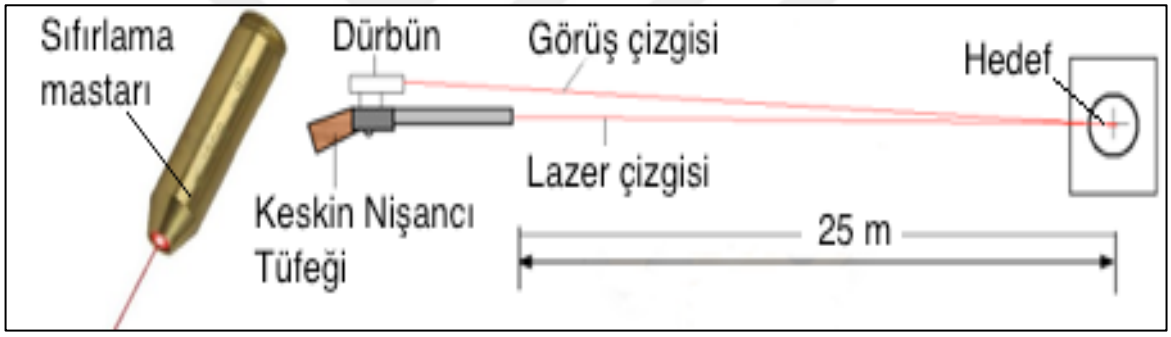


Resim 4.14. Kestrel 4500 NV Horus model anemometre ve aksamlarının yerleşimi

Keskin Nişancı Tüfeği'nin gündüz optik sistemi ile sıfırlanması

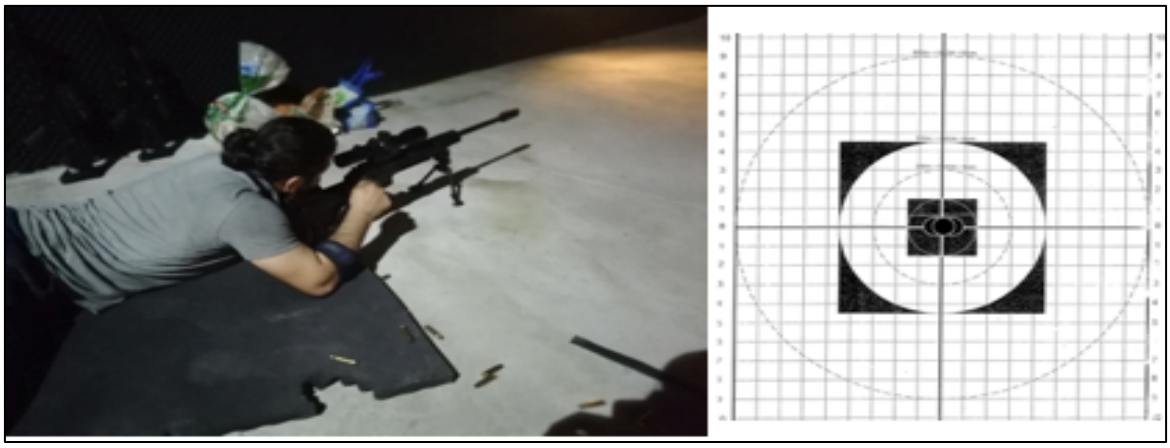
Yörüngesi hesaplanan dönü kararlı 7,62 mm kalibre hafif silah mühimmatı mermisi ile anılan yörüngeye uygun atış yapılabilmesi ve muhtelif mesafelerdeki hedeflerin vurulabilmesi amacıyla mermi hareketine kılavuzluk edecek, dikey ve yatay doğrultuda kalibre edilebilen, silah sistemi ile uyumlu, gündüz optik sistemi kullanılmıştır. Gündüz optik sistemi, dönü kararlı merminin hesaplanan yörüngesine göre, artıkılın düşey ve yatay doğrultuda 100 m'de 1 cm hassasiyetle kalibre edilmesine olanak tanımaktadır. Daha önce de açıklandığı gibi, dürbünde yükseliş ve yan balistik düzeltmelerin yapıldığı tamburalar kademelerden oluşmakta olup her kademe geçişine klik adı verilmektedir. 1 klik değeri 100 metre mesafede 1 cm düzeltme anlamına gelmektedir. Atış yapılacak mesafelerdeki cm bazındaki sapmalar, kullanıcıya kolaylık sağlamak amacıyla balistik cetvellerde klik cinsinden yazılmıştır.

Doğruluk performansının ölçüldüğü atışlara başlamadan önce, gündüz optik sistemi ile keskin nişancı tüfeği, Şekil 4.19'da gösterilen ve sıfırlama adı verilen bir işlemle kalibre edilmektedir. Sıfırlama işlemini olabildiğince az hafif silah mühimmatı harcayarak gerçekleştirmek amacıyla namlu, hedef ile arasında 25 metre mesafe olacak şekilde konumlandırılmakta ve ön sıfırlama yapılmaktadır. Bu işlemde kullanıcı, mermi şeklinde bir mastarı tüfeğin kurma kolunu kullanarak namlu haznesine sürmektedir. Namlu haznesine sürülen mastarın burun kısmında, lazer noktalayıcı bulunmaktadır. Namlu doğrultusu, lazer noktalayıcının 25 metre mesafedeki hedefin nişan noktasını işaretleyeceği şekilde ayarlanmaktadır. Lazer noktası hedefteki nişan noktasına getirildiğinde, kullanıcı dürbünün oküler ünitesinden bakarak, dürbündeki yükseliş ve yan ayar tamburalarını çevirmek suretiyle, gündüz optik sistemi iç şebekesindeki artıkılın pozisyonunu, lazer noktalayıcının işaretlediği vuruş noktası ile kesişecek şekilde konumlandırmaktadır.



Şekil 4.19. Tüfek sıfırlama aparatı ve sıfırlama işlemi

Sıfırlama işlemi tüfek ve gündüz optik sisteminin temizliğinin akabinde yapılmıştır. Sıfırlama işleminde kullanıcı öncelikle 25 metre mesafede hedef noktası olarak seçtiği noktaya 3 adet atış yapmıştır. Vuruşların hedef kâğıdındaki pozisyonları kontrol edilmiş, sonraki atışların vuruş noktalarının hedef noktasında toplanabilmesi amacıyla, gündüz optik sisteminin yükseliş ve yan ayar tamburalarından gerekli kalibrasyon yapılarak, 3 atış daha yapılmıştır. 25 metre mesafedeki hedefte, tüm vuruşlar hedef alınan noktada toplandığında, bu kez atışlar 100 metre mesafedeki hedefe yapılmıştır. Üçerli atışlarla, dönü kararlı mermiler 100 metre mesafedeki hedefte istenilen noktada toplanıncaya kadar, yükseliş ve yan ayar tamburalarından kalibrasyon yapılarak, atışlara devam edilmiştir. Üçlü mermi grubunun Resim 4.15'de gösterildiği gibi orijin noktasında toplanmasıyla, sıfırlama işlemi tamamlanmıştır.



Resim 4.15. Keskin nişancı tüfeği sıfırlama işlemi ve 100 m mesafedeki hedef kâğıdı

Balistik tablo setlerinin kullanımı

Herhangi bir atış için Ek'te verilen balistik tablo setleri içerisinden uygun balistik tabloların seçilmesi, tabloların içerisinden uygun balistik düzeltme değerlerinin bulunması Çizelge 4.5'deki koşullara haiz olduğu varsayılan bir atış üzerinden aşağıda açıklanmıştır.

Çizelge 4.5. Balistik tablolardan düzeltme değerlerinin bulunmasına dair örneğe ait veriler

Referans	G7 (deneysel)
Mesafe	700 metre
Rakım	750 metre
Sıcaklık	15 °C
Rüzgâr hızı	2 m/s
Rüzgâr yönü	9 yönünde

Öncelikle G7 referans geometrisine göre belirlenmiş, balistik tablo seti seçilmiştir. İlgili balistik tablo seti 0 metre rakımdan başlayarak, 3000 metre (dahil) rakıma kadar yedi adet yükseliş düzeltme cetvelinden [Ek-17, Ek-18, Ek-19, Ek-20, Ek-21, Ek-22, Ek-23]. ve bir adet rüzgâr düzeltme cetvelinden [Ek-24] oluşmaktadır. 750 metre rakımda yükseliş düzeltmesinin verilebilmesi için Ek-18'deki 500 m rakım ve Ek-19'daki 1.000 m rakım için verilen cetveller kullanılmıştır. Rüzgâr düzeltmesinin verilebilmesi için Ek-24'deki cetvelden yararlanılmıştır.

500 metre rakımda, 15 santigrat derece sıcaklıkta, 700 metre atış mesafesi için yükseliş düzeltme değeri Ek-18'den 57 klik olarak; 1000 metre rakımda, 15 santigrat derece

sıcaklıkta, 700 metre atış mesafesi için yükseliş düzeltme değeri Ek-19'dan 54 klik olarak okunmuştur.

Atış yapılan arazideki 750 m rakıma uygun yükseliş düzeltme değeri bu iki değer arasında interpolasyon yapılarak 56 klik olarak bulunmuştur.

700 metre mesafede 9 yönünde 2 m/s hız ile esen rüzgâr için yan düzeltme değeri Ek-24'den -11 klik olarak okunmuştur.

Uygun balistik tablolardan, balistik düzeltme değerlerinin belirlenmesinin ardından, gündüz görüş sistemi kalibre edilerek atışlar yapılmıştır.

Atışlı testlerin yapılışı

Deneysel çalışmada doğruluk performansının ölçülmesi amacıyla, atışlı testler yapılmıştır. 300 metre ve 550 metre mesafelerdeki atışlı testler, MKE Kırıkkale Silah Fabrikası Kapalı Atış Poligonu'nda, 700 metre ve 800 metre mesafelerdeki atışlı testler MKE Kırıkkale Bedesten Açık Atış Poligonu'nda yapılmıştır.

Atışlı testlerin yapıldığı poligonlardaki rakım ve atmosferik koşullar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Atışlı testlerin yapıldığı poligonların rakım ve atmosferik koşulları

MKE Kırıkkale Silah Fabrikası Kapalı Atış Poligonu rakım ve atmosferik koşulları (300 m, 550 m atışları)	
Sıcaklık	15 °C
Rakım	780 m
Basınç	0,930 bar
Bağıl nem	% 45
Hava yoğunluğu	1,07 kg/m^3
Rüzgâr hızı	-
Rüzgâr yönü	-
MKE Kırıkkale Bedesten Açık Atış Poligonu rakım ve atmosferik koşulları (700 m, 800 m atışları)	
Sıcaklık	15 °C
Rakım	750 m
Basınç	0,935 bar
Bağıl nem	% 50
Hava yoğunluğu	1,09 kg/m^3
Rüzgâr hızı	2 m/s
Rüzgâr yönü	9 yönünde

Atışlı testler NATO TOP-3-2-045 standardına uygun olarak yapılmıştır [41]. Testlerin yapıldığı ve Çizelge 4.6'da verilen rakım ile atmosferik koşulların göz önünde bulundurulmasıyla Eklerde verilen ilgili balistik tablo setleri kullanılarak optik sistem için belirlenmiş yükseliş ve yan düzeltme değerleri toplu olarak Çizelge 4.7'de verilmiştir. 300 m, 550 m, 700 m ve 800 m mesafelerdeki hedeflere Çizelge 4.7'de verilen optik düzeltme değerleri kullanılarak her bir durum için onar adet atış yapılmıştır.

Çizelge 4.7. Atışlı doğrulama testlerinde kullanılan optik sistem düzeltme değerleri

Mesafe (m)	G1(üretici): Tek			G1(deney): Çoklu			G7(Deney): Tek		
	BC	Düzeltme (klik)		BC	Düzeltme (klik)		BC	Düzeltme (klik)	
		Yükseliş	Yan		Yükseliş	Yan		Yükseliş	Yan
300	0,450	+12	-	0,438	+12	-	0,215	+12	-
550		+35	-1	0,414	+36	-1		+37	-1
700		+54	-9	0,396	+56	-11		+56	-11
800		+68	-11	0,375	+71	-12		+71	-12

Atışların doğruluk ve dağılım performansının ölçümü

Doğruluk ve dağılım değerlerinin ölçümleri NATO'nun AC-225 ve ITOP 4-2-829 Hafif Silah Sistemlerinin Değerlendirme prosedürlerine göre yapılmıştır [42, 43].

Atışlar için, Şekil 4.20'de gösterilen üç farklı tip hedef kâğıdı kullanılmıştır. Atış mesafesi arttıkça dağılım değerinin artması nedeniyle, hedefteki vuruşların belirlenebilmesi için giderek daha büyük boyutlarda hedef kâğıdı tercih edilmiştir.

Mühimmatların doğruluk değeri, hedef ile orta vuruş noktası arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır [43]. Yapılan atışlarda, orta vuruş noktası her bir eksendeki referans noktaya göre, Eşitlik 4.8 ve Eşitlik 4.9 kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra orta vuruş noktası ile hedef olarak seçilen nokta arasındaki mesafe hesaplanarak, doğruluk değeri belirlenmiştir.

