

**T.C.  
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ  
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
HARP SİLAH VE ARAÇLARI  
SİLAH SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS  
PROGRAMI**

**NAMLULARDA DEĞİŞKEN HATVELİ YİV-SET  
EĞRİSİNİN SET TORKUNA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇAĞRI ŞAHİN  
1881015**

**PROF. DR. AHMET ÖZDEMİR**

**ANKARA  
EYLÜL 2020**

**T.C.**  
**MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ**  
**ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**HARP SİLAH VE ARAÇLARI**  
**SİLAH SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS**  
**PROGRAMI**

**NAMLULARDA DEĞİŞKEN HATVELİ YİV-SET**  
**EĞRİSİNİN SET TORKUNA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇAĞRI ŞAHİN**  
**1881015**

**Dönem Projesinin Enstitüye Verildiği Tarih: .....**

**Dönem Projesinin Savunulduğu Tarih: .....**

**Dönem Projesi Oy birliği / Oy çokluğu ile başarılı bulunmuştur.**

<b>Proje Danışmanı</b> <b>Jüri Üyeleri</b>	<b>Unvan Ad Soyad</b>	<b>İmza</b>
---	-----------------------	-------------

**ANKARA**  
**EYLÜL 2020**

## ÖZGÜNLÜK RAPORU

Tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve ç) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 78 sayfalık kısmına ilişkin, //2020 tarihinde şahsım tarafından Truncate adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Millî Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Özgünlük Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Usul ve Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Çağrı ŞAHİN  
//2020

## **ETİK BEYAN**

Millî Savunma Üniversitesi Enstitüleri Lisansüstü Tez Hazırlama Kılavuzu'nda yer alan 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. Bu tezdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler bana aittir; Millî Savunma Bakanlığı, Millî Savunma Üniversitesi ve Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Çağrı ŞAHİN  
//2020

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Çocukluk yaşlarımdan beri silah ve savunma sistemlerine ilgi duymuş ve silah sistemleri mühendisi olmak istedim. Bu hayal doğrultusunda meslek seçimi yaptım ve makine mühendisliği lisans seviyesini tamamlayarak, çocukluk hayalim için gerekli olan ilk adımı attım. Yüksek lisans tez çalışmamın başarıyla tamamlanması, silah sistemleri mühendisi ünvanını resmi olarak almamı sağlamıştır. Çocukluk hayalimi gerçekleştirmek büyük bir sevinç kaynağı ve daha çok başında olduğum meslek hayatım için ayrıcalıklı bir başlangıç olmuştur. Artık hedefim ve vazifem, kendimi daha çok geliştirerek ünvanını hak eden ve ülkesine faydalı bir mühendis olmak ve Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK'ün gösterdiği hedefe, durmadan yürümek ve Türk İstiklalini, Türk Cumhuriyet'ini, ilelebet, muhafaza ve müdafaa etmektir.

Hayatım boyunca bana desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan sevgili Annem A.Sevim ŞAHİN'e, Babam Mehmet ŞAHİN'e ve Ablam Açelya ŞAHİN'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca,

Yüksek lisans programında beni balistik bilimiyle tanıştıran (E) Sn. Tuğ. G. Doç. Dr. Mehmet AKÇAY'a,

Tez çalışmamın yönetiminde ve yönlendirilmesinde ilgi ve destek sağlayan Danışmanım Sn. Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR'e,

Tez çalışmamın gerçekleşmesinde desteklerini esirgemeyen başta TR Mekatronik Sistemler Sanayi ve Ticaret A.Ş Genel Müdürü Öner ÖZYILMAZ'a, Teknik Genel Müdür Yardımcısı Cengiz TENDÜRÜS'e, İdari İşler Genel Müdür Yardımcısı Baran VAROL'a, TR Mekatronik ve SAVBEN Müdürlüğü Yönetimine ve bütün personeline,

Ve daima hatırlanacak olan,

Devletimizin kurucusu Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK ve silah arkadaşları başta olmak üzere, Türkiye Cumhuriyetimizin bekası için can veren şehitlerimize minnettarlık duyar, gazilerimize şükranlarımı sunar ve çalışmakta olan Türk Milletinin her ferdine teşekkürü borç bilirim.

ANKARA; Eylül 2020

Çağrı ŞAHİN

## ÖZ

### Namlularda Değişken Hatveli Yiv-Set Eğrisinin Set Torkuna Etkisi

Çağrı ŞAHİN

Millî Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü  
Ankara, Eylül 2020

Namlu tasarımında; merminin namludan çıktığı andaki açısal hızı, jiroskobik kararlılığı ve setlere etkiyen tork doğrudan yiv set eğrisine bağlıdır. Yiv set eğrisinin kontrolü, merminin namlu çıkışında istenen dengeye sahip olmasını beraberinde getirmektedir. Tez kapsamında 20 mm M56 HEI mühimmatı için; namlu içerisindeki basınç, hız ve zaman değişimi Vallier – Heydenreich metoduna göre hesaplanmıştır. Teorik olarak hesaplanan basınç ve hız değerlerinden faydalananarak, belirlenen bir namlu çıkış eğimi için farklı yiv set eğrileri oluşturulmuş ve bu eğriler için merminin açısal hızındaki değişim hesaplanmıştır. Daha sonra merminin namlu çıkışındaki statik kararlılık faktörü yiv set eğrisi ve mermi açısal hızına bağlı olarak elde edilmiş; farklı yiv set eğrileri için, setlere etkiyen tork değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla setlere etkiyen en yüksek torkun yaklaşık yüzde %50 oranında azaltılabileceğini göstermiştir. Ayrıca namlunun kısaltılmasıyla namlu çıkış hızından ödün verilmesiyle tork ve statik kararlılık faktörlerindeki değişimler karşılaştırılmıştır. Ateşli silah tasarımı ve imalatında öneme haiz bu namlu parametresinin çalışılmasının, geliştirmekte olan Türk Savunma Sanayine önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

#### Anahtar Sözcükler:

Yiv Set Tasarımı, Artan Hatveli (Dönülü) Yiv Set Eğrisi, Mermilerde Statik Kararlılık, Setlere Etkiyen Tork.

Bilim Kodu : 91405, 91432

Sayfa Sayısı : 79

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

## **ABSTRACT**

### **The Effect of Variable Rifling Curve on Set Torque in Barrels**

Çağrı ŞAHİN

Turkish National Defense University, Alparslan Defense Institute  
Ankara, September 2020

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 control of the rifling curve brings with it the desired balance at the exit of the barrel. Within the scope of the thesis, for 20 mm M56 HEI ammunition; The pressure, velocity and time changes in the barrel were calculated according to the Vallier - Heydenreich method. Using the theoretically calculated pressure and velocity values, different rifling curves were created for a determined muzzle slope and the change in the angular velocity of the bullet was calculated for these curves. Then, the static stability factor of the bullet at the exit of the muzzle was obtained depending on the rifling curve and the bullet angular velocity; For different rifling curves, the torque values acting on the lands are compared. With the results obtained, it has shown that the maximum torque affecting the lands can be reduced by approximately 50%. In addition, the changes in torque and static stability factors were compared with the shortening of the barrel, compromising the muzzle velocity. Studying this barrel parameter, which is important in firearm design and manufacturing, is expected to make a significant contribution to the developing Turkish Defense Industry.

**Keywords:** Rifling Design, Increased Pitch (Twist) Rifling Curve, Static Stability in Bullets, Torque on Lands.

Science Code : 91405, 91432  
Pages : 79  
Supervisor : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZGÜNLÜK RAPORU

ETİK BEYANI

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

TÜRKÇE ÖZ

İNGİLİZCE ÖZ (ABSTRACT)

İÇİNDEKİLER ..... viii

TABLolar LİSTESİ..... x

ŞEKİLLER LİSETESİ ..... xi

SEMBOL LİSTESİ..... xii

1. GİRİŞ .....14

2. LİTERATÜR TARAMASI .....15

3. KAVRAMSAL TEMELLER .....19

3.1. NAMLU TASARIMINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN FAKTÖRLER.....19

3.2. İÇ BALİSTİK VE NAMLULARDA VERİM.....22

3.3. MERMİLERİN DENGELENMESİ .....25

3.3.1. Kanatçık ile Dengeleme. ....26

3.3.2. Dönü ile Dengeleme .....27

3.3.3. Yiv Set Profili.....30

3.3.4. Yiv Set Eğrisi .....32

3.4. SETLERE ETKİYEN TORK.....35

3.5. BOYUTLARI BİLİNER BİR MERMİ İÇİN NAMLU İÇİNDE BASINÇ, MERMİ HIZI VE ZAMAN HESABI (VALLIER – HEYDENREICH METODU).....36

3.6. YIV SET EĞRİSİNİN OLUŞTURULMASI .....40

3.7. MERMİ ÇEKİRDEĞİNİN NAMLU İÇERİSİNDE AÇISAL HIZINDAKİ DEĞİŞİM .....41

3.8. STATİK (JİROSKOBİK) KARARLILIK FAKTÖRÜ .....41

3.9. SETLERE ETKİYEN TORK.....42

4. TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....44

4.1. VALLIER – HEYDENREICH METODUYLA BASINÇ, HIZ VE ZAMAN EĞRİLERİNİN OLUŞTURULMASI .....44

4.2. YIV SET EĞRİSİNİN TEORİK YÖNTEME GÖRE OLUŞTURULMASI.....49

4.3. MERMİNİN NAMLU İÇERİSİNDE AÇISAL HIZ VE İVMESİNDEKİ DEĞİŞİMİ.....54

4.4. STATİK (JİROSKOBİK) KARARLILIK FAKTÖRÜNÜN BELİRLENMESİ .....57

4.5. MERMİNİN AÇISAL İVMESİ VE SETLERE ETKİYEN TORK.....57



4.6.	MERMİ YOLUNUN KISALTILMASI VE YİV SET EĞİTİMİNİN DEĞİŞTİRİLMESİYLE SETLERE ETKİYEN TORKDAKİ DEĞİŞİM.....	59
4.7.	DENEYSEL NAMLU ÜZERİNDE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	61
4.7.1.	Artan Hatveli Yiv Set Unsuruna Sahip Namluların Üretilmesi .....	63
<b>5.</b>	<b>SONUÇ.....</b>	<b>64</b>
	KAYNAKÇA.....	67
	EKLER .....	69
	Ek 1: Namlu İçerisindeki Basınç, Hız ve Zaman Değerleri.....	69
	Ek 2: Zamana Göre Mermi Çizgisel İvme Değerleri.....	70
	Ek 3: Farklı n Üs Değerleri İçin Yiv Set Eğrisi Değerleri. ....	71
	Ek 4: Farklı n Üsleri İçin Tan( $\alpha$ ) Değerleri.....	72
	Ek 5: Farklı n Üsleri İçin $\alpha$ Açısı Değerleri. ....	73
	Ek 6: Farklı n Üsleri İçin $\alpha$ Açısının Türevi. ....	74
	Ek 7: Farklı n Üsleri İçin Merkez Açıları. ....	75
	Ek 8: Farklı n Üsleri İçin Açısal Hız Değerleri.....	76
	Ek 9: Farklı n Üsleri İçin Mermi Devir Sayısı Değerleri.....	77
	Ek 10: Farklı n Üsleri İçin Mermi Açısal İvmesindeki Değişim Değerleri.....	78
	Ek 11: Farklı n Üsleri İçin Setlere Etkiyen Tork Değerleri. ....	79
	ÖZ GEÇMİŞ.....	80

## TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
<b>Tablo 3.1:</b> Bazı Silah Sistemlerinin Sevk Barutu ve Mermi Özellikleri ile Balistik Verimleri.....	24
<b>Tablo 3.3.2:</b> Heydenreich Balistik Faktörleri.....	37
<b>Tablo 3.3.3:</b> $\psi(\lambda)$ , $\phi(\lambda)$ ve $\delta(\lambda)$ Balistik Katsayıları.....	39
<b>Tablo 4.1:</b> Farklı Namlu Boyu ve Yiv Set Eğimleri İçin Statik Kararlılık Faktöründeki Değişim.....	61

## ŞEKİLLER LİSETESİ

	Sayfa
Şekil 3.1: Namlu Bölümleri.....	20
Şekil 3.2: Piezometrik Verimde Kullanılan Ortalama Basınç.....	23
Şekil 3.3: Sabotlu Kanatçık Dengeli Mermi.....	25
Şekil 3.4: Kanatçık Dengeli Mermi Üzerindeki Kuvvetler, Basınç ve Ağırlık Merkezleri.....	27
Şekil 3.5: Dönen Bir Topaç İle Dönen Bir Merminin Kıyaslanması.....	28
Şekil 3.6: Aşırı Dengeli Merminin Yörünge Hareketi.....	29
Şekil 3.7: Mermiye Etkiye Kuvvetler (CP, CG'nin Önündeyken).....	30
Şekil 3.8: Namlu Çapına Göre Gerçek ve Teorik Yiv Set Sayıları ve Set Derinlikleri.....	32
Şekil 3.9: Sabit Hatveli (Dönülü) Yiv Set.....	33
Şekil 3.10: Artan (Değişen) Hatveli Yiv Set.....	34
Şekil 3.11: Yiv Set Kuvvet Diyagramı.....	36
Şekil 3.12: $\Sigma(n)$ , $\theta(n)$ , $\phi(n)$ , $\pi(n)$ ve $T(n)$ 'nin $\eta$ ile Değişimi.....	38
Şekil 3.13: Namlu İçindeki Gaz Basıncı ve Mermi Hızının Değişimi.....	39
Şekil 3.14: Mermi Üzerindeki Basınç ve Ağırlık Merkezleri.....	42
Şekil 4.1: Mermi Yoluna Göre Namlu İçerisindeki Basınç ve Mermi Hızındaki Değişim.....	47
Şekil 4.2: Zamanın Mermi Yoluna Göre Değişimi.....	48
Şekil 4.3: Farklı $n$ Katsayıları İçin Yiv Set Eğrisindeki Değişim.....	50
Şekil 4.4: Farklı $n$ Üsleri İçin $\alpha$ Açısı Değişim.....	51
Şekil 4.5: Farklı $n$ Üsleri İçin $\alpha$ Açısının Türevindeki Değişim.....	52
Şekil 4.6: Bazı Merkez Açıları.....	53
Şekil 4.7: Farklı $n$ Üsleri İçin Merkez Açılarındaki Değişim.....	54
Şekil 4.8: Farklı $n$ Üsleri İçin Mermi Devir Sayılarındaki Değişim.....	55
Şekil 4.9: Farklı $n$ Üsleri İçin Açısal Hızlardaki Değişim.....	55
Şekil 4.10: Mermi Açısal İvmesinin Mermi Yoluna Göre Değişimi.....	56
Şekil 4.11: Farklı $n$ Üsleri İçin Setlere Etkiyen Torklardaki Değişimi.....	58
Şekil 4.12: Namlu Boyunun Kısaltılması, Namlu Çıkışındaki Yiv Set Eğiminin Sabit Tutulmasıyla Setlere Etkiyen Torklardaki Değişim.....	59
Şekil 4.13: Namlunun Kısaltılması ve Namlu Çıkışındaki Yiv Set Eğiminin Azaltılmasıyla Setlere Etkiyen Torklardaki Değişim.....	60
Şekil 4.14: Ölçüm İçin Hazırlanmış Düzenek.....	61
Şekil 4.15: Stanag 3585 için Deneysel ve Teorik Bulguların Karşılaştırılması.....	63

## SEMBOL LİSTESİ

$A_n$	: Namlu kesit alanı, $m^2$
$C_{MA}$	: Yunuslama momenti katsayısı
$D_b$	: Namlu çapı, inç
$I_x$	: Merminin eksenel atalet momenti, $kgm^2$
$I_y$	: Merminin enine atalet momenti, $kgm^2$
$M_m$	: Mermi kütlesi, kg
$P_e$	: Namlu ağzı basıncı, MPa
$P_m$	: Namlu içinde meydana gelen en yüksek basınç, MPa
$P_0$	: Namlu iç basıncı, MPa
$S_g$	: Kararlılık faktörü, birimsiz
$V_0$	: Namlu çıkış hızı, m/s
$V_1$	: En yüksek gaz basıncındaki mermi hızı, m/s
$X_e$	: Namlu boyu, m
$X_1$	: En yüksek gaz basıncında merminin aldığı yol, m
$a_l$	: Merminin çizgisel ivmesi, $m/s^2$
$m_B$	: Barut kütlesi, g
$m_m$	: Mermi kütlesi, g
$n_c$	: Merminin bir dönüşü için gerekli doğrusal mesafe, 1 inç: 100 cal
$n_p$	: Piezometrik verim, birimsiz
$t_e$	: Merminin namlu içinde geçirdiği süre, s
$t_1$	: En yüksek gaz basıncı oluşuncaya kadar geçen süre, s
$x_E$	: Yiv set eğrisinin toplam eksenel boyu, mm
$\alpha_E$	: Yiv set eğrisinin çıkış açısı (eğimi), derece
$\ddot{\theta}$	: Merminin açısal ivmesi, $rad/s^2$
$d$	: Namlu çapı, m, Mermi çapı, m
$G$	: Yiv sayısı, birimsiz
$N$	: Merminin dakikadaki devir sayısı, devir/dk
$n$	: Yiv-set eğrisini tanımlayan üs, birimsiz
$p$	: Çıkış açısına göre tanımlanan sabit, birimsiz

<b>R</b>	: Mermi yarıçapı, m
<b>r</b>	: Namlu yarıçapı, m
<b>T</b>	: Setlere etkiyen tork, Nm
<b>x</b>	: Yiv set eğrisinin eksenel (doğrusal) uzunluğu, mm
<b>y</b>	: Namlu etrafındaki yiv setin çevresel mesafesi ( $y=R\Theta$ ), mm
<b><math>\alpha</math></b>	: Yiv set eğrisinin eğimi, derece
<b><math>\beta</math></b>	: Yiv set eğrisindeki noktalara ait merkez açısı, derece
<b>P</b>	: Barut gazlarının oluşturduğu basınç, Pa
<b>S</b>	: Mermi referans alanı, m <sup>2</sup>
<b>V</b>	: Mermi çizgisel hızı, m/s
<b>i</b>	: Mermi jirasyon yarıçapı, m
<b><math>\rho</math></b>	: Atmosfer yoğunluğu, kg/m <sup>3</sup>
<b><math>\omega</math></b>	: Merminin açısal hızı, rad/s

## 1. GİRİŞ

Günümüzde pek çok modern ateşli silahta kullanılan artan hatveli yiv set'in geometrik olarak oluşturulması, ülkemizde gelişmekte olan Türk Savunma Sanayisine büyük bir katkıda bulunması beklenmektedir. Ülkemizin 12,7 mm ve üzeri kalibredeki silah sistemlerinin geliştirilmesindeki teorik alt yapıya bilgi desteği sağlayarak, orta ve ağır kalibreli silah sistemlerinin namlularının tasarlanmasına yardımcı olacaktır. Bu çalışmada namlu içerisindeki barut gazlarının yanması sonucu ortaya çıkan basınç değişimi, merminin namlu içerisindeki çizgisel ve açısal hız değişimi, setlere etki eden tork ve yiv set açısının merminin jiroskobik kararlılık faktörüne etkisi teorik olarak hesaplanmıştır ve yiv set eğrisinin oluşturulmasının teorik ve metrik alt yapısı geliştirilmiştir. Oluşturulan yöntemle göre farklı namlu boyları ve yiv set eğimleri için setlere etkileyen tork değerleri ve statik kararlılık faktörleri incelenmiştir.

Tez çalışması, TR Mekatronik Sistemler Sanayi ve Ticaret A.Ş tarafından geliştirilmekte olan, T129 ATAK Helikopterin 20 mm Döner Namlulu top sistemi projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Tez içerisindeki hesaplamalara dahil edilen ölçü ve sayısal değerler ticari gizliliğe sahip olduklarından, orijinal namludan farklı değerler kullanılarak tez çalışmasındaki teorik yöntemle göre hesaplanmıştır. Teorik yöntemin doğruluğu, numune namlunun yiv – set eğrisinin ölçülmesiyle ve ilgili 20 mm Silah Sisteminin standardı olan “NATO Stanag 3585 – AA (Edition 6) – 20 mm Ammunition And Link For Aircraft Guns” dokümanında bulunan yiv set eğrisiyle karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Tez çalışmasının temel teorisi Amerikan Ordusu Levazım Komutanlığı tarafından 1964 yılında yayınlanan “Research And Development Of Materiel Engineering Design Handbook, Gun Series, Gun Tubes” el kitabına dayanmaktadır. Bu çalışma namlu tasarımıdaki teorik alt yapı ve kritik noktaları tasarımcıya anlatmaktadır. Tez çalışması için yapılan literatür araştırmasında yiv – set eğrisinin oluşturulmasına yönelik yerli bir çalışma maalesef bulunamamıştır. Dolayısıyla mevcut çalışmanın namlu yiv set tasarımı için önemli bir ulusal kaynak olarak literatürüne girmesi beklenmektedir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Akçay kitabında, iç balistik ve dış balistik konularına değinmiştir. Namlu, mermi ve barut tasarımıyla ilgili geniş çaplı bilgi vermiştir. Namlu içerisindeki basınç değişimini, merminin hızlanmasını ve geçen zamanı konuma göre ifade etmek için Vallier – Heydenreich yönteminden faydalanmıştır (İsim tarih).

Baran tezinde, obüs namlusunun kendi kendine ateşleme yaptığı, atış sayısı ve süresini, analitik ve sayısal yöntemler ile hesaplamıştır. Kendiliğinden ateşleme süresini bulabilmek için, basitleştirilmiş analitik bir yöntem olan toplam kütle yaklaşımını kullanmıştır. Ansys yazılında sonlu elemanlar metodunu kullanarak sonuçlar elde etmiştir. İç balistik parametrelerini elde etmek için ise Prodas programından faydalanmıştır. Çalışmasının sonunda farklı ateşleme rejimleri için kendiliğinden ateşleme atış sayılarını ve sürelerini elde etmiştir [2].

3,4,5,6,7 ile bilgi yaz

Gkritzapis ve arkadaşları mermilerin dengelenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında mermilerin jiroskobik (statik) kararlılık faktörlerini incelemişlerdir. Statik kararlılık faktörünün merminin açısal hızına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir [8].

Gündüzer tezinde, M101 top namlusunun ağırlığının azaltılması üzerine çalışmış ve çalışma sonucunda 1,25 emniyet katsayını ile 270 kg'lık namluyu 115,95 kg'lık bir ağırlığa düşürmeyi başarmıştır. Çalışmasında hafifleştirme işlemi sırasında analitik yöntemlerle çözümlenmesi zor olan namlu cidar kalınlığının patlama sonucu oluşan basınç değerleriyle eksen boyunca hesaplanmasını ve iyileştirilmesini hedeflemiştir. Ayrıca iç balistik temel denklemlerine değinmiştir. Balistik değerleri Vallier – Heydenreich yöntemiyle, gerilme değerlerini ise Lamé denklemiyle elde edip bilgisayar ortamından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Çalışmasında Prodas, Catia ve Ansys programlarını kullanmıştır [9].

10 u ekle

İlgın tezinde, 7,62 mm NATO mermisinin iç dinamiğinin hedef doğruluğu üzerine etkisini deneysel yöntemler kullanarak incelemiştir. Namlu içerisindeki farklı noktalarda namlu basıncı, mermi hızı, namlu çıkış süresi, oluşan namlu ağız gürültüsü ve hedef üzerindeki namlu atış doğruluğu ölçümleri yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre barut türü ve miktarına göre en iyi hedef doğruluğu veren iç balistik şartlarını araştırmıştır. Çalışması sonucunda, genel olarak NATO mermisi içerisindeki barut miktarı arttıkça CDFC değerinde iyileşme olduğunu göstermiştir [11].

12,13,14,15 i ekle

Özcan tezinde, 9 mm tabanca namlusu üzerinde sonlu elemanlar yöntemi ile mukavemet analizleri yaparak optimal namlu tasarımı yapmayı hedeflemiştir. Analizlerinde, namlu boyunca oluşan basınç değerlerini Vallier – Heydenreich balistik denklemlerini kullanarak hesaplamıştır ve merminin namluyu terk edinceye kadar geçen süre içerisinde oluşan gerilmeler, termal – elastik ve plastik şekli değişimlerini ayrıca merminin namlu çıkış hızı değerlerini sonlu elemanlar analizi ile incelemiştir. Balistik atış deney sonuçları, sonlu elemanlar analizleri ile merminin namlu çıkış hızını ortalama %1,82 hata payı ile tahmin edilebileceğini göstermiştir [16].

Şeker ve arkadaşları çalışmalarında, Ansys Workbench yazılımının Explicit Dynamics modülü yardımıyla bir tabanca namlusuna iç balistik basınç verileri uygulanarak namluda ve mermide meydana gelen gerilme, deformasyon ve birim şekil değiştirme değerlerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. İç balistik verilerini Vallier- Heydenreich yöntemi kullanılarak elde etmişlerdir. Bilinen namlu çıkış hızıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen namlu çıkış hızları karşılaştırılarak analiz modelinin doğrulaması yapmışlardır [17].

Özyılmaz tezinde, hafif silah tasarımına etki eden mühimmat tipinin seçimi, namlu tipi, mekanizmalar ve patlama anında gerçekleşen termodinamik etkiler incelenerek, bu değişkenlerin etkinliği deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler yardımıyla doğrulamıştır [18].

Stiffler çalışmasında, iç balistikte mermi kayma kuvvetlerini belirleyen bir teori sunmuştur. Temas gerilmesinin sabit olmasını ve değiştirilmiş bir Von Mises kırılma kriteri tarafından tanımlanmasını önermiştir. Teorisini, yarı statik ve dinamik laboratuvar testleri ile doğrulamıştır [19].



Susantez çalışmasında, öncelikle Vallier - Heydenreich metodunu kullanarak 7.62 mm tüfek namlusu ve 9 mm tabanca namlusu içerisindeki mermi konumu ve hızını, namlu içerisindeki basınç ve zamana göre incelemiştir. Daha sonra incelenen namlular için iç balistik parametrelerinin denklemleri elde etmiş ve sunmuştur. Elde ettiği bu veriler basınç – zaman, hız – konum, hız - zaman, basınç – konum, basınç – hız ve konum – zaman grafikleriyle gösterilmiştir [20].

Şentürk tezinde, boyutları bilinen bir namluya etki eden sıcaklık ve basınç değerlerini hesaplamış ve bu değerlere göre seri atış durumunda Ansys sonlu elemanlar programı ile termo – mekanik gerilme analizi yapmıştır. Sonuç olarak namlu dış yüzeyi için hesaplanan sıcaklık değerleri termal kamera ile termo – mekanik gerilmeleri ise analitik yöntemlerle doğrulamıştır [21].

Amerikan ordusu Aberdeen araştırma ve geliştirme merkezi, 20x102 mm mühimmatların aerodinamik katsayılarını deneysel yöntemler ile belirlemiş ve bu mühimmatların kararlılık faktörlerini ortaya koymuşlardır [23].

