

## Namlularda Değişken Yiv-Set Eğrisinin Kararlılık Faktörü ve Set Torkuna Etkisi

Çağrı ŞAHİN<sup>1\*</sup>, Ahmet ÖZDEMİR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TR Mekatronik Sistemler Sanayi ve Ticaret A.Ş., Düzce, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara, Türkiye

### MAKALE BİLGİSİ

**Alınma:** 04.01.2021

**Kabul:** 01.02.2021

#### Anahtar Kelimeler:

Yiv Set Tasarımı

Artan Hatveli (Dönümlü) Yiv

Set Eğrisi

Mermilerde Statik

Kararlılık

Setlere Etkiyen Tork

### ÖZET

Ateşli silah namluları, ateşledikleri merminin türüne göre yivli ve yivsiz olmak üzere iki ana grup altında sınıflandırılabilir. Namlu tasarımında; merminin namludan çıktığı andaki açısız hızı, jiroskopik kararlılığı ve setlere etkiyen tork doğrudan yiv set eğrisine bağlıdır. Namlularda kullanılan yiv set eğrileri sabit hatveli ya da artan hatveli olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında 20x102 mm M56 HEI mühimmatı için; namlu içerisindeki basınç, hız ve zaman değişimi Vallier-Heydenreich metoduna göre hesaplanmış, belirlenen bir namlu çıkış eğimi için farklı yiv set eğrileri oluşturulmuş ve bu eğriler için merminin açısız hızındaki değişim elde edilmiştir. Yiv set eğrisini tanımlayan “n” üssünün 1.67 değeri için, setlere etkiyen en yüksek torkun yaklaşık yüzde %50 oranında azaldığı görülmüştür. Namlu boyundan ve namlu çıkış hızından ödün verilmesi halinde tork ve statik kararlılık faktörlerindeki değişimler karşılaştırılmıştır. Çalışmadaki hesaplama adımları Python ortamında oluşturularak bilgisayar destekli modül haline dönüştürülerek namlu tasarımının alternatif değerlerle yeniden oluşturulması için gerekli olan uzun hesap sürecinden zaman tasarrufu sağlanmıştır.

## The Effect of Variable Rifling Curve on Stability Factor and Set Torque in Barrels

### ARTICLE INFO

**Received:** 04.01.2021

**Accepted:** 01.02.2021

#### Keywords:

Rifling Design

Increased Pitch (Twist)

Rifling Curve

Static Stability in Bullets

Torque on Lands

### ABSTRACT

Firearm barrels can be classified under two main groups, rifled and smoothbore, according to the type of bullet they fire. In barrel design, the angular velocity, gyroscopic stability of the bullet at the moment it leaves the barrel and the torque acting on the lands are directly dependent on the rifling curve. The rifling curves used in the barrels can be fixed pitch or incremental pitch. Within the scope of this study, for 20x102 mm M56 HEI ammunition; The pressure, velocity and time changes in the barrel were calculated according to the Vallier-Heydenreich method. In line with the results obtained, it was seen that the maximum torque acting on the lands decreased by 50% for the value of 1.67 of the “n” power defining the rifling curve. Changes in torque and static stability factors were compared by shortening the barrel and compromising muzzle velocity. The calculation steps in the study were created in the Python environment and converted into computer-aided modules, saving time from the lengthy calculation process required to recreate the barrel design with alternative values.

## 1. GİRİŞ(INTRODUCTION)

Namlu ateşli silahların en önemli ana elemanıdır. Silah sisteminin namlusu belirli bir hedefe yöneltilecek merminin istenilen doğrultuda hareket etmesini ve hedefi vurmasını sağlar[1]. Başka bir tanım olarak ise namlu; mühimmatın hedefe belirli bir namlu çıkış hızıyla gönderilmesini sağlayan, kalın cidarlı bir silindir [2]. Bir silah sisteminin etkinliği hedefi vurabilme kabiliyetiyle doğrudan ilişkilidir. Ayrıca mühimmata bağlı olarak namlu tasarımının yapıldığı namlu parametreleri; namlu kalibre ölçüsü (set üstü çapı), yiv profili (derinliği ve genişliği) yiv eğrisinin formu (helis açısı) ve yanma odası boyutlarıdır [8].

\* Sorumlu yazar, e-posta: cagri\_-sahin@hotmail.com

Ateşli silah namluları, ateşledikleri merminin türüne göre yivli ve yivsiz olmak üzere iki ana grup altında sınıflandırılabilir. Yivsiz namlulardan ateşlenen mermiler ok şeklindeki kanatçıklı yapıları ile kendilerini uçarken dengeleyebilirler [23, 24]. Yivli namlularda ise, mermi uzun eksenli etrafından döndürülerek açısal momentumun korunmasından faydalanılarak dengelenirler. Namlulara açılan yiv ve set burada devreye girerek mermiye uzun eksenli etrafında dönü kazandırarak uçuş sırasında jiroskopik kararlılığa sahip olmasını sağlar. Yivlerin genişlik ve derinlikleri namlu boyunca sabittir. Sarım açısı veya yiv set hatvesi de çoğu zaman sabittir [10]. Sabit hatveli yiv sete sahip namlularda karşılaşılan önemli bir sorun; setlere etkileyen torkun yiv set başlangıcında oldukça yüksek miktarda olması ve namlu boyunca azalan şekilde değişmesidir. Artan hatveli yiv set eğrisi ile namlu setlerine etki eden torkun azaltılırken, merminin sahip olduğu kararlılık faktöründe korunması mümkündür.

İç balistik analizi için ana araç, basınç ve mermi hızı eğrisidir. Heydenreich, bir silahta; mermi kütlesi, namlu çapı, namlu boyu, ilk hız, barut kütlesi ve piezometrik verimin bilinmesi durumunda, gaz basıncının en yüksek olduğu andaki mermi hızını, zamanı ve basıncı hesaplamak üzere, piezometrik verime ( $\eta_p$ ) bağlı olarak bazı deneysel esaslı formüller geliştirmiştir [2, 4, 6, 9, 16, 17, 20, 21]. Bu yöntem ile elde edilen basınç değerlerinden faydalanarak, namlu cidarına etkileyen gerilmeler birçok çalışmada elde edilmiştir [9, 11, 16, 19, 21].