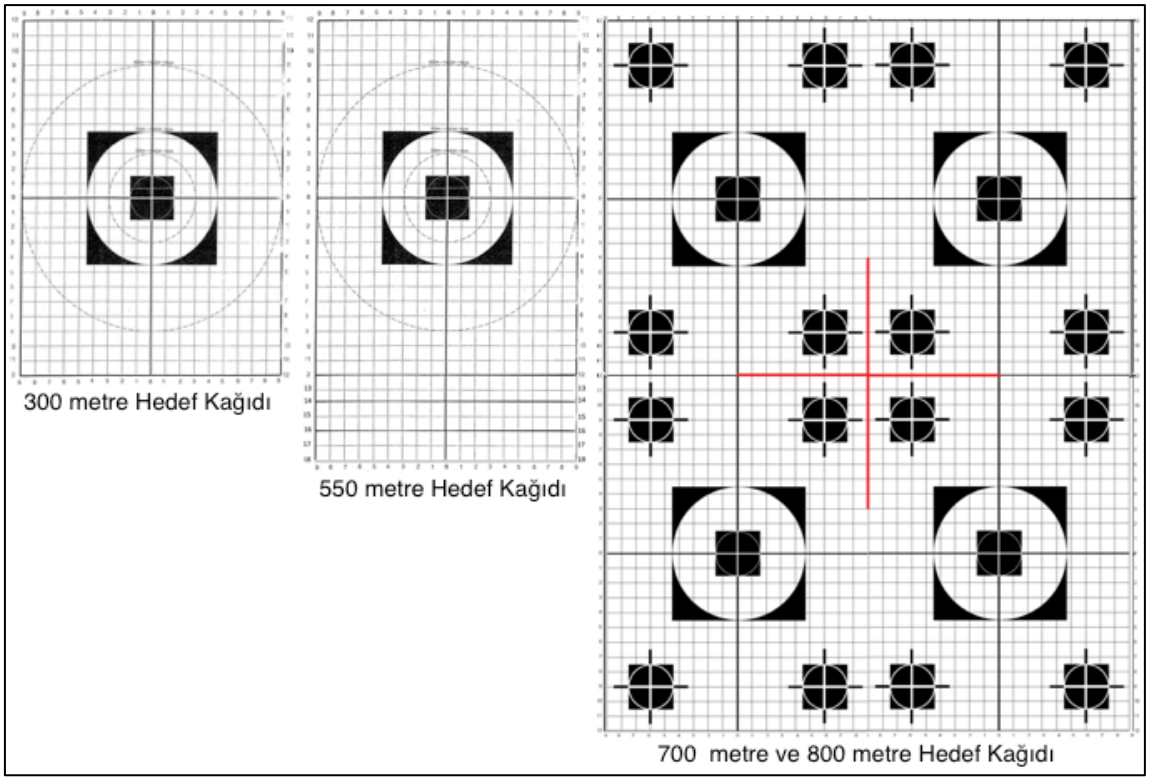
$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{4.8}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \tag{4.9}$$

$\bar{x}$, $\bar{y}$: Orta vuruş noktasının referans noktasına (hedef noktasına) göre koordinatları (Sırasıyla x ve y eksenindeki doğruluk sapmaları)

n : Toplam vuruş noktası sayısı

x_i , y_i : i'nci vuruş noktasının referans noktasına göre sırasıyla x ve y koordinatları

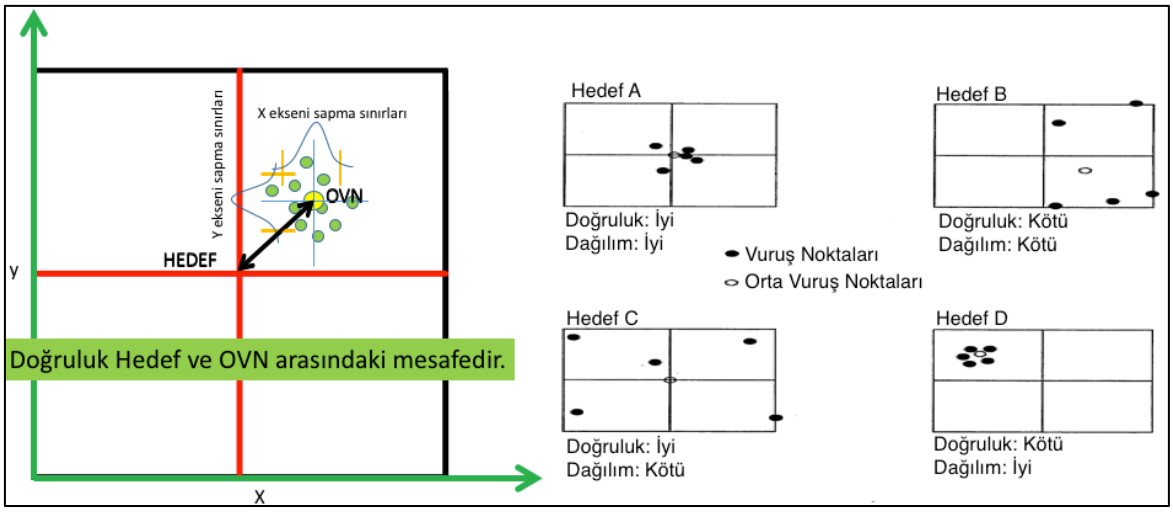


Şekil 4.20. 300 metre, 550 metre, 700 metre ve 800 metre mesafelerde kullanılan hedef kâğıtları

Mühimmatların dağılımı, bir seri atımdaki her bir merminin vuruş noktasının, mermilerin orta vuruş noktasına göre standart sapması olarak tanımlanmaktadır [43].

Keskin nişancı tüfeklerinde kullanılan mühimmatların dağılım değeri, grupta birbirine en uzak iki vuruş noktası arasındaki mesafe olarak tanımlanmakta olup çalışmadaki dağılım değerleri bu tanıma uygun olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.21'de orta vuruş noktası, doğruluk ve dağılım kavramları gösterilmektedir.



Şekil 4.21. Orta vuruş noktası, doğruluk ve dağılım kavramlarının gösterimi

"n" sayıdaki vuruş noktası olan herhangi bir atış grubuna ait dağılım değerini belirlemek için Eşitlik 4.10'da verildiği üzere noktalar arasında toplam "m" sayıda mesafe ölçümü/hesabı yapılması gerekir.

$$m = \frac{n!}{(n-r)!.r!} \tag{4.10}$$

m: Mesafe ölçüm sayısı

n: Vuruş noktası sayısı

r: Seçim sayısı

Hedef kâğıtlarındaki vuruş noktalarına ayrı birer numara verilmiş olup her bir vuruş noktasının x ve y koordinatları tablo halinde kaydedilmiştir. Herhangi iki "i" ve "j" vuruş noktası arasındaki "L" mesafesi Eşitlik 4.11 ile hesaplanabilir.

$$L = \sqrt{(x_i-x_j)^2+ (y_i-y_j)^2} \tag{4.11}$$

x_i , y_i : i'nci vuruş noktasının referans noktasına göre sırasıyla x ve y koordinatları

x_j , y_j : j'nci vuruş noktasının referans noktasına göre sırasıyla x ve y koordinatları

Vuruş noktalarının tüm kombinasyonları için “L” mesafeleri Eşitlik 4.11 kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmış ve bulunan en büyük “L” değeri atış grubunun dağılım değeri olarak kaydedilmiştir.

Atış gruplarının her biri onar adet mermiden oluştuğundan her bir gruba ait dağılım değeri belirlenirken Eşitlik 4.10’dan n=10 ve r=2 değerleriyle hesaplanabileceği üzere

($m = \frac{10!}{(10-2)!.2!} = 45$), m=45 adet mesafe hesabı yapılmıştır.

4.3. Deney Numunelerinin Doğruluk ve Dağılım Ölçüm Sonuçları

4.3.1. 300 metre mesafe atışları

300 metre mesafede her bir balistik tablo seti için, 10’ar adet deney numunesi ateşlenerek gerçekleştirilen atışlı testlerdeki sonuçlar, Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10’da gösterilmiştir.

Atışların hedefteki vuruş noktaları Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24’de gösterilmiştir.

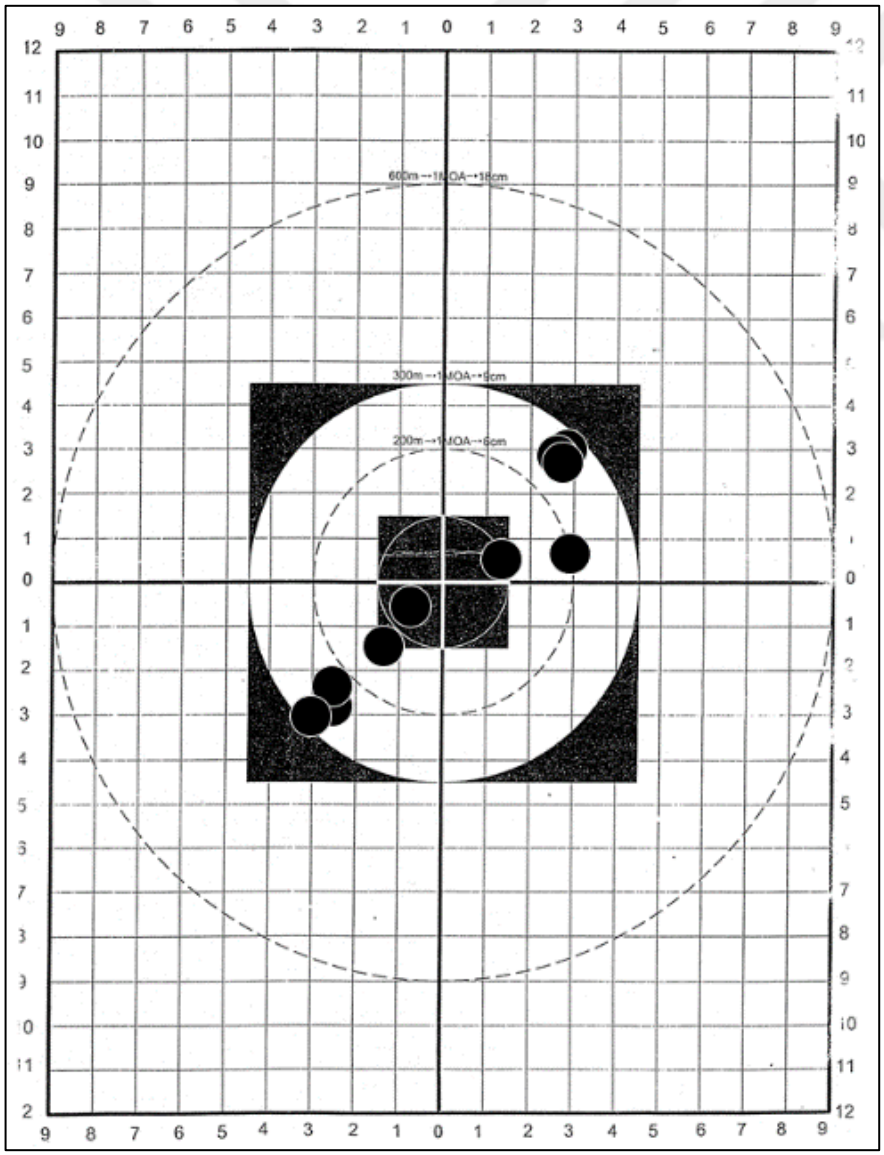
Üretici firma tarafından G1 referans geometrisine göre yayımlanan 0,450 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda, Çizelge 4.8’de gösterildiği gibi 82,7 mm değerinde dağılım; x ekseninde 0,6 mm, y ekseninde 0,2 mm değerinde doğruluk sapması hesaplanmıştır.

G1 referans mermi geometrisine göre Mach cinsinden farklı hız bölgelerinde balistik katsayılar hesaplanmıştır. 300 metre mesafedeki 2,60 Mach - 1,82 Mach sayısı aralığına karşılık gelen 0,438 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda Çizelge 4.9’da gösterildiği gibi 74 mm dağılım; x ekseninde -1 mm, y ekseninde 0,8 mm doğruluk sapması hesaplanmıştır.

G7 referans mermi geometrisine göre belirlenen 0,215 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda Çizelge 4.10’da gösterildiği gibi 60,3 mm dağılım; x ekseninde -0,2 mm, y ekseninde 0,3 mm değerinde doğruluk sapması hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 300 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

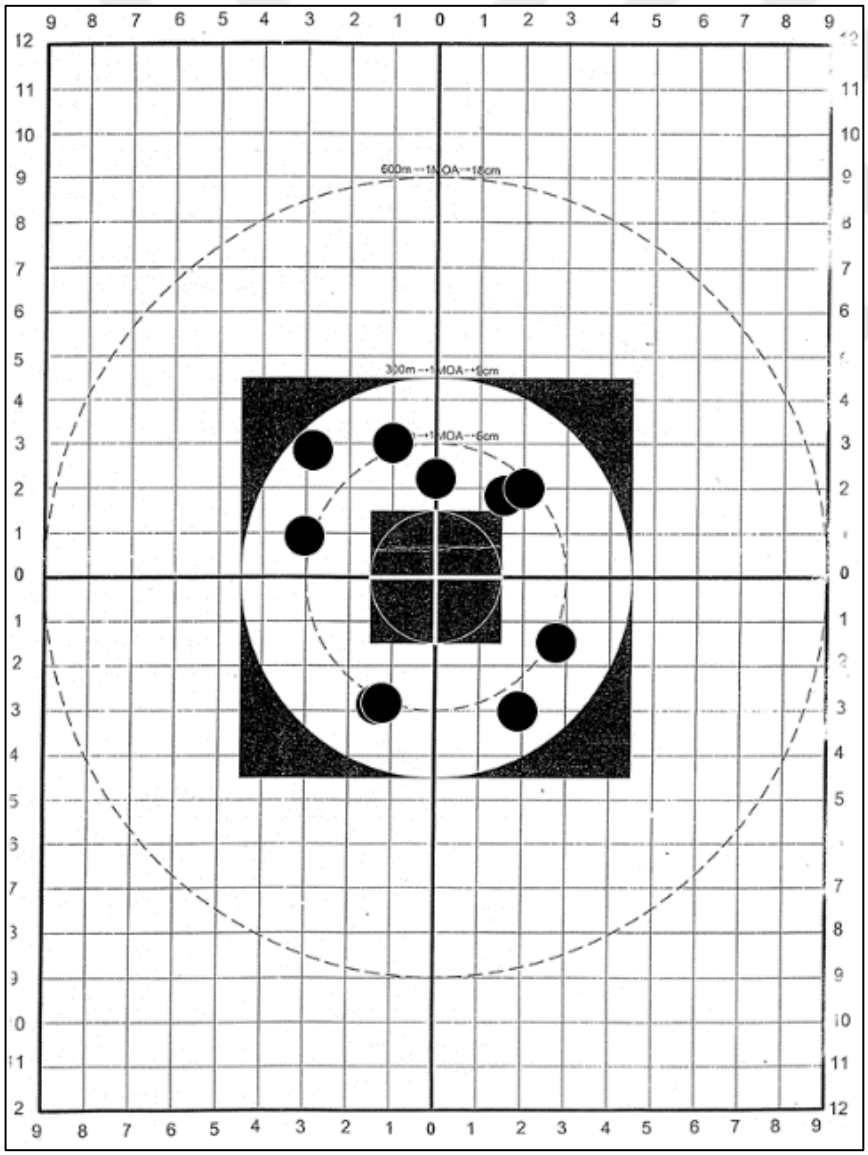
Atış No	x (mm)	y (mm)
1	28	29
2	28	27
3	-26	-24
4	-25	-29
5	-13	-15
6	27	28
7	12	7
8	-30	-30
9	-8	-5
10	13	14
OVN (X,Y)	0.6	0.2
Dağılım = 82,7 mm		