Amerikan ordusu malzeme komutanlığı yayınladıkları el kitabında, setlere etki eden torkun yiv eğrisine bağlı olduğunu ifade etmiş ve yiv set eğrisini tanımlamak için üssel bir fonksiyon tanımlamışlardır. Bu fonksiyondan faydalanarak yiv set eğrisini oluşturmuş ve farklı yiv set profilleri için setlere etkiyen torklardaki değişimleri göstermişlerdir [24].

### **Literatür araştırmasının değerlendirilmesi**

Namlulara ait iç balistik hesaplamalarda Vallier – Heydenreich metodunun yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu yöntem ile elde edilen basınç değerlerinden faydalanarak, namlu cidarına etkiyen gerilmeler birçok çalışmada bulunmuştur. Fakat yiv set eğrisi ve setlere etkiyen tork gibi değerler üzerinde durulmadığı, yiv set eğrisinin formu ve set geometrisinin üzerine çalışılmadığı görülmüştür. Bu çalışmada yiv set eğrisinin setlere etkiyen tork’a etkisi, mermi açısal hıza etkisi ve mermiye ait statik (jiroskopik) kararlılık faktörüne etkisi teorik olarak incelenmiştir.



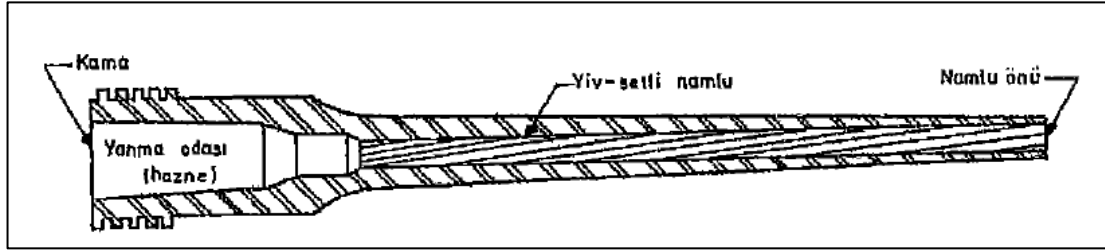
### **3. KAVRAMSAL TEMELLER**

Bu bölümde namlu tasarımında iç balistik hesaplamaları, yiv set eğrisinin oluşturulması, namlu yiv set eğrisinin oluşturulması, mermi çekirdeğinin namlu içerisindeki açısal hızının yiv set eğrisine bağlı olarak değişmesi, yiv set eğrisinin mermi statik (jiroskopik) kararlılık faktörüne etkisi ve setlere etkileyen tork'un hesaplanması için gerçekleştirilmiş literatür taramasında incelenen kaynakların özetlerini içermektedir. İncelenen çalışmalar tez çalışmasının temellerini oluşturmaktadır.

#### **3.1. Namlu Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler**

Namlu ateşli silahların en önemli ana elemanıdır. Namlu, geri tepmesiz toplar dışında mekanik olarak bir ucu açık diğer ucu kapalı silindirik basınçlı bir borudur. (Akçay 2010). Başka bir tanım olarak ise namlu; mühimmatın hedefe belirli bir namlu çıkış hızıyla gönderilmesini sağlayan, kalın cidarlı bir silindirdir (Baran 2018). Örnek bir namlunun kesiti Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Namlu barutun yerleştirilmesi ve yanması için ihtiyaç duyulan yanma odasına, merminin dönerek denge kazanmasını sağlayan yiv setlere ve barut gazlarından yanma sonucu ortaya çıkan kimyasal enerjinin mermiye aktarılmasını sağlayan çizgisel bir yola sahiptir (Akçay 2010). Obüs gibi yüksek kalibre silahlarda sevk barutu torbalarının veya kovanlı mühimmatlar ateşleyen silahlarda kovanların yerleştirildiği ve sevk barutunun yanmasının gerçekleşmesi sonucu yüksek basınç ve sıcaklığa maruz kalan yanma odası olarak isimlendirilen bölüme sahiptir. Ayrıca, yanma odası ve namlu iç çapını birleştiren birleştirme konisine (Baran 2018) ve merminin yanma sonucunda ortaya çıkan barut gazlarının mermiye doğrusal hız kazandırdığı doğrusal yola ve yivli namlularda mermiye açısal hız kazandırmak için bu doğrusal yol etrafına sarılmış şekilde işlenen yiv ve setlerden oluşan silah sistemi parçaları namlu olarak ifade edilebilir. Silah sisteminin namlusu belirli bir hedefe yöneltilecek merminin istenilen doğrultuda hareket etmesini ve hedefi vurmasını sağlar. Namlu tasarımı, iç balistik açısından mühimmata bağlı olarak yapılır. Namlu tasarımının mühimmata bağlı olarak yapıldığı namlu parametreleri;

namlu kalibre ölçüsü (set üstü çapı), yiv profili (derinli ve genişliği) yiv eğrisinin formu (helis açısı) ve yanma odası boyutlarıdır (Gündüzer 2011).



**Şekil 3.1: Namlu Bölümleri.**

(E) Tuğ. G. Doç. Dr. Mehmet AKÇAY, *Balistik* (2010), 1.

Bir silahın etkinliği, namlusunun hassasiyeti ile sınırlıdır. Namlu hassasiyetinin ölçüsü, namluyu terk eden merminin çizgisel ve açısal hızının her atış sonunda aynı olmasıdır. Namlu ömrü, namluyu terk eden mermi hızının namlu tasarlanırken belirlenen bir değerden daha fazla düşmesi ya da hedef üzerindeki mermi dağılımının tasarım değerlerinin dışına çıkması ile tamamlanır. Atış birkaç milisaniye içinde tamamlanır. Atış anında namlu çok yüksek bir basınç, sıcaklık ve geri tepme kuvveti etkisi altında kalır. Balistik çevrimin çok kısa olması nedeniyle, bu parametrelerin tek bir atımdaki etkisi önemsizdir. Fakat çok kısa zaman içerisinde hızla yapılan seri atışlar zamanla namluda yıpranma ve aşınmalara neden olarak, mermi ilk hızının düşmesine neden olur ve sonuç olarak namlu hassasiyeti azalır (Akçay 2010).

Namlunun temel ölçüsü kalibresidir. Kalibre, yivler açılmadan önce namlunun sahip olduğu iç çap ölçüsüdür. Diğer bir önemli ölçü ise merminin namludan çıkış hızını etkileyen namlu boyudur. Genel olarak, daha uzun bir namlu ile daha yüksek namlu çıkış hızı sağlanabilir (Özyılmaz 2010).

Namlunun tüm silahın konstrüksiyonu üzerinde büyük etkisi vardır. Bir namlunun karşılaması gereken temel beklentiler (Özyılmaz 2010);

- Azami çalışma yüklerine karşı dayanım
- Titreşimleri en aza indirmek için yüksek rijitlik
- Namlu ekseninde azami düzgünlük
- İç ve dış çaplarda eş merkezlik
- Yeterli hizmet ömrü
- Dayanım ve katılık açısından optimum kütle

- Düşük imalat maliyeti

Silah namlusu yanma sonucu meydana gelen sıcak barut gazlarının etkisi altında ısı, kimyasal ve mekanik yüklere maruz kalmaktadır. Barut gazlarına önemli miktarda maruz kalan kaplamasız namlu çeliğinde, yüzeyin hemen altında ısı olarak etkilenen bölge “Isı Etki Bölgesi” olarak isimlendirilen bir bölgenin oluşmasına neden olur. (Baran 2018). Bu bölgeler çatlak oluşumuna neden olan “Isıl Çatlamalara” dönüşür ve art arda yapılan atışlar ile bu iki yapı giderek büyür. Buna ek olarak, sıcak barut gazlarının namlu çeliğine etki etmesiyle birlikte gaz yıkaması olarak adlandırılan termokimyasal hasarlar da oluşmaktadır (Baran 2018).

Namluya etkiyen etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Mekanik etkiler

- 1.1. Barut gaz basıncı

- 1.2. Mermi etkileri

- 1.2.1. Sevk çemberi basıncı

- 1.2.2. Yiv set momenti

- 1.2.3. Geri tepme kuvvetleri

- 1.2.4. Titreşim

2. Termal gerilmeler

Namlu tasarımında önemli parametrelerden biri olan namlu cidar kalınlığı, barut gaz basıncının namluda meydana getirdiği gerilmelere göre belirlendiğinden, barut gaz basıncı namlu imalatı açısından namlu tasarımını etkileyen ana faktördür. Sevk çemberi, yiv set momentini mermiye aktarır ayrıca mermi ile namlu iç cidarı arasından barut gazının sızmasını önler. Namluya serbest olarak oturan mermiye barut gazı basıncının etkimesi sonucu, mermi namlu içerisinde ileri doğru hareket eder. Mermi tabanına uygulanan bu kuvvet sayesinde sevk çemberi ve namlu iç cidarı arasında bir sıkı geçme meydana gelir. Bakır gibi yumuşak malzemeden yapılmış olan sevk çemberi setlerin olduğu bölgelerden kesilir ve sevk çemberi yivleri doldurur. Barut gazlarının itme etkisiyle mermi ileri doğru, yiv set eğrisi sayesinde ise mermi uzun eksen etrafında dönerek hareket etmeye başlar. Yüksek basınç ve hız altında meydana gelen bu mekanik bağlantı zamanla namluda aşınmaya ve bakırlaşma denilen namluya bakır sıvanması olarak tanımlanan etkinin meydana gelmesine neden. Yiv set momenti, barut gaz basıncı ve yiv set açısıyla yakından ilgilidir. Yiv set momenti

nümerik olarak yüksek olmasına rağmen, namluda meydana getirdiği gerilme barut gazlarının meydana getirdiği mekanik gerilmeler yanında önemsiz kalmaktadır. Geri tepme kuvvetleri ise, mermi namlu içerisinde hareket ederken, momentumun korunumu prensibine göre namlu ters yönde hareket eder. Bu tip geri tepme kuvvetleri, namluda barut gazının meydana getirdiği eksenel gerilmeye ters yönde bir etki meydana getirir. Diğer bir geri tepme kuvveti ise, mermi namluyu terk ettiği anda namludan çıkan gazlar, namlunun lüle gibi davranmasını sağlayarak yine geriye doğru hareket etmesine neden olur. Namlularda titreşim, yüklerin ani olarak çok kısa bir süre etki ederek, etkisinin aniden sıfıra inmesi sonucu oluşur. Barut gazı ve sevk çemberi basınçları namluyu, namlu önüne doğru hareket eden bir dalga şeklinde genişletirerek (namlunun nefes alması) namlu çatlaklarına sebep olur. Yüksek atım hızına sahip silahlarda, bir atımın neden olduğu titreşim sönümlenmeden, yeni atımın titreşim etkisi başlar, dolayısıyla seri atımlarda silahın dağılım değeri artar. Namlularda meydana gelen bir diğer önemli yük ise termal gerilmelerdir. Namlu içerisinde barutun yanması sonucunda oldukça yüksek miktarda ısı meydana gelir ve ısıнын yaklaşık %22'si namlu tarafından soğurulur. Isı etkisiyle genişleyen namlu, sürekli olarak atış soğuma döngüsüne girdiğinde zamanla namlu içerisinde çatlaklar meydana gelir bu çatlaklar termal çatlak olarak adlandırılır (Akçay 2010).

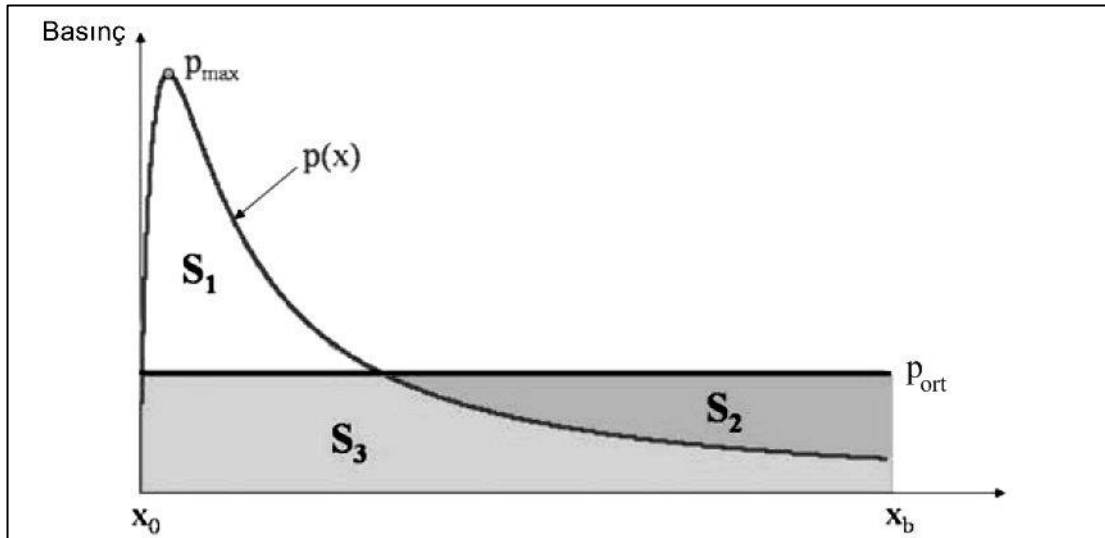
### **3.2. İç Balistik ve Namlularda Verim**

Namlularda ateşlemenin başlamasından, merminin namluyu terk edinceye kadar meydana gelen olayları inceleyen bilim dalı iç balistik olarak literatüre geçmiştir. İç balistik, merminin, namlu boyunca hareketine dair her olayla ilgilenir (Özyılmaz 2010). İç balistik biliminin asıl amacı; merminin namludan istenen bir ilk doğrusal ve açısal hız ile ayrılmasını sağlamaktır (Özcan, 2019). Mermiye bu doğrusal ve açısal hızı kazandırmak için yanmış barut gazlarından faydalanılmaktadır. Sevk barutunun yanmasıyla ortaya genelde karbondioksit ve su buharı çıkmaktadır (Özcan 2019). Yanmanın ilk anlarında barut gazları kovan içerisinde sıkışık durumdadır ve basınç artışıyla mermi namlu içerisine itilir barut özelliklerine bağlı olarak yanma devam ederken bir süre daha basınç artmaya devam etmektedir. Hacimin sürekli artmasıyla basınç bir süre sonra azalmaya başlayacaktır. Namlu içerisindeki barut yanmasından istenen önemli bir özellik mermi namluyu terk etmeden önce barutun tamamen yanmış olmasıdır. Aksi takdirde namlu çıkışında büyük bir alev oluşumu meydana gelebilir. (Özcan 2019).

Belirli bir namlu, barut, mermi üçlüsü için iki türlü verim söz konusudur. Birincisi, namlu boyunca basınç değişimi eğrisinin düzgün olması ile ilgili olan “piezometrik verim” dir. Piezometrik verim, ortalama basıncın en yüksek basınca oranıdır.

$$n_p = \frac{P_0}{P_m} \quad (3.1)$$

Piezometrik verim,  $P(x)$  basınç eğrisinin şekli hakkında fikir verir. Dik eğrilerin düşük, yatay eğrilerin ise yüksek piezometrik verime sahiptir. Şekil 3.2’de namlu içerisindeki basınç değişimini gösteren basınç eğrisine göre ortalama basınç değeri gösterilmiştir.  $P(x)$  eğrisi altında kalan alanlar  $S_1$  ve  $S_3$ ’tür. Aynı namlu çıkış hızını sağlayabilecek olan, fakat namlu boyunca değişmeden sabit olarak etkiyen ortalama basınç eğrisi Port altında kalan alanlar ise  $S_2$  ve  $S_3$ ’tür.  $S_1$  ve  $S_3$  ile  $S_2$  ve  $S_3$  alanlarının toplamının eşit olması durumunda aynı namludan aynı namlu çıkış hızı elde edilebilir (Özyılmaz 2010).



**Şekil 3.2: Piezometrik Verimde Kullanılan Ortalama Basınç.**

Öner ÖZYILMAZ, *Hafif Silah Tasarımının Balistik Açından İncelenmesi* (2010), 18.

Ortalama basınç, mermi hareketi boyunca mermi tabanına uygulanan ve merminin namlu önü ilk hızını veren basınçtır. Piezometrik verim namlu tasarımında önemlidir. Yüksek piezometrik verim, daha kısa ve hafif namlu anlamına gelmektedir. Fakat yüksek piezometrik verimin elde edilebilmesi için yanma odası hacminin büyük olması gerekir. Dolayısıyla yanma odasının hacmini artırmak namlunun boyut ve

ağırlığını da artıracığından yüksek piezometrik verim sağlamak her zaman daha hafif namlu anlamına gelmemektedir (Akçay, 2010).

Yüksek piezometrik verim, en yüksek basınca göre yüksek bir namlu önü basıncı, yani genellikle büyük bir namlu ağızı enerji etkisi demektir. Barutun tamamının yanmasının namlu önüne doğru tamamlanması da verimi artırır. Barutun yanmasının tamamlandığı noktada en yüksek basıncın meydana gelmesi, yüksek bir eğri eğimi meydana getirmesi nedeniyle daha düşük piezometrik verim verir. Piezometrik verim silah sistemine ve mühimmat parametrelerine göre değişmekle birlikte %50 civarında olabilir. Obüslerde ve namlu ağızından dolmalı havanlarda bu değer %40, civarındadır. Performansın, düzgün namlu önü hızı elde edilmesinden daha önemli olduğu antitank silahlarında piezometrik verim %60 civarında olabilir. Geri tepmesiz silahlarda ise pizeometrik verim %75 gibi bir değere ulaşabilir (Akçay, 2010).

İkinci tip verim ise, barut enerjiinin kullanılabilir hale getirilmesi ile ilgili olan balistik verimdir. Basit olarak balistik verim, merminin kazandığı kinetik enerjisinin barutun enerjisine oranıdır. Termodinamik verim olarak da isimlendirilir (Özyılmaz 2010). Bazı silah sistemlerine ait balistik verimler Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

$$n_b = \frac{E_p}{E_k} = \frac{\frac{1}{2}mU^2}{m_b Q_b} = \frac{\frac{1}{2}mV_b^2}{\frac{C_0 F}{y-1}} \quad (3.2)$$

**Tablo 3.1: Bazı Silah Sistemlerinin Sevk Barutu ve Mermi Özellikleri ile Balistik Verimleri.**

Silah Sistemi	Sevk Barutu				Mermi			$n_b$
	Tip	$C_0$	$F/(y-1)$	$E_k$	$m$	$V_b$	$E_p$	
7,62 mm Tüfek	WC846	3,2 g	4160 J/g	13312 J	9,7 g	833 m/s	3365 J	25,30%
9 mm Tabanca	BP	0,45 g	4000 J/g	1800 J	8,0 g	320 m/s	410 J	22,80%
20 mm Top	WC870	39,3 g	4073 J/g	160069 J	101,7 g	1005 m/s	51360 J	32,10%
81 mm Havan	M9	0,109 kg	5643 J/g	615,09 kJ	4,08 kg	267 m/s	145,43 kJ	23,60%
120 mm Tank	JA2	8,12 kg	5067 J/g	41,144 MJ	7,12 kg	1650 m/s	9,692 MJ	23,60%
155 mm Ağır Top	M30A2	11,76 kg	4468 J/g	52,544 MJ	43,54 kg	826 m/s	14,853 MJ	28,30%

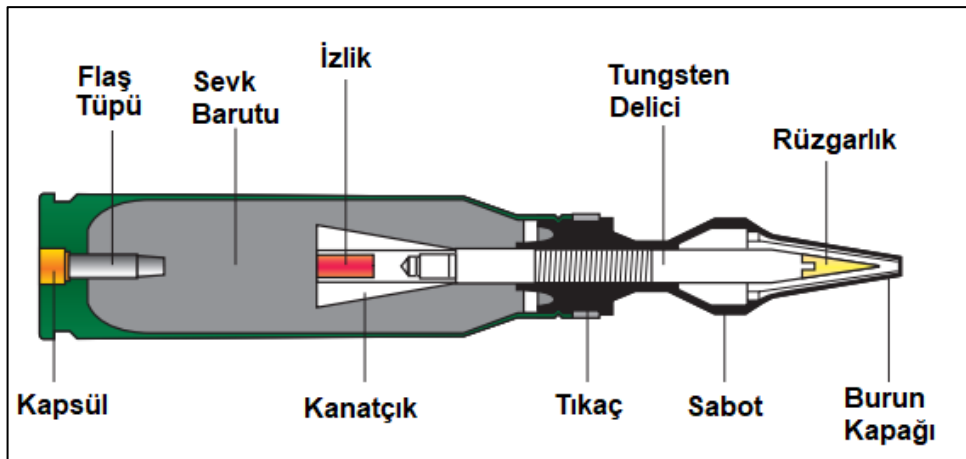
Öner ÖZYILMAZ, *Hafif Silah Tasarımının Balistik Açından İncelenmesi* (2010), 18.



Pratik olarak balistik verim %30 civarındadır. Geriye kalan %70 enerji, merminin namlu içindeki hareketi sırasında kaybolan enerjidir. Bu durumdan dolayı, basınçtan daha fazla yararlanmak için namlunun uzatılması, ısı kaybı gibi enerji kayıplarının azaltılması balistik verimi artırmaz. Yüksek balistik verimin elde edilebilmesi için, barutun çok hızlı bir şekilde yanmasını tamamlaması gerekir. Bu ise daha düşük bir piezometrik verim demektir (Akçay 2010).

### 3.3. Mermilerin Dengelenmesi

Mermi hareket ederken burnunun her zaman öne bakması gereklidir, aksi takdirde aerodinamik şekiller hava direncini azalmak için kullanılamaz. Mermi burnu hareket yönüne bakmaz ise mermi takla atar, menzil kısılır ve öngörülemeyen bir uçuş meydana gelir. Eğer mermi uçuş yönünü işaret ederse, mermi burun geometrisi (tapa uçlar) tasarımı ve işlevsellik sorunları büyük ölçüde kolaylaşır. Mermileri dengelemek ve istenen uçuşun sağlanabilmesi için iki çeşit yöntem mevcuttur; kanatçık ile dengeleme ve dönü ile dengeleme. Kanatçık ile dengeleme, genelde yivsiz namlularda ok şeklindeki tasarlanmış özel mermilerin kullanılmasıyla sağlanır (U.S. Army, 1963). Örneğin 120 mm tank namluları yivsiz namlulardır ve sabotlu mühimmatlar kullanırlar. Sabot olarak isimlendirilen yapı ok şeklindeki merminin namlu içerisine oturmasını ve barut gazlarının enerjisinin ok şeklindeki mermiye aktarılmasını sağlar. Mermi namludan ayrıldıktan sonra aerodinamik etkiler ile bu kısımlar mermi geometrisinden ayrılır. Şekil 3.3’de sabotlu ve kanatçık dengeli bir merminin kısımları gösterilmiştir.



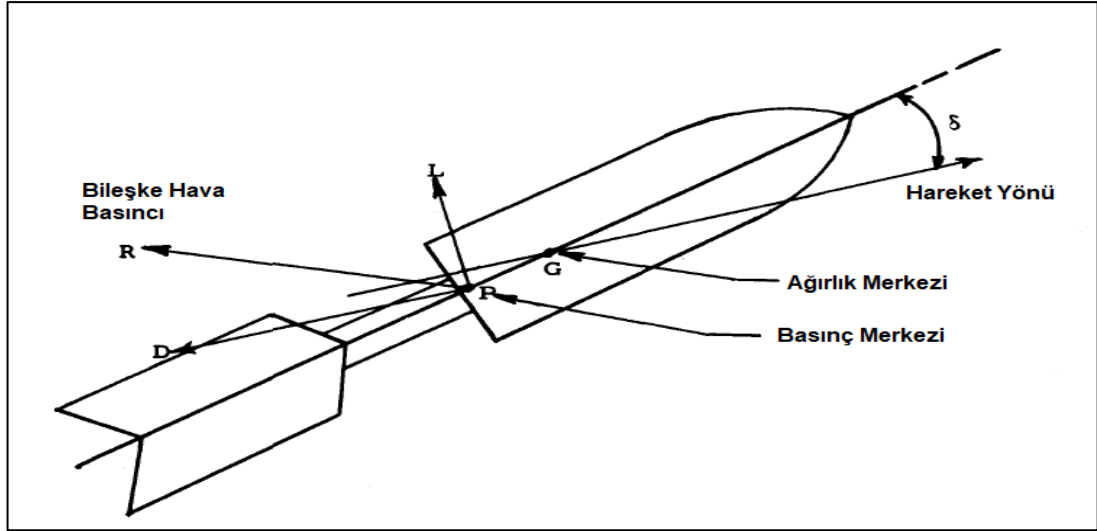
**Şekil 3.3: Sabotlu Kanatçık Dengeli Mermi.**

General Dynamics, 25 mm Tungsten APFSDST Ammo Fact Sheet (2010), 7.

Mermilerde bir diğ er dengeleme y ontemi ise mermiye uzun eksenini etrafında d on ş kazandırmadır.  oğ u mermi, silah sistemi namlularına yiv set açılmasıyla barut gazlarından kazanılan enerjinin bir kısmının mermilere d on ş kazandırılması ile dengelenir. Yiv setin d on s u merminin kendi eksenini etrafındaki d on ş oranını belirler ve bu oldukça önemlidir. Merminin uzun eksenini etrafında d ond r lmesi, mermiye bir açısal momentum kazandırır. Bu açısal momentum vektörü y or nge doğrultusunda oluşarak mermi burnunun y or nge üzerinde kalmasını ve merminin istenilen ya da  n görülebilir şekilde uçmasını sağlar (U.S. Army, 1963).

### **3.3.1. Kanatçık ile Dengeleme.**

Kanatçık ile dengeleme mermi geometrisinin bir ok şeklinde tasarlanmasıyla sağlanır. Ok şeklinde tasarlanmış ve kanatçıklara sahip olan mermi, kanatçıklar sayesinde kendini dengeleyebilir. Kanatçıklar, merminin mermi burnunun işaret ettiği y or ngesini takip etmesini sağlar, kanatçıkların geniş yüzeylerine yan rüzgar kuvveti etki etmesiyle bu etki oluşur. Yan rüzgar kuvveti, hareket yönüne dik bir yönde etki eder. Bu kuvvet, kanatçık yüzeyleri etrafındaki hava basıncı farkından dolayı oluşur ve basıncın yüksek olduğu yüzeye kuvvet uygular. Şekil 3.4’de kanatçık ile dengelenen bir mermi üzerindeki kuvvetler gösterilmiştir. Böyle bir mermide, kanatçıklar basınç merkezinin, merminin ağırlık merkezinin arkasında oluşmasını sağlar, böylece merminin kendini ağırlık merkezi etrafında dengeleyebileceği bir moment oluşur. Kanatçık ile dengelenmiş mermi kullanan namlularda yiv set geometrisi olmaz. Ayrıca barut gazları mermiyi sadece çizgisel yönde ittiği için yiv siz namlularda namlu çıkış hızı daha yüksektir (U.S. Army, 1963).