Namlulardaki iç balistik hesaplamaları literatürde fazlasıyla yer alırken, namlu tasarımı için büyük öneme sahip olan yiv set eğrisinin oluşturulması ve bu eğrinin etki ettiği; kararlılık faktörü ve setlere etkileyen tork değerleri literatürde yeteri miktarda bulunmamaktadır. Bu çalışmada 20 mm silah sistemine ait bir namlu için artan hatveli yiv set eğrisi oluşturulmuş, oluşturulan yiv set eğrileri için merminin sahip olduğu kararlılık faktörü ve setlere etkileyen tork değerleri incelenmiştir. Namlu içerisindeki basınç değişimi ve mermi hızını bulmak için ise Vallier – Heydenreich iç balistik metodu kullanılmıştır. Ayrıca namlu uzunluğunun kısaltılmasının kararlılık faktörüne etkileri incelenmiş, namlu tasarımının en önemli unsuru olan değişken adımlı yiv set helisel kanallarının değişiminin merminin namlu içerisindeki hız değişimini, namlu içerisindeki basınç değişimini, girdi parametrelerine göre yiv set eğrisini oluşturan ve setlere etkileyen tork değerlerini hesaplayabilen bilgisayar modülü geliştirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. İç Balistik Hesaplamalar (Internal Ballistic Calculations)

20 mm HEI mühimmatı ve namlu parametrelerine göre iç balistik değerleri, Heydenreich tarafından hazırlanan deneysel veri tablolarına dayalı olan Vallier-Heydenreich yöntemi kullanılarak elde edilmiştir [17].

Mermi ve namlu bilgilerinden faydalanarak Eşitlik 1 yardımıyla namlu içerisindeki ortalama basınç ( $P_0$ ) bulunabilir.

$$P_0 = \left[ \frac{m_m + 0,5m_B}{2X_e A_n} \right] V_0^2 \quad (1)$$

Tablo 1. Mermi ve Namlu Parametreleri (Bullet and Barrel Parameters)

Namlu uzunluğu ( $X_e$ , mm)	1415
En yüksek basınç ( $P_m$ , MPa)	417
Mermi ilk hızı ( $V_0$ , m/s)	1049
Barut kütlesi ( $m_B$ , g)	39
Mermi kütlesi ( $m_m$ , g)	100
Namlu kesit alanı ( $A_n$ , m <sup>2</sup> )	$3,1138 \times 10^{-4}$

Eşitlik 1’de basınç oranı ( $\eta$ ) gösterilmiştir,  $P_0$  ateşleme sırasında namlu içerisinde oluşan ortalama basıncı ve  $P_m$  ise namlu içerisindeki en yüksek basıncı ifade etmektedir.

$$\eta_p = \frac{P_0}{P_m} \quad (2)$$

Eşitlik 3, 4 ve 5’te verilen gaz basıncının en yüksek olduğu andaki mermi yolu ( $X_1$ ), zamanı ( $t_1$ ) ve hızı ( $V_1$ ); Şekil 1’deki basınç oranına bağlı balistik fonksiyonlar kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 1’deki  $\Sigma$ ,  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $\pi$ ,  $T$  fonksiyonları sırasıyla Eşitlik 8, 9, 10, 11 ve 12’den [20] elde edilmiştir.

$$X_1 = X_e \Sigma \eta_p \quad (3)$$

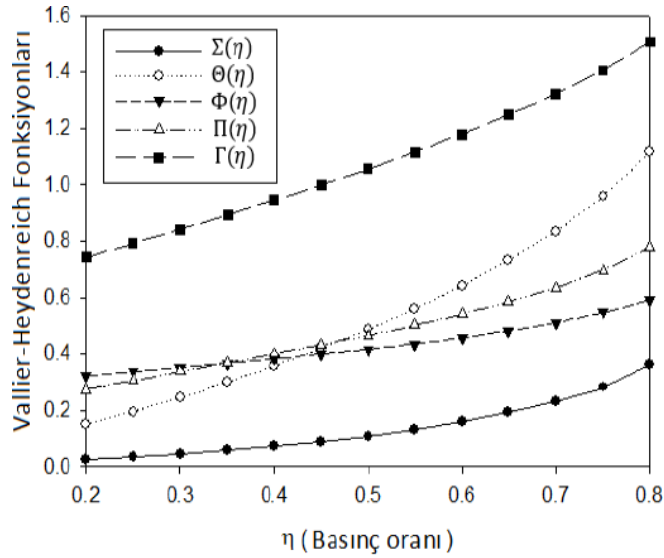
$$t_1 = \frac{2X_e}{V_0} \theta(\eta_p) \quad (4)$$

$$V_1 = V_0 \phi(\eta_p) \quad (5)$$

Merminin namlu içerisinde geçirdiği süre ( $t_e$ ) ve namlu ağzındaki gaz basıncı ( $P_e$ ); Eşitlik 6 ve 7’deki deneysel balistik faktörleri  $\pi(\eta_p)$  ve  $T(\eta_p)$  değerlerine göre hesaplanır.

$$P_e = P_m \pi(\eta_p) \quad (6)$$

$$t_e = \frac{2X_e}{V_0} T(\eta_p) \quad (7)$$



Şekil 1.  $\Sigma(\eta)$ ,  $\Theta(\eta)$ ,  $\Phi(\eta)$ ,  $\Pi(\eta)$  ve  $T(\eta)$ 'nin  $\eta$  ile değişimi (Change of  $\Sigma(\eta)$ ,  $\Theta(\eta)$ ,  $\Phi(\eta)$ ,  $\Pi(\eta)$  and  $T(\eta)$  with  $\eta$ ) [20]

$$\Sigma(\eta_p) = 2,4732\eta_p^3 - 1,6831\eta_p^2 + 0,7830\eta_p - 0,08 \quad (R^2 = 0,9988) \quad (8)$$

$$\theta(\eta_p) = 1,7277\eta_p^3 - 2,1198\eta_p^2 + 1,645\eta_p - 0,1188 \quad (R^2 = 0,9997) \quad (9)$$

$$\phi(\eta_p) = 1,0117\eta_p^3 - 1,0707\eta_p^2 + 0,6696\eta_p + 0,2215 \quad (R^2 = 0,9998) \quad (10)$$

$$\pi(\eta_p) = 1,8042\eta_p^3 - 2,0408\eta_p^2 + 1,3633\eta_p + 0,0659 \quad (R^2 = 0,9997) \quad (11)$$

$$T(\eta_p) = 1,3124\eta_p^3 - 1,2161\eta_p^2 + 1,3828\eta_p + 0,5033 \quad (R^2 = 0,9999) \quad (12)$$

En yüksek basınç anındaki mermi pozisyonu belirlendikten sonra merminin herhangi bir andaki konumuna bağlı olan  $\lambda$  parametresi Eşitlik 13'ten elde edilir.