Şekil 4.22. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 300 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

Çizelge 4.9. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,438 için gerçekleştirilen 300 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

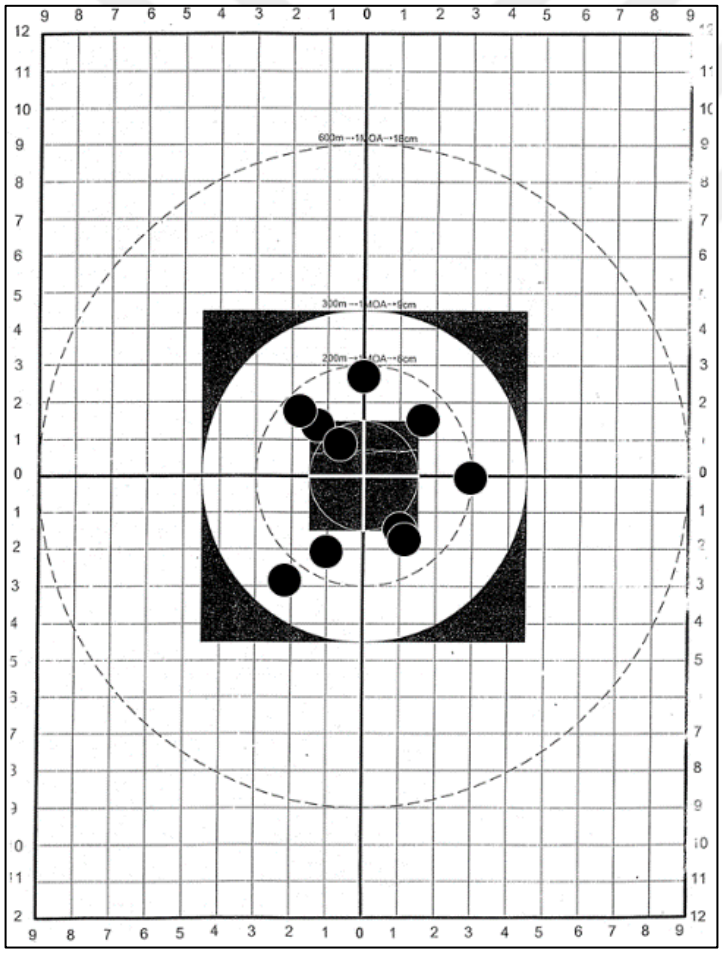
Atış No	x (mm)	y (mm)
1	-28	28
2	-13	-29
3	27	-15
4	20	20
5	-10	30
6	0	22
7	-30	-9
8	17	19
9	18	-30
10	-11	-28
OVN (X,Y)	-1	0.8
Dağılım = 74 mm		



Şekil 4.23. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,438 için gerçekleştirilen 300 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

Çizelge 4.10. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 300 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

Atış No	x (mm)	y (mm)
1	-5	9
2	17	17
3	-22	-29
4	30	0
5	-13	14
6	0	27
7	-19	19
8	-10	-21
9	11	-18
10	9	-15
OVN (X,Y)	-0.2	0.3
Dağılım = 60,3 mm		



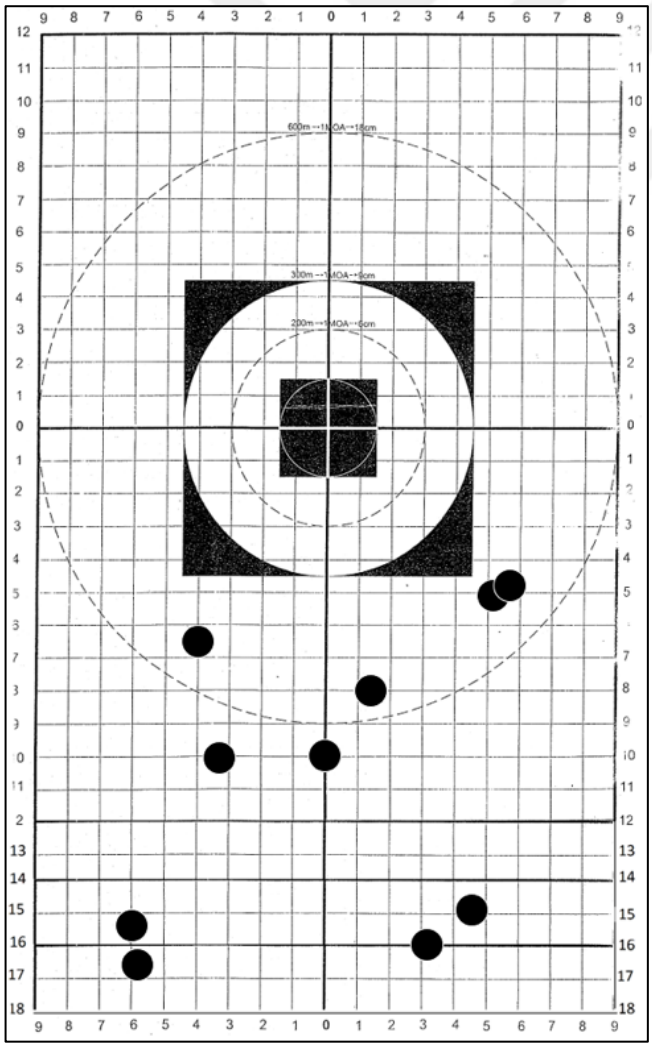
Şekil 4.24. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 300 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

300 metre mesafede doğruluk performansının ölçülmesi amacıyla yapılan atışlarda, 3 farklı yöntem kullanılarak hazırlanan balistik tablo setlerine göre yapılan vuruşların dağılım değerleri benzerlik göstermiş ve bu mesafe için kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır.

4.3.2. 550 metre mesafe atışları

Çizelge 4.11. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 550 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

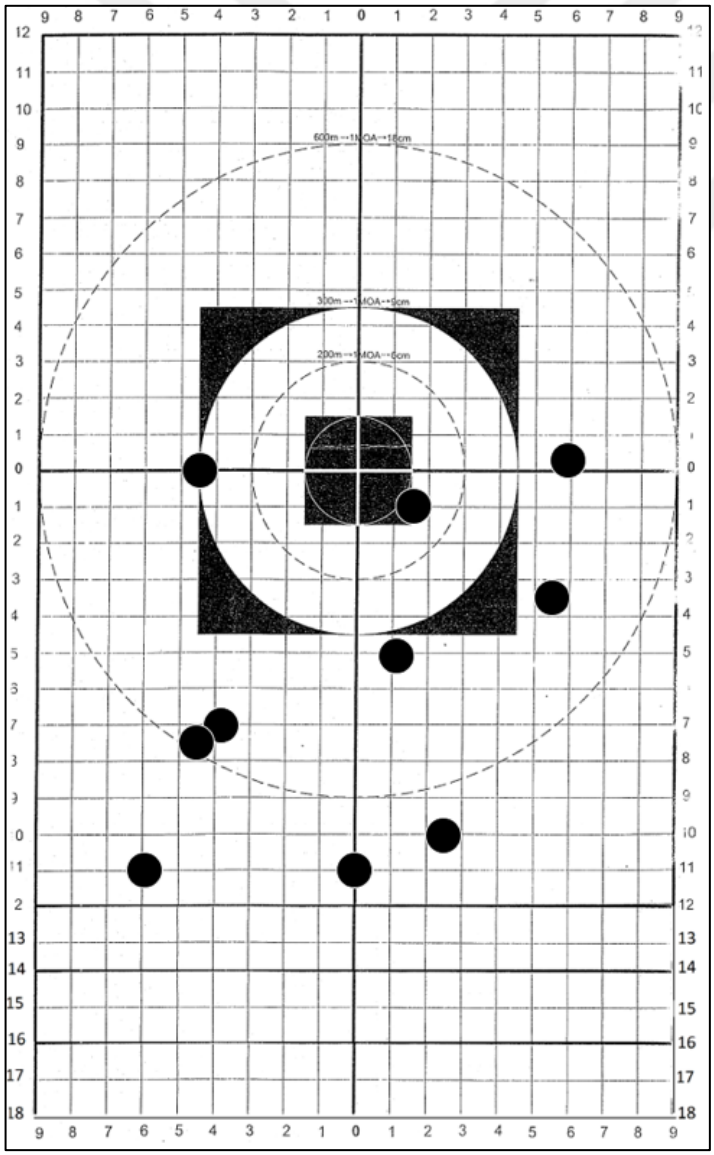
Atış No	x (mm)	y (mm)
1	-57	-167
2	0	-100
3	13	-81
4	-40	-66
5	52	-52
6	31	-160
7	-33	-98
8	-60	-155
9	59	-49
10	44	-149
OVN (X,Y)	0.9	-107.7
Dağılım = 165,5 mm		



Şekil 4.25. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 550 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

Çizelge 4.12. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,414 için gerçekleştirilen 550 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

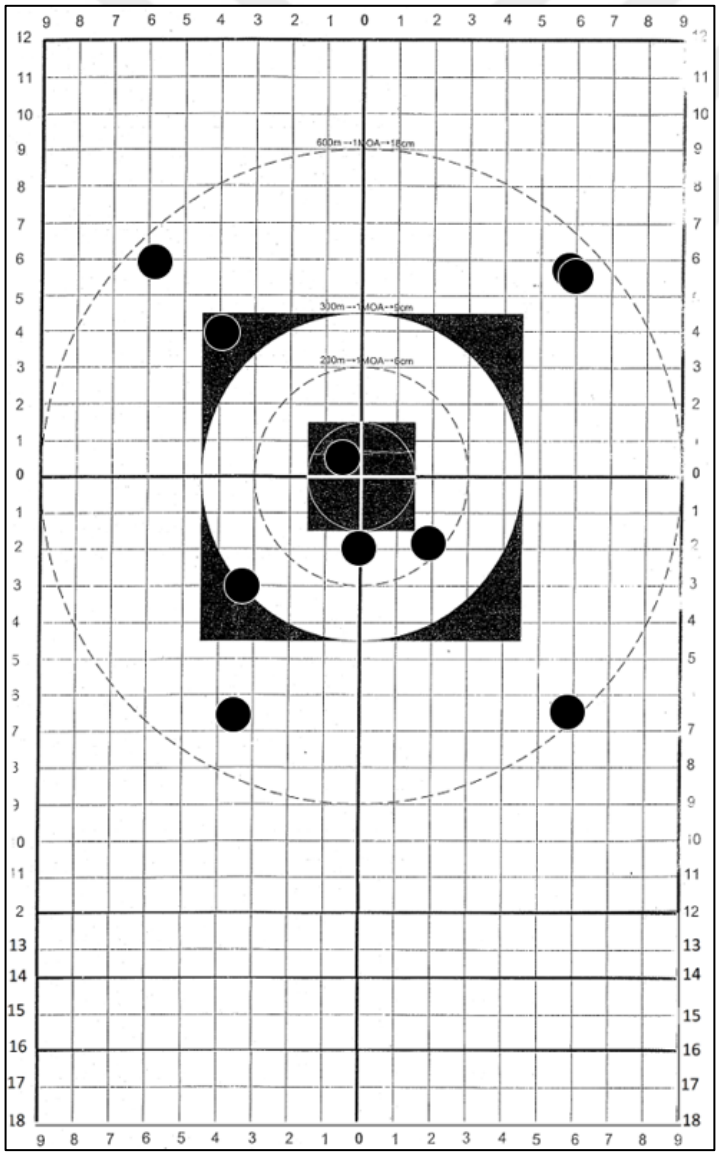
Atış No	x (mm)	y (mm)
1	0	-110
2	-38	-70
3	25	-100
4	-60	-110
5	13	-52
6	-45	-75
7	59	4
8	15	-10
9	55	-35
10	-45	0
OVN (X,Y)	-2.1	-55.8
Dağılım = 164,8 mm		



Şekil 4.26. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,414 için gerçekleştirilen 550 metre metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

Çizelge 4.13. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 550 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

Atış No	x (mm)	y (mm)
1	-40	40
2	-34	30
3	-5	5
4	0	-20
5	60	55
6	58	59
7	48	-40
8	56	-65
9	18	-20
10	-57	60
OVN (X,Y)	10.4	10.4
Dağılım = 168,5 mm		



Şekil 4.27. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 550 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

550 metre mesafede her bir balistik tablo seti için 10'ar adet deney numunesi ateşlenerek gerçekleştirilen atışlı testlerdeki sonuçlar, Çizelge 4.11, 4.12 ve 4.13'de gösterilmiştir.

Atışların hedefteki vuruş noktaları Şekil 4.25, 4.26 ve 4.27'de gösterilmiştir.

Üretici firma tarafından G1 referans geometrisine göre yayımlanan 0,450 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda, Çizelge 4.11'de gösterildiği gibi 165,5 mm değerinde dağılım; x ekseninde 0,9 mm, y ekseninde -107,7 mm değerinde doğruluk sapması hesaplanmıştır.

G1 referans mermi geometrisine göre Mach cinsinden farklı hız bölgelerinde balistik katsayılar hesaplanmıştır. 550 metre mesafedeki 1,82 Mach - 1,51 Mach sayısı aralığına karşılık gelen 0,414 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda Çizelge 4.12'de gösterildiği gibi 164,8 mm dağılım; x ekseninde -2,1 mm, y ekseninde -55,8 mm değerinde doğruluk sapması hesaplanmıştır

G7 referans mermi geometrisine göre belirlenen 0,215 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda Çizelge 4.13'de gösterildiği gibi 168,5 mm dağılım; x ekseninde 10,4 mm, y ekseninde 10,4 mm değerinde doğruluk sapması hesaplanmıştır.