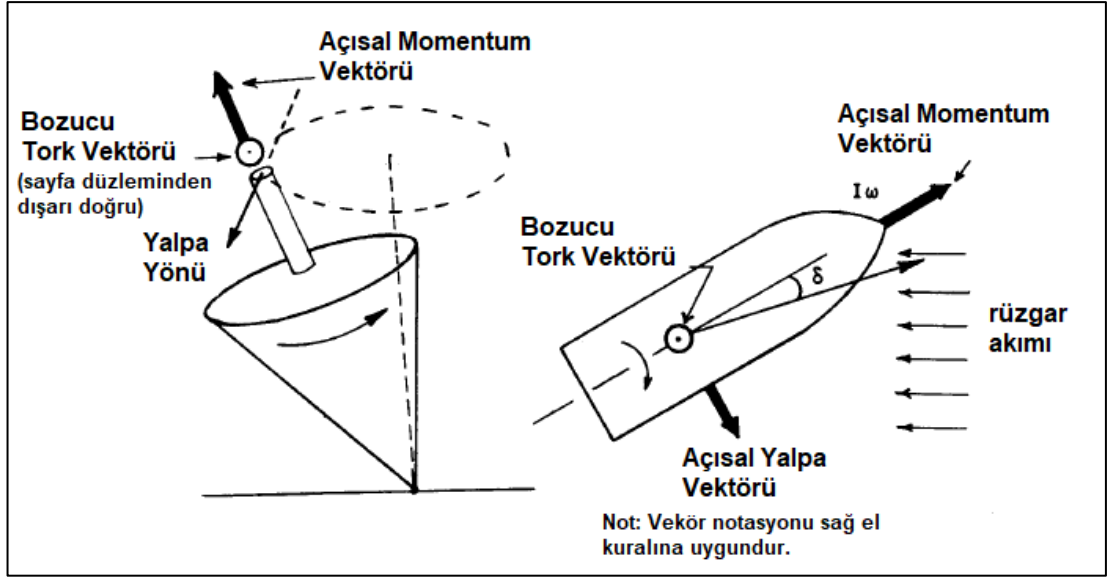
**Şekil 3.4: Kanatçık Dengeli Mermi Üzerindeki Kuvvetler, Basınç ve Ağırlık Merkezleri.**

U.S. Materiel Command, *Research and Development of Materiel Engineering Design Handbook Elements of Armament Engineering Part Two Ballistics* (1963), 25.

### 3.3.2. Dönü ile Dengeleme

Kanatçık ile dengelenmiş mermide, basınç merkezi ağırlık merkezinin arkasındadır. Böyle bir mermide basınç merkezinin ağırlık merkezinin arkasında olduğundan emin olunmaktadır. Dönü ile dengelenmiş mermide ise tam tersidir. Kanatçıkların olmamasından dolayı, basınç merkezi ağırlık merkezinin önündedir. Böyle bir durumda sorun, basınç merkezini ağırlık merkezinin arkasında çok yakın şekilde oluşturmaktır. Dönen herhangi bir cisim, jiroskobik etkiler nedeniyle belirli davranış şekilleri sergiler. Muhtemelen bu etkinin en çok gözlemlendiği durum topaçtır. Topaç döndüğünde, yerçekimi sonucu devrilmek yerine, normal ve dikey eksenlerinde durmaya çalışır. Topaç normal eksen ile dikey eksen arasındaki açı yalpa açısı olarak adlandırılır. Topacın bu şekilde koruyabileceği açı dönme hızına bağlıdır ve yalpa oranı dönüş hızıyla ters orantılıdır (U.S. Army, 1963). Şekil 3.5’de dönen bir topaç ile dönen bir mermi arasındaki benzerlik gösterilmiştir.

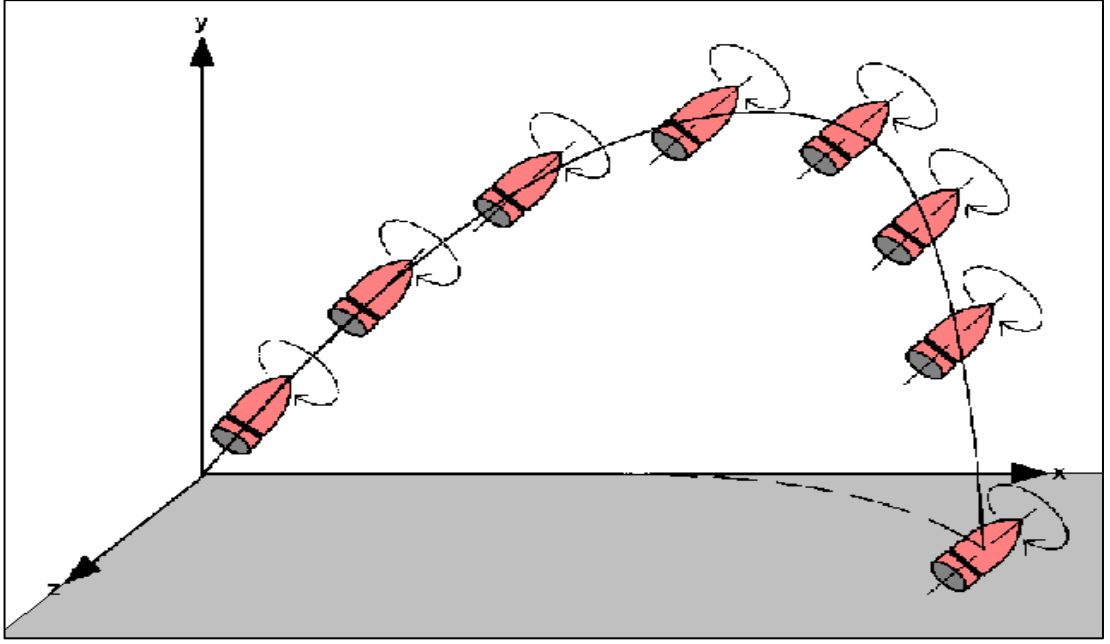
Dönmüş bir mermi dengelidir, fakat sadece döndüğü için değil ayrıca küçük bir sapma açısının korunmasını sağlayacak oranda dönmesiyle dengelidir. Mermi namlu içerisindeyken dönme oranı merminin çizgisel hızıyla ve yiv setin eğimi ya da dönüşü ile belirlenir.



**Şekil 3.5: Dönen Bir Topaç İle Dönen Bir Merminin Kıyaslanması.**

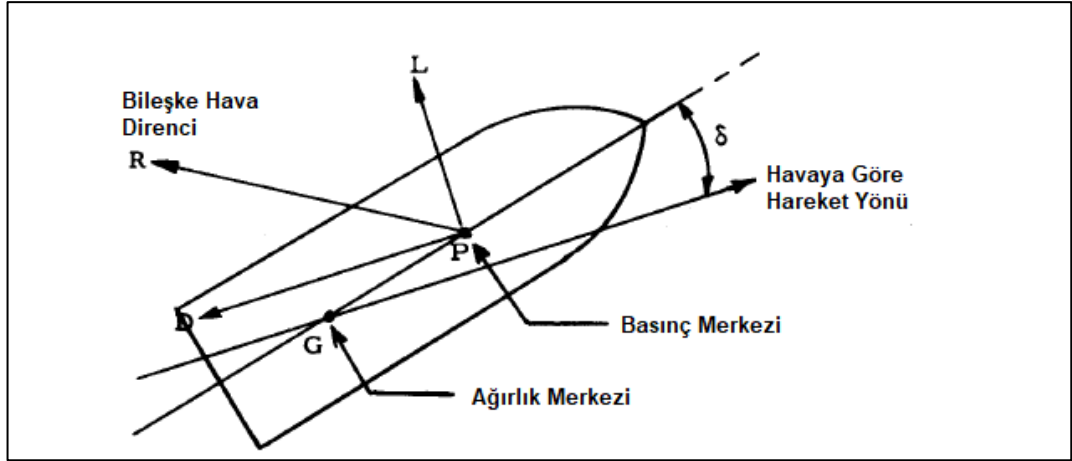
U.S. Materiel Command, *Research and Development of Materiel Engineering Design Handbook Elements of Armament Engineering Part Two Ballistics* (1963), 25.

Aşırı dönülü mermiler. Döndürülmüş bir mermi jiroskobik etkinin bir sonucu olarak daima uçuş yönünü işaret eder; jiroskobik etkinin yoğunluğu dönü oranına bağlıdır, daha hızlı dönüş daha dengeli mermi anlamına gelmektedir. Sonuçta elde edilen bu kararlılık, yalnızca uçuştaki bir mermi için belirli bir en yüksek sınırın altında olduğunda istenir. Eğer mermi çok kararlı ise, mermi Şekil 3.6'da görüldüğü gibi iniş kısmında burnunu yörüngesinin altına getiremez. Bunun nedeni, merminin izin verilen devinim oranından daha hızlı düşmesidir. Sonuç olarak burun iniş kısmında yörüngesinin üzerine bakar. Mermi çok kararlı ve devinim çok yavaş olduğundan, mermi iniş yörüngesindeki menzil hızla düşen mermi için yeteri kadar fazla olamaz. Örnek olarak, küçük bir silah mermisinin kararlılığı, yörüngesi boyunca mermi burnunun yaklaşık olarak aynı yönde kalmasına neden olur. Bunun sonucunda mermi yere, yatay pozisyona daha yakın bir açıyla çarpar. Eğer çarpma tapalı buruna sahip bir mermi hedefe bu şekilde çarparsa mühimmat büyük ihtimalle patlamayacaktır (U.S. Army, 1963).



**Şekil 3.6: Aşırı Dengeli Merminin Yörünge Hareketi.**

Yetersiz dönümlü mermiler. Dönen bir topağa olduğu gibi, mermi hızlı bir şekilde dönerken yavaş şekilde devinir ve dönme hızı düştükçe devinme hızı artar. Sonunda, dönü yeterli olmayacaktır dolayısıyla jirokobik etki de yeterli olmayacaktır ve mermi kararsızlaşacaktır. Yetersiz dönümlü mermi iniş kısmına gelemeden hızlıca ve büyük bir genlikle devinir. Burun yörüngenin üst kısmına doğru hareket ederek, büyük bir sapma açısı oluşturur. Bu aşırı sapma büyük bir hava direnci oluşturur ve menzilin azalmasına neden olur, buna ek olarak hava direnci sapma açısının giderek artmasına ve sonunda merminin takla atmasına sebep olur. Sonuç olarak mermi istenilenden çok daha yakın bir noktaya düşer (U.S. Army, 1963). Şekil 3.7’de dönü kararlı bir mermi üzerine etkiyen kuvvetler gösterilmiştir.



**Şekil 3.7: Mermiye Etkiye Kuvvetler (CP, CG'nin Önündeyken).**

U.S. Materiel Command, *Research and Development of Materiel Engineering Design Handbook Elements of Armament Engineering Part Two Ballistics* (1963), 25.

Kararlılık faktörü. Kararlılık faktörü, bir merminin uçuşta göstereceği kararlılık derecesini tahmin etmek için kullanılabilir. Mermiler 1'den daha düşük bir kararlılık faktörüne sahip ise oldukça dengesizdir, büyük ihtimalle takla atar, menzil kaybeder ve doğrulukta sapmalara neden olur. Mermiler 1'den büyük fakat 2,5'den küçük bir kararlılık faktörüne sahip ise, takla atmaz, burun ağırlık merkezini yörüngeye doğru yönlendirir ve çarpma tapalı bir mühimmat için uygun bir çarpma pozisyonu oluşturur. Merminin kararlılık faktörü 2,5'dan büyük olursa mermi aşırı kararlı olur, merminin doğrultusu uçuş boyunca sapmadığından yörüngesini düzgün takip edemeyecektir. Bu durum küçük silahlarda ve yüksek hızlı anti tank mühimmatlarında görülür. Böyle bir durumda, yüksek dönü oranı yavaş bir yalpa oluşturur ve mermi burnunu etkili bir şekilde alçalış yörüngesine getiremez (U.S. Army, 1963).

### 3.3.3. Yiv Set Profili

Yiv set mermiye 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 (Özyılmaz 2010). Yiv set ve sevk çemberi, mermiye tork verme ve bu torku mermiye iletme işlevlerinden dolayı yakından ilişkilidir. Birleşme setleri yük ileten elemanlardır bu nedenle hem yiv set hem de sevk çemberi, işlendikten sonra etkiyen teğetsel yükü destekleyebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Sevk çemberi, yiv set malzemesinden daha yumuşak bir malzemenin

üretir, bu durum set genişliğinin artmasını gerektirir. Sonuç olarak set genişlikleri, yiv genişliklerinden daha büyük olacaktır. Buna rağmen yiv'in set genişliğine oranını belirten deneysel ya da teorik bir yöntem oluşturulmamış olsa da 2 ila 3 oranı makul ve genelde uygulamada tatmin edicidir (U.S. Army, 1963).

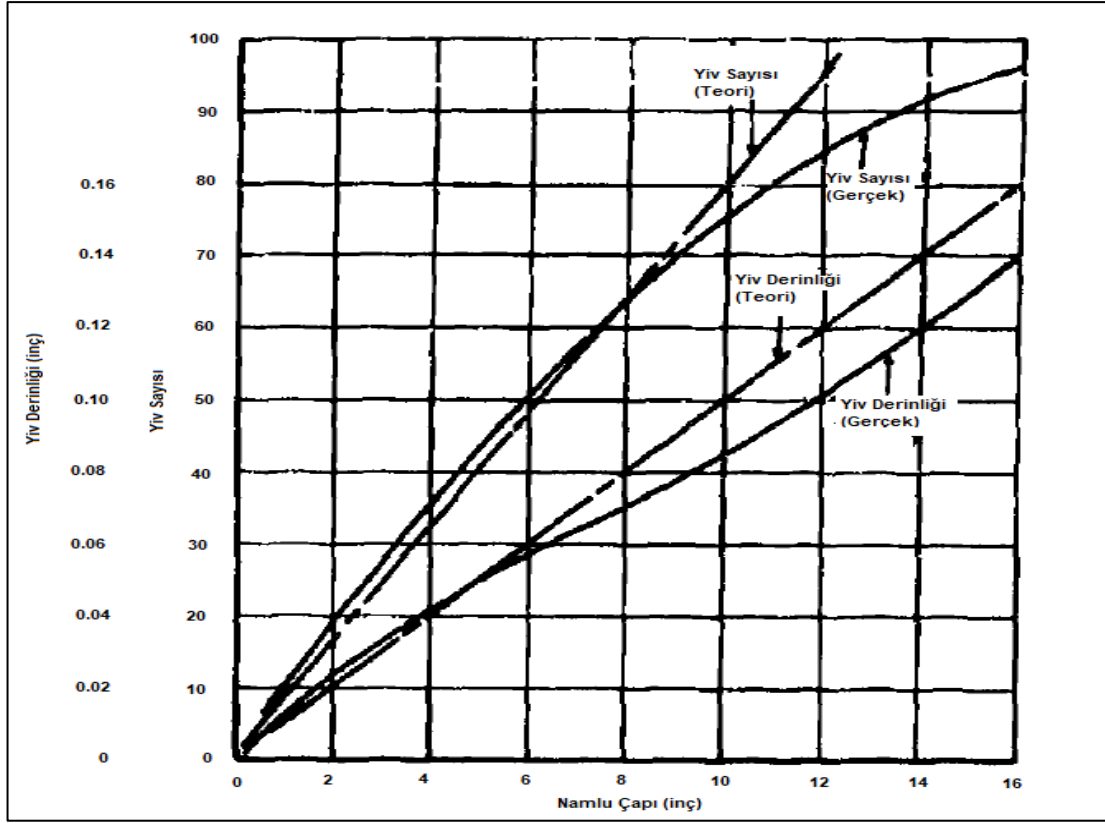
Mevcut silahlardaki yivlerin sayısı yaklaşık olarak delik çapına göre değişmekle birlikte, sayının belirlenmesine yönelik kesin bir yöntem şu şekilde tanımlanmaktadır; namlu çapında inç başına sekiz yiv (U.S. Army, 1963).

$$G \approx 8 \times D_b \quad (3.3)$$

Setlerin derinliği, yiv set fiziksel görünüşünü ilgilendiren üçüncü parametredir. Bu değer için yine tam bir teori değil, sadece bir yaklaşım bulunmaktadır.

$$h = 0.01[\text{inç}] \times D_b \quad (3.4)$$

Bu yaklaşıma göre sonuç en yakın tam sayıya yuvarlanır. Genelde küçük namlular için bu Eşitlik kullanılırken, büyük namlular için gerçek yiv derinliği bu yaklaşım sonucuna göre biraz daha küçüktür. Obüs ve geri tepmesiz silahlar gibi düşük itici gaz basıncına ve düşük namlu çıkış hızlarına sahip sistemler bu yaklaşımın yarısı kadar yiv derinliğine ihtiyacı olabilirken, yüksek namlu çıkış hızına sahip sistemlerde yiv derinliği daha büyük olabilir. Namlunun tipine göre yiv derinliğini artırmak yerine sevk çemberi genişliğini artırmak daha faydalı olabilir (U.S. Army, 1963). Şekil 3.9'da namlu çapına göre gerçek ve teorik yiv set sayıları ile yiv derinlikleri gösterilmiştir.



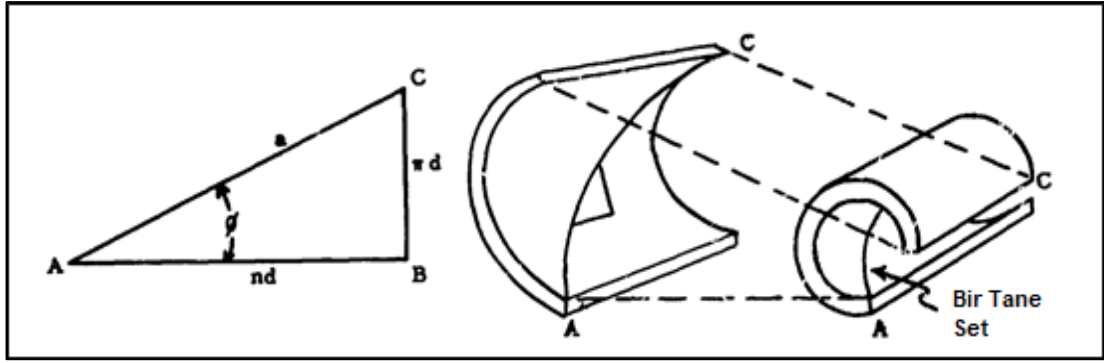
**Şekil 3.8: Namlu Çapına Göre Gerçek ve Teorik Yiv Set Sayıları ve Set Derinlikleri.**

U.S. Materiel Command, *Research and Development of Materiel Engineering Design Handbook Gun Series Gun Tubes* (1964), 24.

### 3.3.4. Yiv Set Eğrisi

Mermiler uçarken çok kararlı değildirler. Aerodinamik olarak iyi durumdayken, ufak miktardaki bir kuvvet mermiye havada takla attırabilir, bu durum menzil ve isabet açısından çok kötü sonuçlara neden olur. Merminin uçarken daha kararlı olması için, mermi uzun eksenini etrafından döndürülmelidir. Yiv ve setler burada devreye girmektedir. Namlu içerisinde setler mermiyi ezer ve barut gazlarının da itme etkisiyle mermi yiv-set yönünde dönmeye başlar. Merminin dönmesiyle ortaya çıkan jiroskobik etki, merminin yörüngesini takip etmesini sağlar.





**Şekil 3.9: Sabit Hatveli (Dönülü) Yiv Set.**

U. S. Army Materiel Command, *Research And Development Of Materiel Engineering Design Handbook, Elements Of Armament Engineering Part Three Weapon Systems And Components* (1963), 22.

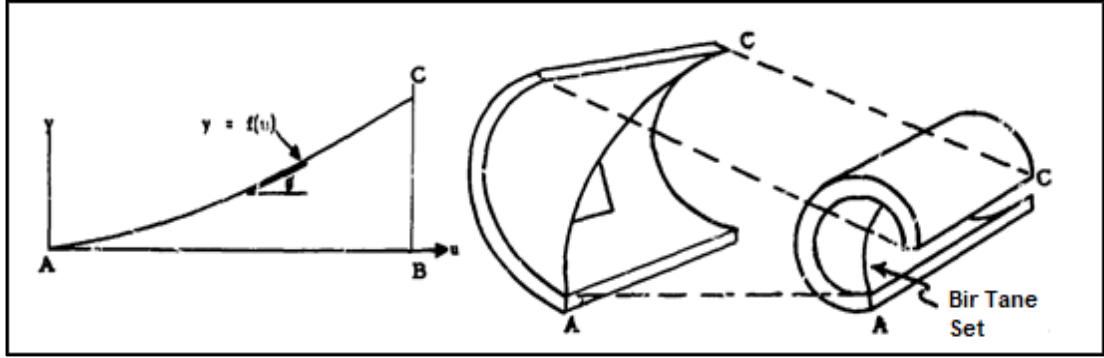
Mermi namlu çıkış hızı ve dönüşü dış balistik hesaplamalarının öncelikli iki parametresidir. Namlu tasarımında; namlu boyu ve yiv set eğrisi parametreleri kontrol edilerek, mermilerin dengeli olarak hedefe ulaşması sağlanabilmektedir. Merminin dengeli olarak uçabilmesi için sahip olması gereken açısal hız, namlu yiv set eğrisi ile doğrudan ilişkilidir ve namlu içerisindeki merminin dönüş hızının değişimi yiv set eğrisinin tanjantıyla doğrudan değişir (Akçay 2010, U.S. Army 1963, U.S. Army 1964). Ayrıca namlu tasarımında yiv-set karakteristiğinin kontrol edilmesi namlu tasarımı ve iç balistik için önemlidir. Setlere etki eden tork yiv set eğrisine göre değişim göstermektedir.

Merminin dönme hızı, doğrudan doğruya yiv-set eğrisinin tanjantı (eğimi) ile değişir. Dış balistikte mermi için iki önemli parametre vardır. Bunlar; merminin namlu önü hızı ve dönme hızıdır. Namlu tasarımı yapılırken, namlunun çıkış kısmında yiv set eğrisinin açısı ve mermi dönme hızı verilir. Namlu boyunca yiv set tasarımı, iç balistik eğriler göz önüne alınarak yapılır. Bir namlunun yiv seti, bir dönüşü karşılık gelen namlu boyunun kalibre cinsinden ifadesi şeklinde ifade edilir. Yiv set eğrisinin eğimine göre iki tip yiv set eğrisi vardır (Akçay 2010, U.S. Army 1963, U.S. Army 1964);

- Sabit hatveli yiv set eğrisi (bkz. Şekil 3.10) atıf yapılan sayfayla aynı yerde olacak
- Artan hatveli yiv set eğrisi (bkz. Şekil 3.11)

Yiv-set dönüşü genellikle tur başına kalibre ile ifade edilir. Tur başına kalibre merminin namlu içerisinde kendi eksenini etrafında bir tur atması için namlu içerisinde ilerlediği çizgisel mesafedir. Sabit dönülü yiv-set yiv-set açısı başlangıçtan namlu

ucuna kadar sabittir, artan dönülü yiv-sette ise yiv-set açısı başlangıçta namlu ucuna kadar üssel olarak değişir (Akçay 2010, U.S. Army 1964).



**Şekil 3.10: Artan (Değişen) Hatveli Yiv Set.**

U. S. Army Materiel Command, *Research and Development of Materiel Engineering Design Handbook Guns Series Gun Tubes* (1964), 24

Şekil 2.5'den görüleceği üzere sabit hatveli yiv set eğrisi silindir etrafına sarılmış bir doğrudan ibarettir. Bu doğruyu tanımlamak için, doğrunun eğimi kullanılır (U.S. Army, 1963).

$$\tan \phi = \frac{\pi d}{n d} = \frac{\pi}{n} \quad (3.5)$$

Merminin yiv set eğimine bağlı olarak açısal hızındaki değişim ise (U.S. Army, 1963);

$$\omega = \frac{2V \tan \phi}{d} \quad (3.6)$$

$$N = \frac{60V}{\pi D} \tan \phi \quad (3.7)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Artan hatveli namlularda ise yiv set eğrisi Şekil 2.9 'da görüldüğü gibi doğrusal olmayan bir şekilde değişmektedir. Yiv set açısının değişimi yani  $\tan \phi$  'nin değişimi, parabolün eğiminin hesaplanmasıyla çıkarılabilir.

Artan hatveli yiv set için yiv set eğrisinin genel eşitliği (U.S. Army, 1963);

$$y = px^n \quad (3.8)$$

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

### 3.4. Setlere Etkiyen Tork

Namlular en çok yiv set başlangıcında ve yiv diplerinde aşınır. Aşınmayı, azaltmak sevk çemberi basıncını düşürmek, yiv açma işlemini kolaylaştırmak ve yiv set torkunu düşürmek için farklı yöntemler çalışılmıştır. Problemin çözümü için öncelikle farklı yiv set kesit geometrileri kullanılmıştır. Yiv setlerin köşeli, daire ya da eliptik şekilde tasarlanması istenilen çözümü sunmamıştır.

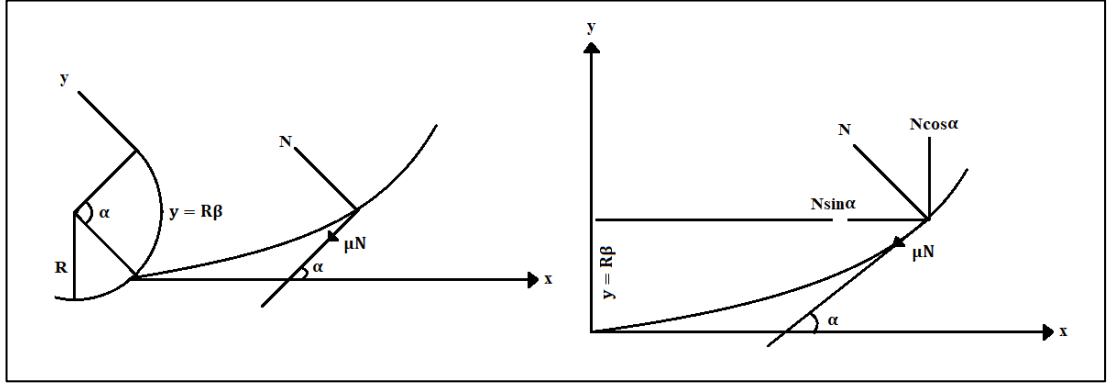
Namlulardaki yiv set eğrilerinin değiştirilmesi bazı durumlarda aşınma oranını azaltmak için kullanılmıştır. Bu durumların birçoğu yiv set başlangıcındaki aşınmayla alakalıdır. Sabit hatveli yiv sete sahip yeni namlu sorun çıkarmaz. Yivler sürekli ve mermiye tork aktarmak için sevk çemberi ve yiv eğrisi mükemmel olarak temas halindedir. Fakat zamanla sabit hatveli yiv set sorun oluşturmaya başlar. Namlularda yiv set başlamadan önce serbest koşu bölgesi olarak adlandırılan yiv set açılmamış uzunluğu yaklaşık mermi çapı kadar bir bölge vardır. Mermi harekete geçip yiv set başlangıcına geldiğinde, sevk çemberi ve setlerin temasıyla setlere yüksek miktarda tork etki eder ve bakır sevk çemberi setlere karşılık gelen bölgelerden kesilir, setler ise set başlangıcından itibaren her bir atışla aşınmaya uğrar. Bu etkiyi azaltmak için yiv set eğrisi artan hatveli yapılar yiv set başlangıcında eğim açısı azaltılarak ya da sıfır yapılar sevk çemberinin kesilmesi kolaylaştırılabilir ve setlere etkiyen tork yüksek miktarda azaltılabilir. (U.S. Army, 1963). Setlere etkiyen tork, mermi tabanına barut gazlarının uygulandığı basınç, yiv set eğrisi eğimi ve yiv set eğrisinin namlu boyunca değişimi kullanılarak hesaplanır. Burada,  $N$ ; yiv set eğrisine normal olarak meydana gelen kuvvet,  $\mu N$ ; yiv – set eğrisine paralel olarak meydana gelen sürtünme kuvveti,  $R$ ; mermi veya namlu çapı,  $\theta$ ; merminin açısal yer değiştirmesi,  $\alpha$ ; yiv set açısı (eğimi) ve  $\mu$ ; ise sürtünme katsayısıdır.