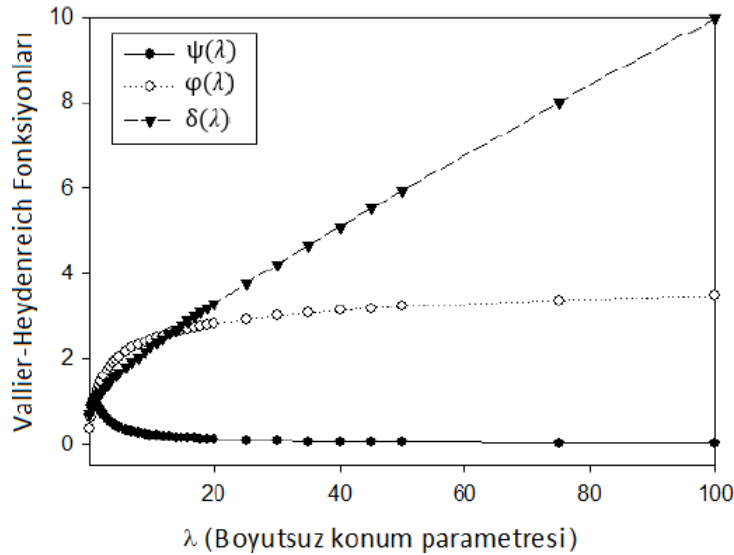
$$\lambda = \frac{x_e}{x_1} \quad (13)$$

Vallier–Heydenreich yönteminin Şekil 2'deki  $\lambda$  parametresine bağlı  $\psi(\lambda)$ ,  $\phi(\lambda)$  ve  $\delta(\lambda)$  değişkenleri yardımıyla Eşitlik 14,15 ve 16 ile namlu içerisindeki herhangi bir konumdaki basınç, hız ve zaman belirlenebilir. Şekil 2'deki  $\psi$ ,  $\phi$  ve  $\delta$  fonksiyonları sırasıyla Eşitlik 17, 18 ve 19'den [20] elde edilmiştir.

$$P = P_m \psi(\lambda) \quad (14)$$

$$V = V_1 \phi(\lambda) \quad (15)$$

$$t = t_1 \delta(\lambda) \quad (16)$$



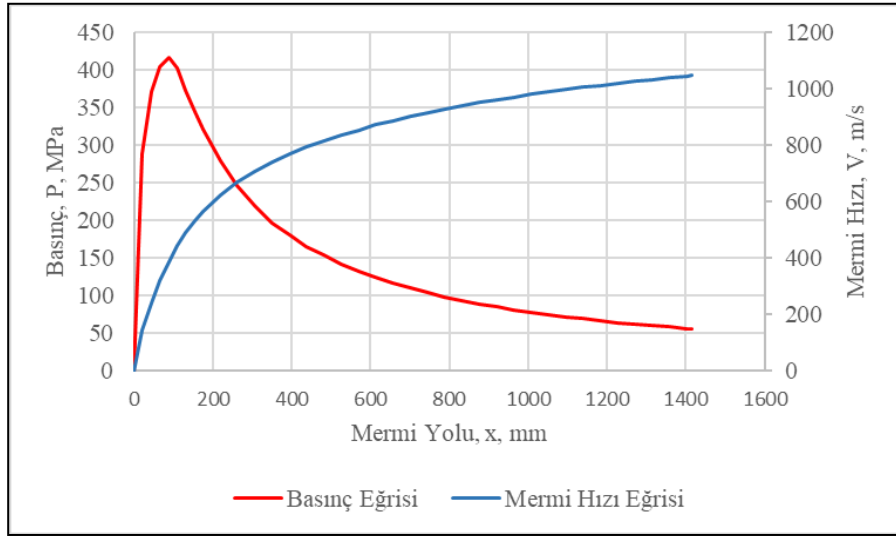
Şekil 2.  $\psi(\lambda)$ ,  $\phi(\lambda)$  ve  $\delta(\lambda)$ 'nın  $\lambda$  ile değişimi (Change of  $\psi(\lambda)$ ,  $\phi(\lambda)$  and  $\delta(\lambda)$  with  $\lambda$ ) [20]

$$\psi(\lambda) = \frac{2,16}{\lambda} e^{-0,5 \left( \frac{\ln\left(\frac{\lambda}{6,5696}\right)}{1,4651} \right)^2} \quad (R^2=0,9932) \quad (17)$$

$$\phi(\lambda) = 1,5339(1 - e^{-0,0449\lambda}) + 1,6893(1 - e^{-0,5368\lambda}) + 0,201 \quad (R^2=0,9987) \quad (18)$$

$$\delta(\lambda) = 0,6165(1 - e^{-0,3327\lambda}) + 31,5218(1 - e^{-0,0032\lambda}) + 0,6953 \quad (R^2=0,9999) \quad (19)$$

Tablo 1'deki değerlere göre namlu içerisindeki basınç değişimi ve mermi hızı değerleri literatürdeki çalışmalarda da gözlemlendiği [1,2, 4, 6, 9, 16, 17, 20, 21] haliyle elde edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 3. Mermi yoluna göre namlu içerisindeki basınç ve mermi hızındaki değişim (Changes in pressure and projectile velocity in the barrel according to projectile path)

## 2.2. Yiv Set Eğrisinin Oluşturulması (Creating the Rifling Curve)

Sabit hatveli yiv set eğrisi silindir etrafına sarılmış bir doğrudan ibarettir. Bu doğruyu tanımlamak için, doğrunun eğimi kullanılır [25].

$$\tan\phi = \frac{\pi d}{nd} = \frac{\pi}{n} \quad (20)$$

$\phi$  : Yiv set eğrisinin eğimi, derece  
 $d$  : Namlu çapı (setten sete), m  
 $n$  : Merminin dönüşü, kalibre

Merminin yiv set eğimine bağlı olarak açısal hızındaki değişim ise [25];

$$\omega = \frac{2V\tan\phi}{d} \quad (21)$$

$$N = \frac{60V}{\pi d} \tan\phi \quad (22)$$

$V$  : Doğrusal mermi hızı, m/s

şeklinde hesaplanabilir.