550 metre mesafede doğruluk performansının ölçülmesi amacıyla yapılan atışlarda, 3 farklı yöntem kullanılarak hazırlanan balistik tablo setlerine göre yapılan vuruşların dağılım değerleri benzerlik göstermiş ve bu mesafe için kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır.

Üretici firma tarafından G1 referans geometrisi baz alınarak yayımlanan, 0,450 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda y ekseninde meydana gelen 107,7 mm'lik sapma değerinin ve deneysel çalışmada 550 metre mesafedeki 1,82 Mach - 1,51 Mach sayısı aralığına karşılık gelen G1 referans mermi geometrisi baz alınarak 0,414 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda y ekseninde meydana gelen 55,8 mm'lik sapma değerinin, isabetsiz atışlara neden olmayacağı ancak hedefteki kritik noktanın vurulmasında olumsuz etki oluşturabileceği değerlendirilmiştir.

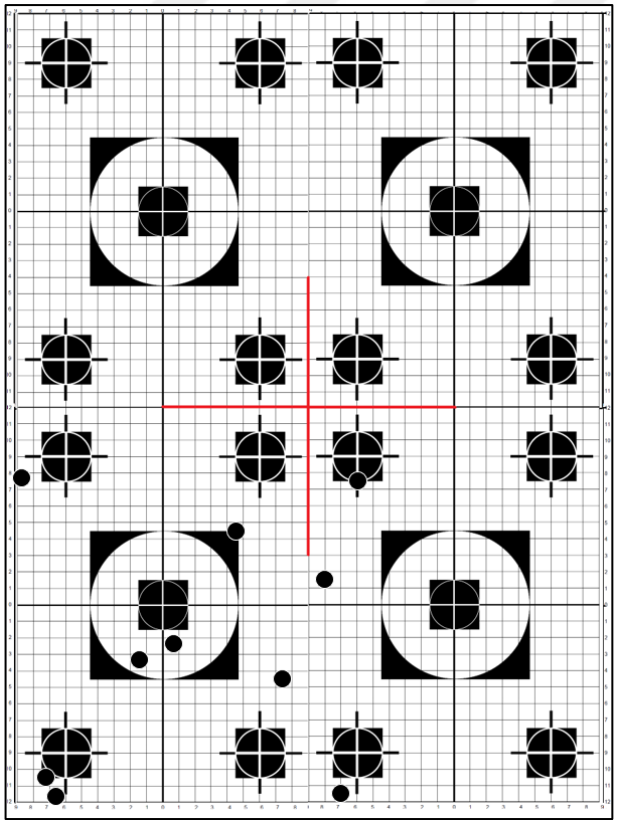
G7 referans geometrisine göre belirlenen balistik katsayı kullanılarak yapılan atışlardaki ortalama sapma değerleri, yüksek bir doğruluk performansı olarak değerlendirilmiştir.

4.3.3. 700 metre mesafe atışları

700 metre mesafede her bir balistik tablo seti için 10'ar adet deney numunesi ateşlenerek gerçekleştirilen atışlı testlerdeki sonuçlar, Çizelge 4.14, 4.15 ve 4.16'da gösterilmiştir. Atışların hedefteki vuruş noktaları Şekil 4.28, 4.29 ve 4.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 700 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

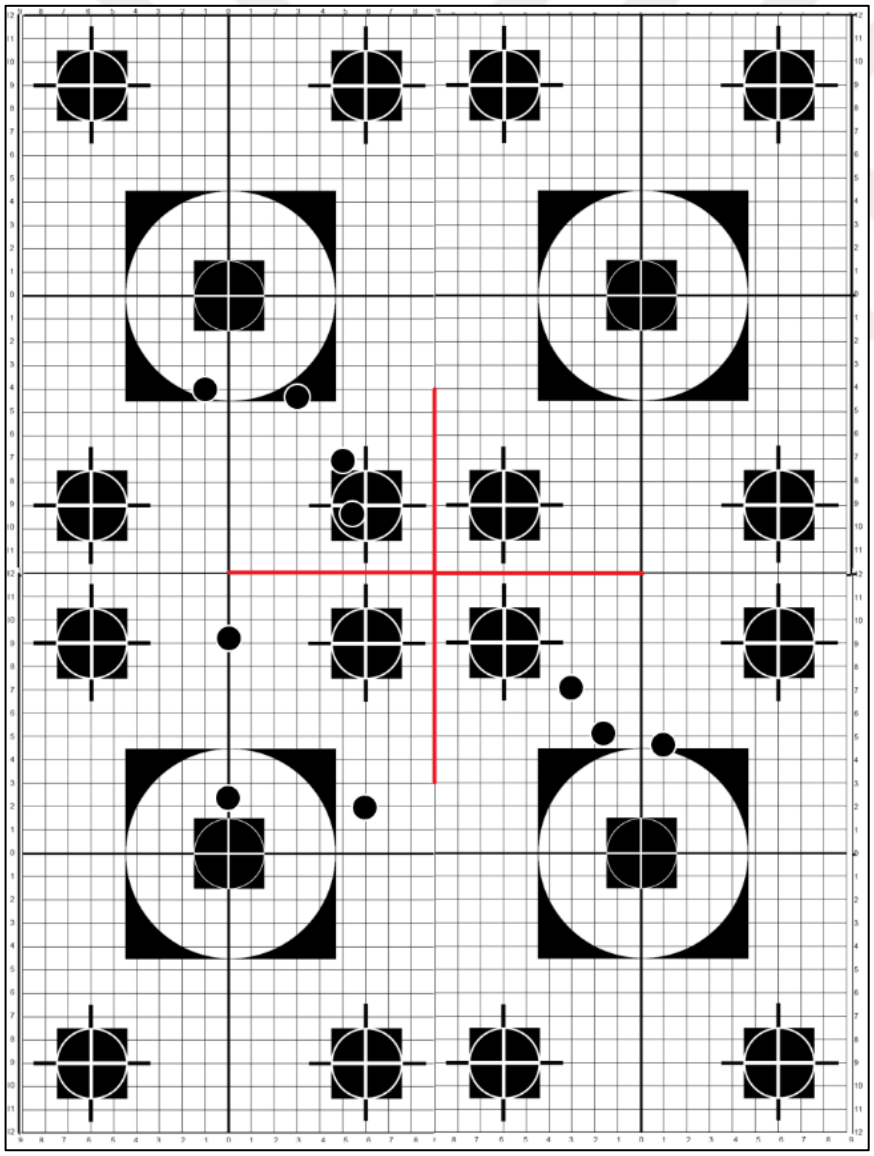
Atış No	x (mm)	y (mm)
1	-15	-165
2	30	-45
3	10	-105
4	-45	-75
5	20	-235
6	-145	-237
7	-168	-41
8	-86	-144
9	-103	-152
10	-160	-226
OVN (X,Y)	-66.2	-142.5
Dağılım = 270,1 mm		



Şekil 4.28. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 700 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

Çizelge 4.15. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,396 için gerçekleştirilen 700 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

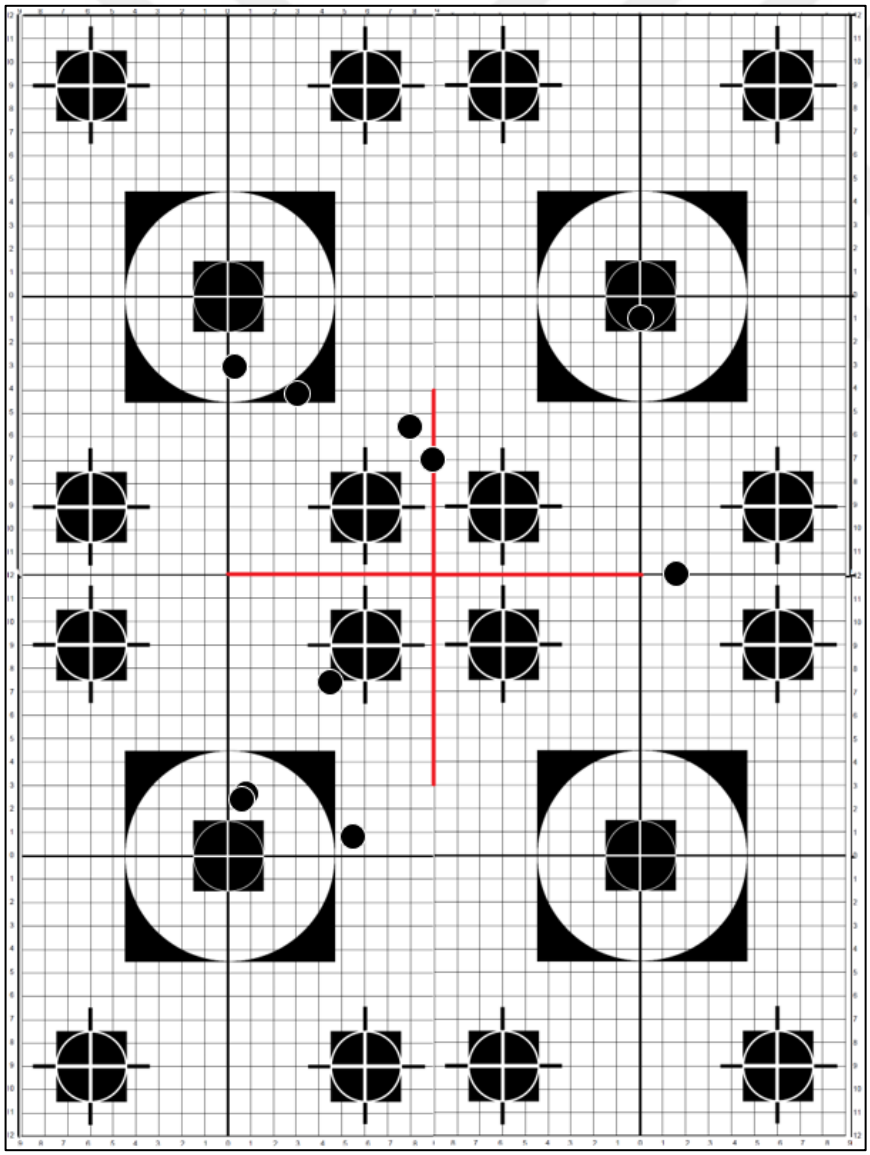
Atış No	x (mm)	y (mm)
1	-90	-95
2	75	-70
3	60	-50
4	-30	-100
5	-90	-30
6	-60	74
7	100	-73
8	-35	25
9	-40	50
10	-98	80
OVN (X,Y)	-20.8	-18.9
Dağılım = 250,2 mm		



Şekil 4.29. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,396 için gerçekleştirilen 700 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

Çizelge 4.16. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 700 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

Atış No	x (mm)	y (mm)
1	-87	-95
2	103	0
3	-10	65
4	-88	96
5	0	50
6	90	110
7	-60	80
8	-36	-111
9	-88	90
10	-46	-45
OVN (X,Y)	-22.2	24
Dağılım = 270,8 mm		



Şekil 4.30. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 700 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

Üretici firma tarafından G1 referans geometrisine göre yayımlanan 0,450 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda, Çizelge 4.14.'de gösterildiği gibi 270,1 mm değerinde dağılım; x ekseninde -66,2 mm, y ekseninde -142,5 mm değerinde doğruluk sapması hesaplanmıştır.

G1 referans mermi geometrisine göre, Mach cinsinden farklı hız bölgelerinde, balistik katsayılar hesaplanmıştır. 700 metre mesafedeki 1,51 Mach - 1,36 Mach sayısı aralığına karşılık gelen 0,396 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda, Çizelge 4.15'de gösterildiği gibi 250,2 mm dağılım; x ekseninde -20,8 mm, y ekseninde -18,9 mm değerinde doğruluk sapması hesaplanmıştır.

G7 referans mermi geometrisine göre belirlenen 0,215 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda, Çizelge 4.16'da gösterildiği gibi 270,8 mm dağılım; x ekseninde -22,2 mm, y ekseninde 24 mm değerinde doğruluk sapması hesaplanmıştır.

700 metre mesafede doğruluk performansının ölçülmesi amacıyla yapılan atışlarda, 3 farklı yöntem kullanılarak hazırlanan balistik tablo setlerine göre yapılan vuruşların dağılım değerleri benzerlik göstermiş ve bu mesafe için kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır.

Üretici firma tarafından G1 referans geometrisi baz alınarak yayımlanan balistik katsayıya göre yapılan vuruşlarda x ekseninde meydana gelen -66,2 mm'lik, y ekseninde meydana gelen -142,5 mm'lik sapma değerlerinin, hedefe yapılan atışlarda isabet oranının azalmasına ve kritik noktanın vurulmasının amaçlandığı atışlarda başarısızlığa neden olabileceği değerlendirilmiştir.

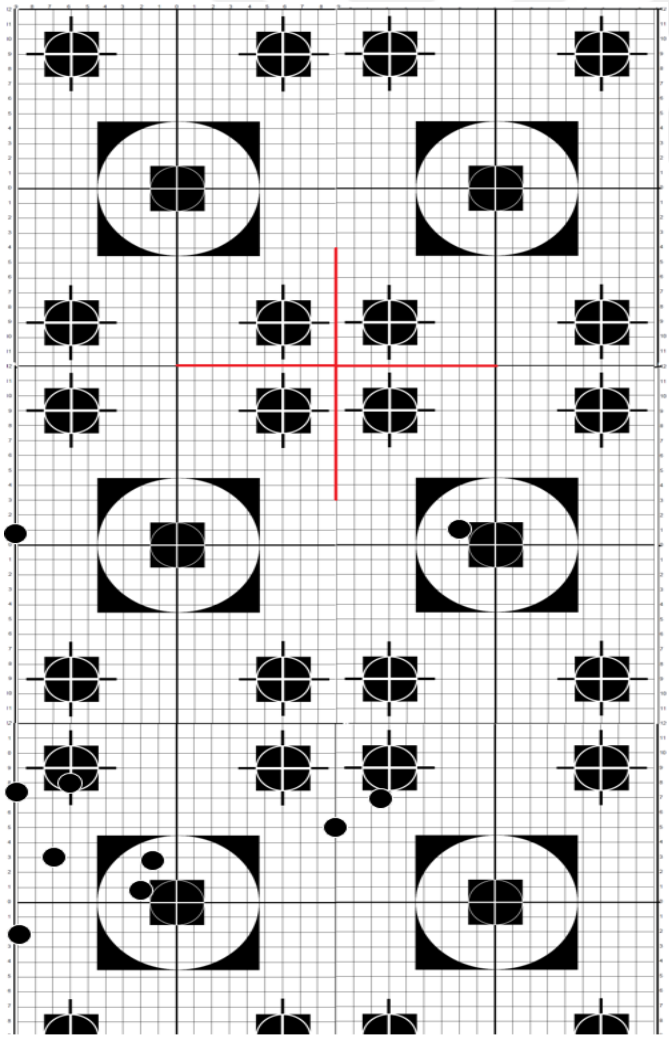
Deneysel çalışmada G1 referans mermi geometrisi baz alınarak 700 metre mesafedeki 1,51 Mach - 1,36 Mach sayısı aralığına karşılık gelen 0,396 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlardaki ortalama sapma değerleri, yüksek bir doğruluk performansı olarak değerlendirilmiştir.