Setlere etkiyen tork genel olarak şu şekilde ifade edilebilir (U.S. Army, 1963);

$$T = I_x \ddot{\theta} \quad (3.9)$$

Merminin açısal ivmesi ise (U.S. Army, 1963) ;

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{R} \left( a_1 \tan \alpha + V^2 \frac{d \tan \alpha}{dx} \right) \quad (3.10)$$



**Şekil 3.11: Yiv Set Kuvvet Diyagramı.**

U.S. Materiel Command, *Research and Development of Materiel Engineering Design Handbook Elements of Armament Engineering Part Two Ballistics* (1963), 25.

### 3.5. Boyutları Bilinen Bir Mermi İçin Namlu İçinde Basınç, Mermi Hızı ve Zaman Hesabı (Vallier – Heydenreich Metodu)

İç balistik analiz için ana araç, basınç hareket hızı eğrisidir. Heydenreich, bir silahta; mermi kütlesi, namlu çapı, namlu boyu, ilk hız, barut kütlesi, piezometrik verimi bilinmesi durumunda, gaz basıncının en yüksek olduğu andaki mermi hızını, zamanı ve basıncı hesaplamak üzere, piezometrik verime ( $n_p$ ) bağlı olarak bazı deneysel esaslı formüller geliştirmiştir (Akçay 2010, Gündüzer 2011, Şentürk 2015, Şeker ve Arkadaşları 2018, Susantez 2020).

Bilinen bir namlu, mermi, barut sisteminde en yüksek basınç ve merminin namlu önü hızı ölçülebilir. Buna göre;

Basınç;

$$P_0 = \left[ \frac{m_m + 0,5m_B}{2X_e A} \right] V_0^2 \quad (3.11)$$

ve piezometrik verim;

$$n_p = \frac{P_0}{P_m} \quad (3.12)$$

olarak hesaplanır. Gaz basıncının en yüksek olduğu anda, merminin namlu içinde almış olduğu yol;

$$X_1 = X_e \Sigma(\eta_p) \quad (3.13)$$

geçen zaman;

$$t_1 = \frac{2X_e}{V_0} \theta(\eta_p) \quad (3.14)$$

mermi hızı;

$$V_1 = V_0 \phi(\eta_p) \quad (3.15)$$

namlu ağzı basıncı;

$$P_e = P_m \pi(\eta_p) \quad (3.16)$$

merminin namlu içinde geçirdiği toplam süre;

$$t_e = \frac{2X_e}{V_2} T(\eta_p) \quad (3.17)$$

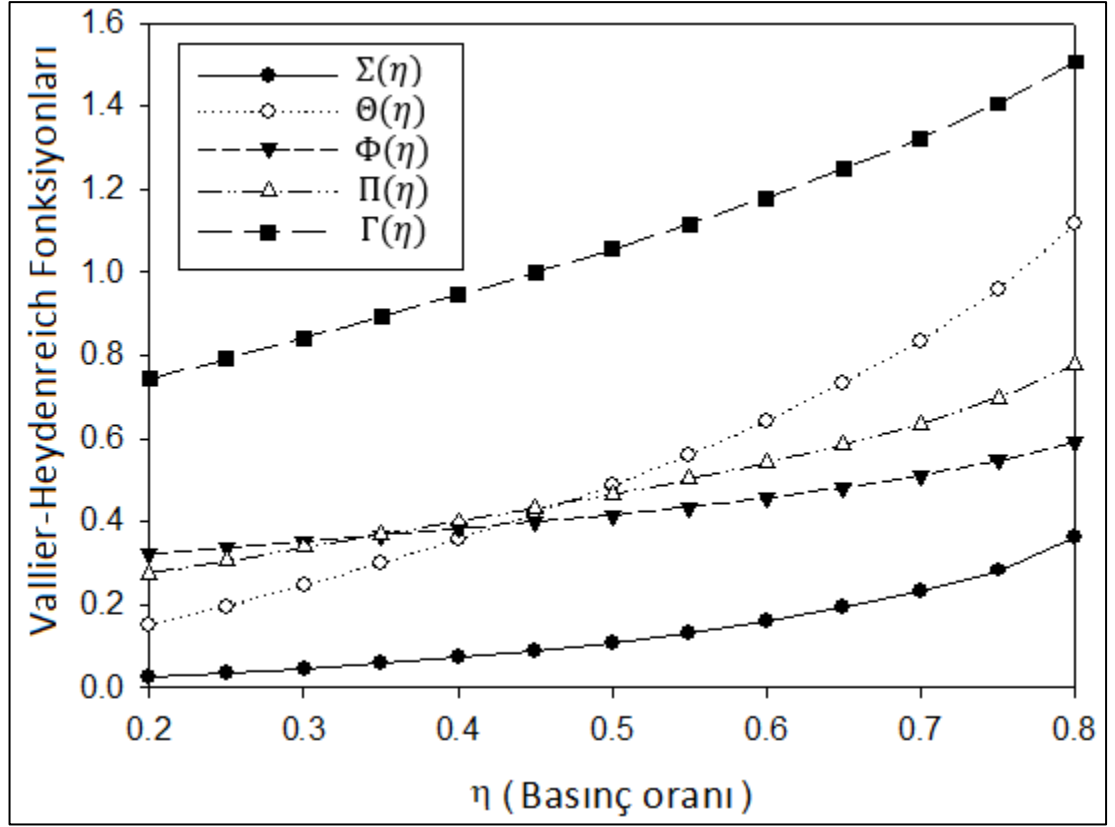
Eşitlikleriyle hesaplanır. Bu Eşitliklerde;

$\Sigma(n)$ ,  $\theta(n)$ ,  $\phi(n)$ ,  $\pi(n)$ ,  $T(n)$  gibi faktörler Tablo 3.3.2’de  $(n)$  piezometrik verim değerine bağlı olarak gösterilmektedir ayrıca Şekil 3.13’de Heydenreich balistik faktörü eğrileri gösterilmiştir.

**Tablo 3.3.2: Heydenreich Balistik Faktörleri. (tablo ve şekiller iki rakam gidecek)**

n	$\Sigma(n)$	$\theta(n)$	$\phi(n)$	$\pi(n)$	$T(n)$	n	$\Sigma(n)$	$\theta(n)$	$\phi(n)$	$\pi(n)$	$T(n)$
0,200	0,026	0,150	0,322	0,274	0,744	0,550	0,132	0,560	0,435	0,501	1,116
0,250	0,036	0,196	0,337	0,306	0,792	0,600	0,160	0,642	0,457	0,541	1,180
0,300	0,047	0,246	0,352	0,338	0,842	0,650	0,192	0,734	0,482	0,585	1,249
0,350	0,060	0,300	0,367	0,368	0,893	0,700	0,231	0,835	0,511	0,635	1,322
0,400	0,074	0,358	0,383	0,400	0,946	0,750	0,283	0,958	0,546	0,697	1,406
0,450	0,090	0,420	0,399	0,432	1,000	0,800	0,360	1,115	0,592	0,779	1,507
0,500	0,109	0,487	0,416	0,465	1,056	-	-	-	-	-	-

(E) Tuğ. G. Doç. Dr. Mehmet AKÇAY, *Balistik* (2010), 1.



**Şekil 3.12:  $\Sigma(\eta)$ ,  $\Theta(\eta)$ ,  $\Phi(\eta)$ ,  $\Pi(\eta)$  ve  $\Gamma(\eta)$ 'nin  $\eta$  ile Değişimi**

Çiğdem SUSANTEZ, *Vallier-Heydenreich Metodu ile Silahların Namlu İç Balistiğinin İncelenmesi* (2020), 20.

Hesaplanan  $X_1$ ,  $V_1$ ,  $t_1$  ve  $P_m$  değerlerinden yararlanılarak, verilen bir  $X$  namlu içi mermi yolu değeri için;

$$\lambda = \frac{X_e}{X_1} \quad (3.18)$$

$\lambda$  değeri merminin namluyu terk ettiği andaki durumu ifade etmektedir. Namlu içerisindeki basınç, hız ve zaman dağılımının bu değere kadar hesaplanması gereklidir.

$\lambda$  bulunduktan sonra gaz basıncı, mermi hızı ve süre;

$$P = P_m \psi(\lambda) \quad (3.19)$$

$$V = V_1 \varphi(\lambda) \quad (3.20)$$

$$t = t_1 \delta(\lambda) \quad (3.21)$$

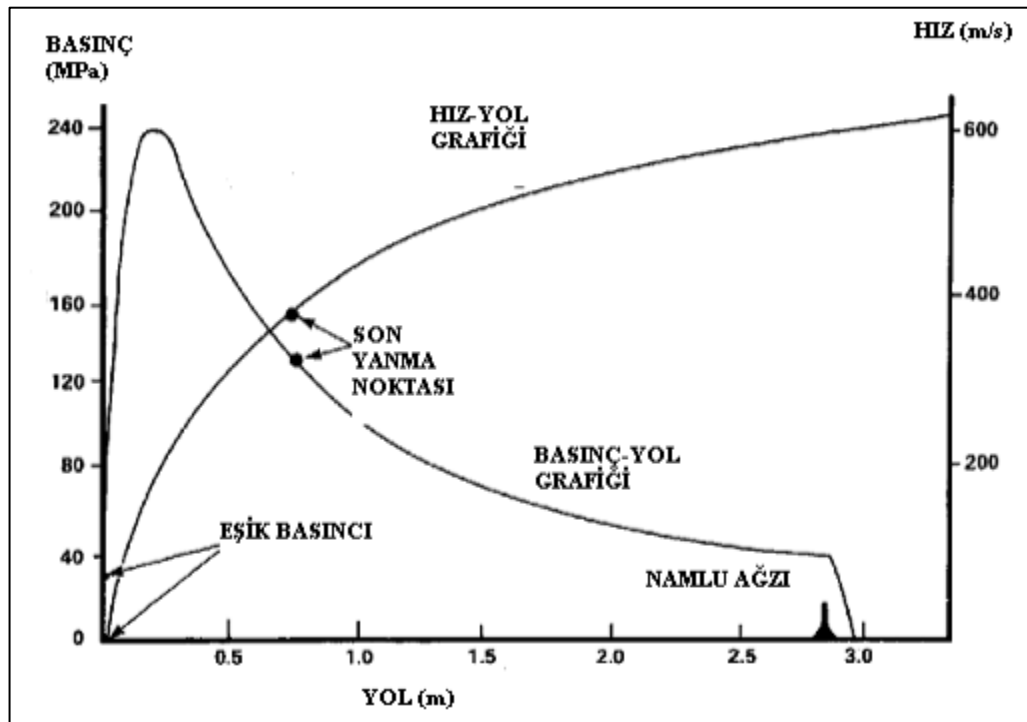
Eşitlikleri ile hesaplanabilir.  $\psi(\lambda)$ ,  $\varphi(\lambda)$  ve  $\delta(\lambda)$  değerleri Tablo 3.3.3'de  $\lambda$  değerine göre verilmiştir.

**Tablo 3.3.3:  $\psi(\lambda)$ ,  $\phi(\lambda)$  ve  $\delta(\lambda)$  Balistik Katsayıları.**

$\lambda$	$\psi(\lambda)$	$\phi(\lambda)$	$\delta(\lambda)$	$\lambda$	$\psi(\lambda)$	$\phi(\lambda)$	$\delta(\lambda)$	$\lambda$	$\psi(\lambda)$	$\phi(\lambda)$	$\delta(\lambda)$
0	0	0	0	6,500	0,319	2,204	1,862	15,000	0,144	2,665	2,794
0,250	0,690	0,375	0,689	7,000	0,297	2,250	1,923	15,500	0,140	2,682	2,845
0,500	0,890	0,624	0,830	7,500	0,280	2,289	1,983	16,000	0,135	2,698	2,895
0,750	0,970	0,828	0,924	8,000	0,263	2,328	2,042	16,500	0,131	2,714	2,945
1,000	1,000	1,000	1,000	8,500	0,250	2,362	2,099	17,000	0,127	2,730	2,994
1,250	0,966	1,145	1,063	9,000	0,236	2,395	2,156	18,000	0,120	2,760	3,092
1,500	0,893	1,260	1,119	9,500	0,225	2,424	2,212	19,000	0,114	2,787	3,189
1,750	0,828	1,372	1,170	10,000	0,214	2,453	2,267	20,000	0,108	2,812	3,286
2,000	0,769	1,460	1,218	10,500	0,205	2,479	2,322	25,000	0,860	2,921	3,758
2,500	0,668	1,609	1,306	11,000	0,195	2,505	2,376	30,000	0,710	3,004	4,214
3,000	0,590	1,726	1,387	11,500	0,187	2,528	2,430	35,000	0,600	3,070	4,659
3,500	0,527	1,824	1,463	12,000	0,179	2,551	2,483	40,000	0,520	3,132	5,095
4,000	0,472	1,909	1,536	12,500	0,173	2,572	2,521	45,000	0,460	3,182	5,523
4,500	0,433	1,981	1,606	13,000	0,166	2,592	2,558	50,000	0,041	3,220	5,946
5,000	0,397	2,046	1,672	13,500	0,160	2,611	2,625	75,000	0,027	3,373	7,995
5,500	0,369	2,102	1,737	14,000	0,154	2,630	2,692	100,000	0,020	3,480	9,996
6,000	0,340	2,158	1,801	14,500	0,149	2,648	2,743	-	-	-	-

(E) Tuğ. G. Doç. Dr. Mehmet AKÇAY, *Balistik* (2010), 1.

Namlu içindeki gaz basıncı ve mermi hızının değişimini Şekil 3.14’de temsili olarak gösterilmiştir (İlgin 2019).

**Şekil 3.13: Namlu İçindeki Gaz Basıncı ve Mermi Hızının Değişimi.**

Fatih İLGİN, 7,62 NATO Mermisinin İç Dinamiğinin Hedef Doğruluğu Üzerine Etkisinin İncelenmesi (2019), 11.

### 3.6. Yiv Set Eğrisinin Oluşturulması

Artan hatveli yiv set için yiv set eğrisinin genel eşitliğinin (U.S. Army, 1963);

$$y = px^n \quad (3.22)$$

formatında olacağından bahsedilmişti. “p” sabitini bulmak için Eşitlik 3.12’nin türevi alınır.

$$\frac{dy}{dx} = pnx^{n-1} = \tan \alpha \quad (3.23)$$

“tan  $\alpha$ ” yiv set eğrisinin eğimidir. Sabit hatveli yiv set için n üssü “1” ve p sabiti ise “tan  $\alpha$ ” ifadesine eşittir. Artan hatveli yiv set’in sonunda “ $\alpha$ ” çıkış açısının eğimi olur (U.S. Army 1964). Namlu çıkışında;

$$pnx_E^{n-1} = \tan \alpha_E \quad (3.24)$$

$$p = \frac{\tan \alpha_E}{nx_E^{n-1}} \quad (3.25)$$

$$pnx_E^{n-1} = \tan \alpha_E \quad (3.26)$$

Sonuç olarak Eşitlik;

$$y = \frac{\tan \alpha_E}{nx_E^{n-1}} x^n \quad (3.27)$$

olarak yazılabilir.

$$\frac{dy}{dx} = \tan \alpha = \frac{\tan \alpha_E}{x_E^{n-1}} x^{n-1} \quad (3.28)$$

eğimin değişimi ise;

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d \tan \alpha}{dx} = \frac{(n-1) \tan \alpha_E}{x_E^{n-1}} x^{n-2} \quad (3.29)$$

olur. Namlu ucunda istenen yiv-set eğimi tur başına dönü türünden ifade edilebilir (U.S. Army, 1964).



$$\tan \alpha_E = \frac{\pi}{n_c} \quad (3.30)$$

$$\tan \alpha = \frac{\pi}{n_c x_E^{n-1}} x^{n-1} \quad (3.31)$$

$$\frac{d}{dx} \tan \alpha = \frac{\pi(n-1)}{n_c x_E^{n-1}} x^{n-2} \quad (3.32)$$

### 3.7. Mermi Çekirdeğinin Namlu İçerisinde Açısal Hızındaki Değişim

Namlu içerisindeki basınç, hız değişimi ve yiv set eğrisi belirlenmesinden bahsedilmişti, bu bilgiler sayesinde mermi çekirdeğinin namlu içerisindeki açısal hızındaki değişim hesaplanabilir. Merminin namlu içerisindeki açısal hızı yiv set eğrisine bağlı olarak (U.S. Army 1964);

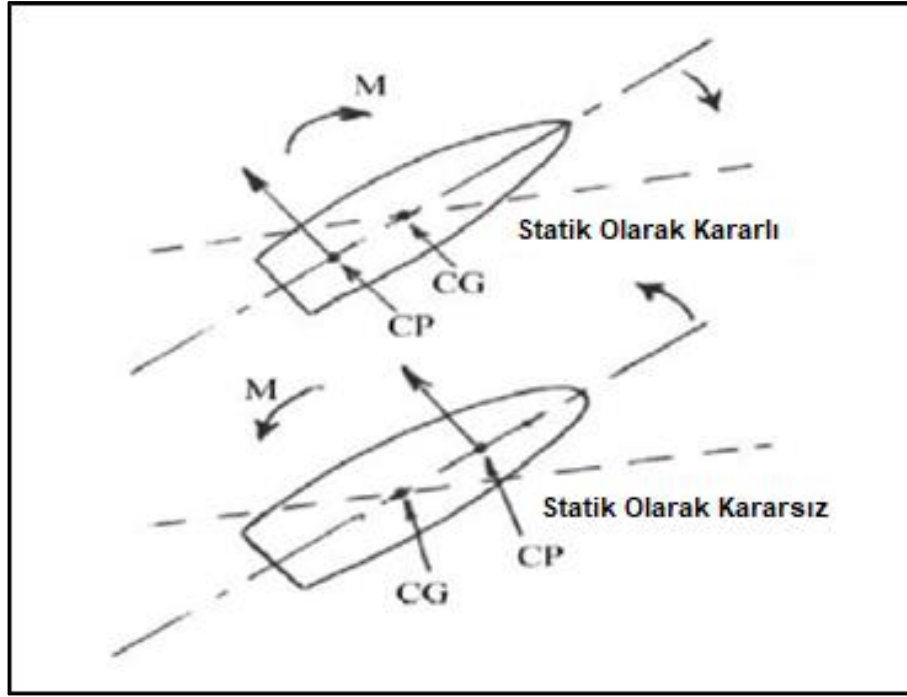
$$\omega = \frac{V \tan \alpha}{r} \quad (3.33)$$

Merminin namlu içerisindeki dakikadaki devir sayısı ise yiv set eğrisine bağlı olarak (Akçay, 2010);

$$N = \frac{60V}{\pi D} \tan \alpha \quad (3.34)$$

### 3.8. Statik (Jiroskobik) Kararlılık Faktörü

Dönmekte olan her nesnenin jiroskobik 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. Şekil 3.15’de statik olarak kararlı ve statik olarak kararsız olan mermilerin burunlarının hareket ettiği yön gösterilmiştir.



**Şekil 3.14: Mermi Üzerindeki Basınç ve Ağırlık Merkezleri.**

D.N. Gkritzapis, E.E. Panagiotopoulos, D.P. Margaritis and D.G. Papanikas, *Computational Atmospheric Trajectory Simulation Analysis of Spin-Stabilised Projectiles and Small Bullets*, (2012), 8.

Klasik dış balistiğe göre jirokobik kararlılık faktörü (Gkritzapis ve diğ.,2012);

$$S_g = \frac{I_x^2 \omega^2}{2\rho I_y S d V^2 C_{MA}} \quad (3.35)$$

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 jirokobik kararlılık faktörü Eşitlik 3.26'daki gibi tekrar yazılabilir (Gkritzapis ve diğ.,2012).

$$S_g = \left( \frac{2I_{xx}^2}{I_{yy} \pi d^3} \right) \left( \frac{\omega^2}{V^2} \right) \left( \frac{1}{C_{MA}} \right) \left( \frac{1}{\rho} \right) \quad (3.36)$$

### 3.9. Setlere Etkiyen Tork

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

Setlere gelen tork (U.S. Army, 1964);

$$T = I_x \ddot{\theta} \quad (3.37)$$

$$I_x = M_m i^2 \quad (3.38)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{r} \left( a_l \tan \alpha + V^2 \frac{d}{dx} \tan \alpha \right) \quad (3.39)$$

$$T = M_m \frac{i^2}{r} \left( \frac{A_n P}{M_m} \tan \alpha + V^2 \frac{d}{dx} \tan \alpha \right) \quad (3.40)$$

olarak ifade edilebilir. Sabit hatveli yiv-set için,  $d \tan \alpha / dx$  ifadesi sıfırdır ve setlere etki eden tork;

$$T = \frac{i^2 A_n P}{M_m} \tan \alpha \quad (3.41)$$

şeklını alır.

#### 4. TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

##### 4.1. Vallier – Heydenreich Metoduyla Basınç, Hız ve Zaman Eğrilerinin Oluşturulması

Hesaplamalarda, 20x102 mm, yiv set açılmış mermi yolu uzunluğu 1415 mm olan bir namluda, mermi ağırlığı 100 gr, barut ağırlığı 39 gr, barut gazlarının verdiği en yüksek basınç değerinin 417 MPa ve mermi namlu çıkış hızının 1049 m/s olan (NATO 1999) 20 mm M56 HEI mühimmat tipi dikkate alınmıştır. Bu mühimmat için bu namlu içerisindeki basınç, hız ve zaman dağılımı Vallier - Heydenreich metodu kullanılarak hesaplanması yapılmıştır. Hesaplamalarda kovandaki barutun mükemmel bir şekilde eksiksiz yandığı kabul edilmiş ve namlu atım yatağı hacmi ihmal edilmiştir.

$$A_{\text{namlu}} = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1'den namlu alanı bulunur,

d (namlu) : 19,91 [mm]

$$A_{\text{namlu}} = \frac{\pi(19,91 \times 10^{-3})^2}{4} = 3,1138 \times 10^{-4} [\text{m}^2] \quad (4.2)$$

Namlu İç basıncı, Eşitlik 3.1'de değerler yerlerine konularak bulunur;

$$P_0 = \left[ \frac{(100 \times 10^{-3}) + (0,5 \times 39 \times 10^{-3})}{2 \times 1,415 \times 3,1138 \times 10^{-4}} \right] \times 1030^2 \left[ \frac{\text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{\text{m}^2 \text{m}} \right] \quad (4.3)$$

$$P_0 = 149245087,4 \text{ Pa} \quad (4.4)$$

$$P_0 \cong 149,2450874 \text{ MPa} \quad (4.5)$$

Piezometrik verim, Eşitlik 3.2'de değerler yerlerine konularak bulunur;

$$n_p = \frac{149,245}{417} \quad (4.6)$$

$$n_p \cong 0,3579 \quad (4.7)$$

$n_p \cong 0,3579$  için  $\Sigma(n_p)$ ,  $\theta(n_p)$ ,  $\phi(n_p)$ ,  $\pi(n_p)$ ,  $T(n_p)$  balistik faktör değerleri entalpolasyon ile Tablo 3.1 Heydenreich balistik faktörleri tablosundan çekilerek;

$$\Sigma(n_p) = 0,06196 \quad \theta(n_p) = 0,30916 \quad \phi(n_p) = 0,36952$$

$$\pi(n_p) = 0,37305 \quad T(n_p) = 0,90137$$

değerleri bulunur.