Artan hatveli namlularda ise yiv set eğrisi doğrusal olmayan bir şekilde değişmektedir. Yiv set açısının değişimi yani  $\tan\phi$  'nin değişimi, parabolün eğiminin hesaplanmasıyla çıkarılabilir.

Artan hatveli yiv set için eğrinin genel eşitliği [25],

$$y = px^n \quad (23)$$

formatında olacaktır. “y” yiv set eğrisi silindir şeklinden iki boyutlu olarak açıldığında dikey eksenindeki değerdir, silindir şeklindeki namlu için namluya sarılmış çevresel mesafe olmaktadır.

“p” sabitini bulmak için Eşitlik 23'ün türevi alınır.

$$\frac{dy}{dx} = pnx^{n-1} = \tan\alpha \quad (24)$$

- p : Çıkış açısına göre tanımlanan sabit, birimsiz.  
n : Yiv – set eğrisini tanımlayan üs, birimsiz  
x : Mermi yolu, mm  
x<sub>E</sub> : Toplam mermi yolu, mm  
α : Yiv – set eğimi, derece  
α<sub>E</sub> : Namlu çıkışındaki yiv – set eğimi, derece  
y : Namlu içerisindeki yiv setin çevresel mesafesi, mm

“tan α” yiv set eğrisinin eğimidir. Sabit hatveli yiv set için n üssü “1” ve p sabiti ise “tan α” ifadesine eşittir. Artan hatveli yiv setin sonunda “α” çıkış açısının eğimi olur [24]. Namlu çıkışında;

$$pnx_E^{n-1} = \tan\alpha_E \quad (25)$$

$$p = \frac{\tan\alpha_E}{nx_E^{n-1}} \quad (26)$$

$$pnx_E^{n-1} = \tan\alpha_E \quad (27)$$

Sonuç olarak Eşitlik;

$$y = \frac{\tan\alpha_E}{nx_E^{n-1}} x^n \quad (28)$$

olarak yazılabilir. Eşitlik 28’in türevi alınır,

$$\frac{dy}{dx} = \tan\alpha = \frac{\tan\alpha_E}{x_E^{n-1}} x^{n-1} \quad (29)$$

eğimin değişimi;

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d\tan\alpha}{dx} = \frac{(n-1)\tan\alpha_E}{x_E} x^{n-2} \quad (30)$$

elde edilir. Namlu ucunda istenen yiv-set eğimi tur başına dönü türünden ifade edilebilir [24].

$$\tan\alpha_E = \frac{\pi}{n_c} \quad (31)$$

$$\tan\alpha = \frac{\pi}{n_c x_E^{n-1}} x^{n-1} \quad (32)$$

$$\frac{d}{dx} \tan\alpha = \frac{\pi(n-1)}{n_c x_E^{n-1}} x^{n-2} \quad (33)$$

### 2.3 Statik (Jiroskopik) Kararlılık Faktörü (Static (Gyroscopic) Stability Factor)

Dönmekte olan her nesnenin jiroskopik özellikleri vardır. Dönü kararlı mermilerde, hava kaynaklı kuvvetlerin etki ettiği nokta olan basınç merkezi, ağırlık merkezinin arkasına konumlandırılır. Böylece mermi ağırlık merkezi etrafında dönerek burnunun mermi yörüngesini takip etmesi sağlanır.

Klasik dış balistiğe göre jiroskopik kararlılık faktörü [8];

$$S_g = \frac{I_x^2 \omega^2}{2\rho I_y S d V^2 C_{MA}} \quad (34)$$

$C_{MA}$	: Yunuslama momenti katsayısı, birimsiz
$I_x$	: Merminin eksenel atalet momenti, $\text{kgm}^2$
$I_y$	: Merminin enine atalet momenti, $\text{kgm}^2$
$S$	: Mermi referans alanı, $\text{m}^2$
$\rho$	: Atmosfer yoğunluğu, $\text{kg/m}^3$
$\omega$	: Merminin açısal hızı, $\text{rad/s}$
$d$	: Mermi çapı, $\text{m}$
$V$	: Mermi hızı, $\text{m/s}$

Kararlılık faktörü merminin geometrik teknik karakteristiği olan dört özelliğine bağlıdır. Bunlar; şekil faktörü, dönü hızının karesinin eksenel hızın karesine oranı, aerodinamik magnus efekti değişimi ve atmosferik modelin yoğunluğudur. Dolayısıyla jiraskopik kararlılık faktörü Eşitlik 35'teki gibi tekrar yazılabilir [8].

$$S_g = \left( \frac{2I_x^2}{I_y \pi d^3} \right) \left( \frac{\omega^2}{V^2} \right) \left( \frac{1}{C_{MA}} \right) \left( \frac{1}{\rho} \right) \quad (35)$$

#### 2.4 Setlere Etkiyen Tork (Torque Acting on Riflings)

Setlere gelen tork; mermi arkasındaki basınca, namlu çapına, namlu alanına, namludaki yiv-set eğrisine, merminin çizgisel hızına, merminin ağırlığına ve merminin jiroskopik yarıçapına bağlıdır. Setlere gelen tork [24];

$$T = I_x \ddot{\theta} \quad (36)$$

$$I_x = M_m i^2 \quad (37)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{r} \left( a_1 \tan \alpha + V^2 \frac{d}{dx} \tan \alpha \right) \quad (38)$$

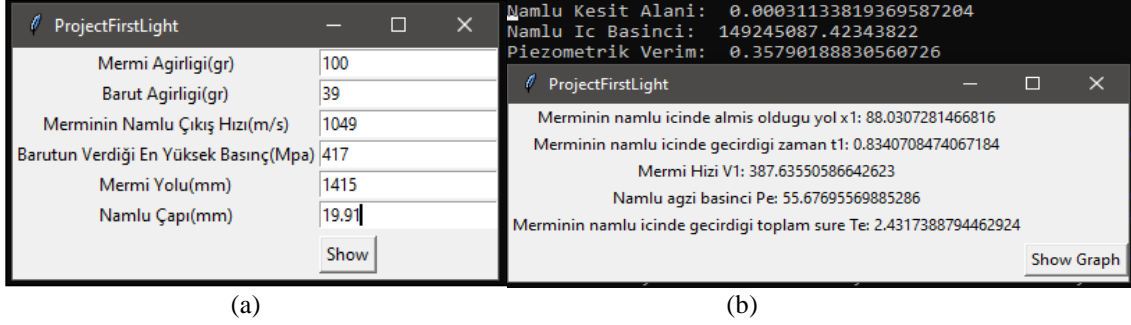
$$T = M_m \frac{i^2}{R} \left( \frac{A_n P}{M_m} \tan \alpha + V^2 \frac{d}{dx} \tan \alpha \right) \quad (39)$$

olarak ifade edilebilir.