G7 referans geometrisine göre belirlenen balistik katsayı kullanılarak yapılan atışlardaki ortalama sapma değerleri, yüksek bir doğruluk performansı olarak değerlendirilmiştir.

4.3.4. 800 metre mesafe atışları

Çizelge 4.17. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 800 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

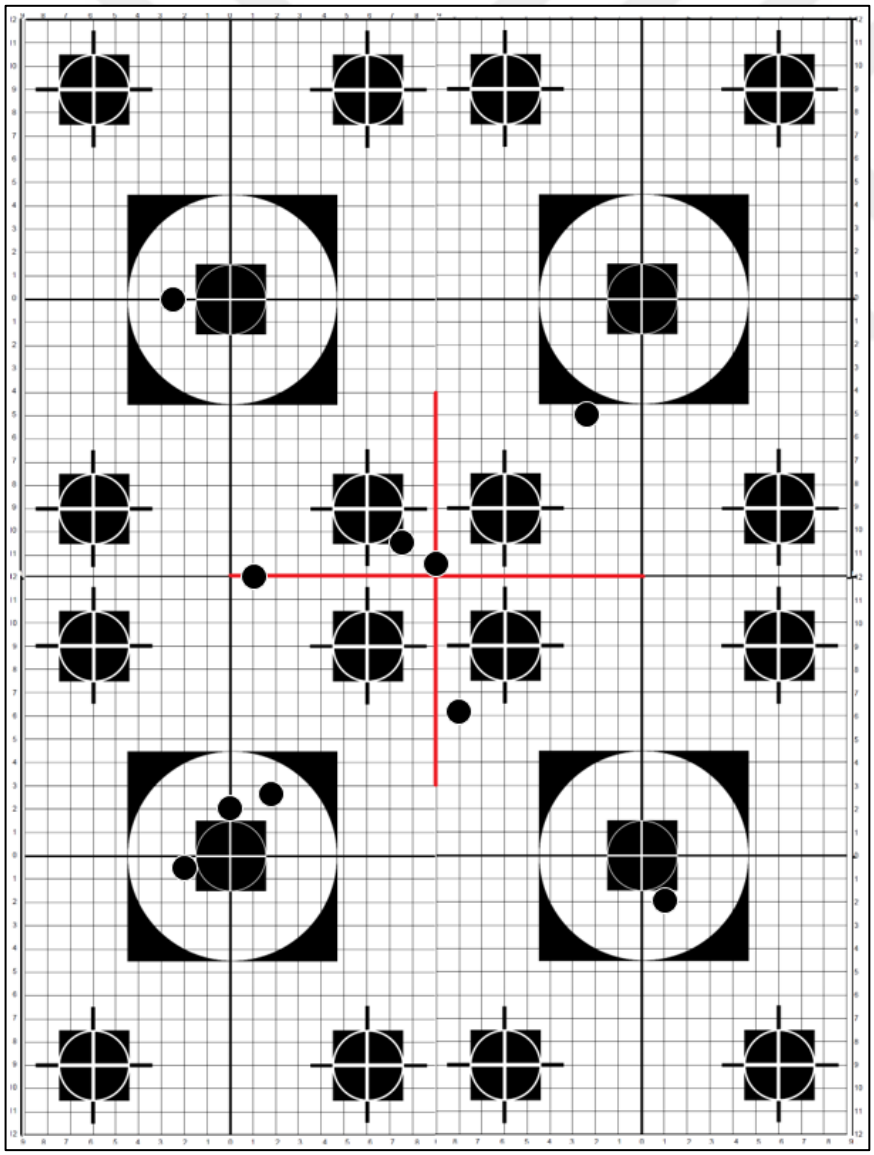
Atış No	**x (mm)**	**y (mm)**
1	68	-112
2	24	-288
3	0	-311
4	-106	-331
5	-152	-278
6	-178	-284
7	-181	-112
8	-169	-329
9	-177	-381
10	-112	-352
OVN (X,Y)	-98.3	-277.8
Dağılım = 363,8 mm		



Şekil 4.31. BC (G1-Üretici) = 0,450 için gerçekleştirilen 800 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

Çizelge 4.18. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,375 için gerçekleştirilen 800 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

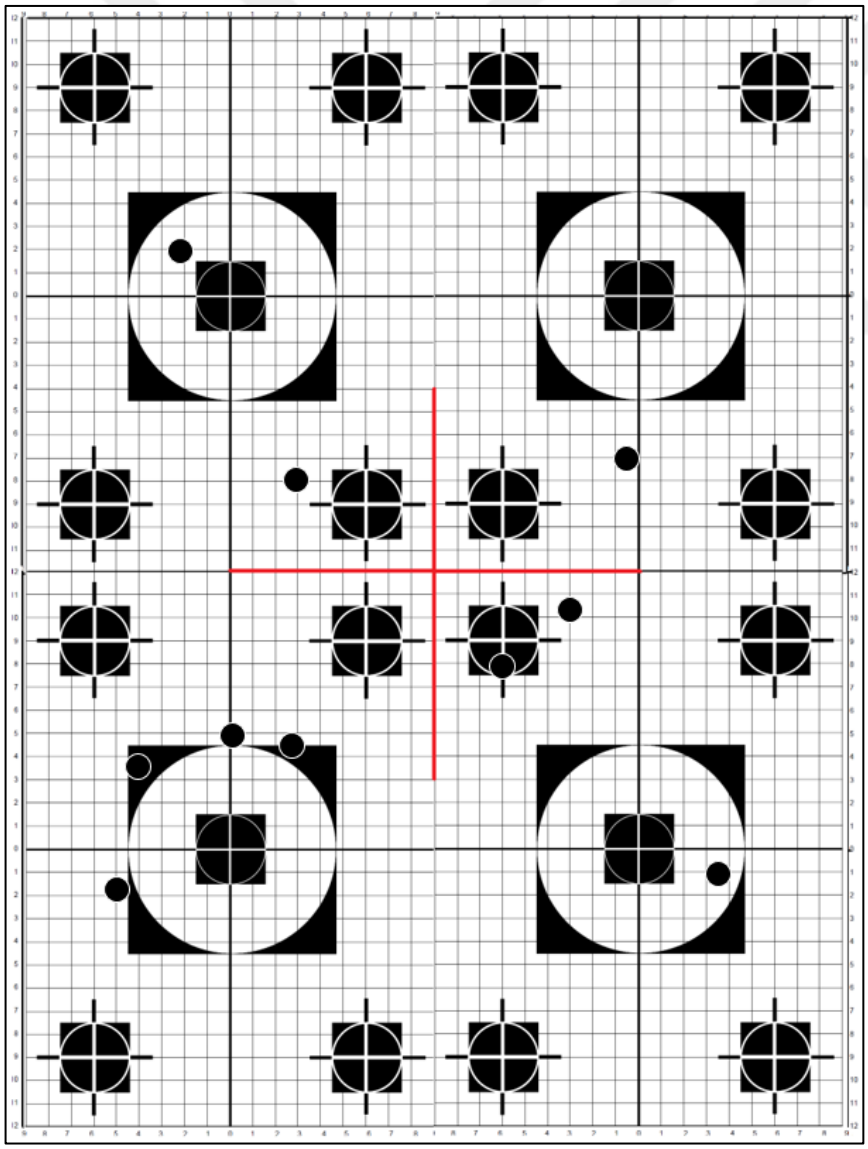
Atış No	**x (mm)**	**y (mm)**
1	-111	-126
2	9	-59
3	-15	15
4	-73	-93
5	-114	121
6	-79	0
7	64	69
8	-91	-101
9	0	5
10	100	-140
OVN (X,Y)	-31	-30.9
Dağılım = 337,5 mm		



Şekil 4.32. Çoklu BC (G1-Deneysel) = 0,375 için gerçekleştirilen 800 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

Çizelge 4.19. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 800 metre mesafedeki atışlara ait sonuçlar

Atış No	x (mm)	y (mm)
1	125	-130
2	-110	140
3	-60	40
4	-90	-70
5	85	50
6	60	-20
7	30	-40
8	-130	-85
9	-66	-76
10	-140	-140
OVN (X,Y)	-29,6	-33,1
Dağılım = 357,9 mm		



Şekil 4.33. BC (G7-Deneysel) = 0,215 için gerçekleştirilen 800 metre mesafe atışlarının hedefteki vuruş noktaları

800 metre mesafede her bir balistik tablo seti için 10'ar adet deney numunesi ateşlenerek gerçekleştirilen atışlı testlerdeki sonuçlar, Çizelge 4.17, 4.18 ve 4.19'da, atışların hedefteki vuruş noktaları Şekil 4.31, 4.32 ve 4.33'de gösterilmiştir.

Üretici firma tarafından G1 referans geometrisine göre yayımlanan 0,450 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda, Çizelge 4.17'de gösterildiği gibi 363,8 mm değerinde dağılım; x ekseninde -98,3 mm, y ekseninde -277,8 mm değerinde doğruluk sapması hesaplanmıştır.

G1 referans mermi geometrisine göre 800 metre mesafedeki 1,32 Mach - 1,30 Mach sayısı aralığına karşılık gelen 0,375 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda Çizelge 4.18'de gösterildiği gibi 337,5 mm dağılım; x ekseninde -31 mm, y ekseninde -30,9 mm değerinde doğruluk sapması hesaplanmıştır

G7 referans mermi geometrisine göre belirlenen 0,215 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlarda Çizelge 4.19'da gösterildiği gibi 357,9 mm dağılım; x ekseninde -29,6 mm, y ekseninde -33,1 mm değerinde doğruluk sapması hesaplanmıştır.

800 metre mesafede doğruluk performansının ölçülmesi amacıyla yapılan atışlarda, 3 farklı yöntem kullanılarak hazırlanan balistik tablo setlerine göre yapılan vuruşların dağılım değerleri benzerlik göstermiş ve bu mesafe için kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır.

Üretici firma tarafından G1 referans geometrisi baz alınarak yayımlanan balistik katsayıya göre yapılan vuruşlarda x ekseninde -98,3 mm'lik, y ekseninde -277,8 mm'lik sapma meydana gelmiştir. Bu sapma değerlerinin başarısızlığa neden olabileceği, yani hedefte isabet sağlama oranının büyük oranda azalacağı değerlendirilmektedir.

Deneysel çalışmada G1 referans mermi geometrisi baz alınarak 800 metre mesafedeki 1,32 Mach - 1,30 Mach sayısı aralığına karşılık gelen 0,375 değerindeki balistik katsayıya göre yapılan atışlardaki ortalama sapma değerleri, yüksek bir doğruluk performansı olarak değerlendirilmiştir.

G7 referans geometrisine göre belirlenen balistik katsayı kullanılarak yapılan atışlardaki ortalama sapma değerleri, yüksek bir doğruluk performansı olarak değerlendirilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Balistik cetvel probleminde aranan çözüm; performansı belirli bir mühimmat ve diğer hata kaynaklarından arınmış bir silah sistemi ile atışların orta vuruş noktasını hedef noktasına yaklaştırmaktır.

Bu çalışma ile balistik katsayının belirlenmesinde gelecekteki çalışmalara ışık tutacak bir yöntemin oluşturulması ve bu yöntemin örnek teşkil ederek, ülkemizce tedarik edilen tüm dönü kararlı hafif silah mühimmatlarına uygulanması ve mermi yörüngelerinin en az hata oranı ile belirlenebilmesi amaçlanmıştır.

Hafif silah mühimmatlarının üreticileri tarafından bildirilen balistik katsayı değerlerine yönelik ölçümlerin, hangi tüfekle, hangi atmosferik koşullarda, hangi hassasiyetteki ölçüm cihazlarıyla yapıldığı bilinmemektedir. Kullanıcılara genellikle yalnızca G1 referans geometrisine göre tüm hız bölgelerinde geçerli tek bir balistik katsayı değeri bildirilmekte, bu değer mermi yörüngesini tüm hız bölgelerinde temsil edememektedir. Ayrıca ticari sebeplerden ötürü balistik katsayı değerlerini olduğundan yüksek değerde gösteren üreticiler de mevcuttur.