Namlu içinde basıncın maksimum olduğu andaki mermi hızı Eşitlik 3.5'den bulunur;

$$V_1 = 1049 \text{ [m/s]} \times 0,36952 \cong 387,63 \text{ [m/s]} \quad (4.8)$$

En yüksek gaz basıncında mermi çekirdeğinin namlu içinde aldığı yol Eşitlik 3.3'den ( $X_e$ , L mermi yolu) bulunur;

$$X_1 = 1,415 \text{ [m]} \times 0,06196 = 0,08767 \text{ [m]} = 87,67 \text{ [mm]} \quad (4.9)$$

Mermi çekirdeği en yüksek gaz basıncının olduğu bölgeye gelinceye kadar geçen süre Eşitlik 3.4'den bulunur ise;

$$t_1 = \frac{2X_e}{V_0} \theta(n_p) \quad (4.10)$$

$$t_1 = \frac{2 \times 1,415 \text{ [m]}}{1049 \text{ [m/s]}} \times 0,30916 \quad (4.11)$$

$$t_1 = 8,3407 \times 10^{-4} \text{ [s]} = 0,83407 \text{ [ms]} \quad (4.12)$$

Namlu ağzı basıncı Eşitlik 3.6'dan;

$$P_e = 149,245 \text{ [MPa]} \times 0,37305 = 55,6769 \text{ [MPa]} \quad (4.13)$$

Merminin namlu içinde geçirdiği toplam süre ise Eşitlik 3.7'dan;

$$t_e = \frac{2 \times 1,415}{1049} \times 0,90137 \quad (4.14)$$

$$t_e = 2,43173 \times 10^{-3} [s] = 2,43173 [ms]$$

Hesaplanan  $X_1$ ,  $t_1$ ,  $V_1$  ve  $P_e$  değerlerinden yararlanılarak, verilen bir  $X$  namlu içi mermi yolu değeri için Eşitlik 2.8 oranından  $\lambda$  bulunur ve namlu içerisinde gaz basıncı, mermi hızı ve süre değişimleri sırasıyla Eş. 3.9, Eş. 3.10 ve Eş. 3.11'den bulunur;

$$X = X_1 \lambda \quad (4.15)$$

$X_1 = 0,08767$  m bulunmuştu ve  $X = 1,415$  m mermi yolu değeri idi, Eşitlik 4.15'den  $\lambda$  değeri çekilir ise;

$$1,415 [m] = 0,08767 [m] \times \lambda \quad (4.16)$$

$$\lambda = 16,13 \quad (4.17)$$

$\lambda = 17,10$  değerinde mermi çekirdeği namluyu terk etmiş olur. Mermi yolu Eşitlik 4.15'den  $\lambda = 16,13$  değerine kadar Tablo 3.2'deki  $\lambda$  değerleri için tek tek hesaplanarak namlu içerisindeki basınç dağılımı bulunur.

$$X = 87,67 [mm] \times 0,25 \quad (4.18)$$

$$X = 21,92 [mm] \quad (4.19)$$

Eşitlik 3.9'dan,  $\lambda = 16,13$  değerine kadar Tablo 3.2'deki  $\psi(\lambda)$  değerleri için tek tek hesaplanarak namlu içerisindeki basınç dağılımı elde edilir.

$$P = 417 [MPa] \times 0,69 \quad (4.20)$$

$$P = 287,73 [MPa] \quad (4.21)$$

Eşitlik 3.10'dan,  $\lambda = 16,13$  değerine kadar Tablo 3.2'deki  $\varphi(\lambda)$  değerleri için tek tek hesaplanarak namlu içerisindeki çekirdek hızındaki değişim bulunabilir;

$$V = 387,63 [m/s] \times 0,375 \quad (4.22)$$

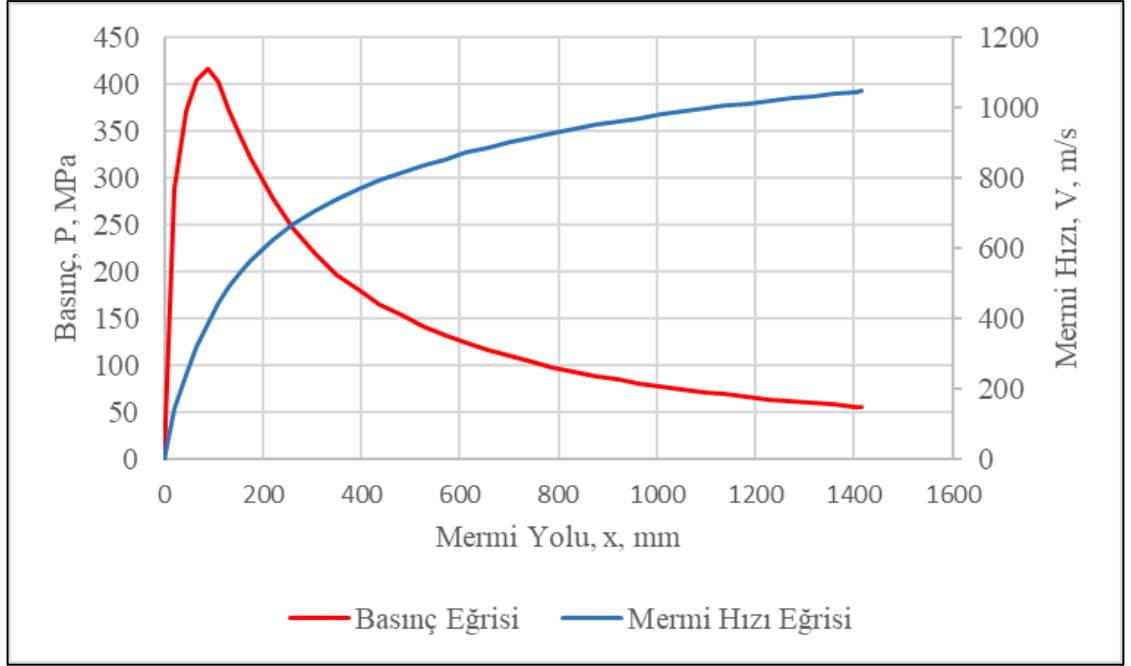
$$V = 145,36 [m/s] \quad (4.23)$$

Eşitlik 2.11'den,  $\lambda = 16,13$  değerine kadar Tablo 3.2'deki  $\psi(\lambda)$  değerleri için tek tek hesaplanarak merminin namlu içerisindeki konum zaman değerleri elde edilebilir.

$$t = 0,80959 \text{ [ms]} \times 0,689 \quad (4.24)$$

$$t = 0,5578 \text{ [ms]} \quad (4.25)$$

Namlu içerisindeki basınç, hız ve zaman dağılımı bu yöntemle göre hesaplanmış ve sonuçlar Ek 1’de verilmiştir.

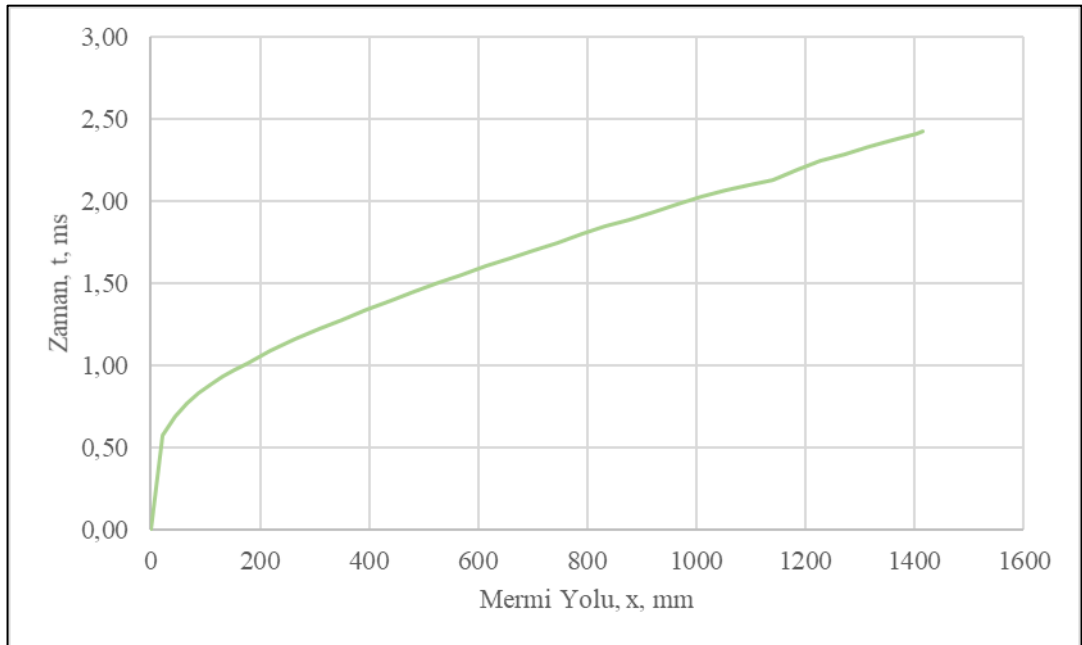


**Şekil 4.1: Mermi Yoluna Göre Namlu İçerisindeki Basınç ve Mermi Hızındaki Değişim.**

Basıncın mermi yoluna göre değişim grafiği incelendiğinde, en yüksek basınç yiv set başlangıcından itibaren yaklaşık 88’inci mm’de meydana gelmektedir. En yüksek basınca ulaşmaya kadar basınç eğrisi oldukça büyük bir eğimle arttığı görülmektedir ve bu durum beklenen bir sonuçtur. En yüksek basınç öncesi bölgede sıkışmış bir hacimde yanmakta olan barut danelerinin patlaması bu duruma neden olmaktadır. Ateşleme sonrasında zamanla barut daneleri yanma enerjilerini tüketmeye başlar ve bununla birlikte, mermi namlu içinde hareket ettikçe mermi arkasındaki hacim doğal olarak artar. Hem barut danelerinin yanma enerjilerini kaybetmelerinden hem de ideal gaz denkleminde (hacim arttıkça basınç azalır), mermi namlu ucuna yaklaştıkça mermi tabanına etkiyen basınç azalır. Basınç grafiğindeki incelenmesi gereken bir diğer önemli kısımda namlu çıkış basıncıdır. Namlu çıkışında 55,83 MPa’lık bir basınç atmosfere atılmaktadır. Atılan bu basınçtan bir miktar daha yararlanmak istenirse,

merminin çizgisel hızına olan olumlu etkisine göre namlu boyunun artırılması düşünülebilir. Fakat namlu boyunun artırılmasıyla kazanılacak olan hızın, namlunun uzatılmasıyla silah kompleksine eklenecek ağırlıkla karşılaştırılmalıdır. Namlu ağırlığı arttıkça sistemin hantallaştırılacağı unutulmamalıdır. Silah sisteminin iyileştirilmesi açısından kazanılacak birkaç m/s'lik hızın gerekliliği sorgulanmalıdır.

Mermi hızının namlu içerisindeki değişim grafiğinde dikkat çeken nokta eğrinin azalan eğimle ilerlemesidir. Bu eğilim sebebinin, barut gazlarının yanmasına bağlı olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Grafik incelendiğinde mermi, namlu içerisinde 400 mm'lik yol aldığı anda yaklaşık 767 m/s hıza, namlu çıkışı olan 1415 mm'de ise 1047,57 m/s'lik hıza ulaştığı görülmektedir. Kısacası mermi namlunun ilk 400 mm'sinde kazanacağı toplam hızın neredeyse %74'üne ulaşmaktadır. Bu durumdan şu sonuç çıkarılabilir, namlu boyunun artırılması belirli bir miktardan sonra mermi hızlanmasına önemli bir katkıda bulunmamaktadır. Bu yorum yapıldıktan sonra şu soru sorulabilir “Merminin hızlanmasına fazla etkisi olmamasına rağmen namlu boyu neden bir metre daha uzundur?”, bu sorunun cevabı, namlu çıkışında istenilen hıza ulaşmak ve tabi ki merminin jiroskobik olarak dengelenmiş şekilde namludan ayrılmasını sağlayabilmektir.



**Şekil 4.2: Zamanın Mermi Yoluna Göre Değişimi.**



Basınç, hız ve zaman grafiklerinin eldesi için teorik bir yöntem olan Vallier – Heydenreich metodunun kullanıldığı ve bu hesaplamalar yapılırken; atım yatağı hacminin ihmal edilmiş olması, barut danelerinin yüzde yüz verimle yandığı, ısı ve basınç kaybının olmadığı gibi kabullerin yapıldığı unutulmamalıdır.

Çekirdek Hızı – Zaman grafiğine fonksiyon uydurup, uydurulan fonksiyonun zamana göre türevi alınması durumunda mermi çekirdeğinin çizgisel ivme değişimini veren fonksiyon elde edilebilir. Hız – Zaman grafiğine uydurulan fonksiyon;

$$y = 289,35x^6 - 2821,9x^5 + 11094x^4 - 22262x^3 + 23441x^2 - 11229x + 2037 \quad (R^2 = 1) \quad (4.26)$$

4.26 eşitliğinin zamana göre türevi alınırsa;

$$y' = 1736,1x^5 - 14109,5x^4 + 44376x^3 - 66786x^2 + 46882x - 11229 \quad (4.27)$$

4.27 eşitliği elde edilir. 4.27 eşitliğinde x yerine t değerleri konulursa merminin namlu içerisindeki çizgisel ivmesindeki değişim bulunabilir. Mermini namlu içerisindeki çizgisel ivmesinin değişimi Ek 2 'de gösterilmiştir.

#### 4.2. Yiv Set Eğrisinin Teorik Yönteme Göre Oluşturulması

Yiv set eğrisinin oluşturulması için öncelikle namlu çıkışındaki yiv set açısına (eğimine) karar verilmelidir. M56 HEI mühimmatı kullanan 20 mm bir namlu için namlu çıkışındaki merminin uzun eksen etrafındaki bir dönüşü için gerekli doğrusal mesafe 25,9 cal. (Piddington, 1972) ("cal" 1 inç'in yüzde birine karşılık gelen uzunluk birimidir) olduğu kabul edilmiştir. Bu bilgiye göre namlu ucundaki yiv set açısının eğimi ise Eşitlik 2.5'ye göre hesaplanacak olursa;

$$\tan \alpha_E = \frac{\pi}{25.9} \quad (4.28)$$

$$\alpha_E = \arctan (0.121297) \quad (4.29)$$

$$\alpha_E = 6.916^\circ \quad (4.30)$$

olarak bulunur.

Namlu çıkışındaki yiv set eğimi belirlendikten sonra Eşitlik 3.12'deki “n” üssünün belirlenmesi gereklidir. “n” üssü yiv set eğrisinin şeklini doğrudan etkilemektedir.

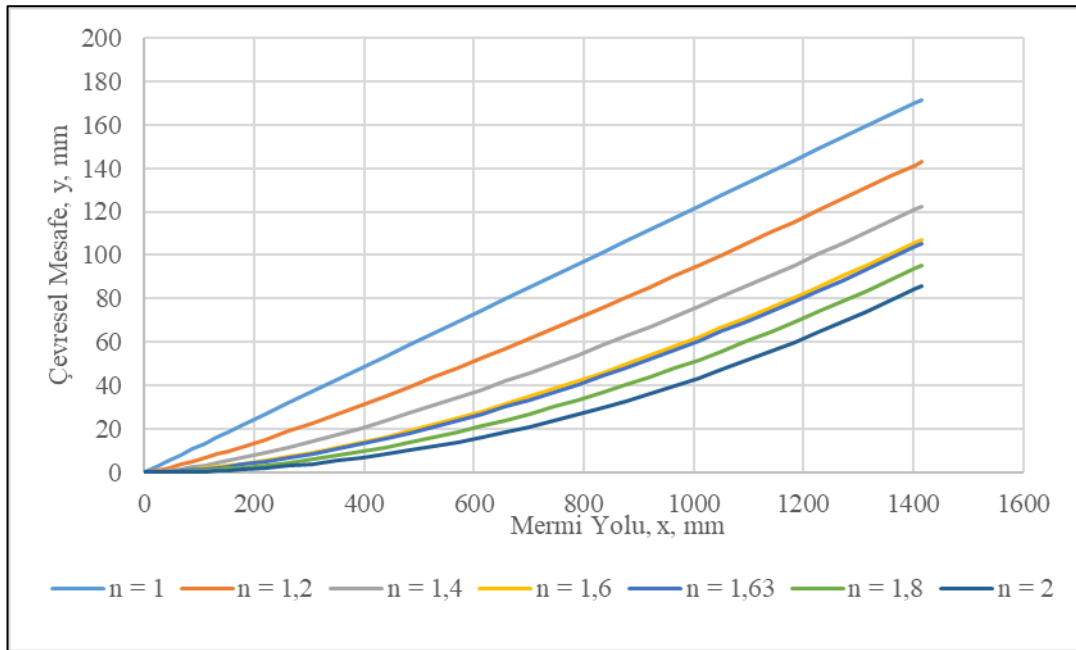
Hesaplanmış ve Ek1’de gösterilmiş olan x (mermi yolu) değerleri için Eşitlik 3.17’ye göre, toplam mermi yolu 1415 mm olacak şekilde, y değerleri farklı n üsleri için hesaplanmış ve değerler Ek 3’de gösterilmiştir.

Eşitlik 3.17’ye göre örnek olarak hesaplama yapılacak olursa;

$$y = \frac{\tan(6,916)}{1 \times 1415^{1-1}} 21,92^1 \quad (4.31)$$

$$y = 2,66 \text{ [mm]} \quad (4.32)$$

olarak bulunur.



**Şekil 4.3: Farklı n Katsayıları İçin Yiv Set Eğrisindeki Değişim.**

Yiv set eğrisi oluşturulurken iki önemli ölçüt göz önüne alınmaktadır (Referans ver). Bunlardan ilki iç balistik ve namlu tasarımı açısından setlere etkiyen tork değeri, diğeri ise dış balistik ve mermi dengelenmesi açısından merminin statik (jiroskopik) kararlılık faktörüdür. Bu iki önemli ölçüt göz önünde bulundurularak istenen tasarım

özelliklerine göre yiv set eğrisi belirlenir. Yiv set eğrisinin karakteristiğini belirleyen temel değişken “n” üssü olduğundan bu iki önemli ölçüt “n” üssü ile kontrol edilebilir.

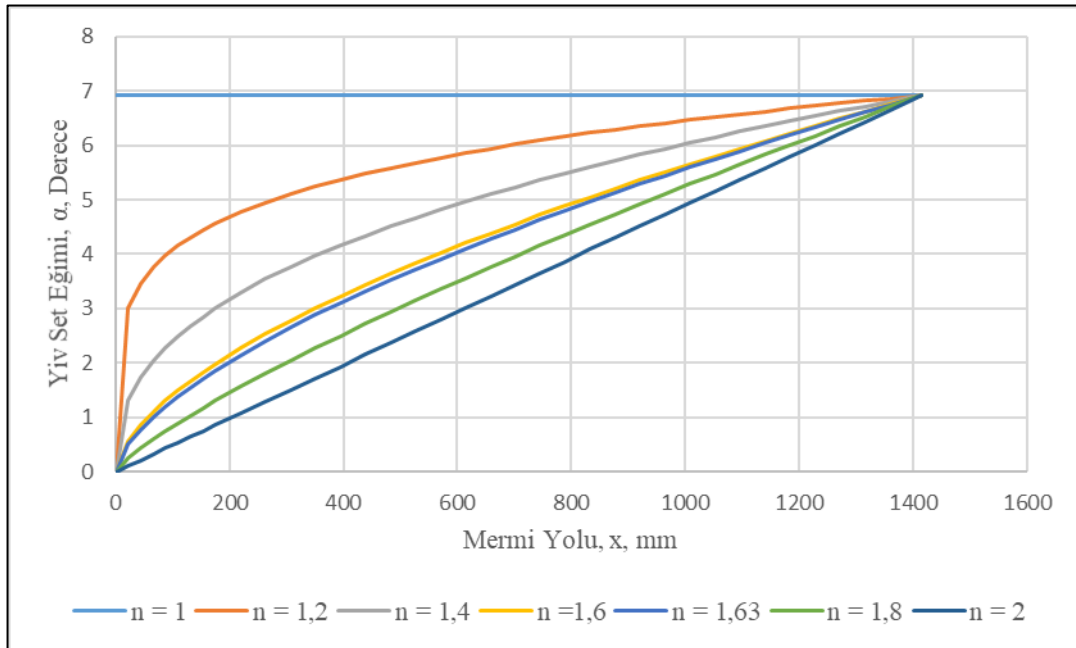
Yiv set eğrisinin diğer parametreleri de daha önce belirtilen Eşitliklere göre hesaplanabilir. Eşitlik 3.18’den  $\tan \alpha$  için örnek olarak bir değer için hesaplanacak olursa;

$$\tan \alpha = \frac{\tan(6,916)}{1,415^{1-1}} 0,02192^{1-1} \quad (4.33)$$

$$\tan \alpha = \tan(6,916) \quad (4.34)$$

$$\alpha = 6,916^\circ \quad (4.35)$$

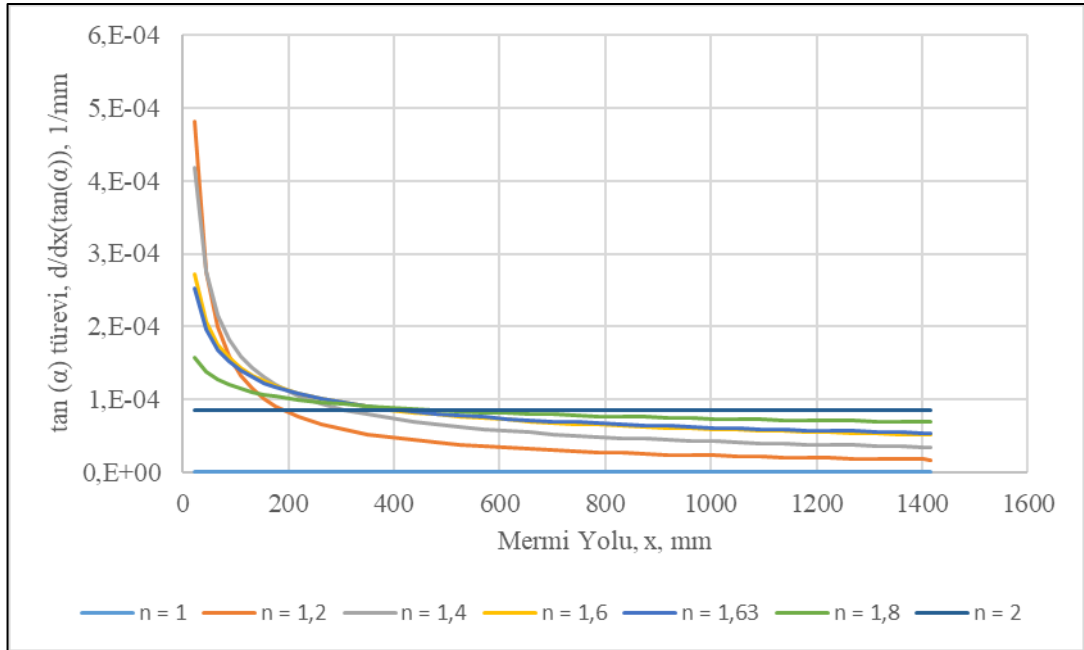
Yiv set’in namlu sonundaki eğim sabit  $6,916^\circ$  ve toplam mermi 1415 mm için, farklı “n” üsleri için  $\tan \alpha$  Eşitlik 3.18’den,  $\alpha$  açısı  $\tan \alpha$  değerlerinin arkatanjantı alınarak ve  $\tan(\alpha)/dx$  değerleri de Eşitlik 3.19’dan hesaplanmıştır ve sonuçlar sırasıyla Ek 4, Ek 5 ve Ek 6’da gösterilmiştir. “n = 1” olduğu durumda Şekil 4.4’den de görüleceği üzere yiv set eğrisi doğrusal artan olmaktadır. Eğrinin her noktasında eğim açısı sabit ve  $6,916^\circ$  olmakta ve yiv set eğrisinin mermi yoluna göre değişimi ise her noktada “0” olmaktadır.



**Şekil 4.4: Farklı n Üsleri İçin  $\alpha$  Açısı Değişim.**

“ $\alpha$ ” açısı yiv set eğrisini tanımlayan en önemli parametre olan yiv set eğrisinin eğimidir. Merminin namlu içerisinde açısal hız kazanmasını sağlayan etken eğim açısıdır. Eğim açısı arttıkça mermi uzun eksen etrafında daha çok dönmeye çalışacaktır. Dolayısıyla mermi daha çok açısal hız kazanacaktır. Merminin açısal hız kazanması, dönü kararlı mermilerde statik kararlılık faktörüyle ilişkilidir. Yüksek açısal hız, yüksek statik kararlılık faktörü anlamına gelmektedir. “ $\alpha$ ” açısının etkilediği bir diğer önemli parametrede, setlere ve sevk çemberine etkileyen torktur. “ $\alpha$ ” açısının artmasıyla setler ve sevk çemberi arasındaki tork iletimi artacaktır. Bu durum yiv set ve sevk çemberi tasarımı için önemlidir.

“ $\alpha$ ” açısının türevindeki değişim grafiği incelendiğinde, teorik yöntemle göre, yiv set’in yaklaşık ilk 200 mm’inde  $n = 1$  ve  $n = 2$  değerleri dışında, yüksek bir değişim olduğu görülmektedir. Yani “ $\alpha$ ” açısının artışı bu bölgede, diğer bölgelere göre daha yüksek bir oranda meydana gelmektedir. Bu durum, mermi atalet momentinin yenilerek, mermiye açısal hız kazandırılmak istenmesiyle ilgilidir.



**Şekil 4.5: Farklı n Üsleri İçin  $\alpha$  Açısının Türevindeki Değişim.**

Yiv set eğrisini tam olarak tanımlayabilmek için yiv set’in namlu etrafına sarıldığı zaman ki merkez açıların da bulunması gereklidir. Merkez açıların bulunması için;

$$y = r \times \beta \quad (4.36)$$

eşitliği kullanılır (U.S. Army, 1964).

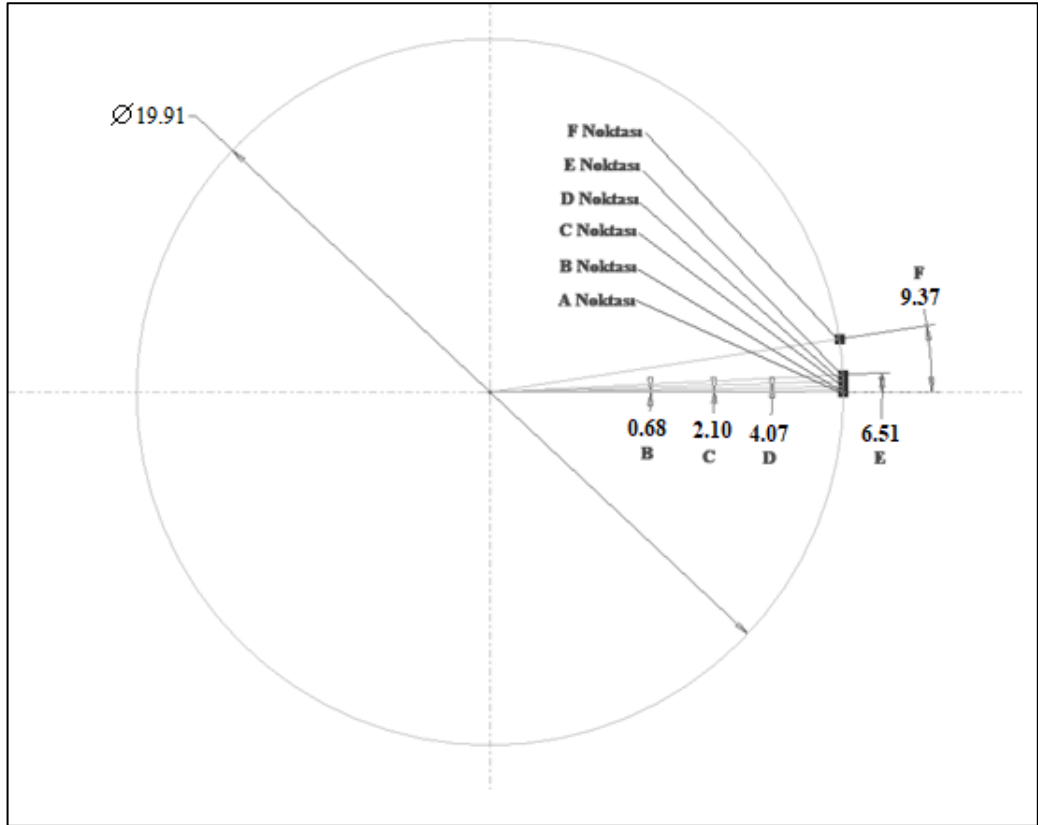
$$\beta = \frac{y}{r} \quad (4.37)$$

n = 1 için x = 21,92 mm'deki y değeri için hesaplanacak olursa;

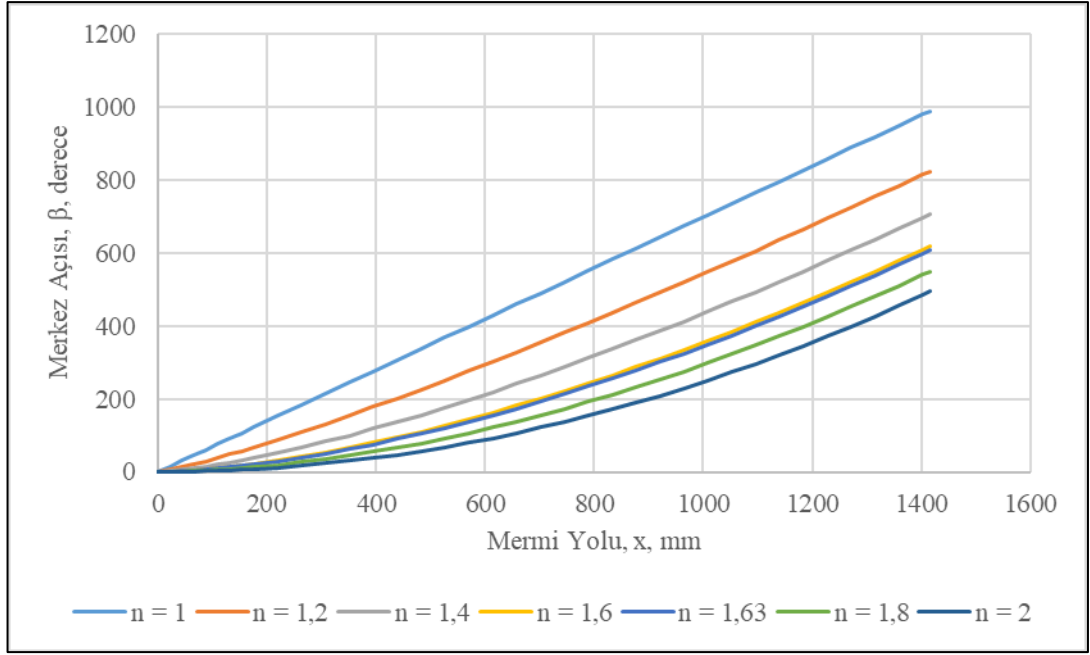
$$\beta = \frac{2,66}{9,955} \quad (4.38)$$

$$\beta = 0,267 \text{ [rad]} = 15,30^\circ \quad (4.39)$$

olarak bulunur. Aynı işlem diğer n ve y değerleri için yapılarak diğer  $\beta$  değerleri bulunabilir. Yiv set merkez açısı, namluya karşıdan bakıldığında, namluyu saran yiv set 'in daire halini alarak yiv set eğrisi üzerindeki noktaların 0,  $2\pi$  aralığında bir açıya karşılık gelecek şekilde tanımlanmasına olanak sağlar. Şekil 4.7'de n = 1,63 için ilk beş merkez açısı gösterilmiştir.