$I_x$	: Merminin eksenel atalet momenti, $\text{kgm}^2$
$\ddot{\theta}$	: Merminin açısal ivmesi, $\text{rad/s}^2$
$a_1$	: Merminin çizgisel ivmesi, $\text{m/s}^2$
$R$	: Mermi yarıçapı, $\text{m}$
$\alpha$	: Yiv set eğrisinin eğimi, derece
$M_m$	: Mermi kütlesi, $\text{kg}$
$A_n$	: Namlu kesit alanı, $\text{m}^2$
$P$	: Namlu içindeki anlık basınç, $\text{Pa}$
$V$	: Namlu içerisindeki anlık mermi hızı, $\text{m/s}$
$i$	: Mermi jirasyon yarıçapı, $\text{m}$
$\frac{d}{dx} \tan \alpha$	: $\tan \alpha$ 'nın türevi, $1/\text{m}$

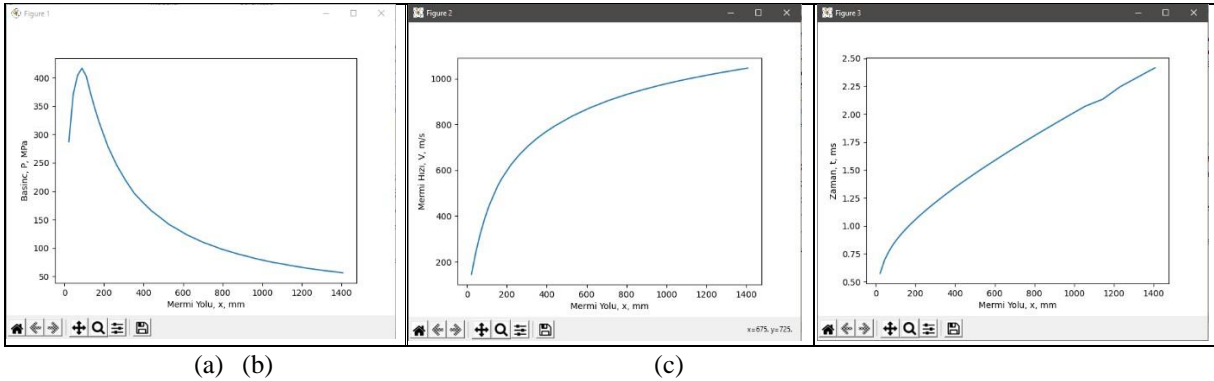
### 3. İÇ BALİSTİK, YİV SET EĞRİSİ VE SET TORKU HESAPLAYABİLEN PROGRAM: PROJECTFIRSTLIGHT (PROGRAM THAT CALCULATE INTERNAL BALLISTIC, RIFLING CURVE AND SET TORQUE: PROJECTFIRSTLIGHT)

Namlu içerisindeki basıncın mermi yoluna göre değişimini, mermi hızının mermi yoluna göre değişimini, zamanın mermi yoluna göre değişimini, yiv set eğrisi ve setlere etkiyen tork değerlerini hesaplayabilen ve sonuçları grafik olarak ekrana getirebilen bir program Python ortamında oluşturulmuştur.



Şekil 4. İç balistik hesaplamaları için girdi ekranı (a), ara çıktı ekranı (b) (Input screen (a), intermediate Output screen (b) for internal ballistics calculations) [1]

Programın gerekli hesaplamaları yapabilmesi için Şekil 4'teki (a) parametrelerin programa girilmesi gereklidir. Girdiler sonucunda hesaplamaları yapan program sonuç grafiklerini ekrana verebilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. İç balistik hesaplamaları sonuç ekranları; namlu içi basıncın mermi yoluna göre değişimi (a), mermi hızının mermi yoluna göre değişimi (b), zamanın mermi yoluna göre değişimi (c) (Internal ballistic calculation results screens; variation of in-barrel pressure according to projectile path (left), change of bullet speed according to projectile path (middle), change of time according to projectile path (right)) [1]

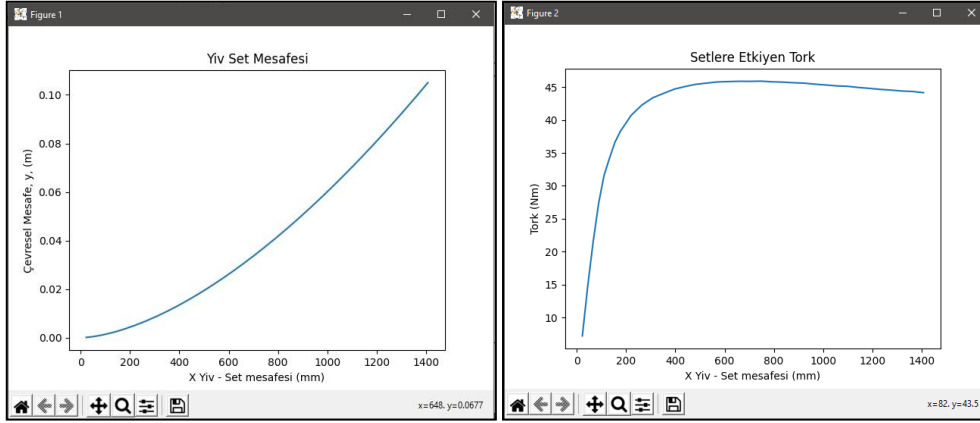
Programın ikinci kabiliyeti ise yiv set eğrisini oluşturma ve setlere etkiyen tork değerlerini hesaplayabilmedir. Hesaplamaların yapılabilmesi için gerekli olan parametrelerin programa girilmesi gerekmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Artan hatveli yiv set ve set torku hesaplamaları için girdi ekranı (Input screen for progressive rifling and set torque calculations) [1]