Sunulan tezde, deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiş, Doppler radarı kullanılarak 7,62 mm kalibre dönü kararlı hafif silah mühimmatı mermisinin 10 adet numunesine ait sürüklenme katsayıları belirlenmiş, bu sürüklenme katsayıları doğrultusunda, G1 ve G7 referans geometrilerine göre balistik katsayılar elde edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlarla G1 referans mermi modeline göre çoklu balistik katsayı ve G7 referans mermi modeline göre tek bir balistik katsayı modelleri oluşturulmuş ve bu modeller Quick Target yazılımında kullanılarak iki farklı balistik tablo seti hazırlanmıştır. Üretici firma tarafından bildirilen balistik katsayıya göre aynı yazılım kullanılarak hazırlanan balistik tablo setiyle birlikte toplamda üç farklı balistik tablo seti oluşturulmuştur. Bu üç farklı tablo seti kullanılarak 300 metre, 550 metre, 700 metre ve 800 metre mesafelerde atışlı testler yapılmıştır. Atışlı testler sonucunda Çizelge 5.1'deki doğruluk değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları mukayese edilerek, sonuçlar değerlendirilmiştir:

Çizelge 5.1. Üç farklı balistik tablo setine göre gerçekleştirilen atışlı testlerin sonuçları

Mesafe(m)	G1(üretici): Tek BC				G1(deneysel): Çoklu BC				G7(deneysel): Tek BC			
	BC	Sapma(mm)		Dağılım(mm)	BC	Sapma(mm)		Dağılım(mm)	BC	Sapma(mm)		Dağılım(mm)
		x	y			x	y			x	y	
300	0,450	0,6	0,2	82,7	0,438	-1	0,8	74	0,215	-0,2	0,3	60,3
550		0,9	-107,7	165,5	0,414	-2,1	-55,8	164,8		10,4	10,4	168,5
700		-66,2	-142,5	270,1	0,396	-20,8	-18,9	250,2		-22,2	24	270,8
800		-98,3	-277,8	363,8	0,375	-31	-30,9	337,5		-29,6	-33,1	357,9

Üretici firma tarafından sağlanan balistik katsayıya göre oluşturulan balistik tablo setine göre yapılan atışlarda, 700 metre mesafeden itibaren hedefte isabetsizliğe neden olabilecek sapmaların meydana geldiği belirlenmiştir. Üretici tarafından, deney numunesinden daha kötü bir aerodinamik yapıya sahip G1 modeline göre tüm hız bölgelerini kapsayan tek bir balistik katsayı değerinin bildirilmesinin, bu duruma neden olduğuna kanaat getirilmiştir. Tezde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda iki farklı yaklaşımda bulunulmuştur. Birincisinde üreticiden farklı olarak G1 referans geometrisine göre farklı hız aralıkları için farklı balistik katsayılar belirlenmiştir. İkinci yaklaşımda ise ele alınan mermiye benzer bir aerodinamik yapıya sahip G7 referans geometrisine göre tüm hız aralıklarını kapsayan tek bir balistik katsayı değeri belirlenmiştir. Her iki yaklaşımda da yüksek doğrulukta atışlar gerçekleştirilmiş, sapma değerleri kabul edilebilir düzeylerde kalmıştır. Bu bağlamda, deneysel çalışmada uygulanan her iki yöntemin de başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Dönü kararlı merminin yörünge hesabının yapılmasını sağlayan, hafif silah mühimmatı üreticisi ile kullanıcı arasında bir arayüz oluşturan balistik katsayı, bilhassa uzun mesafe atışlarında büyük öneme sahiptir. Balistik katsayının mümkün olduğunca hassas bir şekilde belirlenmesi, atışların isabetini doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışma ile merminin yörüngesini temsil edebilecek bir veya birden fazla balistik katsayının belirlenebilmesi için, referans olarak seçilecek geometriye göre uygun yöntemin belirlenmesi, dönü kararlı mermilerin sürüklenme katsayılarının yörüngeleri boyunca kullanılacakları silahla ölçülmesi ve bu ölçümlerin yapılabilmesi için uygun test donanımlarının ve ekipmanlarının kullanılmasının önemi vurgulanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları kullanılarak tedarik edilen mühimmatların yörüngelerini temsil edebilecek,

kullanıcıların atışlarına kılavuz olabilecek balistik tablolar uygun yöntemle oluşturulabilecektir.

Dönü kararlı hafif kalibre mermiler için balistik katsayıların hesaplanmasına yönelik olarak gelecekte yapılması muhtemel çalışmaların kapsamının daha yüksek etkili menzil değerlerini kapsayacak şekilde genişletilmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Bu yöndeki çalışmalar, daha büyük kalibrelerde (8,59 mm, 12,7 mm) hafif silah ve hafif silah mühimmatı kullanılarak mümkün olabilecektir. Ayrıca muhtemel deneysel çalışmaların mermi yörüngesinin oluşturulabileceği bir sayısal çözücü ile desteklenmesi, sayısal ve deneysel olarak elde edilen verilerin mukayese edilmesi de bu konuya yönelik faydalı bir yaklaşım olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Powley, H.S. (1957). Determination of rifle trajectories. *Journal of the Franklin Institute*, 264(5), 379-389.

2. Yaşar, H. (1979). *Mühimmatın esasları.* (İkinci baskı). Ankara: MKE Kurumu Matbaası, 9-19.

3. Başak, O. (2014). *Hafif silah mühimmatı.* (Birinci baskı). Ankara: MKE Gazi Fişek Fabrikası İç Yayınları, 1-8.

4. İnternet: U.S. Army Defense Ammunition Center Logistics Review and Technical Assistance Office, (1998). *Propellant management guide.* Illinois. URL: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/9530613.pdf., Son Erişim Tarihi: 22.03.2018.

5. İnternet: Courtney, M. W. and Courtney, A. C. (2012). *Ballistics of the 30-06 rifle cartridge*. Air Force Academy Colorado Springs Co. URL: https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a570469.pdf., Son Erişim Tarihi: 25.07.2019.

6. Bashforth, F. (1890*). A revised account of the experiments made with the Bashforth chronograph, to find the resistance of the air to the motion of projectiles with the application of the results to the calculation of trajectories according to J. Bernoulli's method.* (Third edition). UK: Cambridge University Press, 86-102.

7. Carlucci, D.E. and Jacobson, S.S. (2014*). Ballistics: Theory and design of guns and ammunition.* (Fifth edition). Boca Rotan: CRC Press, 18-56.

8. İnternet: McDonald, W. T. and Almgren, T. C. (2008). *The ballistic coefficıent. ballistics, sierra bullets.* Sadalia, MO : s.n. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.exteriorballistics.com%2Febexplained%2Farticles%2Ft+he_ballistic_coefficient.pdf&date=2019-05-19., Son Erişim Tarihi: 18.02.2019.

9. Litz, B. (2009). *Applied ballistics for long range shooting.* (Second edition). USA: Applied Ballistics Press, 15-25.

10. Litz, B. (2006). Maximum effective range of small arms. *Precision Shooting Journal*, 13(4), 65-75.

11. İnternet: Beech, D. (2016). Why you CANNOT rely on the MV on the Ammo Box, Applied Ballistics. URL: http://appliedballisticsllc.com/Articles/Why%20you%20cannot%20trust%20the%20MV%20on%20the%20Box.pdf., Son Erişim Tarihi: 11.01.2019.

12. İnternet: Courtney, M. and Courtney, A. (2007). The Truth About Ballistic Coefficients, Cornell University Library. URL: https://arxiv.org/pdf/0705.0389, Son Erişim Tarihi: 18.02.2019.

13. Tokluoğlu, M. (2008). *Hafif silahlar.* (Birinci baskı). Kırıkkale: MKE Silah Fabrikası İç Yayınları, 12-22.

14. Buckmore Jr, A. (2018). *The science of small arms ballistics.* (Third edition). USA: Apple Academic Press, 45-55.

15. Naylor, R.H. (1983). Galileo's early experiments on projectile trajectories. *Annals of Science Journal,* 8(4), 391-395.

16. McCoy, R.L. (1999). *A brief history of exterior ballistics: Modern exterior ballistics.* (Sixth edition). Pennsylvania, USA: Shileffer Publishing, 7-17.

17. Steele, B.D. (1994). Muskets and pendulums: Benjamin Robins, Leonhard Euler, and the ballistics revolution. *Technology and Culture Journal,* 35(2), 348-382.

18. Denis, W.G.W., Bashforth, F. and Adams, J.C. (1967). *A supplement to the tables of bashforth and adams.* (Fourth edition). Canada : Queen's Printer, 102-156.

19. Weinacht, P., Cooper, G.R. and Newill, J.F. (2005). *Prediction of direct fire munition trajectories using an analytical approach*. In AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit, San Francisco, California.

20. Cranz, K.J. (1921). *Handbook of ballistics.* (Third edition). Washington D.C.: HM Stationery Office, 48-98.

21. Ingalls, J. M. (1918). *Ingalls' ballistic tables.* (Second edition). Washington D.C.: US Government Printing Office, 36-92.

22. Siacci, F. (1892). Balistique extérieure, *Conversation with P. Laurent.* Berger–Levrault, Paris.

23. Aubin, D. (2017). Ballistics, fluid mechanics, and air resistance at Gâvre, 1829–1915. *Archive for History of Exact Sciences,* 71(6), 509-542.

24. Hermann, E. E. (1926). *Range and ballistics tables.* (Third edition). USA: Applied Ballistics Press, 86-112.

25. Nicolaides, J. (1970, May). *A history of ordnance flight dynamics.* In Propulsion and ASW Meeting, USA, 42-76.

26. Kent, R. H. and McShane, E. J. (1944*). An elementary treatment of the motion of a spinning projectile about its center of gravity.*BRL Memorandum Report, No 85, Army Ballistic Research Lab, Aberdeen Proving Ground Md, Scotland.

27. Hitchcock, H. P. (1952). *Aerodynamic data for spinning projectiles.* BRL Memorandum Report, No 620, Aberdeen Proving Ground Md, Scotland.

28. External Ballistics Department, Ordinance Board, War Office (1940). *Ballistic tables.* External Ballistics Department Report, No 4*,* England.

29. Murphy, C. H. (1963). *Free flight motion of symmetric missiles.* BRL Memorandum Report, No 1216, Army Ballistic Research Lab, Aberdeen Proving Ground Md, Scotland.

30. Chapman, G. T. and Kirk, D. B. (1970). A method of extracting aerodynamic coefficients from free-flight data. *AIAA Journal,* 8(4), 753-758.

31. Whyte, R. H. (1969). *Spinner-a computer program for predicting the aerodynamic coefficients of spin stabilized projectiles*. General Electric Report, No 2, USA.

32. Sahu, J., Nietubicz, C. J. and Steger, J. L. (1985). Navier-Stokes computations of projectile base flow with and without mass injection. *AIAA Journal*, 23(9), 1348-1355.

33. Chen, Y., Wen, C., Xu, J. X. and Sun, M. (1998). High-order iterative learning identification of projectile's aerodynamic drag coefficient curve from radar measured velocity data. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 6(4), 563-570.

34. İnternet: Mcdonald, W. T. and Almgren, T.C. The ballistic coefficient. 2008. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fpdfs.semanticscholar.org%2F0d5d%2F4d23100105a01f7fe7b231fd11acc28f13c4.pdf&date=2019-05-19, Son Erişim Tarihi: 18.02.2019.

35. İnternet: Field Artillery Vol. 6, Ballistics and ammunition*,* B-GL-306-006/FP-001, DND, Canada, 1992. URL: http://index-of.co.uk/Tutorials-2/Ballistics%20and%20Ammunition%20-%20B-GL-371-006.pdf, Son Erişim Tarihi: 13.01.2019.

36. McCoy, R.L. (2004). *Modern Exterior Ballistics: The launch and flight dynamics of symmetric projectiles.* (Fifth edition). Pennsylvania, USA: Shileffer Publishing, 15-25.

37. Driels, M. R. (2013). *Weapon engineering: Conventional weapon system effectiveness.* (Third edition). Virginia : AIAA Education Series, 30-40.

38. İnternet. National Aeronautics and Space Administration (NASA) İnternet sitesi, Mach and Speed of Sound Calculator, URL: https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/machu.html, Son Erişim Tarihi: 29.01.2019.

39. Lahti, J., Sailaranta, T., Harju, M. and Virtanen, K. (2019). Control of exterior ballistic properties of spin-stabilized bullet by optimizing internal mass distribution. *Defence Technology Journal,* 15(2), 38-50.

40. İnternet: Litz, B. Aerodynamic Drag Modeling for Ballistics, URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.grc.nasa.gov%2Fwww%2Fk-12%2Frocket%2Fmachu.html&date=2019-05-19, Son Erişim Tarihi: 18.10.2018.

41. İnternet. TOP 3-2-045 NATO Test Operations Procedure for Small Arms Hand and Shoulder Weapons and Machineguns, URL: https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a481861.pdf., Son Erişim Tarihi: 18.06.2019.

42. İnternet: AC/225 Evaluation Procedures for Future NATO Small Arms Weapon Systems, URL: http://archives.nato.int/uploads/r/nato-archives-online/8/2/0/820626933ca574bde9b3ea26deb50a858de24e3d94c56e8b543a239e38fd3c9b/LOM_448_65_ENG_PDP.pdf., Son Erişim Tarihi: 18.06.2019.

43. İnternet: ITOP 4-2-829 International Test Operations Procedure, Vertical Target Accuracy and Dispersion, URL: https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/876408.pdf , Son Erişim Tarihi: 13.05.2019.

.