**Şekil 4.6: Bazı Merkez Açıları.**

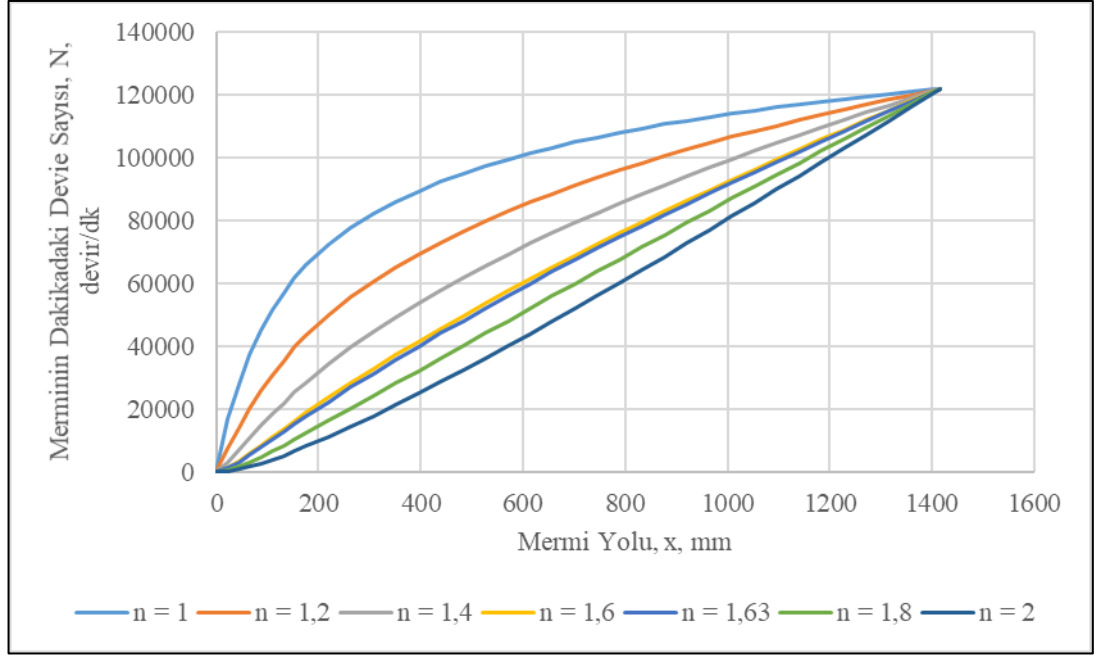


**Şekil 4.7: Farklı n Üsleri İçin Merkez Açılarındaki Değişim.**

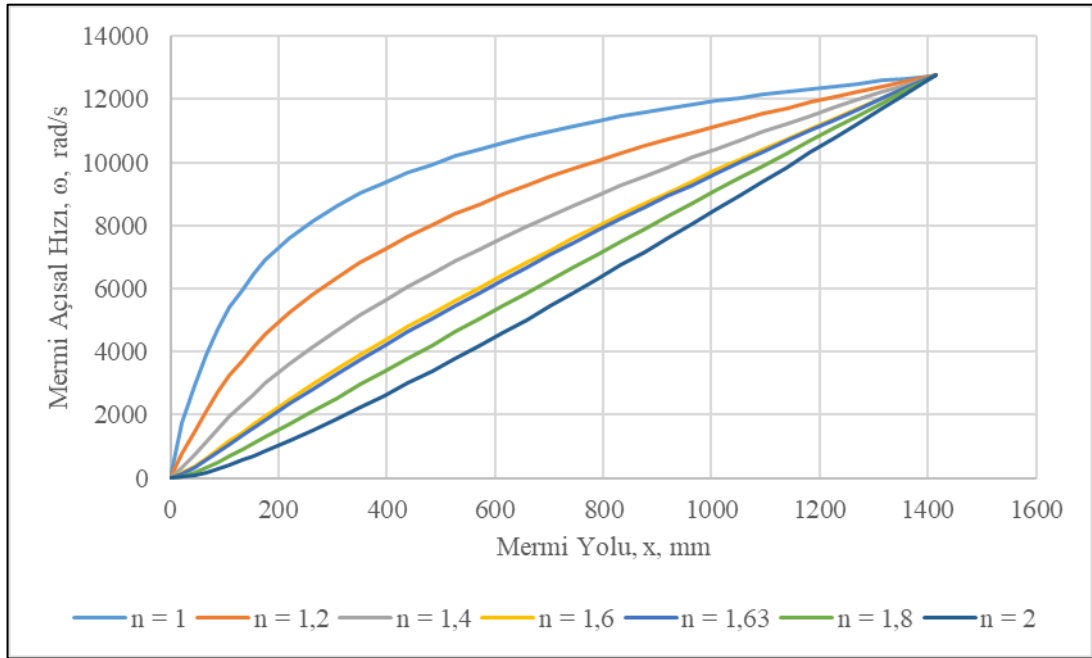
Şekil 4.4 ve Şekil 4.8’den anlaşılmaktadır ki n üssü arttıkça yiv set eğrisinin namluyu sarma miktarı azalmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur, çünkü  $n = 1$  olduğu durum için yiv set eğimi sabit ve en yüksek değerindedir. Fakat artan hatveli yiv set eğrisileri için eğim namlunun çıkış noktasına kadar artmaktadır ve namlu çıkışında en yüksek değerine ulaşmaktadır. Bu durumda, sabit hatveli yiv set eğrisinde namlunun ilk bölgelerinde merminin kazanacağı açısal hız, artan hatveli yiv set eğrisine göre fazla olması beklenebilir. Fakat namlu sonuna doğru, artan hatveli yiv set’in eğim açısı değerleri arttığından, merminin kazanacağı açısal hız değeri sabit hatveli yiv sette kazanacağı açısal hız değerine yaklaşacaktır, ve namlu sonunda artan ve sabit hatveli yiv set eğimi eşit olduğundan namlu sonundaki mermi açısal hızın eşit olması beklenmektedir.

#### 4.3. Merminin Namlu İçerisinde Açısal Hız ve İvmesindeki Değişimi

Eşitlik 3.23’te değişkenler yerlerine konulduğunda, mermin namlu içerisindeki açısal hız değişimi elde edilebilir. Eşitlik 3.23’ten, merminin açısal hızı, merminin çizgisel hızına, yiv set eğrisinin eğimine ve namlu çapına bağlı olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.8: Farklı  $n$  Üsleri İçin Mermi Devir Sayılarındaki Değişim.**



**Şekil 4.9: Farklı  $n$  Üsleri İçin Açısal Hızlardaki Değişim.**

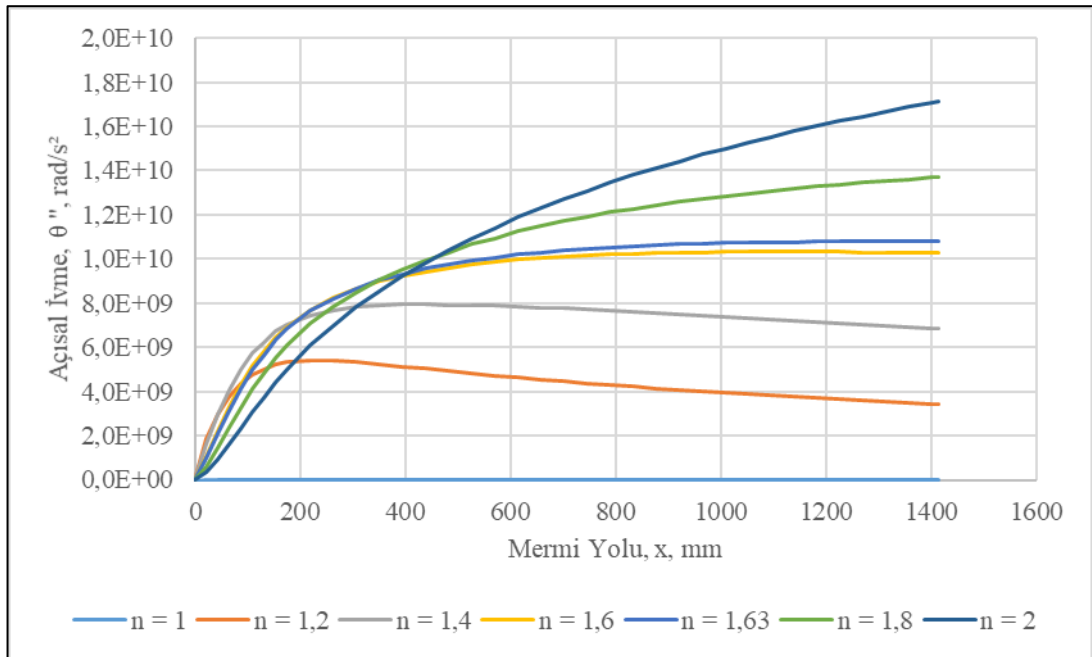
Mermi'nin namlu içerisinde kazandığı açısal hızlardaki değişimler beklenildiği gibi  $n$  üssünün 1 olduğu değerden yiv set eğrisinin ilk kısımlarında kazandığı açısal hız,  $n$ 'in 1,6 olduğu değere kadar açısal hız değişimi üssel olarak artmakta ve namlunun geri kalanına göre daha yüksektir.  $n$  üssünün 1,63 olduğu durumda açısal hız değişimi

doğrusal artmakta ve  $n$  üssünün 1,63'den büyük olduğu durumlarda ise açısal hız eğişi yine üssel artmaktadır. Açısal hızın üssel bir eğriye göre değişmesi açısal ivmenin de değişeceği anlamına gelmektedir. Bu durum ivmenin türevi olan sarsımın oluşacak ve kararsızlığın artmasına neden olacaktır.  $n$  üssünün yaklaşık 1,63 değerinde açısal hız eğrisi neredeyse doğrusal artan olmaktadır. Açısal hız eğrisinin doğrusal artan olmasıyla açısal ivmenin sabit olması dolayısıyla sarsımın sıfır olması ve mermi daha kararlı olması beklenebilir. Özet olarak  $n$  üssünün öyle bir değeri belirlenebilir ki açısal ivmedeki değişim doğrusal artan olabilir ve açısal ivme sabit tutulabilir. Bu durum da merminin namli içerisinde daha dengeli hareket etmesi beklenebilir. Fakat açısal ivmeyi etkileyen diğer değişkenler unutulmamalıdır. (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 İçin)

Eşitlik 3.29'da değerler yerlerine konularak merminin açısal ivmesindeki değişim bulunmuştur ve sonuçlar EK 10'da gösterilmiştir.

$r = 0,009955$ , mermi yarıçapı, m

olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 4.10: Mermi Açısal İvmesinin Mermi Yoluna Göre Değişimi.**

Açısal ivmedeki değişim grafiği incelendiğinde  $n$ 'in 1,63 olduğu durumda, açısal ivme eğrisi yatay yönelim alarak sabite yakın bir değerde olduğu görülmektedir. Açısal ivme, çizgisel hız ve ivmeye de bağlı olduğundan yiv set başlangıcından itibaren açısal ivmeyi sabit yapmak imkansızdır.



#### 4.4. Statik (Jiroskobik) Kararlılık Faktörünün Belirlenmesi

M56 HEI mühimmatına ve atmosfere ait değerler;

$I_x$  : 0,000005486, merminin eksenel 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

olarak kabul edilirse (Piddington, 1972). Değerler Eşitlik 3.26 yerlerine konularak, M56A3 mermisine ait statik kararlılık faktörü (hesaplamalarda namlu çıkışındaki çizgisel ve açısal hız kullanılır);

$$S_g = \left( \frac{2 \times 0,000005486^2}{0,0000409 \times \pi \times 0,01991^3} \right) \left( \frac{\omega^2}{1047,57^2} \right) \left( \frac{1}{1,87} \right) \left( \frac{1}{1,225} \right) \quad (4.40)$$

$$S_g \cong 3,846 \quad (4.41)$$

olarak bulunur. Diğer “n” üslerine ait yiv set eğrileri için statik kararlılık faktörü namlu çıkış anına göre hesaplandığından yiv set eğimi, çizgisel ve açısal hız değerleri namlu çıkışında aynı olduğundan 3,846 olarak bulunacaktır. Farklı bir namluda M56 HEI mermisi için statik kararlılık faktörü 4,23 olarak gösterilmiştir (Piddington, 1972). Statik kararlılık faktörünün 2,5 ‘dan fazla olmasının mermiyi aşırı kararlı yaparak, mermi burnunun mermi alçalışında yörünge üzerinde kalarak mermi menzile olumsuz etkisi olduğu belirtilmişti. Bu olumsuz etki yatay atışta merminin tepe noktasına ulaştıktan sonra alçalış yörüngesinde meydana gelmektedir. Fakat herhangi bir uçak ya da helikopterden karaya doğru ateşlenen mermi için, böyle bir durum söz konusu olmadığından yüksek kararlılık faktörü havadan karaya atış yapan silahlarda 2,5’den yüksek kararlılık faktörü olumsuz bir etkide bulunmayacaktır.

#### 4.5. Merminin Açısal İvmesi ve Setlere Etkiyen Tork

Farklı “n” üslerine ait yiv set eğrileri için elde edilmiş yiv set eğrileri için setlere etkiyen tork Eşitlik 2.74’den elde edilecek olursa;

$M_m$  :0,1, mermi ağırlığı, kg

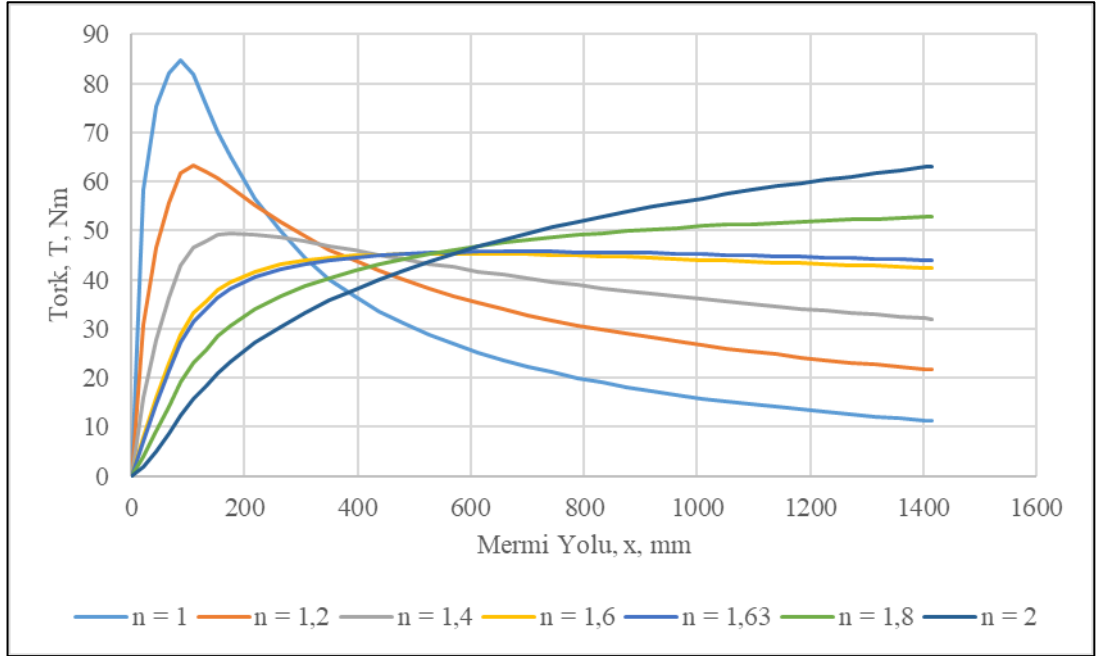
$r$  :0,009955, mermi yarıçapı, m

$A_n$  :0,000303705, namlu referans alanı, m<sup>2</sup>

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

$I_x$  :0,000005486, merminin eksenel atalet momenti, kgm<sup>2</sup>

olarak kabul edilir (Piddington, 1972) ve  $P$ ,  $V$ ,  $\tan \alpha$  ve  $d \tan \alpha / dx$  değerleri yerine daha önce farklı  $n$  üsleri için hesaplanmış değerler konularak setlere etkiyen tork değerleri hesaplanabilir. Hesaplama sonucunda setlere etkiyen toplam tork bulunur, set başına etki eden tork için bulunan değerler set sayısına bölünmelidir.



**Şekil 4.11: Farklı  $n$  Üsleri İçin Setlere Etkiyen Torklardaki Değişimi.**

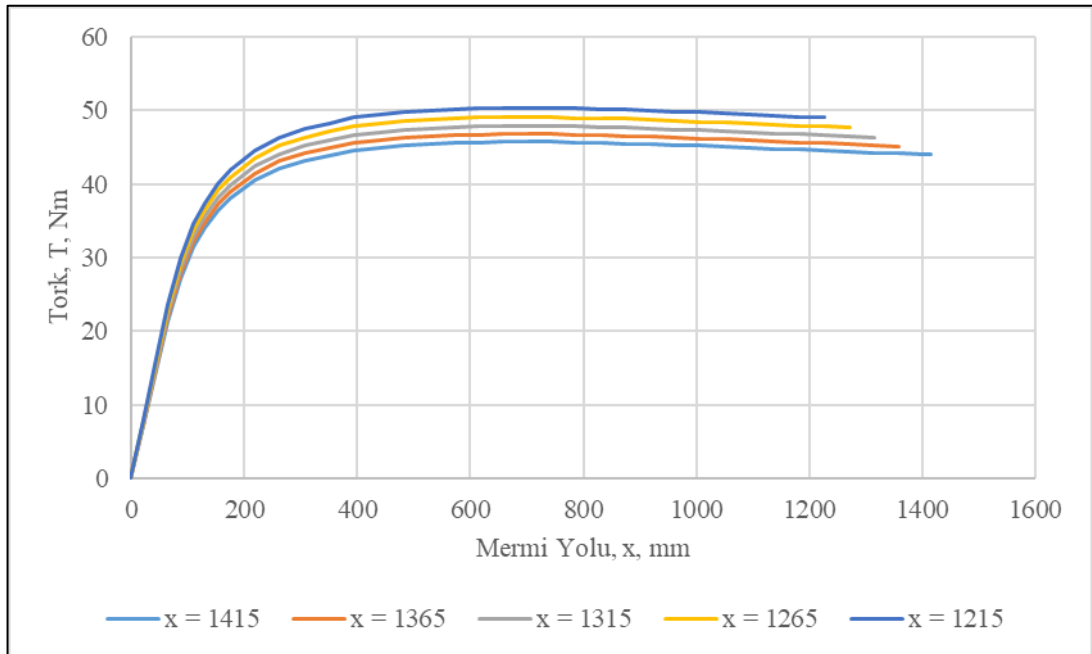
Setlere etkiyen tork değerleri incelendiğinde, sabit hatveli yiv set'e sahip namluda tork değeri set başlangıcında yaklaşık 85 Nm'ye ulaştığı, namlu boyunca setlere etki eden torkun giderek azaldığı görülmektedir. Bu durum, set profilinin optimize edilmesini zorlaştıracaktır. Setin başlangıcında yüksek torka maruz kalacak setlerin bu tork değerine dayanması için öncelikle geometrilerinin daha büyük olması gerekmektedir. Fakat namlu ucuna doğru tork azalacağından oluşturulan set kesiti istenilen dayanımdan çok daha yükseğine dayanabilecek şekilde olacaktır. İyileştirme açısından

bu istenmeyen bir durumdur. Artan hatveli yiv set eğrilerinde ise setlere etkiyen tork değerinin ciddi miktarda azaldığı görülmektedir. Ayrıca,  $n = 1,63$  değerinde tork eğrisi yaklaşık ilk 400 mm'den sonra yatay bir yönelim alarak namlu boyunca setlere etkiyen torkun 45 Nm seviyelerinde olduğu görülmektedir. Setlere etkiyen tork'un en az değişim gösterdiği bu değer, set geometrisinin iyileştirilmesi açısından en uygun değer olduğu da görülmektedir.

#### 4.6. Mermi Yolunun Kısaltılması ve Yiv Set Eğiminin Değiştirilmesiyle Setlere Etkiyen Torkdaki Değişim

Setlere etkiyen tork değerinin belirli bir namlu boyu ve çıkış eğimine göre değişimi belirlendi. Bu bölümde, namlu boyunun kısaltılması ve namlu çıkışındaki yiv set eğiminin değiştirilmesiyle setlere etkiyen torktaki değişim incelenmiştir. Yiv set eğrileri  $n = 1,63$  üssüne göre oluşturulacak şekilde; birinci grup yiv set eğrilerinde, namlu çıkışındaki yiv set eğimi  $6,916^\circ$  sabit tutulmuştur ve namlu boyu toplamda 20 cm olmak üzere 5'er cm kısaltılmış ve kısa namlu boylarındaki setlere etkiyen torklardaki değişim incelenmiştir.

Birinci grup sonuçları Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

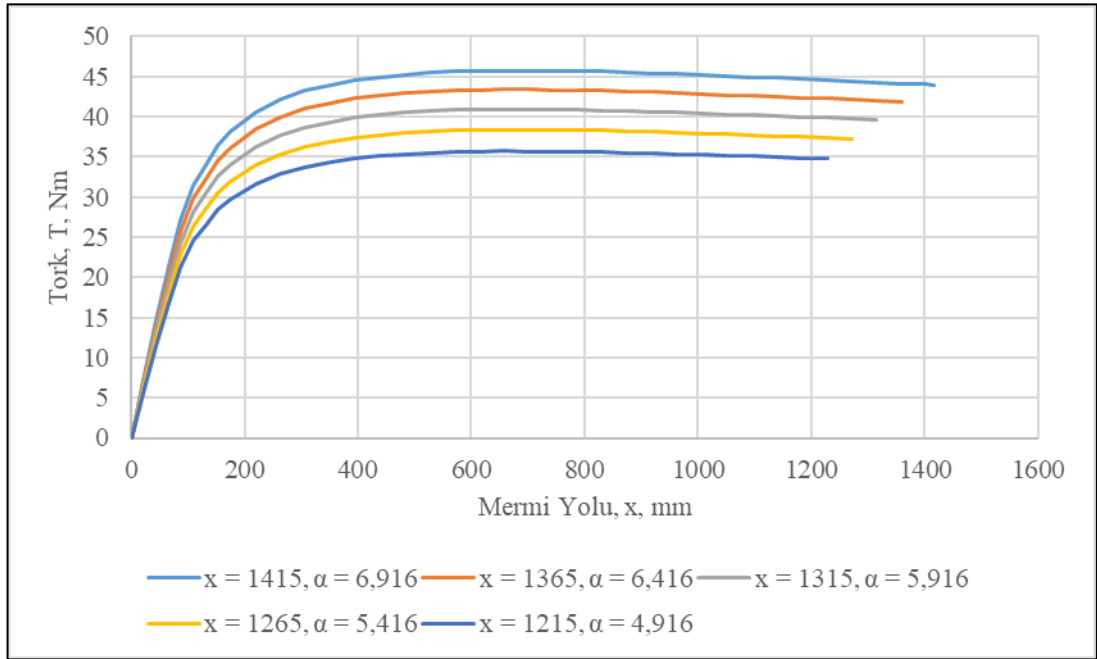


**Şekil 4.12: Namlu Boyunun Kısaltılması, Namlu Çıkışındaki Yiv Set Eğiminin Sabit Tutulmasıyla Setlere Etkiyen Torklardaki Değişim.**

Şekil 4.12’den görüleceği üzere namlu çıkışındaki yiv set eğimi sabit tutulup namlu boyunun kısaltılması durumunda setlere etkiyen en yüksek torkun arttığı 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 arttığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre bir tasarım yapılması durumunda set profilinin yeni tork değerlerine dayanabilecek bir profile olması için set genişliklerinin artırılması düşünülebilir.

Yiv set eğrileri  $n = 1,63$  üssüne göre oluşturulacak şekilde; ikinci grup yiv set eğrilerinde ise, namlu boyunun kısaltılmasının yanında yiv set eğrisinin namlu çıkış eğimi namlunun her 5 cm kısaltılması için 0,5 derece azaltılmıştır.

İkinci grup sonuçları Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.13: Namlunun Kısaltılması ve Namlu Çıkışındaki Yiv Set Eğiminin Azaltılmasıyla Setlere Etkiyen Torklardaki Değişim.**

Şekil 4.13’den görüleceği üzere namlu boyunun kısaltılmasıyla birlikte namlu çıkışındaki yiv set eğiminin de azaltılmasıyla setlere etkiyen tork değerlerinin de azaldığı görülmüştür. Yiv set eğrisi daha kısa bir uzunlukta daha küçük bir çıkış eğimini yakalamaya çalışmasından dolayı, yani sarma miktarının azaldığından setlere etkiyen tork değerinin azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre bir tasarım yapılması

durumda set profilinin yeni tork değerlerine fazlasıyla dayanabilecek bir profile olduğundan set genişliklerinin azaltılması düşünülebilir.