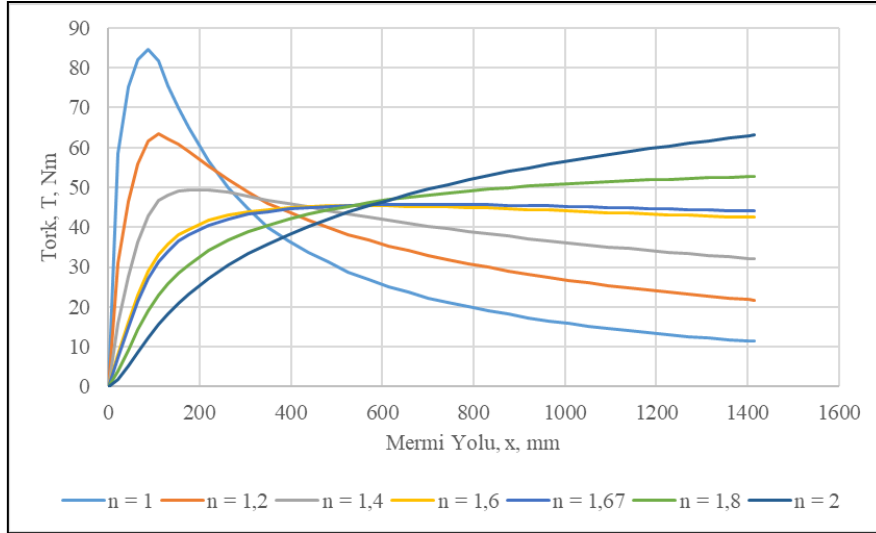


İkinci aşama için gerekli parametrelerin programa girilmesiyle, iv set eğrisi ve setlere etkiyen tork grafikleri verilebilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Artan hatveli yiv set eğrisi çıktı ekranı (sol), setlere etkiyen tork çıktı ekranı (sağ) (Progressive rifling curve output screen (left), torque acting on sets output screen (right)) [1]

#### 4. TEORİK BULGULAR VE TARTIŞMA (THEORETICAL RESULTS AND DISCUSSION)



Şekil 8: Farklı n üsleri için setlere etkiyen torklardaki değişim (Change in torques acting on lands for different n exponents) [1]

Farklı “n” üslerine sahip yiv set eğrileri için setlere etkiyen tork Eşitlik 39’dan elde edilmiş ve Şekil 8’de grafik olarak sunulmuştur.

Eşitlikteki değerler;

$M_m$  : 0,1; mermi ağırlığı, kg

$r$  : 0,009955; mermi yarıçapı, m

$A_n$  : 0,000303705; namlu referans alanı,  $m^2$

$i$  : 0,00741; merminin jirasyon yarıçapı, m

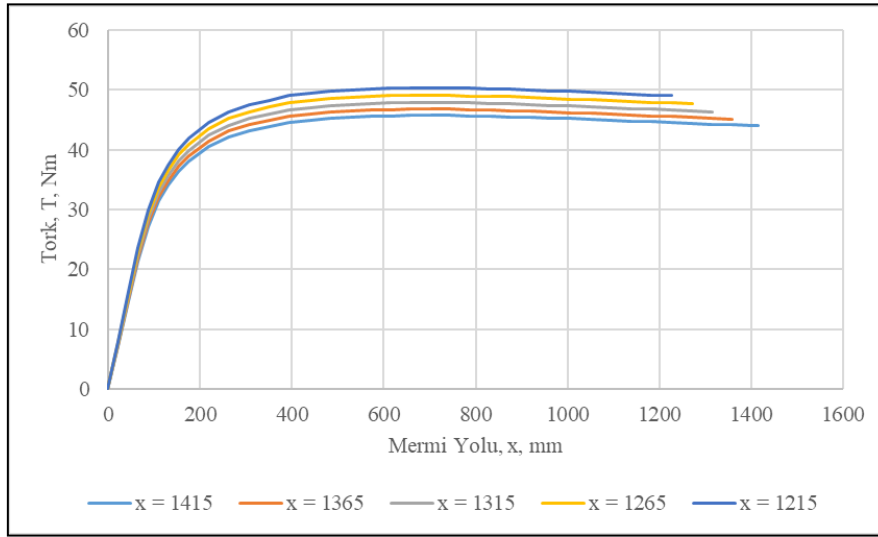
$I_x$  : 0,000005486; merminin eksenel atalet momenti,  $kgm^2$

olarak kabul edilmiştir [22]. Ayrıca;  $P$ ,  $V$ ,  $\tan \alpha$  ve  $d \tan \alpha / dx$  değerleri yerine daha önce farklı n üsleri için bulunan değerler eşitlikte yerine konularak setlere etkiyen tork değerleri hesaplanabilir. Hesaplama sonucunda setlere etkiyen toplam tork bulunur, set başına etki eden tork için bulunan değerler set sayısına bölünmelidir. Toplam tork değerinden hareketle yiv–set imalat parametrelerine (set sayısı, yiv derinliği, set genişliği vb.) geçiş yapılmaktadır.

Setlere etkiyen tork değerleri incelendiğinde, sabit hatveli yiv sete sahip namluda tork değerinin set başlangıcında yaklaşık 85 Nm'ye ulaştığı, namlu boyunca setlere etki eden torkun giderek azaldığı görülmektedir. Bu durum, set profilinin iyileştirilmesini zorlaştıracaktır. Set başlangıcında yüksek torka maruz kalacak setlerin bu tork değerine dayanması için öncelikle geometrilerinin daha büyük olması gerekmektedir. Fakat namlu ucuna doğru tork azalacağından, oluşturulan set kesiti set başlangıcında beklenen dayanımdan çok daha fazlasına dayanabilecek geometrik değerlerde olacaktır. İyileştirme açısından bu istenmeyen bir durumdur. Artan hatveli yiv set eğrilerinde ise setlere etkiyen tork değerinin ciddi miktarda azaldığı görülmektedir. Ayrıca,  $n = 1,67$  değerinde tork eğrisi yaklaşık ilk 400 mm'den sonra yatay bir yönelim alarak namlu boyunca setlere etkiyen torkun 45 Nm kaldığı görülmektedir. Setlere etkiyen torkun en az değişim gösterdiği bu değer, set geometrisinin iyileştirilmesi açısından en uygun değer olduğuna karar verilmiştir.

#### 4.1. Mermi Yolunun Kısaltılması ve Yiv Set Eğiminin Değiştirilmesiyle Setlere Etkiyen Torktaki Değişim (Change in Torque Acting on Lands by Shortening the Projectile Path and Changing the Rifling Curve)

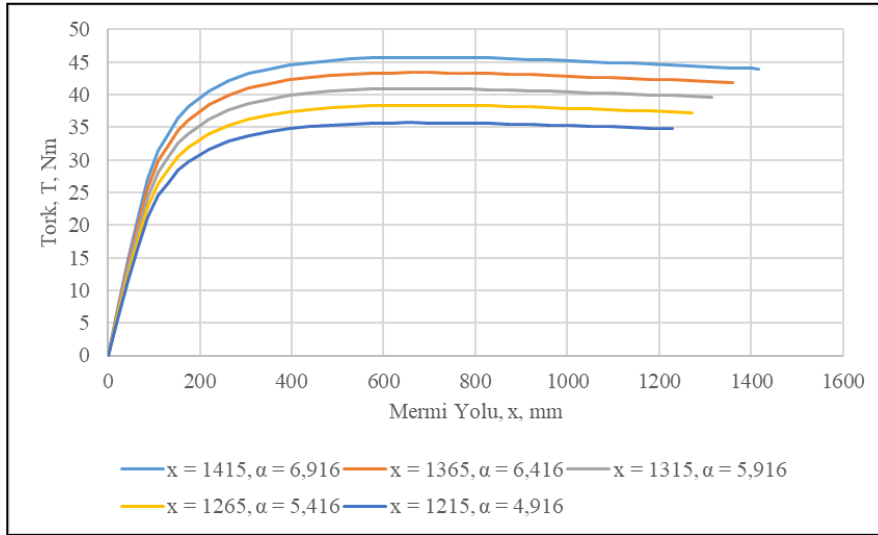
Setlere etkiyen tork değerinin belirli bir namlu boyu ve çıkış eğimine göre değişimi belirlenmişti. Burada, namlu boyunun kısaltılması ve namlu çıkışındaki yiv-set eğiminin değiştirilmesiyle setlere etkiyen torktaki değişim de incelenmiştir. Yiv-set eğrileri  $n = 1,67$  üssüne göre oluşturulacak şekilde; birinci grup yiv set eğrilerinde, namlu çıkışındaki yiv set eğimi  $6,916^\circ$  olarak sabit tutulmuştur. Diğer taraftan namlu boyu toplamda 20 cm olmak üzere 5'er cm kısaltılmış ve kısa namlu boylarındaki setlere etkiyen torklardaki değişim incelenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Namlu boyunun kısaltılması, namlu çıkışındaki yiv set eğiminin sabit tutulmasıyla setlere etkiyen torklardaki değişim (Shortening of barrel length, change in torques acting on the sets by keeping the slope of rifling at the barrel exit constant) [1]

Şekil 9, namlu çıkışındaki yiv set eğimi sabit tutulup namlu boyunun kısaltılması durumunda setlere etkiyen en yüksek torkun artacağı görülmüştür. Bu beklenen bir sonuçtur. Yiv set eğrisi daha kısa bir uzunlukta aynı çıkış eğimini yakalamaya çalışmasından dolayı, yani sarma miktarı arttığından setlere etkiyen tork değerinin yükseldiği görülmüştür. Bu sonuçlar; namlu tasarımı yapıldığında, durumda set profilinin yeni tork değerlerine dayanabilecek bir geometride olması için set genişliklerinin artırılmasını gerektirecektir.

Yiv set eğrileri  $n = 1,67$  üssüne göre oluşturulacak şekilde bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen ikinci grup yiv set eğrilerinde ise, namlu boyunun kısaltılmasının yanında yiv set eğrisinin namlu çıkış eğimi namlunun 5'er cm kısaltılmayla  $0,5$  derece azaltılmıştır (Şekil 4).



Şekil 10. Namlunun kısaltılması ve namlu çıkışındaki yiv set eğiminin azaltılmasıyla setlere etkileyen torklardaki değişim (Change in torques affecting the sets by shortening the barrel and decreasing the rifling slope at the exit)[1]

Şekil 10’da görüldüğü üzere namlu boyunun kısaltılmasıyla birlikte namlu çıkışındaki yiv set eğiminin de azaltılmasıyla setlere etkileyen tork değerlerinin de azalacağını göstermektedir. Yiv set eğrisi daha kısa bir uzunlukta daha küçük bir çıkış eğimini yakalamaya çalışacağından, yani sarma miktarı azaldığından; setlere etkileyen tork değerinin de azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlar; namlu tasarımı yapıldığında, set profilinin yeni tork değerlerine fazlasıyla dayanabilecek bir geometriden dolayı set genişliklerinin azaltılmasını gerektirebilecektir.

Farklı namlu boyu ve çıkış eğimine sahip namlu tasarımları için statik kararlılık faktörü Eşitlik 35’ten elde edilmiş ve Tablo 2’de sunulmuştur.

M56 HEI mühimmatına ve atmosfere ait değerler;

$I_x$  : 0,000005486, merminin aksel atalet momenti,  $\text{kgm}^2$

$I_y$  : 0,0000409, merminin enine atalet momenti,  $\text{kgm}^2$

$\rho$  : 1,225, atmosfer yoğunluğu,  $\text{kg/m}^3$

$C_{MA}$ : 1,87, merminin yunuslama moment katsayısı, birimsiz

$S$  : 0,00031134, mermi referans alanı,  $\text{m}^2$

$d$  : 0,01991, mermi referans çapı, m

Tablo 2’de iki gruptaki namlular için mermilerin statik kararlılık faktörleri incelendiğinde, kararlılık faktörünün namlu boyuna değil yiv set eğimine bağlı olduğu görülmektedir. Yüksek eğime sahip yiv set eğrileri, mermilerde daha yüksek jirasyon etkisi doğurduğundan mermilerin statik kararlılık faktörü artış göstermektedir.

Tablo 2. Farklı namlu boyu ve yiv set eğimleri için statik kararlılık faktöründeki değişim (Change in static stability factor for different barrel length and rifling slopes) [1]

Mermi Yolu, mm	Namlu Çıkışındaki Yiv Set Eğimi, derece				
	6,916	6,416	5,916	5,416	4,916
1215	3,847	3,306	2,807	2,350	1,934
1265	3,847	3,306	2,807	2,350	1,934
1315	3,847	3,306	2,807	2,350	1,934
1365	3,847	3,306	2,807	2,350	1,934
1415	3,847	3,306	2,807	2,350	1,934

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

1. Artan hatveli yiv set eğrisinin en büyük getirisi setlere etkiyen torkun ciddi miktarda azalmasıdır. Dolayısıyla setlerin aşınmasının azalmasına ve namlu ömrünün artmasına olanak sağlamaktadır. 6,916 derecelik namlu çıkış eğiminde, farklı n üslerine göre oluşturulan eğrilerden elde edilen sonuçlara göre setlere etkiyen tork değerinin en uygun formda olması için “n” katsayısının 1,67 olması gerektiği tespit edilmiştir. 20 mm M56 HEI mühimmatı için 6,916 derecelik namlu çıkış eğiminde  $n = 1,67$  alınarak oluşturulan yiv set eğrisi namlu sonuna doğru yatay bir eğilim göstermiş ve en yüksek tork değerinin 46 Nm civarında kaldığı hesaplanmıştır.
2. Numune namlu için yapılan çalışmalar sonucunda yiv set eğrisinin oluşturulması için kullanılan hesaplama prosedürü metrik sistem için de doğrulanmış ve ülkemizde üretilecek orta ve yüksek kalibre silah namlularının tasarımı için büyük bir kazanım elde edilmiştir.
3. Namlu boyunun kısaltılmasıyla birlikte, yiv set eğrisinin namlu çıkışındaki eğimin sabit tutulması veya azaltılmasının setlere etkiyen torku arttırdığı görülmüştür.
4. Statik kararlılık faktörünün namlu boyuyla ilgili olmadığı, doğrudan yiv set eğrisinin eğimine bağlı olduğu tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ç. Şahin, Namlularda değişken yiv-set eğrisinin kararlılık faktörü ve set torkuna etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Milli Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2020.
2. M. Akçay, Balistik, 1. Baskı, Kazmaz Matbaacılık, Ankara, 2010.
3. D. Baran, Namlularda kendi kendine ateşleme süresinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye, 2018.
4. D.E. Carlucci, S.S. Jacobson, Ballistics theory and design of guns and ammunition, 2nd ed., CRC Press, New York, 2014.
5. M.W. Courtney, A stability formula for plastic-tipped bullets part 1: motivation and development of new formula, USAF Academy, Colorado, 2012.
6. P.O. Cronemberger, E.P. Lima Júnior, J.A.M. Gois, A.B. Caldeira, Theoretical and experimental study of the interior ballistics of a rifle 7.62, Thermal Engineering, 13(2): 20-27, 2014.
7. General Dynamics, 25 mm APFSDS Ammo Fact Sheet, <https://www.gd-otscanada.com/product/25mm-x-137-ammunition/>, 14.03.2019.
8. D.N. Gkritzapis, E.E. Panagiotopoulos, D.P. Margaritis, D.G. Papanikas, Computational atmospheric trajectory simulation analysis of spin-stabilised projectiles and small bullets, Int. J. Computing Science and Mathematics, 2(1-2): 53-72, 2008.
9. O. Gündüzer, Namlu cidarı boyutlandırılmasına iç balistik davranışın etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2011.
10. F. Iğın, 7,62 NATO mermisinin iç dinamiğinin hedef doğruluğu üzerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye, 2019
11. B. Zhang, G. Liu, Y. Wei, Y. Li, Analysis of contact between barrel and projectile of a rifle based on finite element method, International Conference on Innovative Material Science and Technology, 19.08.2016, Shenzhen.
12. R.L. McCoy, Modern exterior ballistics the launch and flight dynamics of symmetric projectiles, 1st ed., Schiffer Publishing Ltd., China, 2012.
13. Stanag 3585, NATO Stanag 3585 v4, North Atlantic Treaty Organization, 1999.
14. Stanag 3585, NATO Stanag 3585 v6, North Atlantic Treaty Organization, 2008.
15. Nortrop Grumman, 20x102 M56 HEI Ammo Fact Sheet, <https://www.northropgrumman.com/>, 14.03.2019.
16. B. Özcan, Kısa namlulu ateşli silahlarda iç balistiğe bağlı mukavemet analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2019.
17. B. Özcan, A. Kurt, U. Şeker, M. Seyis, Tabanca namlusunun sonlu elemanlar yöntemi ile iç balistiğe bağlı mukavemet analizi, 3'rd International Symposium On Industrial Design & Engineering, 22-23 Kasım 2018, Antalya.
18. Ö. Özyılmaz, Hafif silah tasarımının balistik açıdan incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 2010.
19. A.K. Stiffler, (1982). Projectile sliding forces in a rifled barrel, International Journal of Mechanical Sciences, 25(2): 105-119, 1983.

20. Ç. Susantez, Vallier-Heydenreich metodu ile silahların namlu iç balistiğinin incelenmesi, Savunma Bilimleri Dergisi, 19(1): 73-94, 2020.
21. A. Şentürk, Namlu iç balistiği ve termo-mekanik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Milli Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitü, Ankara, Türkiye, 2015.
22. M.J. Piddington, Comparative evaluation of the 20 mm developmental ammunition exterior ballistics, U.S. Army Aberdeen Research and Development Center, Maryland, 1972.
23. W.E. Rafert, A.W. Jank, C.M. Jaco, J.M. Cragin, G.K. Patterson, Research and development of materiel engineering design handbook, elements of armament engineering part three weapon systems and components, 1st ed., U.S. Army Materiel Command, Washington D.C., 1963.
24. U.S. Army Materiel Command, Research and development of materiel engineering design handbook guns series gun tubes, 1st ed., U.S. Army Materiel Command, Washington D.C., 1964.
25. U.S. Materiel Command, Research and development of materiel engineering design handbook elements of armament engineering part two ballistics, 1st ed., U.S. Army Materiel Command, Washington D.C., 1963.