EKLER

EK-1. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için deniz seviyesi rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7,62 mm - BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 750 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) = 0,450

DENİZ SEVİYESİ (0 METRE) RAKIM-SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	150 m
200 m	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	250 m
300 m	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	300 m
350 m	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	350 m
400 m	22	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20	400 m
450 m	27	27	26	26	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25	450 m
500 m	33	32	32	32	32	31	31	31	31	30	30	30	30	30	500 m
550 m	39	39	38	38	38	37	37	37	37	36	36	36	36	35	550 m
600 m	46	46	45	45	44	44	44	43	43	43	42	42	42	41	600 m
650 m	54	53	52	52	51	51	50	50	50	49	49	49	48	48	650 m
700 m	62	61	60	60	59	58	58	57	57	56	56	55	55	55	700 m
750 m	70	69	68	68	67	66	66	65	64	64	63	63	62	62	750 m
800 m	80	79	78	77	76	75	74	73	73	72	71	70	70	69	800 m

7,62 mm - BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 707 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) = 0,450

500 METRE RAKIM-SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	250 m
300 m	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	300 m
350 m	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	350 m
400 m	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	400 m
450 m	26	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25	24	24	24	450 m
500 m	32	31	31	31	31	30	30	30	30	30	29	29	29	29	500 m
550 m	38	37	37	37	36	36	36	36	35	35	35	35	35	34	550 m
600 m	44	44	43	43	43	42	42	42	41	41	41	41	40	40	600 m
650 m	51	51	50	50	49	49	49	48	48	48	47	47	47	46	650 m
700 m	59	58	58	57	57	56	56	55	55	54	54	54	53	53	700 m
750 m	67	66	66	65	64	64	63	62	62	61	61	60	60	59	750 m
800 m	76	75	74	73	73	72	71	70	69	69	68	68	67	67	800 m

EK-3. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için 1.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7,62 mm - BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 667 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) = 0,450

1000 METRE RAKIM-SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	250 m
300 m	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	350 m
400 m	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	400 m
450 m	25	25	25	25	25	25	25	24	24	24	24	24	24	24	450 m
500 m	31	31	30	30	30	30	30	29	29	29	29	29	29	28	500 m
550 m	36	36	36	35	35	35	35	35	34	34	34	34	34	33	550 m
600 m	42	42	42	41	41	41	41	40	40	40	40	39	39	39	600 m
650 m	49	49	48	48	48	47	47	47	46	46	46	45	45	45	650 m
700 m	56	56	55	55	54	54	54	53	53	52	52	52	51	51	700 m
750 m	64	63	63	62	62	61	61	60	60	59	59	58	58	57	750 m
800 m	72	71	71	70	69	69	68	67	67	66	66	65	65	64	800 m

EK-4. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için 1.500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7,62 mm - BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 630 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) = 0,450

1500 METRE RAKIM-SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	250 m
300 m	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	350 m
400 m	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	400 m
450 m	25	25	25	24	24	24	24	24	24	24	24	23	23	23	450 m
500 m	30	30	30	29	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28	500 m
550 m	35	35	35	35	34	34	34	34	34	33	33	33	33	33	550 m
600 m	41	41	40	40	40	40	39	39	39	39	38	38	38	38	600 m
650 m	47	47	47	46	46	46	45	45	45	44	44	44	44	43	650 m
700 m	54	54	53	53	52	52	52	51	51	51	50	50	50	49	700 m
750 m	62	61	60	60	59	59	58	58	57	57	57	56	56	56	750 m
800 m	69	69	68	67	67	66	65	65	64	64	63	63	63	62	800 m

EK-5. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için 2.000 metre rakım-(-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7,62 mm - BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 595 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) = 0,450

2000 METRE RAKIM-SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	250 m
300 m	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	350 m
400 m	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	400 m
450 m	24	24	24	24	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23	450 m
500 m	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28	27	27	500 m
550 m	35	34	34	34	34	33	33	33	33	33	32	32	32	32	550 m
600 m	40	40	39	39	39	39	38	38	38	38	37	37	37	37	600 m
650 m	46	45	45	45	44	44	44	44	43	43	43	43	42	42	650 m
700 m	52	52	51	51	51	50	50	50	49	49	49	48	48	48	700 m
750 m	59	59	58	58	57	57	56	56	55	55	55	54	54	54	750 m
800 m	66	66	65	65	64	64	63	63	62	62	61	61	60	60	800 m

EK-6. B.C. (G1-üretici) = 0,450 için 2.500 metre rakım-(-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7,62 mm - BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 563 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) = 0,450

2500 METRE RAKIM-SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	250 m
300 m	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	300 m
350 m	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	350 m
400 m	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	18	18	18	18	400 m
450 m	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	450 m
500 m	29	29	28	28	28	28	28	28	28	27	27	27	27	27	500 m
550 m	34	34	33	33	33	33	33	32	32	32	32	32	32	32	550 m
600 m	39	39	39	38	38	38	38	37	37	37	37	37	36	36	600 m
650 m	45	44	44	44	44	43	43	43	42	42	42	42	42	41	650 m
700 m	51	50	50	50	49	49	49	48	48	48	48	47	47	47	700 m
750 m	57	57	56	56	56	55	55	54	54	54	53	53	53	53	750 m
800 m	64	64	63	63	62	62	61	61	60	60	60	59	59	59	800 m

7,62 mm - BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62	Mermi çapı (in): 0,308
Namlu uzunluğu (mm): 660	
Sıfırlama Mesafesi (m): 100	Mermi kütlesi (g): 9,55
Basınç (mm / Hg): 533	
Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40)	İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8
Bağıl Nem (%): 50	
Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4	Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) = 0,450
1 klik = 1 cm / 100 m	

3000 METRE RAKIM-SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	250 m
300 m	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	350 m
400 m	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	18	18	18	18	400 m
450 m	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	450 m
500 m	29	28	28	28	28	28	28	28	28	27	27	27	27	27	500 m
550 m	34	34	33	33	33	33	33	32	32	32	32	32	32	32	550 m
600 m	39	39	39	38	38	38	38	38	38	37	37	37	37	36	600 m
650 m	45	44	44	44	44	43	43	43	43	42	42	42	42	41	650 m
700 m	51	50	50	50	49	49	49	48	48	48	47	47	47	47	700 m
750 m	57	57	56	56	55	55	55	54	54	54	53	53	53	52	750 m
800 m	64	63	63	62	62	61	61	60	60	60	59	59	58	58	800 m

7,62 mm - BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Namlu ekseni-dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4	Rüzgar İstikameti (Saat yönü): 3 / 9 Rüzgar Hızı (m / s): 0 - 7 B.C. (G1)= 0,450 1 klik = 1 cm / 100 m

RÜZGAR DÜZELTME CETVELİ

RÜZGAR HIZI	0 m/s		1 m/s		2 m/s		3 m/s		4 m/s		5 m/s		6 m/s		7 m/s	
İSTİKAMETİ (Saat yönü)	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9
Mesafe (m)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)
100	0	0	0	0	1	-1	1	-1	2	-2	2	-2	3	-3	3	-3
200	0	0	1	-1	2	-2	3	-3	4	-4	5	-5	6	-6	7	-7
300	0	0	1	-1	3	-3	4	-4	6	-6	7	-7	9	-9	10	-10
400	0	0	2	-2	4	-4	6	-6	8	-8	10	-10	12	-12	14	-14
500	0	-1	3	-3	5	-5	8	-8	11	-11	13	-13	16	-16	18	-18
600	0	-1	2	-4	6	-8	9	-11	12	-13	15	-17	19	-21	22	-24
700	0	-1	3	-5	7	-9	11	-13	15	-17	19	-21	23	-25	27	-29
800	0	-1	4	-6	9	-11	13	-15	18	-20	23	-25	28	-30	33	-35

Bu rüzgar düzeltme cetveli 3 ve 9 istikametlerinden esen tam tesirli rüzgar hızları için hazırlanmıştır.

6 ve 12 istikametinden esen rüzgarlar için rüzgar değeri 0 kabul edilmelidir.

01, 05, 07, 11 istikametinden esen rüzgarlar için cetveldeki rüzgar değerinin yaklaşık 1 / 2'si esas alınmalıdır.

10:30, 01:30, 04:30, 07:30 saat istikametlerinden esen rüzgar düzeltmeleri için ise cetvelde belirtilen değerin 3 / 4' ü dikkate alınmalıdır.

Bu cetvelde tabii yan (spin drift) 600 m'de 4 cm sağ olarak olarak hesaba dahil edilmiştir.

EK-9. B.C. (G1-çoklu deneysel) için deniz seviyesi rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - ÇOĞUL BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 750 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) BC-1 = 0,438 @ 620 m / s < V < 878 m / s BC-2 = 0,414 @ 515 m / s < V < 620 m / s BC-3 = 0,396 @ 463 m / s < V < 515 m / s BC-4 = 0,382 @ 450 m / s < V < 463 m / s BC-5 = 0,375 @ 0 m / s < V < 450 m / s

DENİZ SEVİYESİ (0 METRE) RAKIM-SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	150 m
200 m	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	250 m
300 m	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	300 m
350 m	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	350 m
400 m	22	22	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	20	400 m
450 m	28	27	27	27	27	26	26	26	26	26	26	25	25	25	450 m
500 m	34	33	33	33	32	32	32	32	31	31	31	31	31	30	500 m
550 m	40	40	39	39	39	38	38	38	38	37	37	37	36	36	550 m
600 m	48	47	47	46	46	45	45	45	44	44	43	43	43	42	600 m
650 m	55	55	54	54	53	53	52	52	51	51	50	50	49	49	650 m
700 m	64	63	62	62	61	60	60	59	58	58	57	57	56	56	700 m
750 m	74	73	72	71	70	69	68	67	67	66	65	65	64	63	750 m
800 m	84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	72	800 m

EK-10. B.C. (G1-çoklu deneysel) için 500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - ÇOĞUL BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 707 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) BC-1 = 0,438 @ 620 m / s < V < 878 m / s BC-2 = 0,414 @ 515 m / s < V < 620 m / s BC-3 = 0,396 @ 463 m / s < V < 515 m / s BC-4 = 0,382 @ 450 m / s < V < 463 m / s BC-5 = 0,375 @ 0 m / s < V < 450 m / s

500 METRE RAKIM-SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	150 m
200 m	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	250 m
300 m	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	300 m
350 m	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	350 m
400 m	22	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20	400 m
450 m	27	27	26	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25	25	450 m
500 m	32	32	32	32	31	31	31	31	30	30	30	30	30	30	500 m
550 m	39	38	38	38	37	37	37	36	36	36	36	35	35	35	550 m
600 m	45	45	45	44	44	43	43	43	42	42	42	41	41	41	600 m
650 m	53	52	52	51	51	50	50	49	49	49	48	48	48	47	650 m
700 m	61	60	59	59	58	58	57	57	56	56	55	55	54	54	700 m
750 m	69	68	68	67	66	65	65	64	63	63	62	62	61	61	750 m
800 m	79	78	77	76	75	74	73	72	72	71	70	70	69	68	800 m

EK-11. B.C. (G1-çoklu deneysel) için 1.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - ÇOĞUL BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 667 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) BC-1 = 0,438 @ 620 m / s < V < 878 m / s BC-2 = 0,414 @ 515 m / s < V < 620 m / s BC-3 = 0,396 @ 463 m / s < V < 515 m / s BC-4 = 0,382 @ 450 m / s < V < 463 m / s BC-5 = 0,375 @ 0 m / s < V < 450 m / s

1000 METRE RAKIM - SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	150 m
200 m	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	250 m
300 m	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	350 m
400 m	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	400 m
450 m	26	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25	24	24	24	450 m
500 m	32	31	31	31	31	30	30	30	30	30	29	29	29	29	500 m
550 m	37	37	37	36	36	36	36	35	35	35	35	35	34	34	550 m
600 m	44	43	43	43	42	42	42	41	41	41	41	40	40	40	600 m
650 m	51	50	50	50	49	49	48	48	48	47	47	46	46	46	650 m
700 m	58	58	57	57	56	56	55	55	55	54	53	53	53	52	700 m
750 m	67	66	65	64	64	63	63	62	61	61	60	60	59	59	750 m
800 m	75	74	73	73	72	71	70	70	69	68	68	67	66	66	800 m

EK-12. B.C. (G1-çoklu deneysel) için 1.500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - ÇOĞUL BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 630 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) BC-1 = 0,438 @ 620 m / s < V < 878 m / s BC-2 = 0,414 @ 515 m / s < V < 620 m / s BC-3 = 0,396 @ 463 m / s < V < 515 m / s BC-4 = 0,382 @ 450 m / s < V < 463 m / s BC-5 = 0,375 @ 0 m / s < V < 450 m / s

1500 METRE RAKIM-SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	150 m
200 m	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	250 m
300 m	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	350 m
400 m	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	400 m
450 m	25	25	25	25	25	25	25	24	24	24	24	24	24	24	450 m
500 m	31	31	30	30	30	30	30	29	29	29	29	29	28	28	500 m
550 m	36	36	36	35	35	35	35	34	34	34	34	34	33	33	550 m
600 m	42	42	41	41	41	41	40	40	40	39	39	39	39	38	600 m
650 m	49	48	48	48	47	47	46	46	46	45	45	45	44	44	650 m
700 m	56	55	55	54	54	53	53	53	52	52	51	51	51	50	700 m
750 m	63	63	62	62	61	60	60	59	59	58	58	58	57	57	750 m
800 m	71	71	70	69	69	68	67	67	66	65	65	64	64	63	800 m

EK-13. B.C. (G1-çoklu deneysel) için 2.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - ÇOĞUL BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 595 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) BC-1 = 0,438 @ 620 m / s < V < 878 m / s BC-2 = 0,414 @ 515 m / s < V < 620 m / s BC-3 = 0,396 @ 463 m / s < V < 515 m / s BC-4 = 0,382 @ 450 m / s < V < 463 m / s BC-5 = 0,375 @ 0 m / s < V < 450 m / s

2000 METRE RAKIM - SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	250 m
300 m	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	350 m
400 m	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	400 m
450 m	25	25	25	25	24	24	24	24	24	24	24	24	23	23	450 m
500 m	30	30	30	29	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28	500 m
550 m	35	35	35	35	34	34	34	34	34	33	33	33	33	32	550 m
600 m	41	41	40	40	40	40	39	39	39	39	38	38	38	38	600 m
650 m	47	47	46	46	46	45	45	45	44	44	44	44	43	43	650 m
700 m	54	54	53	53	52	52	51	51	51	50	50	50	49	49	700 m
750 m	61	61	60	60	59	59	58	58	57	57	56	56	55	55	750 m
800 m	69	68	68	67	66	66	65	65	64	63	63	62	62	61	800 m

7.62 mm - ÇOĞUL BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 563 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) BC-1 = 0,438 @ 620 m / s < V < 878 m / s BC-2 = 0,414 @ 515 m / s < V < 620 m / s BC-3 = 0,396 @ 463 m / s < V < 515 m / s BC-4 = 0,382 @ 450 m / s < V < 463 m / s BC-5 = 0,375 @ 0 m / s < V < 450 m / s

2500 METRE RAKIM - SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	250 m
300 m	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	350 m
400 m	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	400 m
450 m	24	24	24	24	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23	450 m
500 m	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28	27	27	500 m
550 m	34	34	34	34	34	33	33	33	33	33	32	32	32	32	550 m
600 m	40	40	39	39	39	39	38	38	38	38	37	37	37	37	600 m
650 m	46	45	45	45	44	44	44	43	43	43	43	42	42	42	650 m
700 m	52	51	51	51	50	50	50	49	49	49	48	48	48	47	700 m
750 m	59	58	58	57	57	56	56	55	55	55	54	54	53	53	750 m
800 m	66	65	65	64	64	63	63	62	62	61	61	60	60	59	800 m

7.62 mm - ÇOĞUL BC (G1)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 563 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1) BC-1 = 0,438 @ 620 m / s < V < 878 m / s BC-2 = 0,414 @ 515 m / s < V < 620 m / s BC-3 = 0,396 @ 463 m / s < V < 515 m / s BC-4 = 0,382 @ 450 m / s < V < 463 m / s BC-5 = 0,375 @ 0 m / s < V < 450 m / s

3000 METRE RAKIM - SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

(˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	(˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	250 m
300 m	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	350 m
400 m	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	18	18	18	400 m
450 m	24	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22	450 m
500 m	29	29	28	28	28	28	28	28	28	27	27	27	27	27	500 m
550 m	34	34	33	33	33	33	33	32	32	32	32	32	32	31	550 m
600 m	39	39	39	38	38	38	38	37	37	37	37	36	36	36	600 m
650 m	45	44	44	44	43	43	43	42	42	42	42	41	41	41	650 m
700 m	50	50	50	49	49	49	48	48	48	47	47	47	46	46	700 m
750 m	57	56	56	55	55	55	54	54	54	53	53	52	52	52	750 m
800 m	64	63	63	62	62	61	61	60	60	59	59	58	58	58	800 m

7.62 mm - ÇOĞUL BC (G1)

Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4
Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G1)
BC-1 = 0,438 @ 620 m / s < V < 878 m / s
BC-2 = 0,414 @ 515 m / s < V < 620 m / s
BC-3 = 0,396 @ 463 m / s < V < 515 m / s
BC-4 = 0,382 @ 450 m / s < V < 463 m / s
BC-5 = 0,375 @ 0 m / s < V < 450 m / s

Namlu çapı (mm): 7,62
Namlu uzunluğu (mm): 660
Sıfırlama Mesafesi (m): 100
Rüzgar İstikameti (Saat yönü): 3 / 9
Rüzgar Hızı (m / s): 0 - 7
1 klik = 1 cm / 100 m

RÜZGAR DÜZELTME CETVELİ

RÜZGAR HIZI	0 m/s		1 m/s		2 m/s		3 m/s		4 m/s		5 m/s		6 m/s		7 m/s	
İSTİKAMETİ (Saat yönü)	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9
Mesafe (m)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)	Yan (klik)
100 m	0	0	0	0	1	-1	1	-1	2	-2	2	-2	3	-3	3	-3
200 m	0	0	1	-1	2	-2	3	-3	4	-4	5	-5	6	-6	7	-7
300 m	0	0	1	-1	3	-3	4	-4	6	-6	7	-7	9	-9	10	-10
400 m	0	0	2	-2	4	-4	6	-6	8	-8	10	-10	12	-12	14	-14
500 m	0	0	3	-3	5	-5	8	-8	11	-11	13	-13	16	-16	18	-18
600 m	0	-1	3	-5	7	-9	11	-13	15	-17	19	-21	23	-25	27	-29
700 m	0	-1	4	-6	9	-11	13	-15	18	-20	23	-25	28	-30	33	-35
800 m	0	-1	5	-7	10	-12	16	-18	22	-24	27	-29	33	-35	39	-41

Bu rüzgar düzeltme cetveli 3 ve 9 istikametlerinden esen tam tesirli rüzgar hızları için hazırlanmıştır.

6 ve 12 istikametinden esen rüzgarlar için rüzgar değeri 0 kabul edilmelidir.

01, 05, 07, 11 istikametinden esen rüzgarlar için cetveldeki rüzgar değerinin yaklaşık 1 / 2'si esas alınmalıdır.

10:30, 01:30, 04:30, 07:30 saat istikametlerinden esen rüzgar düzeltmeleri için ise cetvelde belirtilen değerin 3 / 4' ü dikkate alınmalıdır.

Bu cetvelde tabii yan (spin drift) 600 m'de 4 cm sağ olarak olarak hesaba dahil edilmiştir.

EK-17. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için deniz seviyesi rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - BC (G7)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 750 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G7) = 0,215

DENİZ SEVİYESİ (0 METRE) RAKIM - SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	150 m
200 m	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	250 m
300 m	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	300 m
350 m	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	350 m
400 m	22	22	22	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	400 m
450 m	28	28	27	27	27	27	27	26	26	26	26	26	26	25	450 m
500 m	34	33	33	33	33	32	32	32	32	32	31	31	31	31	500 m
550 m	40	40	40	39	39	39	38	38	38	38	37	37	37	36	550 m
600 m	48	47	47	46	46	45	45	45	44	44	44	43	43	43	600 m
650 m	55	55	54	54	53	53	52	52	51	51	50	50	50	49	650 m
700 m	64	63	63	62	61	61	60	60	59	59	58	58	57	57	700 m
750 m	74	73	72	71	70	69	68	68	67	66	66	65	64	64	750 m
800 m	85	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	73	73	72	800 m

EK-18. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - BC (G7)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 707 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G7) = 0,215

500 METRE RAKIM - SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	150 m
200 m	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	250 m
300 m	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	300 m
350 m	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	350 m
400 m	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	20	20	400 m
450 m	27	27	27	27	26	26	26	26	26	26	25	25	25	25	450 m
500 m	33	32	32	32	32	32	31	31	31	31	31	30	30	30	500 m
550 m	39	39	38	38	38	38	37	37	37	36	36	36	36	36	550 m
600 m	46	46	45	45	44	44	44	43	43	43	42	42	42	41	600 m
650 m	53	53	52	52	51	51	51	50	50	49	49	48	48	48	650 m
700 m	61	61	60	59	59	58	58	57	57	56	56	55	55	54	700 m
750 m	70	69	69	68	67	66	66	65	65	64	63	63	62	62	750 m
800 m	80	79	78	77	76	75	74	73	73	72	71	70	70	69	800 m

EK-19. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 1.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - BC (G7)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 667 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G7) = 0,215

1000 METRE RAKIM - SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	150 m
200 m	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	250 m
300 m	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	350 m
400 m	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	400 m
450 m	26	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25	25	25	24	450 m
500 m	32	31	31	31	31	31	30	30	30	30	30	30	29	29	500 m
550 m	38	37	37	37	36	36	36	36	36	35	35	35	35	34	550 m
600 m	44	44	43	43	43	42	42	42	41	41	41	41	40	40	600 m
650 m	51	51	50	50	49	49	48	48	48	47	47	47	46	46	650 m
700 m	59	58	57	57	56	56	55	55	54	54	54	53	53	52	700 m
750 m	67	66	65	64	64	63	63	62	62	61	60	60	60	59	750 m
800 m	75	75	74	73	72	71	71	70	69	69	68	68	67	67	800 m

EK-20. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 1.500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - BC (G7)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 630 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G7) = 0,215

1500 METRE RAKIM - SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	250 m
300 m	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	350 m
400 m	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	400 m
450 m	26	25	25	25	25	25	25	25	24	24	24	24	24	24	450 m
500 m	31	31	30	30	30	30	30	29	29	29	29	29	29	29	500 m
550 m	37	36	36	36	35	35	35	35	34	34	34	34	34	34	550 m
600 m	43	42	42	41	41	41	41	40	40	40	40	39	39	39	600 m
650 m	49	49	48	48	47	47	47	46	46	46	45	45	45	45	650 m
700 m	56	56	55	55	54	54	53	53	52	52	52	51	51	51	700 m
750 m	64	63	62	62	61	61	60	60	59	59	58	58	57	57	750 m
800 m	72	71	70	69	69	68	67	67	66	66	65	65	64	63	800 m

EK-21. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 2.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - BC (G7)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 595 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G7) = 0,215

2000 METRE RAKIM - SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	250 m
300 m	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	350 m
400 m	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	400 m
450 m	25	25	25	25	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23	450 m
500 m	30	30	30	30	29	29	29	29	29	29	28	28	28	28	500 m
550 m	35	35	35	35	35	34	34	34	34	34	33	33	33	33	550 m
600 m	41	41	41	40	40	40	40	39	39	39	39	38	38	38	600 m
650 m	47	47	47	46	46	46	45	45	45	45	44	44	44	43	650 m
700 m	54	54	53	53	52	52	52	51	51	51	50	50	50	49	700 m
750 m	61	61	60	60	59	59	58	58	57	57	57	56	56	55	750 m
800 m	69	68	68	67	66	66	65	65	64	64	63	63	62	62	800 m

EK-22. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 2.500 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - BC (G7)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 563 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G7) = 0,215

2500 METRE RAKIM - SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	250 m
300 m	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	350 m
400 m	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	400 m
450 m	24	24	24	24	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23	450 m
500 m	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28	28	27	500 m
550 m	35	34	34	34	34	33	33	33	33	33	33	32	32	32	550 m
600 m	40	40	40	39	39	39	39	38	38	38	38	37	37	37	600 m
650 m	46	46	45	45	45	44	44	44	43	43	43	43	42	42	650 m
700 m	52	52	51	51	51	50	50	50	49	49	49	48	48	48	700 m
750 m	59	58	58	57	57	57	56	56	55	55	55	54	54	53	750 m
800 m	66	65	65	64	64	63	63	62	62	61	61	60	60	60	800 m

EK-23. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 3.000 metre rakım - (-25°C / +40°C) sıcaklık yükseliş cetveli

7.62 mm - BC (G7)	
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Basınç (mm / Hg): 533 Sıcaklık aralığı (˚C): (-25) / (+40) Bağıl Nem (%): 50 Namlu ekseni - dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4 1 klik = 1 cm / 100 m	Mermi çapı (in): 0,308 Mermi kütlesi (g): 9,55 İlk Hızı (m / s) : 878 +/- 8 Balistik Sürtünme Katsayısı B.C. (G7) = 0,215

3000 METRE RAKIM - SICAKLIK YÜKSELİŞ CETVELİ

Sıcaklık (˚C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	Sıcaklık (˚C)
Mesafe (m)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Yükseliş (klik)	Mesafe (m)
100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 m
150 m	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	150 m
200 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	200 m
250 m	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	250 m
300 m	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	300 m
350 m	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	350 m
400 m	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	18	18	18	18	400 m
450 m	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	450 m
500 m	29	28	28	28	28	28	28	28	28	27	27	27	27	27	500 m
550 m	34	34	33	33	33	33	33	32	32	32	32	32	32	32	550 m
600 m	39	39	39	38	38	38	38	38	38	37	37	37	37	36	600 m
650 m	45	44	44	44	44	43	43	43	43	42	42	42	42	41	650 m
700 m	51	50	50	50	49	49	49	48	48	48	47	47	47	47	700 m
750 m	57	57	56	56	55	55	55	54	54	54	53	53	53	52	750 m
800 m	64	63	63	62	62	61	61	60	60	60	59	59	58	58	800 m

EK-24. B.C. (G7-deneysel) = 0,215 için 0 m/s - 7 m/s rüzgâr hızı yan cetveli

7.62 mm - BC (G7)																
Namlu çapı (mm): 7,62 Namlu uzunluğu (mm): 660 Sıfırlama Mesafesi (m): 100 Namlu ekseni-dürbün ekseni arası mesafe (cm): 6,4											Rüzgar İstikameti (Saat yönü): 3 / 9 Rüzgar Hızı (m / s): 0 - 7 B.C. (G7) = 0,215 1 klik = 1 cm / 100 m					
RÜZGAR DÜZELTME CETVELİ																
RÜZGAR HIZI	**0 m/s**		**1 m/s**		**2 m/s**		**3 m/s**		**4 m/s**		**5 m/s**		**6 m/s**		**7 m/s**	
İSTİKAMETİ (Saat yönü)	**3**	**9**	**3**	**9**	**3**	**9**	**3**	**9**	**3**	**9**	**3**	**9**	**3**	**9**	**3**	**9**
Mesafe (m)	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**	**Yan (klik)**
100	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**-1**	**1**	**-1**	**2**	**-2**	**2**	**-2**	**3**	**-3**	**3**	**-3**
200	**0**	**0**	**1**	**-1**	**2**	**-2**	**3**	**-3**	**4**	**-4**	**5**	**-5**	**6**	**-6**	**7**	**-7**
300	**0**	**0**	**1**	**-1**	**3**	**-3**	**4**	**-4**	**6**	**-6**	**7**	**-7**	**9**	**-9**	**10**	**-10**
400	**0**	**0**	**2**	**-2**	**4**	**-4**	**6**	**-6**	**8**	**-8**	**10**	**-10**	**12**	**-12**	**14**	**-14**
500	**0**	**0**	**3**	**-3**	**5**	**-5**	**8**	**-8**	**11**	**-11**	**13**	**-13**	**16**	**-16**	**18**	**-18**
600	**-1**	**-1**	**3**	**-5**	**7**	**-9**	**12**	**-14**	**16**	**-18**	**20**	**-22**	**24**	**-26**	**28**	**-30**
700	**-1**	**-1**	**4**	**-6**	**9**	**-11**	**14**	**-16**	**19**	**-21**	**24**	**-26**	**29**	**-31**	**34**	**-36**
800	**-1**	**-1**	**5**	**-7**	**10**	**-12**	**16**	**-18**	**23**	**-25**	**28**	**-30**	**34**	**-36**	**40**	**-42**
Bu rüzgar düzeltme cetveli 3 ve 9 istikametlerinden esen tam tesirli rüzgar hızları için hazırlanmıştır.																
6 ve 12 istikametinden esen rüzgarlar için rüzgar değeri 0 kabul edilmelidir.																
01, 05, 07, 11 istikametinden esen rüzgarlar için cetveldeki rüzgar değerinin yaklaşık 1 / 2'si esas alınmalıdır.																
10:30, 01:30, 04:30, 07:30 saat istikametlerinden esen rüzgar düzeltmeleri için ise cetvelde belirtilen değerin 3 / 4' ü dikkate alınmalıdır.																
Bu cetvelde tabii yan (spin drift) 600 m'de 4 cm sağ olarak olarak hesaba dahil edilmiştir.																

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : VARDAR, İhtimam Mert

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 13.08.1984, Ankara

Medeni hali : Evli

Telefon : 0 (312) 590 92 52

Faks : 0 (312) 202 37 10

e-mail : mert.vardar@tubitak.gov.tr

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet Tarihi**
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	K.T.Ü. Makine Mühendisliği	2007
Lise	Mehmet Emin Resulzade Anadolu Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	**Yer**	**Görev**
2019-Devam ediyor	Tübitak SAGE	Başuzman Araştırmacı
2008-2019	Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu	Ar-Ge Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Tiyatro



GAZİ GELECEKTİR..



Gazili olmak ayrıcalıktır