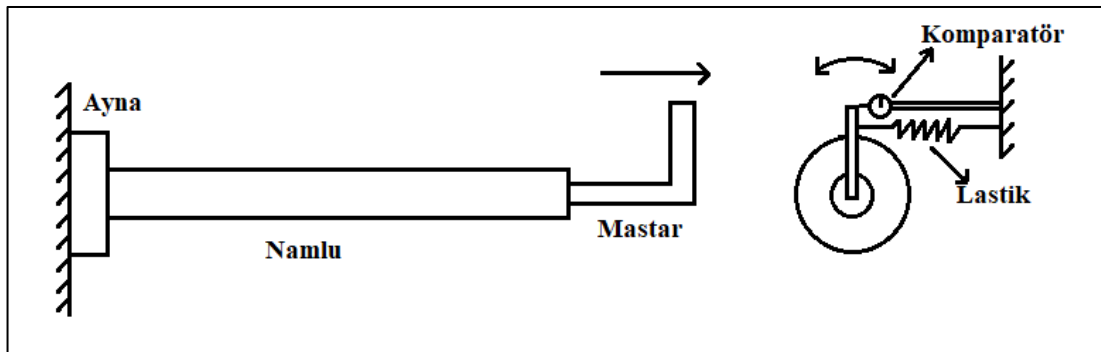
Tablo 4.1 iki gruptaki namlular için mermilerin statik kararlılık faktörleri incelenmiştir. Sonuçlar sonucunda görülmüştür ki kararlılık faktörü namlu boyuna değil yiv set eğimine bağlıdır. Yüksek eğime sahip yiv set eğrileri mermileri daha çok döndürdüğünden mermilerin statik kararlılık faktörü artmaktadır.

**Tablo 4.1: Farklı Namlu Boyu ve Yiv Set Eğimleri İçin Statik Kararlılık Faktöründeki Değişim.**

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

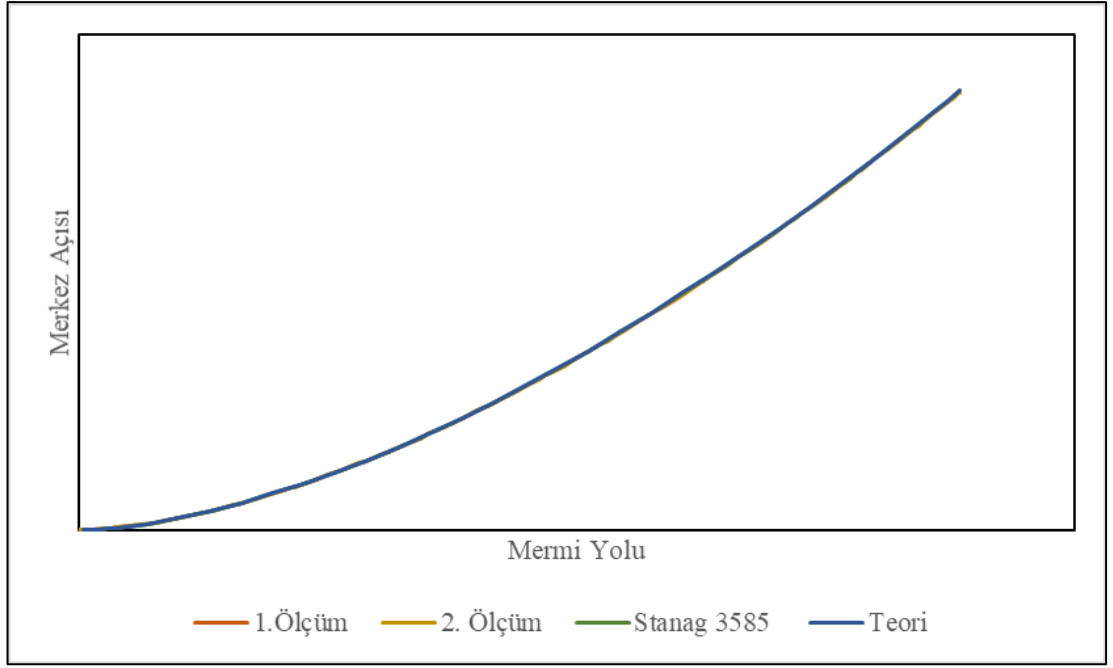
#### 4.7. Teorik Yiv Set Eğrisinin Deneysel Olarak Doğrulanması

Bu bölüme kadar elde edilen teorik bulgulardan elde edilen yiv set eğrisinin deneysel bir çalışma ile uygunluğu tespit edilmiştir. Bu amaçla; çalışmaya destek veren kuruluşun envanterindeki bir numune namlunun yiv set eğrisi profilini çıkartacak bir ölçüm düzeneği tasarlanmıştır. Ölçüm düzeneği için, numune namlu, aşınma mastarı, lastik, komparatör ve torna tezgahı kullanılmıştır.



**Şekil 4.14: Ölçüm için Hazırlanmış Düzenek.**

Ölçüm düzeneğinin oluşturulmasından bahsederek; ilk olarak namlu torna tezgahına bağlanmış ve namlu aşınmasını ölçmek için kullanılan mastarın namlu içerisinde yiv set başlangıcına getirilmiştir, mastarın diğer ucuna da namlu uzun eksenine dik gelecek şekilde bir vida sabitlenmiştir. Böylece lastiğin çekmesiyle mastarın namlu içerisindeki set duvarına bir kuvvet etkisiyle temas etmesi sağlanmıştır. Ayrıca vida başı bir göstergesi belirli bir değerde sabit olacak şekilde bir komparatöre hizalanmıştır. Bu şekilde, ölçüm değerinin okunması gereken değer belirlenmiştir. Ölçüm düzeneği oluşturulduktan sonra, namlu içerisine yerleştirilmiş ve tezgahın takım koluna bağlanmış mastar “z” ekseninde belirli aralıklarla hareket ettirilmiştir. Mastar “z” ekseninde hareket ettikçe yiv set eğrisini takip ederek dönmeye başlamıştır. Daha sonra ayna “c” ekseninde mastara bağlı vida komparatörde belirlenen referans değerini gösterene kadar döndürülmüştür. Komparatör göstergesinde belirlenen değer görüldükten sonra torna ekranında aynanın “c” eksenindeki dönme açısı kaydedilmiştir. Bu işlem yiv set boyunca belirli aralıklarla yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarındaki hataları azaltmak için ölçüm toplamda 5 kez tekrarlanmıştır. Ölçüm sonucunda yiv set eğrisine ait merkez açıları ölçülmüştür. Yapılan ölçümler, Stanag 3585 dokümanındaki yiv set değerleriyle karşılaştırılmış ve Bölüm 3’de bahsedilen teorik yönteme uygun olacak şekilde dönüştürülmüştür. Ayrıca ölçüm sonuçlarından faydalanarak, Bölüm 3’te anlatılan teorik yönteme göre bir yiv set eğrisi elde edilmiştir. Yapılan iki ölçümün, Stanag 3585’in ve teorik yöntem sonuçları Şekil 15’de gösterilmiştir. Grafiğin eksen değerleri, Stanag 3585 dokümanının ve ölçüm sonuçlarının “Ticari Gizliliği” bulunması nedeniyle kapatılmış ve şekil en boy oranı değiştirilmiştir.



**Şekil 4.15: Stanag 3585 için DeneySEL ve Teorik Bulguların Karşılaştırılması.**

Şekil ‘den görüleceği üzere ölçümler, Stanag 3585 ve teorik yöntem sonuçlarıyla birbirleriyle uyumluluk göstermektedir. Sonuçlar göz önüne alındığında yiv set eğrisinin oluşturulması için kullanılmış olan teorik yaklaşımın doğruluğu görülmektedir.

#### **4.7.1. Artan Hatveli Yiv Set Unsuruna Sahip Namluların Üretilmesi**

Artan hatveye sahip namluların üretimi TR Mekatronik tesislerinde gerçekleştirilecektir. Bu namluların üretilmesinde firma envanterinde bulunan DeHOFF G20144-C1 model yiv set tezgahı kullanılacaktır. Tezgah mermi çapı 12,7 mm’den 35 mm’ye kadar olan namluları işleme kapasitesine ve her çeşit yiv set geometrisini işleyebilecek Beckhoff CX2020 CNC kontrolcüsüne sahiptir.

## 5. SONUÇ

Tez çalışmasının amacı, namlularda neden artan hatveli yiv set'in tercih edilebileceğini ortaya koymak, artan hatveli yiv set'in mermi ilk hızına ve dönüşüne olan etkilerini incelemektir.

Çalışma kapsamında;

1. Namlu içerisindeki; gaz basıncı, mermi hız ve zaman değişimleri,
2. Artan hatveli yiv set eğrisinin teorik olarak oluşturulması,
3. Namlu içerisinde mermi açısal hızı ve ivmesi,
4. Mermilerin jiroskonik olarak dengelenmesi,
5. Setlere etkiyen tork'un yiv set eğrisine göre değişimi,
6. Farklı namlu boyları ve yiv set eğimleri için setlere etkiyen torklar,
7. Farklı namlu boyları ve yiv set eğrileri için setlere etkiyen statik kararlılık faktörleri,

incelenmiştir.

Artan hatveli yiv set eğrisinin en büyük getirisi setlere etkiyen en yüksek tork'un sabit hatveli yiv set eğrisine göre neredeyse %50 oranında azalmasıdır. Setlere etkiyen torkun azalmasıyla, setlerdeki aşınma azalacak ve namlu ömrü artacaktır. Yiv set eğrisinin artan hatveli olmasındaki en büyük olumsuzluk, yiv geometrisinin işlenmesidir. Artan hatveli yiv sete sahip bir namluyu işleyebilmek için değişken hatveli yiv açabilecek bir tezgaha ve özel tasarlanmış broşlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Namlu boyunun, mermi namlu çıkış hızına etkisi teorik olarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlara göre namlu boyu - mermi hızı grafiğinden görülmüştür ki; namlu boyunun uzatılması belirli bir boydan sonra mermi hızının artırılmasında çok fazla etki etmemektedir. Namlunun ilk 50 santimetresinde mermi, namlu çıkışında sahip olduğu hızın yaklaşık %80'ini kazanmış



olmaktadır. Dolayısıyla namlu boyunun sadece belirli bir bölümünün asıl amacı mermiyi hızlandırmaktır, kalan kısmının amacı ise mermiye dengeli bir şekilde açısal hız kazandırmaktır.

2. Yiv set eğrisi, dış balistik ve iç balistik açısından iki temel parametreye göre oluşturulur. Bunlardan ilki iç balistik ve namlu tasarımı açısından setlere etkileyen tork değeri, diğeri ise dış balistik ve mermi dengelenmesi açısından merminin statik (jiroskobik) kararlılık faktörüdür.
3. Yiv set eğrisi, eğrinin tanjantına doğrudan bağlıdır ve  $y = px^n$  eşitliğiyle ifade edilebilir. Yiv set eğrisinin şekli “n” üssüne bağlıdır. “n” üssünün değiştirilmesiyle, setlere etkileyen tork değeri ve merminin namlu içerisindeki açısal hızındaki değişim kontrol edilerek, namlu ve mermi dengelenmesinde istenen şekilde tasarım yapılabilir.
4. Mermi açısal hızının namlu içerisindeki değişiminin, yiv set eğimine doğrudan bağlı olduğu ve mermilerde, kararlılık faktörünü etkileyen temel parametrenin namlu çıkışındaki yiv set eğimi olduğu görülmüştür.
5. Yiv set eğrisinin merminin açısal ivmesine de etki ettiği görülmüştür.  $n = 1,63$  değerinde açısal ivme grafiği namlu ortasından itibaren yatay bir eğilim kazanarak değişken ivmeyle ortaya çıkan sarsım etkisinin ortadan kalktığı görülmüştür.
6. Artan hatveli yiv set eğrisinin en büyük getirisi setlere etkileyen 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 etkileyen tork değerinin en uygun formda olması için “n” katsayısının 1,63 olması gerektiği görülmüştür. 20 mm M56 HEI mühimmatı için 6,916 derecelik namlu çıkış eğiminde  $n = 1,63$  alınarak oluşturulan yiv set eğrisi namlu sonuna doğru yatay bir eğilim göstermiş ve en yüksek tork değerinin 46 Nm civarında kaldığı hesaplanmıştır.
7. Numune namlu için yapılan çalışmalar sonucunda yiv set eğrisinin oluşturulması için kullanılan yöntemin doğru olduğu görülmüş ve ülkemizde üretilecek orta ve yüksek kalibre silah namlularının tasarımı için büyük bir kazanım elde edilmiştir.

8. Namlu boyunun kısaltılıp, yiv set eğrisinin namlu çıkışındaki eğimin sabit tutulmasıyla setlere etkiyen torkun arttığı görülmüştür.
9. Namlu boyunun kısaltılması ve yiv set eğrisinin namlu çıkışındaki eğimin aynı anda azaltılmasıyla setlere etkiyen torkun azaldığı görülmüştür.
10. Statik kararlılık faktörünün namlu boyuyla ilgili olmadığı, doğrudan yiv set eğrisinin eğimine bağlı olduğu görülmüştür.

Tez çalışması hazırlanması sırasında yiv ve set kesit geometrisinin belirlenmesin kesin bir yöntemin olmadığı görülmüştür. Çalışmanın devamı olarak setlere etkiyen tork değerleri göz önüne alınarak yiv ve set profilinin oluşturulması ve yiv set sayısının belirlenmesi için daha kesin bir teori ortaya konulabilir. Çalışmada artan hatveli yiv set eğrisinin oluşturulması teorik olarak ele alınmıştır. Bir sonraki çalışma, artan hatveli yiv sete sahip bir namlunun imalatı, n üssünün deneysel tayini ve set geometrisi üzerine bir çalışma yapılabilir.

## KAYNAKÇA

1. Akçay, M., (2010). *Balistik*.
2. Baran, D., (2018). *Namlularda Kendi Kendine Ateşleme Süresinin Belirlenmesi*.
3. Brebbia, C.A., (2007). *Computational Ballistics III*.
4. Carlucci, D. E., & Jacobson, S. S., (2014). *Ballistics Theory and Design of Guns and Ammunition Second Edition*.
5. Corner, J., (1950). *Theory Of The Interior Ballistics Of Guns*.
6. Cranz, C., & Becker, K., (1921). *Handbook Of Ballistics, Volume I Exterior Ballistics*.
7. General Dynamics, (2010). *25 mm APFSDS Ammo Fact Sheet*.
8. Gkritzapis, D.N., Panagiotopoulos, E.E., Margaritis, D.P., & Papanikas, D.G., (2012). *Computational Atmospheric Trajectory Simulation Analysis of Spin-Stabilised Projectiles and Small Bullets*.
9. Gündüzer, O., (2011). *Namlu Cidarı Boyutlandırılmasına İç Balistik Davranışın Etkisi*.
10. Heard, B. J. (2008). *Handbook of Firearms and Ballistics Examining and Interpreting Forensic Evidence Second Edition*.
11. Ilgın, F., (2019). *7,62 NATO Mermisinin İç Dinamiğinin Hedef Doğruluğu Üzerine Etkisinin İncelenmesi*.
12. McCoy, R. L., (2012). *Modern Exterior Ballistics The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles*.
13. North Atlantic Treaty Organization, (1999). *Stanag 3585 v4*.
14. North Atlantic Treaty Organization, (2008). *Stanag 3585 v6*.
15. Nortrop Grumman, (2018). *20x102 M56 HEI Ammo Fact Sheet*.
16. Özcan, B., (2019). *Kısa Namlulu Ateşli Silahlarda İç Balistiğe Bağlı Mukavemet Analizi*.
17. Özcan, B., Kurt, A., Şeker, U., Seyis, M., (2018). *Tabanca Namlusunun Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İç Balistiğe Bağlı Mukavemet Analizi*.
18. Özyılmaz, Ö., (2010). *Hafif Silah Tasarımının Balistik Açidan İncelenmesi*.
19. Stiffler, A.K., (1982). *Projectile Sliding Forces in a Rifled Barrel*.

20. Susantez, Ç., (2020). *Vallier-Heydenreich Metodu ile Silahların Namlu İç Balistiğinin İncelenmesi.*
21. Şentürk, A., (2015). *Namlu İç Balistiği ve Termo-Mekanik Analizi.*
22. U. S. Army Materiel Command, (1963). *Research And Development Of Materiel Engineering Design Handbook, Elements Of Armament Engineering Part Three Weapon Systems And Components.*
23. U.S. Army Aberdeen Research and Development Center, (1972). *Comparative Evaluation of The 20 mm Developmental Ammunition Exterior Ballistics.*
24. U.S. Army Materiel Command, (1964). *Research and Development of Materiel Engineering Design Handbook Guns Series Gun Tubes.*
25. U.S. Materiel Command, (1963), *Research and Development of Materiel Engineering Design Handbook Elements of Armament Engineering Part Two Ballistics.*

## EKLER

### Ek 1: Namlu İçerisindeki Basınç, Hız ve Zaman Değerleri.

x, mm	P, Mpa	V, m/s	t, ms	x, mm	P, Mpa	V, m/s	t, ms
0,00	0,00	0,00	0,00	657,55	116,76	887,30	1,65
21,92	287,73	145,36	0,57	701,39	109,67	902,42	1,70
43,84	371,13	241,88	0,69	745,22	104,04	915,40	1,75
65,75	404,49	320,96	0,77	789,06	98,41	928,39	1,80
87,67	417,00	387,64	0,83	832,90	93,83	939,63	1,84
109,59	402,82	443,84	0,89	876,73	89,24	950,87	1,89
131,51	372,38	488,42	0,93	920,57	85,28	960,95	1,94
153,43	345,28	531,84	0,98	964,41	81,32	971,03	1,98
175,35	320,67	565,95	1,02	1008,24	77,98	979,94	2,03
219,18	278,56	623,71	1,09	1052,08	74,64	988,86	2,07
263,02	246,03	669,06	1,16	1095,92	71,93	996,80	2,10
306,86	219,76	707,05	1,22	1139,75	69,22	1004,75	2,13
350,69	196,82	740,00	1,28	1183,59	66,72	1012,12	2,19
394,53	180,56	767,91	1,34	1227,43	64,22	1019,48	2,25
438,37	165,55	793,10	1,39	1271,26	62,13	1026,27	2,29
482,20	153,66	814,81	1,45	1315,10	60,05	1033,05	2,33
526,04	141,78	836,52	1,50	1358,94	58,17	1039,44	2,37
569,88	132,81	854,35	1,55	1402,77	56,30	1045,84	2,41
613,71	123,85	872,18	1,60	1415,00	55,83	1047,57	2,43

**Ek 2: Zamana Göre Mermi Çizgisel İvme Değerleri.**

<b>t, ms</b>	<b>a<sub>i</sub>, m/s<sup>2</sup></b>	<b>t, ms</b>	<b>a<sub>i</sub>, m/s<sup>2</sup></b>	<b>t, ms</b>	<b>a<sub>i</sub>, m/s<sup>2</sup></b>	<b>t, ms</b>	<b>a<sub>i</sub>, m/s<sup>2</sup></b>
0,00	0,00	1,16	656,48	1,70	283,60	2,13	151,86
0,57	648,69	1,22	577,45	1,75	272,92	2,19	134,21
0,69	977,42	1,28	510,12	1,80	262,10	2,25	123,42
0,77	1042,00	1,34	454,72	1,84	250,77	2,29	122,74
0,83	1033,74	1,39	410,97	1,89	238,14	2,33	131,43
0,89	998,29	1,45	375,88	1,94	224,23	2,37	152,26
0,93	951,66	1,50	347,65	1,98	208,78	2,41	188,70
0,98	900,82	1,55	326,36	2,03	192,38	2,43	201,89
1,02	848,40	1,60	309,25	2,07	175,28	-	-
1,09	747,60	1,65	295,52	2,10	163,33	-	-

**Ek 3: Farklı n Üs Değerleri İçin Yiv Set Eğrisi Değerleri.**

x, mm	y, mm						
	n = 1	n = 1,2	n = 1,4	n = 1,6	n = 1,63	n = 1,8	n = 2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21,92	2,66	0,96	0,36	0,14	0,12	0,05	0,02
43,84	5,32	2,21	0,95	0,41	0,37	0,18	0,08
65,75	7,98	3,60	1,67	0,79	0,71	0,38	0,19
87,67	10,63	5,08	2,50	1,25	1,13	0,64	0,33
109,59	13,29	6,64	3,41	1,79	1,63	0,95	0,51
131,51	15,95	8,27	4,41	2,40	2,19	1,32	0,74
153,43	18,61	9,94	5,47	3,07	2,82	1,75	1,01
175,35	21,27	11,67	6,59	3,80	3,50	2,22	1,32
219,18	26,59	15,26	9,01	5,43	5,04	3,32	2,06
263,02	31,90	18,99	11,63	7,27	6,78	4,61	2,97
306,86	37,22	22,85	14,43	9,30	8,72	6,09	4,04
350,69	42,54	26,82	17,39	11,51	10,84	7,74	5,27
394,53	47,86	30,89	20,51	13,90	13,13	9,57	6,67
438,37	53,17	35,05	23,77	16,45	15,59	11,57	8,24
482,20	58,49	39,30	27,16	19,16	18,21	13,73	9,97
526,04	63,81	43,63	30,68	22,02	20,99	16,06	11,86
569,88	69,12	48,02	34,32	25,03	23,91	18,55	13,92
613,71	74,44	52,49	38,07	28,19	26,98	21,20	16,14
657,55	79,76	57,02	41,93	31,47	30,19	24,00	18,53
701,39	85,08	61,61	45,89	34,90	33,54	26,96	21,09
745,22	90,39	66,26	49,96	38,45	37,03	30,07	23,80
789,06	95,71	70,97	54,12	42,14	40,64	33,33	26,69
832,90	101,03	75,72	58,38	45,94	44,39	36,73	29,73
876,73	106,35	80,53	62,72	49,87	48,26	40,28	32,95
920,57	111,66	85,39	67,16	53,92	52,25	43,98	36,32
964,41	116,98	90,29	71,68	58,09	56,37	47,82	39,86
1008,24	122,30	95,23	76,28	62,37	60,60	51,81	43,57
1052,08	127,61	100,22	80,96	66,77	64,96	55,93	47,44
1095,92	132,93	105,26	85,73	71,27	69,43	60,20	51,48
1139,75	138,25	110,33	90,56	75,89	74,01	64,60	55,68
1183,59	143,57	115,44	95,48	80,61	78,71	69,14	60,04
1227,43	148,88	120,59	100,46	85,44	83,51	73,82	64,57
1271,26	154,20	125,78	105,52	90,38	88,43	78,63	69,27
1315,10	159,52	131,00	110,65	95,41	93,45	83,58	74,13
1358,94	164,83	136,26	115,85	100,55	98,58	88,66	79,15
1402,77	170,15	141,55	121,12	105,79	103,82	93,87	84,34
1415,00	171,64	143,03	122,60	107,27	105,30	95,35	85,82

**Ek 4: Farklı n Üsleri İçin Tan( $\alpha$ ) Değerleri.**

x, mm	tan( $\alpha$ )						
	n=1	n=1,2	n=1,4	n=1,6	n=1,63	n =1,8	n=2
0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
21,91833	6,91602	3,01704	1,31195	0,57015	0,50315	0,24775	0,10765
43,83666	6,91602	3,46465	1,73090	0,86415	0,77862	0,43135	0,21530
65,75499	6,91602	3,75651	2,03544	1,10210	1,00519	0,59662	0,32295
87,67332	6,91602	3,97829	2,28343	1,30968	1,20487	0,75099	0,43060
109,59164	6,91602	4,15923	2,49635	1,49722	1,38666	0,89775	0,53825
131,50997	6,91602	4,31312	2,68495	1,67021	1,55537	1,03869	0,64589
153,42830	6,91602	4,44763	2,85544	1,83195	1,71391	1,17498	0,75352
175,34663	6,91602	4,56751	3,01182	1,98465	1,86422	1,30741	0,86115
219,18329	6,91602	4,77503	3,29242	2,26870	2,14537	1,56281	1,07640
263,01995	6,91602	4,95149	3,54089	2,53064	2,40621	1,80807	1,29161
306,85660	6,91602	5,10572	3,76546	2,77549	2,65128	2,04518	1,50679
350,69326	6,91602	5,24315	3,97141	3,00661	2,88359	2,27552	1,72192
394,52992	6,91602	5,36741	4,16234	3,22632	3,10528	2,50009	1,93701
438,36658	6,91602	5,48102	4,34083	3,43637	3,31794	2,71964	2,15204
482,20323	6,91602	5,58584	4,50884	3,63808	3,52276	2,93475	2,36701
526,03989	6,91602	5,68326	4,66783	3,83250	3,72072	3,14591	2,58191
569,87655	6,91602	5,77436	4,81900	4,02044	3,91257	3,35348	2,79674
613,71321	6,91602	5,85999	4,96327	4,20260	4,09895	3,55780	3,01149
657,54986	6,91602	5,94083	5,10143	4,37955	4,28038	3,75913	3,22616
701,38652	6,91602	6,01744	5,23411	4,55175	4,45730	3,95769	3,44073
745,22318	6,91602	6,09030	5,36185	4,71962	4,63009	4,15370	3,65521
789,05984	6,91602	6,15979	5,48510	4,88350	4,79908	4,34731	3,86959
832,89649	6,91602	6,22623	5,60426	5,04370	4,96455	4,53869	4,08386
876,73315	6,91602	6,28992	5,71967	5,20049	5,12674	4,72796	4,29802
920,56981	6,91602	6,35110	5,83162	5,35410	5,28588	4,91525	4,51205
964,40647	6,91602	6,40997	5,94038	5,50473	5,44216	5,10066	4,72596
1008,24312	6,91602	6,46673	6,04617	5,65257	5,59575	5,28428	4,93974
1052,07978	6,91602	6,52154	6,14919	5,79779	5,74681	5,46621	5,15337
1095,91644	6,91602	6,57453	6,24963	5,94053	5,89548	5,64651	5,36687
1139,75310	6,91602	6,62585	6,34764	6,08094	6,04189	5,82527	5,58021
1183,58975	6,91602	6,67560	6,44339	6,21913	6,18615	6,00255	5,79340
1227,42641	6,91602	6,72389	6,53700	6,35521	6,32838	6,17840	6,00643
1271,26307	6,91602	6,77081	6,62858	6,48930	6,46865	6,35289	6,21930
1315,09973	6,91602	6,81644	6,71826	6,62147	6,60707	6,52606	6,43199
1358,93639	6,91602	6,86086	6,80613	6,75183	6,74372	6,69795	6,64450
1402,77304	6,91602	6,90414	6,89228	6,88045	6,87867	6,86863	6,85683
1415,00000	6,91602	6,91602	6,91602	6,91602	6,91602	6,91602	6,91602



**Ek 5: Farklı n Üsleri İçin  $\alpha$  Açısı Değerleri.**

x, mm	$\alpha$ , derece						
	n = 1	n =1,2	n=1,4	n=1,6	n =1,63	n =1,8	n=2
0,00000	6,91602	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
21,91833	6,91602	3,01704	1,31195	0,57015	0,50315	0,24775	0,10765
43,83666	6,91602	3,46465	1,73090	0,86415	0,77862	0,43135	0,21530
65,75499	6,91602	3,75651	2,03544	1,10210	1,00519	0,59662	0,32295
87,67332	6,91602	3,97829	2,28343	1,30968	1,20487	0,75099	0,43060
109,59164	6,91602	4,15923	2,49635	1,49722	1,38666	0,89775	0,53825
131,50997	6,91602	4,31312	2,68495	1,67021	1,55537	1,03869	0,64589
153,42830	6,91602	4,44763	2,85544	1,83195	1,71391	1,17498	0,75352
175,34663	6,91602	4,56751	3,01182	1,98465	1,86422	1,30741	0,86115
219,18329	6,91602	4,77503	3,29242	2,26870	2,14537	1,56281	1,07640
263,01995	6,91602	4,95149	3,54089	2,53064	2,40621	1,80807	1,29161
306,85660	6,91602	5,10572	3,76546	2,77549	2,65128	2,04518	1,50679
350,69326	6,91602	5,24315	3,97141	3,00661	2,88359	2,27552	1,72192
394,52992	6,91602	5,36741	4,16234	3,22632	3,10528	2,50009	1,93701
438,36658	6,91602	5,48102	4,34083	3,43637	3,31794	2,71964	2,15204
482,20323	6,91602	5,58584	4,50884	3,63808	3,52276	2,93475	2,36701
526,03989	6,91602	5,68326	4,66783	3,83250	3,72072	3,14591	2,58191
569,87655	6,91602	5,77436	4,81900	4,02044	3,91257	3,35348	2,79674
613,71321	6,91602	5,85999	4,96327	4,20260	4,09895	3,55780	3,01149
657,54986	6,91602	5,94083	5,10143	4,37955	4,28038	3,75913	3,22616
701,38652	6,91602	6,01744	5,23411	4,55175	4,45730	3,95769	3,44073
745,22318	6,91602	6,09030	5,36185	4,71962	4,63009	4,15370	3,65521
789,05984	6,91602	6,15979	5,48510	4,88350	4,79908	4,34731	3,86959
832,89649	6,91602	6,22623	5,60426	5,04370	4,96455	4,53869	4,08386
876,73315	6,91602	6,28992	5,71967	5,20049	5,12674	4,72796	4,29802
920,56981	6,91602	6,35110	5,83162	5,35410	5,28588	4,91525	4,51205
964,40647	6,91602	6,40997	5,94038	5,50473	5,44216	5,10066	4,72596
1008,24312	6,91602	6,46673	6,04617	5,65257	5,59575	5,28428	4,93974
1052,07978	6,91602	6,52154	6,14919	5,79779	5,74681	5,46621	5,15337
1095,91644	6,91602	6,57453	6,24963	5,94053	5,89548	5,64651	5,36687
1139,75310	6,91602	6,62585	6,34764	6,08094	6,04189	5,82527	5,58021
1183,58975	6,91602	6,67560	6,44339	6,21913	6,18615	6,00255	5,79340
1227,42641	6,91602	6,72389	6,53700	6,35521	6,32838	6,17840	6,00643
1271,26307	6,91602	6,77081	6,62858	6,48930	6,46865	6,35289	6,21930
1315,09973	6,91602	6,81644	6,71826	6,62147	6,60707	6,52606	6,43199
1358,93639	6,91602	6,86086	6,80613	6,75183	6,74372	6,69795	6,64450
1402,77304	6,91602	6,90414	6,89228	6,88045	6,87867	6,86863	6,85683
1415,00000	6,91602	6,91602	6,91602	6,91602	6,91602	6,91602	6,91602

**Ek 6: Farklı n Üsleri İçin  $\alpha$  Açısının Türevi.**

x, mm	d/dx tan( $\alpha$ ) , 1/mm						
	n=1	n=1,2	n=1,4	n=1,6	n=1,63	n=1,8	n=2
21,9183	0,000	0,00048	0,00042	0,00027	0,00025	0,00016	0,00009
43,8367	0,000	0,00028	0,00028	0,00021	0,00020	0,00014	0,00009
65,7550	0,000	0,00020	0,00022	0,00018	0,00017	0,00013	0,00009
87,6733	0,000	0,00016	0,00018	0,00016	0,00015	0,00012	0,00009
109,5916	0,000	0,00013	0,00016	0,00014	0,00014	0,00011	0,00009
131,5100	0,000	0,00011	0,00014	0,00013	0,00013	0,00011	0,00009
153,4283	0,000	0,00010	0,00013	0,00013	0,00012	0,00011	0,00009
175,3466	0,000	0,00009	0,00012	0,00012	0,00012	0,00010	0,00009
219,1833	0,000	0,00008	0,00010	0,00011	0,00011	0,00010	0,00009
263,0199	0,000	0,00007	0,00009	0,00010	0,00010	0,00010	0,00009
306,8566	0,000	0,00006	0,00009	0,00009	0,00010	0,00009	0,00009
350,6933	0,000	0,00005	0,00008	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009
394,5299	0,000	0,00005	0,00007	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009
438,3666	0,000	0,00004	0,00007	0,00008	0,00008	0,00009	0,00009
482,2032	0,000	0,00004	0,00007	0,00008	0,00008	0,00009	0,00009
526,0399	0,000	0,00004	0,00006	0,00008	0,00008	0,00008	0,00009
569,8765	0,000	0,00004	0,00006	0,00007	0,00008	0,00008	0,00009
613,7132	0,000	0,00003	0,00006	0,00007	0,00007	0,00008	0,00009
657,5499	0,000	0,00003	0,00005	0,00007	0,00007	0,00008	0,00009
701,3865	0,000	0,00003	0,00005	0,00007	0,00007	0,00008	0,00009
745,2232	0,000	0,00003	0,00005	0,00007	0,00007	0,00008	0,00009
789,0598	0,000	0,00003	0,00005	0,00006	0,00007	0,00008	0,00009
832,8965	0,000	0,00003	0,00005	0,00006	0,00007	0,00008	0,00009
876,7332	0,000	0,00003	0,00005	0,00006	0,00006	0,00008	0,00009
920,5698	0,000	0,00002	0,00004	0,00006	0,00006	0,00007	0,00009
964,4065	0,000	0,00002	0,00004	0,00006	0,00006	0,00007	0,00009
1008,2431	0,000	0,00002	0,00004	0,00006	0,00006	0,00007	0,00009
1052,0798	0,000	0,00002	0,00004	0,00006	0,00006	0,00007	0,00009
1095,9164	0,000	0,00002	0,00004	0,00006	0,00006	0,00007	0,00009
1139,7531	0,000	0,00002	0,00004	0,00006	0,00006	0,00007	0,00009
1183,5898	0,000	0,00002	0,00004	0,00006	0,00006	0,00007	0,00009
1227,4264	0,000	0,00002	0,00004	0,00005	0,00006	0,00007	0,00009
1271,2631	0,000	0,00002	0,00004	0,00005	0,00006	0,00007	0,00009
1315,0997	0,000	0,00002	0,00004	0,00005	0,00006	0,00007	0,00009
1358,9364	0,000	0,00002	0,00004	0,00005	0,00005	0,00007	0,00009
1402,7730	0,000	0,00002	0,00003	0,00005	0,00005	0,00007	0,00009
1415,0000	0,000	0,00002	0,00003	0,00005	0,00005	0,00007	0,00009

**Ek 7: Farklı n Üsleri İçin Merkez Açılırları.**

x, mm	β, derece						
	n = 1	n = 1,2	n = 1,4	n = 1,6	n = 1,63	n = 1,8	n = 2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21,92	15,30	5,54	2,06	0,78	0,68	0,30	0,12
43,84	30,60	12,73	5,45	2,38	2,10	1,06	0,47
65,75	45,91	20,71	9,61	4,55	4,07	2,19	1,07
87,67	61,21	29,24	14,37	7,21	6,51	3,67	1,90
109,59	76,51	38,22	19,64	10,30	9,37	5,49	2,96
131,51	91,81	47,57	25,35	13,79	12,61	7,62	4,27
153,43	107,11	57,24	31,46	17,65	16,21	10,06	5,81
175,35	122,41	67,19	37,93	21,86	20,15	12,80	7,58
219,18	153,02	87,81	51,84	31,24	28,99	19,12	11,85
263,02	183,62	109,29	66,91	41,82	39,03	26,55	17,07
306,86	214,22	131,50	83,03	53,51	50,17	35,04	23,23
350,69	244,83	154,35	100,09	66,26	62,37	44,56	30,34
394,53	275,43	177,78	118,04	80,00	75,57	55,08	38,40
438,37	306,03	201,75	136,80	94,69	89,74	66,58	47,40
482,20	336,64	226,19	156,32	110,29	104,82	79,04	57,36
526,04	367,24	251,09	176,57	126,76	120,79	92,45	68,26
569,88	397,84	276,40	197,51	144,08	137,62	106,77	80,11
613,71	428,45	302,10	219,11	162,22	155,29	122,01	92,91
657,55	459,05	328,18	241,32	181,15	173,78	138,14	106,66
701,39	489,65	354,61	264,14	200,86	193,05	155,16	121,36
745,22	520,26	381,37	287,54	221,32	213,11	173,05	137,00
789,06	550,86	408,44	311,50	242,51	233,91	191,80	153,59
832,90	581,46	435,82	335,99	264,43	255,46	211,41	171,13
876,73	612,07	463,49	361,01	287,04	277,74	231,85	189,62
920,57	642,67	491,44	386,53	310,35	300,73	253,14	209,05
964,41	673,27	519,65	412,54	334,33	324,42	275,25	229,44
1008,24	703,88	548,12	439,03	358,97	348,80	298,18	250,77
1052,08	734,48	576,84	465,98	384,27	373,86	321,92	273,05
1095,92	765,08	605,80	493,39	410,21	399,58	346,46	296,28
1139,75	795,69	635,00	521,24	436,77	425,96	371,80	320,45
1183,59	826,29	664,42	549,52	463,96	452,99	397,94	345,58
1227,43	856,89	694,05	578,22	491,76	480,65	424,86	371,65
1271,26	887,50	723,90	607,34	520,16	508,95	452,56	398,67
1315,10	918,10	753,96	636,86	549,15	537,86	481,04	426,64
1358,94	948,70	784,22	666,78	578,73	567,39	510,28	455,56
1402,77	979,31	814,67	697,08	608,89	597,53	540,30	485,42
1415,00	987,84	823,20	705,60	617,40	606,04	548,80	493,92

**Ek 8: Farklı n Üsleri İçin Açısal Hız Değerleri.**

x, mm	$\omega$ , rad/s						
	n = 1	n = 1,2	n = 1,4	n = 1,6	n = 1,63	n = 1,8	n = 2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21,92	1771,18	769,62	334,41	145,31	128,23	63,14	27,44
43,84	2947,25	1471,07	734,26	366,49	330,22	182,93	91,31
65,75	3910,77	2116,88	1145,86	620,25	565,69	335,74	181,73
87,67	4723,16	2708,04	1552,66	890,22	818,96	510,41	292,65
109,59	5408,01	3242,22	1943,78	1165,33	1079,25	698,64	418,85
131,51	5951,18	3700,35	2300,83	1430,62	1332,20	889,54	553,10
153,43	6480,17	4155,43	2664,69	1708,74	1598,57	1095,74	702,64
175,35	6895,81	4541,65	2991,17	1970,02	1850,39	1297,47	854,53
219,18	7599,56	5233,58	3604,20	2482,10	2347,04	1709,34	1177,17
263,02	8152,17	5822,64	4158,78	2970,38	2824,16	2121,58	1515,32
306,86	8615,04	6345,90	4674,43	3443,22	3288,90	2536,30	1868,26
350,69	9016,51	6821,38	5160,68	3904,28	3744,26	2953,76	2234,65
394,53	9356,57	7247,39	5613,66	4348,21	4184,76	3368,03	2608,80
438,37	9663,58	7644,59	6047,42	4783,95	4618,69	3784,45	2993,77
482,20	9928,08	8004,97	6454,38	5204,14	5038,76	4196,08	3383,29
526,04	10192,57	8362,50	6861,02	5629,13	5464,48	4618,42	3789,19
569,88	10409,84	8678,58	7235,25	6031,96	5869,61	5028,79	4192,45
613,71	10627,10	8992,01	7608,49	6437,84	6278,51	5447,31	4609,18
657,55	10811,31	9274,97	7956,96	6826,24	6671,09	5856,20	5024,01
701,39	10995,51	9555,55	8304,16	7216,66	7066,30	6271,57	5450,25
745,22	11153,74	9811,29	8630,43	7591,69	7447,05	6677,97	5874,22
789,06	11311,96	10064,88	8955,28	7968,01	7829,62	7089,58	6308,00
832,90	11448,93	10297,50	9261,87	8330,40	8199,00	7492,60	6739,06
876,73	11585,90	10528,15	9566,97	8693,54	8569,59	7899,85	7178,62
920,57	11708,71	10744,07	9858,91	9046,68	8930,75	8301,36	7617,44
964,41	11831,51	10958,24	10149,43	9400,31	9292,82	8706,49	8063,88
1008,24	11940,14	11157,61	10426,37	9743,05	9644,48	9104,51	8507,82
1052,08	12048,77	11355,37	10701,87	10085,98	9996,71	9505,54	8958,50
1095,92	12145,60	11540,46	10965,47	10419,13	10339,56	9900,01	9406,76
1139,75	12242,42	11724,07	11227,66	10752,27	10682,71	10297,00	9861,02
1183,59	12332,16	11899,49	11481,99	11079,14	11019,95	10690,43	10315,35
1227,43	12421,90	12073,58	11735,02	11405,95	11357,39	11086,11	10775,25
1271,26	12504,56	12239,51	11980,09	11726,16	11688,54	11477,61	11234,33
1315,10	12587,21	12404,24	12223,92	12046,22	12019,79	11871,11	11698,55
1358,94	12665,15	12563,16	12461,99	12361,63	12346,65	12262,09	12163,34
1402,77	12743,08	12720,98	12698,92	12676,90	12673,60	12654,91	12632,97
1415,00	12764,16	12764,16	12764,16	12764,16	12764,16	12764,16	12764,16

**Ek 9: Farklı n Üsleri İçin Mermi Devir Sayısı Değerleri.**

x, mm	N, devir/dk						
	n =1	n = 1,2	n = 1,4	n = 1,6	n=1,63	n = 1,8	n =2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21,92	16913,56	7349,29	3193,42	1387,60	1224,52	602,94	261,99
43,84	28144,16	14047,68	7011,66	3499,75	3153,33	1746,84	871,91
65,75	37345,14	20214,76	10942,16	5922,94	5401,98	3206,06	1735,43
87,67	45102,83	25859,85	14826,83	8501,01	7820,49	4874,08	2794,57
109,59	51642,74	30960,89	18561,70	11128,12	10306,06	6671,54	3999,73
131,51	56829,56	35335,79	21971,27	13661,41	12721,60	8494,47	5281,73
153,43	61881,08	39681,46	25445,88	16317,26	15265,17	10463,50	6709,76
175,35	65850,13	43369,54	28563,61	18812,27	17669,96	12389,95	8160,14
219,18	72570,45	49976,98	34417,57	23702,30	22412,58	16323,02	11241,15
263,02	77847,48	55602,08	39713,44	28365,07	26968,75	20259,58	14470,28
306,86	82267,56	60598,85	44637,54	32880,32	31406,63	24219,87	17840,53
350,69	86101,30	65139,42	49280,84	37283,12	35755,05	28206,32	21339,33
394,53	89348,70	69207,47	53606,52	41522,39	39961,53	32162,30	24912,18
438,37	92280,39	73000,46	57748,65	45683,36	44105,26	36138,84	28588,44
482,20	94806,15	76441,86	61634,80	49695,92	48116,60	40069,64	32308,01
526,04	97331,90	79856,02	65517,92	53754,22	52181,96	44102,68	36184,07
569,88	99406,63	82874,37	69091,58	57600,99	56050,66	48021,40	40034,99
613,71	101481,36	85867,36	72655,74	61476,86	59955,36	52017,98	44014,45
657,55	103240,37	88569,46	75983,36	65185,79	63704,20	55922,60	47975,76
701,39	104999,38	91248,75	79298,90	68913,98	67478,18	59889,06	52046,04
745,22	106510,33	93690,96	82414,51	72495,27	71114,08	63769,89	56094,68
789,06	108021,27	96112,53	85516,65	76088,92	74767,35	67700,53	60236,92
832,90	109329,26	98333,91	88444,38	79549,44	78294,67	71549,08	64353,32
876,73	110637,24	100536,44	91357,82	83017,17	81833,52	75437,99	68550,77
920,57	111809,91	102598,35	94145,68	86389,40	85282,41	79272,13	72741,22
964,41	112982,58	104643,50	96919,90	89766,38	88739,88	83140,85	77004,34
1008,24	114019,95	106547,34	99564,47	93039,24	92098,04	86941,66	81243,70
1052,08	115057,31	108435,80	102195,35	96314,03	95461,52	90771,19	85547,33
1095,92	115981,92	110203,28	104712,54	99495,38	98735,55	94538,15	89827,91
1139,75	116906,53	111956,58	107216,22	102676,58	102012,41	98329,14	94165,78
1183,59	117763,48	113631,72	109644,93	105798,01	105232,73	102086,06	98504,35
1227,43	118620,44	115294,17	112061,17	108918,82	108455,13	105864,60	102896,01
1271,26	119409,74	116878,75	114401,40	111976,56	111617,30	109603,13	107279,99
1315,10	120199,04	118451,74	116729,84	115032,97	114780,58	113360,77	111712,88
1358,94	120943,23	119969,30	119003,20	118044,89	117901,81	117094,29	116151,35
1402,77	121687,43	121476,40	121265,74	121055,44	121023,92	120845,50	120635,93
1415,00	121888,71	121888,71	121888,71	121888,71	121888,71	121888,71	121888,71

**Ek 10: Farklı n Üsleri İçin Mermi Açısai İvmesindeki Değişim Değerleri.**

x, mm	$\ddot{\theta}$ , rad/s <sup>2</sup>						
	n = 1	n = 1,2	n = 1,4	n = 1,6	n = 1,63	n = 1,8	n = 2
0,00	-	-	-	-	-	-	-
21,92	1,43E+07	1,86E+09	1,61E+09	1,05E+09	9,73E+08	6,08E+08	3,30E+08
43,84	2,16E+07	2,96E+09	2,95E+09	2,20E+09	2,09E+09	1,47E+09	9,15E+08
65,75	2,30E+07	3,76E+09	4,07E+09	3,30E+09	3,16E+09	2,38E+09	1,61E+09
87,67	2,29E+07	4,36E+09	4,99E+09	4,29E+09	4,14E+09	3,28E+09	2,35E+09
109,59	2,21E+07	4,78E+09	5,72E+09	5,14E+09	5,00E+09	4,11E+09	3,08E+09
131,51	2,10E+07	5,00E+09	6,21E+09	5,79E+09	5,66E+09	4,80E+09	3,73E+09
153,43	1,99E+07	5,24E+09	6,71E+09	6,45E+09	6,34E+09	5,52E+09	4,42E+09
175,35	1,88E+07	5,33E+09	7,02E+09	6,93E+09	6,83E+09	6,08E+09	5,01E+09
219,18	1,65E+07	5,42E+09	7,45E+09	7,70E+09	7,64E+09	7,06E+09	6,08E+09
263,02	1,45E+07	5,39E+09	7,69E+09	8,23E+09	8,22E+09	7,84E+09	7,00E+09
306,86	1,28E+07	5,32E+09	7,82E+09	8,64E+09	8,67E+09	8,49E+09	7,81E+09
350,69	1,13E+07	5,23E+09	7,91E+09	8,97E+09	9,04E+09	9,05E+09	8,56E+09
394,53	1,01E+07	5,13E+09	7,94E+09	9,22E+09	9,32E+09	9,52E+09	9,22E+09
438,37	9,09E+06	5,03E+09	7,95E+09	9,43E+09	9,56E+09	9,94E+09	9,83E+09
482,20	8,31E+06	4,92E+09	7,92E+09	9,58E+09	9,74E+09	1,03E+10	1,04E+10
526,04	7,69E+06	4,83E+09	7,92E+09	9,75E+09	9,94E+09	1,07E+10	1,09E+10
569,88	7,22E+06	4,73E+09	7,88E+09	9,85E+09	1,01E+10	1,09E+10	1,14E+10
613,71	6,84E+06	4,64E+09	7,85E+09	9,97E+09	1,02E+10	1,12E+10	1,19E+10
657,55	6,53E+06	4,55E+09	7,80E+09	1,00E+10	1,03E+10	1,15E+10	1,23E+10
701,39	6,27E+06	4,47E+09	7,76E+09	1,01E+10	1,04E+10	1,17E+10	1,27E+10
745,22	6,03E+06	4,38E+09	7,70E+09	1,02E+10	1,05E+10	1,19E+10	1,31E+10
789,06	5,80E+06	4,30E+09	7,65E+09	1,02E+10	1,05E+10	1,21E+10	1,35E+10
832,90	5,54E+06	4,22E+09	7,59E+09	1,02E+10	1,06E+10	1,23E+10	1,38E+10
876,73	5,27E+06	4,15E+09	7,54E+09	1,03E+10	1,06E+10	1,24E+10	1,41E+10
920,57	4,96E+06	4,07E+09	7,47E+09	1,03E+10	1,07E+10	1,26E+10	1,44E+10
964,41	4,62E+06	4,01E+09	7,42E+09	1,03E+10	1,07E+10	1,27E+10	1,47E+10
1008,24	4,25E+06	3,94E+09	7,36E+09	1,03E+10	1,07E+10	1,28E+10	1,50E+10
1052,08	3,88E+06	3,88E+09	7,30E+09	1,03E+10	1,07E+10	1,30E+10	1,53E+10
1095,92	3,61E+06	3,81E+09	7,24E+09	1,03E+10	1,08E+10	1,31E+10	1,55E+10
1139,75	3,36E+06	3,75E+09	7,19E+09	1,03E+10	1,08E+10	1,32E+10	1,58E+10
1183,59	2,97E+06	3,70E+09	7,13E+09	1,03E+10	1,08E+10	1,33E+10	1,60E+10
1227,43	2,73E+06	3,64E+09	7,08E+09	1,03E+10	1,08E+10	1,34E+10	1,62E+10
1271,26	2,71E+06	3,59E+09	7,02E+09	1,03E+10	1,08E+10	1,35E+10	1,65E+10
1315,10	2,91E+06	3,54E+09	6,97E+09	1,03E+10	1,08E+10	1,35E+10	1,67E+10
1358,94	3,37E+06	3,49E+09	6,92E+09	1,03E+10	1,08E+10	1,36E+10	1,69E+10
1402,77	4,17E+06	3,45E+09	6,88E+09	1,03E+10	1,08E+10	1,37E+10	1,71E+10
1415,00	4,46E+06	3,43E+09	6,86E+09	1,03E+10	1,08E+10	1,37E+10	1,72E+10

**Ek 11: Farklı n Üsleri İçin Setlere Etkiyen Tork Değerleri.**

x, mm	T, Nm						
	n = 1	n = 1,2	n = 1,4	n = 1,6	n = 1,63	n = 1,8	n = 2
0,00	-	-	-	-	-	-	-
21,92	58,41	30,98	15,90	7,96	7,17	3,92	1,90
43,84	75,34	46,51	27,66	16,03	14,74	9,11	5,10
65,75	82,12	55,79	36,33	22,99	21,42	14,24	8,68
87,67	84,65	61,67	42,89	28,91	27,19	19,05	12,34
109,59	81,78	63,43	46,67	33,16	31,43	22,98	15,64
131,51	75,60	62,08	47,98	35,66	34,02	25,80	18,30
153,43	70,09	60,75	49,09	37,98	36,44	28,52	20,96
175,35	65,10	58,96	49,42	39,53	38,11	30,63	23,20
219,18	56,55	55,28	49,33	41,72	40,55	34,07	27,14
263,02	49,95	51,92	48,69	43,07	42,13	36,68	30,43
306,86	44,61	48,91	47,84	43,95	43,22	38,78	33,29
350,69	39,96	46,02	46,77	44,42	43,90	40,44	35,77
394,53	36,66	43,87	45,97	44,89	44,55	41,97	38,08
438,37	33,61	41,76	45,04	45,13	44,94	43,21	40,13
482,20	31,20	39,99	44,21	45,30	45,26	44,30	41,99
526,04	28,78	38,21	43,32	45,36	45,46	45,27	43,76
569,88	26,96	36,75	42,54	45,39	45,62	46,11	45,34
613,71	25,14	35,30	41,73	45,35	45,69	46,86	46,84
657,55	23,70	34,07	41,01	45,29	45,74	47,52	48,21
701,39	22,26	32,84	40,26	45,18	45,73	48,11	49,51
745,22	21,12	31,80	39,61	45,07	45,72	48,65	50,71
789,06	19,98	30,77	38,94	44,93	45,67	49,13	51,86
832,90	19,05	29,88	38,34	44,79	45,61	49,56	52,92
876,73	18,12	28,99	37,73	44,63	45,52	49,96	53,94
920,57	17,31	28,19	37,16	44,46	45,42	50,31	54,89
964,41	16,51	27,40	36,59	44,27	45,30	50,62	55,79
1008,24	15,83	26,69	36,06	44,09	45,18	50,91	56,64
1052,08	15,15	25,99	35,53	43,89	45,05	51,17	57,46
1095,92	14,60	25,39	35,07	43,72	44,94	51,42	58,25
1139,75	14,05	24,80	34,61	43,54	44,81	51,66	59,01
1183,59	13,54	24,23	34,16	43,35	44,67	51,86	59,72
1227,43	13,04	23,67	33,70	43,15	44,52	52,05	60,41
1271,26	12,61	23,19	33,31	42,99	44,40	52,24	61,09
1315,10	12,19	22,70	32,91	42,81	44,27	52,42	61,74
1358,94	11,81	22,26	32,54	42,65	44,15	52,60	62,38
1402,77	11,43	21,81	32,16	42,48	44,02	52,76	63,00
1415,00	11,33	21,70	32,07	42,44	43,99	52,81	63,18

## ÖZ GEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Şahin Çağrı  
Uyruğu : T. C.  
Doğum tarihi ve yeri : 20.06.1993 / Trabzon  
Telefon : 0543 270 39 32  
e - mail : cagri\_-\_sahin@hotmail.com



### Eğitim

Derece	Üniversite ve Bölüm	Mezuniyet tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği	Ocak 2018
Lisans	Anadolu Üniversitesi İşletme	Devam Ediyor

### Meslekî Deneyim

Yıl	Yer	Görev
1	TR Mekatronik Sistemler Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Ar - Ge Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce