

T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİLAH MEKANİK SİSTEMLERİ İÇİN ÜÇ BOYUTLU EĞİTİM  
MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Nisa AY

TEMMUZ 2018

**Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında** Nisa AY tarafından hazırlanan SİLAH MEKANİK SİSTEMLERİ İÇİN ÜÇ BOYUTLU EĞİTİM MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

(Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası)  
Ortak Danışman (Varsa)

Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan (Danışman) : Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR \_\_\_\_\_  
Üye : Dr. Öğretim Üyesi Muharrem PUL \_\_\_\_\_  
Üye : Dr. Öğretim Üyesi İhsan TOKTAŞ \_\_\_\_\_

19/07/2018

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### SİLAH MEKANİK SİSTEMLERİ İÇİN ÜÇ BOYUTLU EĞİTİM MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

AY, Nisa

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR

2018, 112 sayfa

Bu çalışmada, ülkemizde ve dünyada geniş bir uygulama alanına sahip olan ve her geçen gün önem kazanan silah sistemleri içerisinde spesifik olarak havadan karaya füze sistemleri ele alınmıştır. Bir füze sistemi tasarımı oluşturulması için Pahl ve Beitz tarafından ortaya atılan Sistematik Tasarım Yaklaşımı'na bağlı Kavramsal Tasarım yöntemi kullanılmıştır. Füze tasarımı için elde edilen optimum tasarım çözümünün modellenmesinde SolidWorks katı modelleme programı kullanılmıştır. Bilgisayar ortamında modellenen tasarımın prototip olarak üretilebilmesi için günümüzde hızla gelişen üç boyutlu yazıcı teknolojilerinden yararlanılmıştır. 3 boyutlu yazıcı ile; gerekli filament ve çıktı ayarları yapılarak oluşturulan model, parçalar halinde basılmış ve geçmeli olarak birleştirilmiştir. Böylece belirlenen silah sistemlerinden, sistem yapısının farklı renklerle kullanılarak gösterilebildiği, üç boyutlu eğitim modelleri oluşturulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Silah sistemleri, 3 Boyutlu Yazıcılar, Sistemik Tasarım,  
Kavramsal Tasarım

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF 3D TRAINING MODEL FOR WEAPONS MECHANICAL SYSTEMS**

AY, Nisa

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Defense Technologies, Master Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR

2018, 112 pages

In this work, airborne to land missile systems have been dealt with within the weapon systems which have wide application in our country and in the world and gain importance every passing day. A conceptual design method based on the Systematic Design Approach introduced by Pahl and Beitz was used to design a missile system design. With this method, an optimal design solution for missile design has been achieved. SolidWorks solid modeling program is used in the modeling of the design. Rapidly developing 3D printer technology has been used to produce prototypes that are modeled in computer environment. With 3D printer; the model created by making the necessary filament and output settings is printed in pieces and interlaced. Thus, three dimensional education models were created, from which the system structure can be displayed using different colors, from the determined weapon systems.

**Key Words:** Weapon Systems, 3D Printers, Systematic Design, Conceptual Design

## TEŐEKKÖR

Tezimin hazırlanma sürecinde akademik bilgi, deneyim ve tavsiyelerinden yararlandığım kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR'e, büyük fedakârlıklarla bana destek olan aileme ve arkadaşlarıma, üzerimde emeği olan bütün öğretmenlerime en içten teşekkürlerimi sunarım.



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	x
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xii
<b>SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. SİLAH TANIM VE TARİFİ</b> .....	6
2.1. Silah .....	6
2.2. Silahın Tarihsel Gelişimi .....	6
2.3. Silahın Sınıflandırılması .....	8
2.3.1. Ateşli Silahlar .....	9
2.3.1.1. Ağır Ateşli Silahlar .....	9
2.3.1.2. Hafif Ateşli Silahlar .....	10
2.3.2. Ateşsiz Silahlar .....	14
2.3.3. Nükleer, Biyolojik ve Kimyasal Silahlar (N.B.C.) .....	16
2.3.3.1. Nükleer Silahlar .....	16
2.3.3.2. Biyolojik Silahlar .....	17
2.3.3.3. Kimyasal Silahlar .....	18
2.4. Mühimmat .....	18
2.4.1. Büyük Kalibre Mühimmatlar .....	19
2.4.1.1. Sevk Sistemi.....	20
2.4.1.2. Mermi Kompleksi .....	21
2.4.2. Mühimmatların Sınıflandırılması .....	23
2.4.3. Roket ve Füze Sistemleri .....	24
2.4.3.1. Füzelerin Çalışma Prensibi .....	26
2.4.3.2. Füzelerin Sınıflandırılması .....	26
2.4.3.3. Füze ve Güdüm .....	27

2.4.3.4. Füzenin Temel Yapısı .....	28
2.4.3.5. Roketlerin Çalışma Prensibi .....	29
2.4.3.6. Roketlerin Sınıflandırılması .....	30
<b>3. ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR .....</b>	<b>31</b>
3.1. Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihsel Gelişimi .....	31
3.2. Üç Boyutlu Yazıcıların Avantajları .....	32
3.3. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojileri .....	33
3.3.1. Fused Deposition Modelling (FDM) .....	33
3.3.2. Stereolithography (SLA) .....	35
3.3.3. Polyjet Ve Multijet .....	35
3.3.4. Selective Laser Sintering (SLS) .....	35
3.3.5. Renkli 3D Baskı (Binder Jetting, SDL Ve Triple Jetting) .....	35
3.3.6. Digital Light Processing (DLP) .....	36
3.3.7. Metal 3D Baskı (DMLS Ve EBM) .....	36
3.4. Üç Boyutlu Yazdırma Süreçleri .....	36
3.5. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Malzemeler .....	38
3.5.1. Akrlonitril Bütadien Stiren (ABS) Plastik .....	38
3.5.2. Polilaktik Asit (PLA) Plastik .....	39
3.5.3. Poliamid .....	39
3.5.4. Reçine .....	39
3.5.5. Kumtaşı (Sandstone) (Renkli) .....	40
3.6. Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanım Alanları .....	40
3.6.1. Endüstriyel Kullanım .....	40
3.6.1.1. Seri Prototipleme .....	40
3.6.1.2. Seri Üretim .....	41
3.6.1.3. Kütle Özelleştirme .....	41
3.6.1.4. Kütle Halinde Üretim .....	41
3.6.1.5. Yerel Ve Hobi Kullanımı .....	41
3.6.1.6. Kıyafet Tasarımı .....	42
3.6.2. Tüketici Kullanımı .....	42
3.6.3. Uzay Araştırmalarında Kullanımı .....	42
<b>4. KAVRAMSAL TASARIM .....</b>	<b>45</b>
4.1. Mühendislik Tasarımı .....	45

4.1.1. Pahl Ve Beitz'in Sistemantik Tasarım Yaklaşımı .....	46
4.1.2. Kavramsal Tasarım .....	47
4.1.2.1. Tasarım Görevini Belirleme Ve Düzenleme .....	49
4.1.2.2. Özleştirme Ve Problem Formülasyonu .....	49
4.1.2.3. Fonksiyon Yapıları Geliştirme .....	50
4.1.2.4. Çalışma İlkeleri Arama .....	51
4.1.2.5. Çözüm Prensiplerini Birleştirme .....	52
4.1.2.6. Uygun Birleşimleri Seçme .....	53
4.1.2.7. Çözüm Seçenekleri Oluşturma Ve Gösterme .....	53
4.1.2.8. Çözüm Seçeneklerini Değerlendirme .....	53
<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>55</b>
5.1. Füze Kavramsal Tasarımı .....	55
5.1.1. Tasarım Görevini Belirleme Ve Düzenleme .....	55
5.1.2. Özleştirme ve Problem Formülasyonu .....	57
5.1.3. Fonksiyon Yapıları Geliştirme .....	57
5.1.4. Çalışma İlkeleri Arama .....	59
5.1.5. Çözüm Prensiplerini Birleştirme .....	60
5.1.6. Uygun Birleşimleri Seçme .....	67
5.1.7. Çözüm Seçenekleri Oluşturma Ve Gösterme .....	68
5.1.8. Çözüm Seçeneklerini Değerlendirme .....	70
5.2. Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) .....	75
5.2.1. SolidWorks .....	76
5.2.1.1. SolidWorks Yazılımı .....	77
5.2.2. Füze Bileşenlerinin SolidWorks İle Katı Modellenmesi .....	78
5.3. Üç Boyutlu Yazıcı İle Prototip Üretimi .....	87
5.3.1. Yazıcının Özellikleri .....	88
5.3.2. Kullanım Alanları .....	91
5.3.3. Yazıcının Desteklediği Filamentler .....	91
5.3.3.1. Z-ULTRAT .....	91
5.3.3.2. Z-ABS .....	97
5.3.4. Z-SUITE .....	101
5.3.5. Füze Bileşenlerinin Çıktısı, Montajı ve Eğitim Modeli .....	102
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>105</b>





## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Silahların sınıflandırılması .....	8
2.2. Ateşli silahların sınıflandırılması .....	9
2.3. Hafif ateşli silahların sınıflandırılması .....	10
2.4. Büyük kalibre mühimmatların sınıflandırılması .....	19
2.5. Mermi ve bölümleri.....	21
2.6. Bir füzenin temel yapısı .....	29
2.7. Roketlerin sınıflandırılması.....	30
3.1. Üç boyutlu yazıcıların tarihsel gelişimi .....	32
3.2. FDM sisteminin çalışma prensibi .....	34
3.3. Üç boyutlu yazdırma süreçleri .....	37
3.4. Made in Space firmasının ürettiği The First Zero-Gravity Printer .....	44
4.1. Sistemik tasarım yaklaşımı aşamaları .....	47
4.2. Kavramsal tasarım aşamaları .....	48
5.1. Füzenin tüm fonksiyon yapısı .....	58
5.2. Füzenin alt fonksiyon yapısı .....	58
5.3. Öncelikli çözüm 1 .....	61
5.4. Öncelikli çözüm 2 .....	61
5.5. Öncelikli çözüm 3 .....	62
5.6. Öncelikli çözüm 4 .....	62
5.7. Öncelikli çözüm 5 .....	63
5.8. Öncelikli çözüm 6 .....	63
5.9. Öncelikli çözüm 7 .....	64
5.10. Öncelikli çözüm 8 .....	64
5.11. Öncelikli çözümlerin listesi.....	65
5.12. Çözüm prensipleri tablosu .....	66
5.13. Alternatif çözümlerin fiziksel temsilleri .....	66
5.14. SOM-B2 füzesi .....	69
5.15. HİSAR füzesi .....	69
5.16. AGM-114 HELLFIRE .....	70

5.17.	Füze tasarımı için oluşturulan amaçlar ağacı .....	71
5.18.	Değer profil diyagramı .....	74
5.19.	Optik göz .....	78
5.20.	Kontrol ünitesi .....	79
5.21.	Füze başlığı .....	80
5.22.	Modüler bağlama parçası .....	80
5.23.	Ön kanat gövdesi .....	81
5.24.	Ön kanatçıklar .....	82
5.25.	Ön bağlama gövdesi .....	82
5.26.	Arka bağlama gövdesi .....	83
5.27.	Roket motoru .....	84
5.28.	Arka kanatçıklar .....	84
5.29.	Yönlendirme kanatları .....	85
5.30.	Elektronik bağlantı girişi .....	86
5.31.	Füze montaj resmi .....	86
5.32.	Zortrax M200 üç boyutlu yazıcının görüntüsü .....	87
5.33.	Z-ULTRAT filament .....	92
5.34.	Z-ABS filament .....	97
5.35.	Z-Suite arayüz Programı .....	101
5.36.	Z-Suite baskı ön hazırlama ayarları .....	102
5.37.	Bir füze eğitim modelinin montaj görüntüsü .....	104

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

	<u>Sayfa</u>
2.1. Füzelerin genel sınıflandırılması.....	26
5.1. Füze tasarım şartnamesi .....	56
5.2. Füze tasarımı sınıflandırma şeması.....	59
5.3. Seçim kartı .....	68
5.4. Füze tasarımı için oluşturulan değerlendirme tablosu .....	73
5.5. Zortrax M200 üç boyutlu yazıcının fiziksel boyutları .....	88
5.6. Zortrax M200 yazıcının baskı özellikleri.....	89
5.7. Zortrax M200 yazıcının sıcaklıkla ilgili özellikleri .....	89
5.8. Zortrax M200 üç boyutlu yazıcının elektriksel özellikleri.....	90
5.9. Zortrax M200 üç boyutlu yazıcının genel özellikleri.....	90
5.10. Zortrax M200 yazılım özellikleri .....	91
5.11. Z-ULTRAT filamentinin renk seçenekleri.....	93
5.12. Z-ULTRAT filamentinin fiziksel özellikleri.....	93
5.13. Z-ULTRAT filamentinin mekanik özellikleri.....	94
5.14. Z-ULTRAT filamentinin termal özellikleri .....	96
5.15. Z-ABS renk seçenekleri .....	98
5.16. Z-ABS filament mekanik özellikleri.....	98
5.17. Z-ABS filamentinin bazı spesifik özellikleri .....	99
5.18. Z-ABS filamentinin statik çekme testi sonuçları .....	100
5.19. Z-ABS filamentinin Charpy darbe testi sonuçları.....	100
5.20. Z-ABS filament küre baskı sertlik testi sonuçları.....	101
5.21. Füze modeli baskısı temel verileri .....	103

## SİMGELER DİZİNİ

A	Amper (Elektriksel Akım)
A	Arzular
Cal.	Kalibre
°C	Celsius derecesi
Ç	Çözüm
$E_{\text{Batarya}}$	Batarya enerjisi
$E_{\text{Kimyasal}}$	Kimyasal enerji
$E_{\text{Mekanik}}$	Mekanik enerji
°F	Fahrenheit derecesi
GPa	Giga Pascal (Basınç)
Hz	Hertz (Frekans)
İ	İhtiyaçlar
İnç	İngiliz uzunluk ölçü birimi
J	Joule
MPa	Mega Pascal (Basınç)
N	Newton (kuvvet)
V	Volt (Elektriksel Potansiyel Farkı)
W	Watt (Güç)
$W_t$	Amaçlar ağacından elde edilen değer
$\Sigma_{\text{ad}}$	Ağırlıklı Değerler Toplamı
$\Sigma_d$	Değerler Toplamı
$\Sigma_{W_t}$	Amaçlar ağacı değerler toplamı

## KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ABS	Akrilonitril bütadien stiren
AGM	Anti-Tank Guided Missile
ANS	Tümleşik Ataletsel Navigasyon Sistemi
Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
DIN	Alman Standartlar Enstitüsü
DLP	Digital Light Projection
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
.dxf	Drawing Exchange Format
EBM	Electron Beam Melting
FDM	Fused Deposition Modelling
FFF	Fused Filament Fabrication
FOSS	Free and Open-Source Software
GNU	General Public License
GPS	Küresel Konumlandırma Sistemi
GS	Güdüm Sistemi
HA	Hedef Arayıcı
HB	Brinell Sertliği
HB	Harp Başlığı
HCN	Hidrojenik asit
HEAT	Yüksek Patlamalı Anti Tank
ICG	Interactive Computer Graphics
IIR	Kızılötesi Görüntülemeli Arayıcı
ISO	Uluslararası Standartlar Kurumu
İHA	İnsansız Hava Aracı
KKB	Kanatçık Kontrol Birimi

KKS	Küresel Konumlama Sistemi
KSS	Kimyasal Silah Sözleşmesi
LS	Laser Sintering
MIT	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü
m.s.	milattan sonra
NASA	ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NATO	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
.obj	Object File
PLA	Polilaktik asit
PN	Nominal Dayanma Basıncı
SDL	Selective Deposition Lamination
SLA	Stereolitography
SLS	Selective Laser Sintering
SO <sub>2</sub>	Kükürtdioksit
SS	Sevk (Motor) Sistemi
STL	Stereolithography
.stl	Stereolithography
UV	Ultraviyole
vb.	ve benzeri
YRNS	Yeryüzü Referanslı Navigasyon Sistemi
Yy	yüzyıl
3D	3 Boyutlu
3DP	3 Boyutlu Yazıcı
.3mf	3D Manufacturing Format Document

## 1. GİRİŞ

Ülkelerin siyasi ve ekonomik alanlardaki gücünü belirleyen önemli faktörlerden biri savunma sanayidir. Savunma sanayinde dünyadaki teknolojik ilerlemelere paralel olarak yeniliğe, değişime ve modernizasyona sürekli olarak ihtiyaç vardır. Türkiye'deki özel sektörün en yüksek düzeyde katılım göstereceği, teknolojik gelişmelerde günceli yakalayan, hatta yeniliklerin kaynağı olabilecek ulusal bir savunma sanayinin gelişimi, devletimiz tarafından desteklenmektedir [1].

Askeri sistemlerde meydana gelen teknoloji odaklı gelişim ve sivil alandaki teknolojik gelişmelerin askeri alandaki uygulamalarının artması, savunma ve güvenlik konularının ana merkezini teknoloji ve bilgi üstünlüğü haline getirmiştir [2].

Teknoloji ve bilgi üstünlüğü ana merkezi doğrultusunda yapılan çalışmalarla günümüze gelen süreçte eski üretim yöntemlerinden yeni ve güncel üretim yöntem ve tekniklerine geçiş yapıldı. Uzun yıllardan beri süregelen yöntemlerde silah sanayi, ayrı ayrı üretilen ürünlerden oluşmaktaydı. Günümüzde ise bu parçaların birleştirilmesinden oluşan bütünleşik sistemler ön plandadır. Bu eğilim, ülkeleri gelecekte de farklı özelliklere sahip savunma amaçlı ürünleri kendi kaynakları ile üretmek ve sürekli geliştirmek zorunda bırakacaktır. Savunma sektöründe üretilen ürünlerin olgunlaşma dönemi giderek kısalmaktadır. Buna bağlı olarak da sürekli Ar-Ge faaliyetleri ve yeni tasarım yöntemleri üzerinde çalışılmaktadır [3].

Tasarım, silah sistemleri için vazgeçilmez bir adımdır. Kelime anlamı olarak tasarım; fikir, kavram ve bir soruna uygun çözüm bulmak olarak özetlenebilir [3].

Tasarım teknikleri incelendiğinde; klasik yöntemlerde bazı eksiklikler belirlenmiş, bu eksikliklerin düzeltilmesi adına çalışmalar başlamıştır. Tasarım işleminin formülize edilmesine yönelik ilk çalışmalar 2. Dünya savaşı sırasında yapılmıştır. Sonraki zamanda da çalışmalar sürekli geliştirilerek yeni ve daha esnek temsil teknikleri olan tasarım yöntemleri üzerinde durulmuştur. Günümüzde kullanılan



sistematik tasarımın ortaya çıkmasında rol alan en önemli araştırmacıları Rodenacker, Roth, Koller, Pahl ve Beitz, Kusiak, Ehrlenspiel ve John olarak sıralayabiliriz [3].

Sistematik tasarım teknikleri, modern tasarım olarak da adlandırılabilir. Bu tasarım teknikleri; tasarımcının veya öğrencinin, kişisel tecrübe ya da becerisine gerek kalmadan, tasarım işlemini bilimsel ve formüle edilebilen işlemlere bölebilir. Bunun sonucunda öğrenci ya da tasarımcının bilişsel, duyuşsal veya devimsel giriş davranışları tasarım işlemi içerisinde değerlendirilebilir. Günümüzde, bu tasarım öğretim yönteminde değerlendirme aşamasında bilgisayar teknolojileri de kullanılmaktadır [3].

Tasarımda kullanılan bilgisayar teknolojileri ve yazılımlara bakacak olursak; öğretim için doğrudan etkileşimli ve üç boyutlu, görsel elementleri ağır basan sanal gerçeklik yazılımları, benzeşim ve çoklu ortam yazılımlarından daha fazla özellik ve avantaja sahiptir. Ancak çoklu ortamlarda, bilgi temsillerinin şekli, işleniş sırası ve ilişkilerin belirginleştirilerek verilmesi durumunda bu tür yazılımlar başarılı olmaktadır. Bu nedenle sistematik tasarım teknikleri kullanılarak yapılan bilgisayar uygulamalarında başarının artırılabilmesi için tasarım işleminin sistematik basamaklarına ve ana fonksiyon yapılarıyla bir uyum oluşturulmalıdır. Silah sistemleri ve çeşitli mekanik sistemlerin sistematik tasarımında edinilen tüm bilgiler; formüller, fonksiyonlar, çizimler, katı modeller, grafikler vb. şekillerde temsil edilebilir. Bilgi temsillerinin seçiminde tasarım işlemi merkezinde bulunan bilgisayar veya insan karar vericinin durumuna göre uygun olan seçim yapılmalıdır. Bilgisayar merkezli temsil modellerinden insan merkezli temsil modellerine doğru bir sıralama şu şekilde yapılabilir: diller, geometrik modeller, graflar, objeler, bilgi modelleri ve görüntüler. Bilgisayar merkezli bilgi temsillerinin en önemli özellikleri, verilerin çok hızlı şekilde işlenebilmesi ve uygun çözüm için muhakeme yeteneğidir. Bilgi temsillerinin insana yönelik olanlarında ise, ilgili temsil yöntemlerini kullanarak problemin çözümünde etkin rol oynayan tasarımcı insandır [3].

Tüm bu tasarım yöntemleri ile birlikte üretim yöntem ve tekniklerinde de günümüzde çok önemli gelişmeler meydana gelmektedir. Bu gelişmelerden en öne çıkan ise üç

boyutlu yazıcılarla üretim teknolojisi olarak gösterilebilir. Üç boyutlu yazdırma, dijital ortamda hazırlanan üç boyutlu tasarım (CAD) modelinden üç boyutlu katı nesnelere üretim süreci olarak tanımlanır. Bu işlemleri gerçekleştiren makinelere ise üç boyutlu yazıcı (Three-Dimensional Printer) adı verilmiştir. Tasarımcının hazırladığı üç boyutlu model, bilgisayar ortamında dilimlenerek katmanlara ayrılır ve bu katmanlar üç boyutlu yazıcı ile baskı esnasında ergitilen malzeme üst üste gelecek şekilde yazdırılarak somut nesnelere haline getirilir. 3D yazıcı teknolojileri, katmanları üst üste yığılma tekniği ile çalışmaktadır. Katmanları oluşturma yöntemleri ise farklılık göstermektedir. Bu tekniklerden en yaygın kullanılanı ise plastik malzemenin ergitilerek katı nesnelere haline getirildiği yöntemdir [4].

Üç boyutlu yazıcılar ilk olarak 1970'li yılların sonunda ortaya çıktı. İlk üç boyutlu yazıcı ise 1984 yılında Charles Hull tarafından yapılmıştır. Bu yazıcı teknolojisi 70'li yıllarda, boyutu çok büyük ve oldukça maliyetli bir teknolojiydi. Günümüze kadar gelişmeye devam eden üç boyutlu yazıcılar ise artık yeni ve çok çeşitli teknolojilerle çalışabilen, neredeyse her boyutta, kalitede ve renkte üretim yapabilen bir teknoloji haline geldi. Ev tipi üç boyutlu yazıcılar da giderek yaygınlaştı [4].

3D yazıcı teknolojileri sayesinde ürün tasarım ve üretim sürecinde oluşabilecek sorunlar önceden görülebilir ve çözüm yolları oluşturulabilir. Bu durum ayrıca tasarımcının da zamandan tasarruf etmesini sağlar. Üç boyutlu yazıcılarla bilgisayar ortamında oluşturulan tüm tasarımların prototipleri yapılabilir. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırılırsa, 3D yazıcılar ile prototip hazırlamak hem süreci hem de maliyeti önemli ölçüde azaltır, seri üretime hızlıca geçiş yapılabilir. Üç boyutlu yazıcılar avantajları sayesinde; tıp, havacılık, uzay, savunma gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

Bahsedilen tüm bu teknolojik gelişmeler, güncel tasarım ve üretim tekniklerini incelendiğinde; silah tasarımı için sistematik bir yol oluşturulması, yeni model ve çözümlerin bulunmasının günümüzde adeta bir yarış haline geldiği görülmektedir. Bu teknolojik üstünlüğü elde edebilmek ve algılayabilmek amacıyla görsel ve anlaşılabilir eğitim teknikleri kullanmak gerekmektedir. Bu nedenle çeşitli silah sistemlerinin yapısının incelenebildiği, bilgisayar ortamında 3 boyutlu modellendiği

ve üç boyutlu yazıcı teknolojiyle üretimi yapılarak gerçek eğitim modellerinin oluşturulduğu bu çalışmada, eğitim kalitesinde artış ve öğrenme düzeyinde başarı elde edileceği düşünülmektedir.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar bölümlere ayrılmıştır. Bu bölüm başlıkları ve içerikleri şu şekilde kısaca özetlenebilir.

1.bölüm, çalışmanın içeriğinde önem arz eden silah sistemleri, üç boyutlu yazıcılar ve sistematik tasarım konularında yapılan çalışmaların genel hatlarıyla incelendiği bölümdür.

2. bölüm, silah ve mühimmat bölümüdür. Bu bölüm; silahların tarihsel gelişimi, sınıflandırılması ve mühimmatlar konusunda temel bilgiler içermektedir. Tez kapsamında çalışması yapılan füze sistemleri de mühimmatlar sınıfına girmektedir.

3.bölüm, üç boyutlu yazıcılar bölümüdür. Bu bölümde; 3D yazıcıların tarihsel gelişimi, çalışma prensipleri, yazıcı çeşitleri, kullanım alanları gibi bu tür yazıcıları tanımak amacıyla temel konulara yer verilmiştir. Çalışma kapsamında bilgisayar ortamında tasarlanan füze modelinin basımı da 3D yazıcı ile yapılmıştır. Kullanılan 3D yazıcının baskı teknolojisi (Lazer Sinterleme) hakkında da bu bölümde bilgi verilmiştir.

4. bölüm, eğitimde model kullanımını anlatan bölümdür. Bu bölümde öğrenme-öğretme sürecinde hem öğrenci hem de öğretmen açısından araç-gereçlerin önemi, gerçek eşya ve model kullanımının sağladığı faydalar anlatılmıştır. Tez çalışması kapsamında savunma sistemleri eğitimlerinde kullanılmak üzere bir füze eğitim modeli oluşturulmuştur. Bu eğitim modelinin kullanımının getirdiği avantajlara da ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

5. bölüm, materyal ve yöntem bölümüdür. Bu bölümde füzenin tasarım aşamasından itibaren üretilen modelin çıktısına kadar olan tüm süreç ele alınmıştır. Öncelikle füze ve roket sistemleri, çalışma prensipleri, temel kısımları hakkında bilgiler verilmiştir. Bir mühendislik tasarımı yöntemi olan kavramsal tasarım basamakları anlatılmış,

füze modelinin tasarım aşamaları görsel verilerle desteklenerek gösterilmiştir. Bilgisayar destekli tasarım ve SolidWorks programı hakkında bilgi verilmiştir. Füze modelinin SolidWorks programında yapılan tasarım aşamaları ve tasarlanan parçaların resimleri, füze üzerindeki bağlantı yerleri gösterilmiştir. Son aşamada ise baskıda kullanılan yazıcı olan Zortrax M200, kullanılan filamentler, baskı ayarları, parçaların çıktısı ve füze montaj aşaması anlatılmıştır.

6. bölüm sonuç bölümüdür. Bu bölümde çalışmanın yapılış amacı, kullanılan yöntemler, eğitime sağladığı katkı ve konunun yeni çalışmalara açıklığı hakkında bilgiler verilmiştir.



## 2. SİLAH TANIM VE TARİFİ

### 2.1. Silah

Türk Dil Kurumu sözlüğünde silah; savunmak veya saldırmak amacıyla kullanılan araç olarak tanımlanmaktadır. 6136 Sayılı Ateşli Silahlar Ve Bıçaklar İle Diğer Aletler Hakkındaki Kanun'da ise "canlıları öldürebilen, yaralayan, etkisiz bırakan, canlı organizmaları hasta eden, cansızları parçalayan veya yok eden ruhsata tabi araç ve aletlerin tümü olarak tanımlanmıştır [5].

### 2.2. Silahın Tarihsel Gelişimi

Ateşli silahların tarihi barutun keşfi ile başlamıştır fakat barutun keşif zamanı ve kaşifi bilinmemektedir. Prof. J. K. Partington araştırmalarında, M.S. 1000'li yıllardan önce Çinlilerin güherçile esaslı barut kullandıklarını ortaya koymuştur. 12. yy'da İspanya'da, Müslüman Endülüslerin kolayca tutuşabilen tozlarla uğraştığı da bilinmektedir. Bu nedenle, tozların Çin'e Kuzey Afrika üzerinden Müslüman tüccarlar tarafından götürüldüğü görüşü daha yaygındır. 1776 yılında Doğu Hindistan Şirketi tarafından yapılan, eski Sankritçe yazıların çevrilmesi çalışmalarıyla ise barutun Hindistan'da 500 yıldır bilindiği ortaya çıkmıştır [6].

Kara barut insanlık tarihinde bilinen en eski patlayıcıdır ve 13. yy 'dan beri Avrupa'da kullanılmaktadır. Kara barutun pek çok çeşidi geliştirilmiştir ancak fazla duman çıkarması ve artık oluşturması sebebiyle zaman içinde yerini dumansız baruta bırakmıştır. Dumansız barutun temel maddesi nitroselülozdur. Yanma veya patlama anında ortaya çıkan gazın hacmi 900 - 1000 kat büyüyerek bir basınç oluşturur. Dumansız barut ilk önce av tüfekleri için geliştirilmiştir ve bu tüfeklerde kullanımı hakkında farklı görüşler mevcuttur. Harrison'a göre, 1864 yılında Prusya ordusunda Yüzbaşı E.Schultze tarafından başarılı şekilde kullanılmıştır.. Berg ise, ilk kullanımın Fransa'da 1884 yılında M.Vieille 'ye ait olduğunu söylemektedir [6].

1887 yılında Alfred Nobel; nitrogliserin, nitroselüloz ve kâfur birleşimini oluşturmuş, böylece "Ballistite" adı verilen dumansız barutu icat etmiştir. Bundan sonra seri halde kısa namlulu silahlar yapılmaya başlanmıştır. Buna ek olarak yarı dumansız baruttan da söz edilebilir. Yarı dumansız barut, % 85 kara barut ile % 15 dumansız baruttan oluşur [6].

1900'lü yıllar incelendiğinde, artık pek çok askeri tüfekte dumansız barutun kullanıldığı görülmektedir. O yıllarda dumansız barutun başlıca imalatı ABD'deki Nemours Şirketi tarafından yapılmaktaydı. Barutun tarihsel olarak gelişimini ve etkisini arttırmasına benzer şekilde, ateşli silahlarda da önemli gelişmeler görülmüştür. Silahların ateşleme sistemlerinde, namlu ve mermilerinde önemli aşamalar kaydedilmiştir. 1776 yılında ateşleme sistemi olarak ağızdan doldurulan ilkel tüfekler yerine ilk defa haznesi mermi ile doldurulan tüfekler ortaya çıkmıştır. Bu tür silahlar 1776 yılında İngiliz ordusu tarafından Ferguson markasıyla kullanılmaya başlanmıştır. Makineli silahların gelişimine 2 Mart 1963 tarihli İngiliz Kraliyet Cemiyetinin kayıtlarında rastlanmaktadır. Bu kayıtlara göre yarı otomatik silahların prensiplerini İngilizler bulmuştur. Yarı otomatik silahlarda önemli bir gelişme de 1881-1883 yılları arasında gerçekleşmiştir. Amerikalı Hiram Maxim, tetik basılı kaldığı ve şarjörde mermi bulunduğu sürece silahın geri tepmesi ile dolumu sağlayan ve ateşe devam eden ilk makineli silahı meydana getirmiştir. Bu gelişme o yıllarda savaşlarda büyük etkiler oluşturmuştur [6].

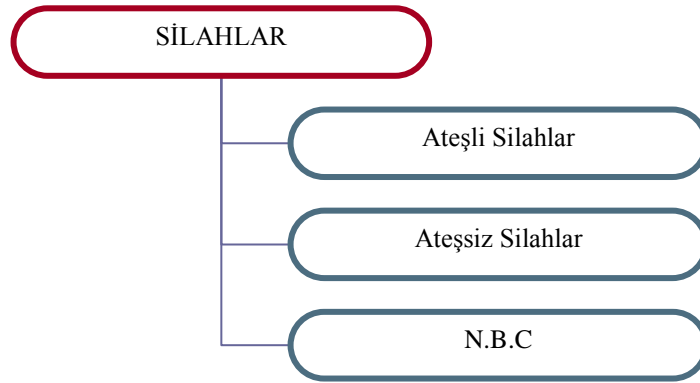
Otomatik tabancalar ilk defa Schanberger tarafından Avusturya'da imal edilmiş olup, bu silahlarda her atış için tetiğe ayrı olarak basmak gerekir. Ticari olarak ilk başarılı yarı otomatik tabanca 1892'de Amerikalı Borchard tarafından üretilmiştir. Silahlar fonksiyonel açıdan 18. yy sonlarında oldukça gelişmiş durumdaydı. Eski silah modellerinde namluların birleştiği kısmın her atışta 5 el ile döndürme zorunluluğu vardı. Londralı Joseph Land'ın çalışmaları sonucunda bu döndürme işlemi mekanik hale getirildi. 1951 yılında Pepperboz tipindeki ilk Fransız revolveri olan Lefauchaux yapıldı ve sonrasında arkadan doldurulan mermiler ile birçok revolver ortaya çıktı. Toplu tabancalardaki (revolver) bu gelişim 1900'lü yıllarda da devam etti. 0,25 kalibrelik Manufrance gibi otomatik silahlar ortaya çıktı. Colt 0,45 modeli ve Luger gibi daha geliştirilmiş silahlar Birinci Dünya Savaşı'ndan önce yapıldı [6].

Birinci ve İkinci Dünya Savaşı dönemlerinde hafif silahlardaki gelişmeler hızlanarak devam etmiştir. Çap, atış şekli ve menzil gibi özelliklerde Kore, Vietnam ve Arap-İsrail savaşları boyunca gelişme kaydedilmiştir. İkinci dünya savaşından sonra susturucu (silencer) adı verilen bir parça keşfedilmiştir. Susturucu sayesinde patlama sesi hafifletilmiş ancak atış mesafesi tayini daha zor olmuştur [6].

Hızla gelişen teknolojiyle birlikte günümüzde dijital muharebe sahası ve robot teknolojisine dayalı olarak, silah sistemleri ve taktik nükleer mühimmatlar olmak üzere, kitle imha silahları önem kazanmıştır. Ancak bölgesel çatışmalar ve önemli bir tehdit olan terörizm, piyade tarafından kullanılan hafif silahların da önemini ortaya koymaktadır. Piyade tüfekleri, gelecekte büyük gelişme beklenen silah sistemlerinin başında gelmektedir. Başta ABD, Almanya, Fransa, İsrail, Singapur ve Rusya olmak üzere pek çok ülke tarafından bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Gelişen dijital teknolojilere paralel olarak gelecekte silah teknolojisinde de önemli atılımlar beklenmektedir [6].

### 2.3. Silahların Sınıflandırılması

Silahlar, çeşitli özelliklere göre farklı şekillerde sınıflandırılır. Şekil 2.1’de görüldüğü üzere genel olarak silahları; ateşli, ateşsiz ve N.B.C. (nükleer, biyolojik, kimyasal) silahlar olarak sınıflandırabiliriz [5].

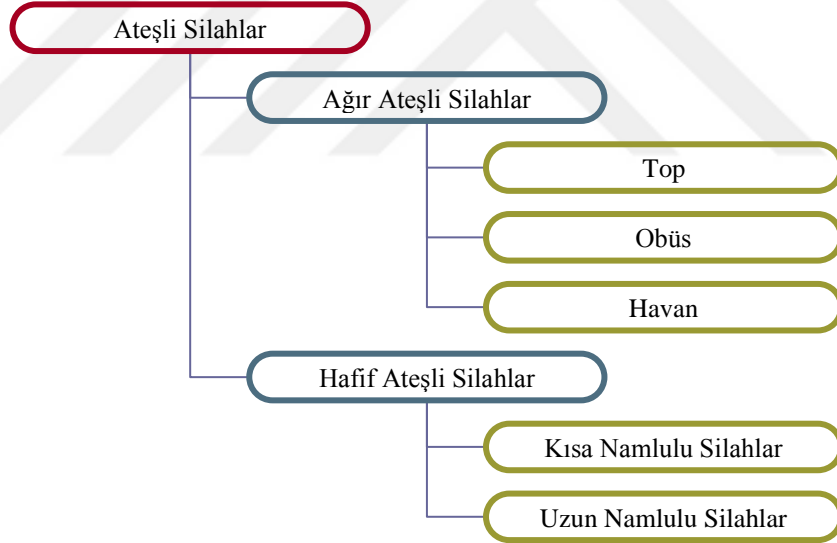


Şekil 2.1. Silahların sınıflandırılması

### 2.3.1. Ateşli Silahlar

6136 Sayılı Ateşli Silahlar Ve Bıçaklar İle Diğer Aletler Hakkındaki Kanun'da ateşli silah; “mermi çekirdeği veya saçma tabir edilen özel şekil ve nitelikteki maddeleri, barut gazı veya bu neviden patlayıcı ve itici güç ile uzak mesafelere kadar atabilen silahlar” şeklinde tanımlanmıştır [5].

Ateşli silahlar; Şekil 2.2.'de görüldüğü üzere, ağır ateşli silahlar ve hafif ateşli silahlar olarak iki gruba ayrılırlar. Hafif ateşli silahlar genellikle adli vakalarda karşımıza çıkar, kısa namlulu ve uzun namlulu olmak üzere ikiye ayrılır. Uzun namlulu ateşli silahlar ise harp silahları ve av silahları olmak üzere iki gruptan oluşur. Ordu bünyesinde kullanılan silahlar ise ağır ateşli silahlardır [5]. Ağır silahlar; top, obüs, havan ve roketatar olarak sınıflandırılır [7].



Şekil 2.2. Ateşli silahların sınıflandırılması

#### 2.3.1.1. Ağır Ateşli Silahlar

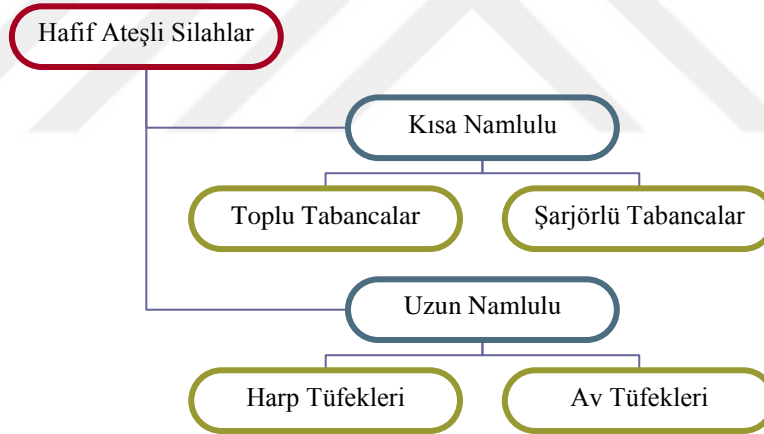
Namlu çapı 60 kalibreden (0,6 inç veya 15 mm) büyük olan, mürettebat tarafından kullanılan büyük ve modern savaş silahlarıdır. Ağır ateşli silahlar top, obüs ve havan



olarak sınıflandırılır. Toplar, uzun namlulu ve uzun menzillidir, mermi yolu daha yatayıdır. Obüsün namlusu ve menzili daha kısadır, mermi yolu yumuşak bir yay çizer. Havan ise çok kısa namlulu ve kısa menzillidir, yüksek bir açıyla ateşlendiği için mermi yolu firkete biçiminde olur. Hem top hem de obüs özelliği taşıyan ara tipler de bulunur. Bunlar ise obüs-top olarak adlandırılır [7].

### 2.3.1.2. Hafif Ateşli Silahlar

Hafif ateşli silahlar; isabet oranı yüksek, bir kişi tarafından kullanılabilen, menzili ve tahrip gücü düşük silahlar olarak tanımlanabilir. Örnek olarak; tabanca, tüfek ve makineli gösterilebilir. Sınıflandırmada ise Şekil 2.3.'te de görüldüğü gibi uzun namlulu ve kısa namlulu ateşli silahlar olarak ayrılırlar [8].



Şekil 2.3. Hafif ateşli silahların sınıflandırılması

#### ➤ Kısa namlulu ateşli silahlar (tabancalar)

Kısa namlulu ateşli silahlara tabanca adı verilir. Kullanılan mermilerin çaplarına, çalışma prensiplerine ve mermi muhafaza bölümlerinin şekline göre tabancalar; şarjörlü (pistol) veya toplu (revolver) olarak sınıflandırılırlar [9].

- Toplu (revolver) tabancalar

Toplu; tabancada fişeklerin dizildiği silindirik tambur şeklindeki yapıya denir. Toplu üzerinde, toplu merkezine göre eşit açı ile delinerek oluşturulmuş ve fişeklerin dizildiği fişek yatakları bulunur. Genel olarak toplular altı adet fişek aldığı için halk arasında altıpatlar adıyla da bilinirler. Fakat toplusu 5-8 arasında değişen fişek kapasitesi olan silahlar da vardır. Küçük çaplı fişekler için (22 kalibre gibi) toplu kapasitesi 12 fişeğe kadar çıkabilir. Genellikle silahın toplusu, bir mandal kullanılarak yana devrilmek suretiyle açılır. Bazı eski model silahlarda (Smith Wesson Model 3 Schofield gibi) silah kırılmak suretiyle toplu açılır. Açılan topluya fişek yükleme ve boş fişek kovanlarını boşaltma işlemi gerçekleştirilir. Son adımda ise toplu kapatılarak silah kullanıma hazır hale getirilir. Toplu tabancayı doldurmak zaman almaktadır. Zamandan tasarruf için fişekler tabla adı verilen metal klipse dizilebilir ve böylece dizili fişekler tek seferde silaha yüklenebilir. Fakat tabla kullanılsa dahi toplu bir tabancayı doldurmak şarjörlü bir tabancaya göre daha fazla zaman alır. Bu da şarjörlü tabancaları avantajlı hale getirir [9]. Genel olarak toplu tabancaların emniyet kilidi yoktur ve tetik çekildiği anda ateş alır. Acil olarak silah çekip ateş etmek gerektiğinde toplu tabancalar, şarjörlü tabancalara göre daha avantajlıdır. Fakat silahı kullanan kişinin kendi emniyet açısından dikkatli olması gerekir. Toplu tabancaların yeni modellerinde bazı üretici firmalar emniyet mandalı koymaya başlamıştır [9].

- Şarjörlü tabancalar

Silahın içi mermiyle doldurulan kısmına şarjör adı verilir. Bu kısma mermiler üst üste sırayla dizilir ve şarjör tabancanın kabza denilen, elle tutulan kısmının içindeki yuvaya yerleştirilir. Silahın ateşlenmesiyle barut genişler, mermi çekirdeği kovandan ayrılarak namludan çıkar, kovan tepkimeyle silahın sürgüsünü geri iter, sürgü geri geldiğinde boş kovan dışarı atılır ve yeni gelecek mermiye yer açar. İrca yayı ileri itme hareketi yapar ve şarjörün yay ile beslediği yeni ateşe hazır bir fişek namlu yatağına yerleşir. Şarjörlü tabancalarda sürgü her atışta geri gelir ve ileri gider. Bu hareket boş kovanının dışarı atılmasını, ateşe hazır fişegin yatağına yerleşmesini, silahın ateşleme iğnesi ve horozunun yeniden kurulmasını sağlar. Yapısı gereği şarjörlü tabancalar kolay doldurulabilir, hızlı ve etkin atış olanağı sağlar ayrıca fişek kapasitesi yüksektir. 6+1'den başlayarak 16+1'e kadar değişen fişek kapasiteleri

mevcuttur. Şarjörlü tabancalarda fişek adedinin yanına yazılan (+1) ifadesi ile, namlu yatağında atışa hazır bekleyen fişek gösterilir. Bu nedenle şarjörlü bir tabancanın şarjörü çıkarılırsa tabanca boşalmaz. Namlu yatağındaki fişeğin sürgü çekilerek dışarı atılması gerekir. Fakat boş silah doldurulurken, sadece şarjörün içindeki fişek kadar silahın içine fişek yüklenebilir [9].

#### ➤ Uzun Namlulu Ateşli Silahlar

Namlu uzunluğu fişek yatağı dâhil 33 cm den fazla olan silahlar, uzun namlulu silah olarak adlandırılır. Piyade tüfeği, sualtı tüfeği, av tüfeği gibi kullanım yerlerine göre çeşitleri vardır. Uzun namlulu ateşli silahlarda atış omuza dayandırılarak gerçekleştirilir. Dört ana parçadan oluşan bir yapıya sahiptir. Bunlar; mekanizma, dipçik, kundak ve namludur. Uzun namlulu ateşli silahlar, harp tüfekleri ve av tüfekleri olarak sınıflandırılırlar [8].

##### ▪ Harp tüfekleri

Harp tüfekleri; etki alanı yüksek, uzun namlulu, uzun menzilli, yivli ve delici güce sahip silahlardır. Otomatik ve makineli olarak kullanılmaktadırlar. G3, Kalasnikov (Keleş/AK 47), HK 23, M16 en çok kullanılan modelleri olarak sıralanabilir [8].

##### ▪ Av tüfekleri

Av tüfekleri, kullanımı yaygın silahlardır. Yiv-setli ve kanal namlulu (yiv-set olmayan) modelleri vardır. Önceleri çift veya tek namlulu olarak kullanılmış, daha sonra pompalı ve yarı otomatik modellerle dış çevre ve fişek kapasitesi artırılmıştır. Üretilen ilk modeli ağızdan dolmalıdır. Günümüzde kuyruktan dolmalı modelleri de mevcuttur. Namlu özellikleri bakımından; tek namlu, yan yana iki namlu (çifte), üst üste iki namlu (süperpoze) modelleri olmakla birlikte fişek kapasitesi 7 ve 8'e çıkabilen pompalı, yarı otomatik modelleri de bulunur. 6136 sayılı yasaya göre yivli av tüfekleri ruhsata tabidir. Yivsiz av tüfekleri ise yasa kapsamına girmez [8].

#### ➤ Ateşli silahlarda önemli bazı kavramlar

##### ▪ Fişek

Canlı veya cansızlar üzerinde tahribat yapan, ateşli silahlarda kullanılan yapıya fişek adı verilir. Barut, çekirdek, kovan ve kapsülden meydana gelir. Fişekler; uygun bir

ateşli silahla ateşlendiğinde belirlenen mesafede, seçilmiş avı öldürmek veya yaralamak amacıyla, merminin hedefi vurabilmesi için tasarlanmıştır. Silahın türüne ve çapına uygun olarak çeşitli çap, tip ve modellerde fişekler üretilmektedir. Tüfek ve tabancalarda kullanılan fişeklere hafif silah fişekleri denir. Fişekler ayrıca kapsülün bulunduğu bölgeye göre merkez veya kenar vuruşlu olarak imal edilebilirler [5].

- Kovan

Silahın ateşlenmesiyle mekanizma tarafından dışarıya atılan bölüme kovan adı verilir. Kovan; kapsül, barut ve mermi çekirdeğini üzerinde barındırır. Bakır-çinko alaşımı olan pirinç, çelik veya alüminyum gibi metaller kullanılarak üretilirler [5].

- Kapsül

Tetik çekildiğinde silahın ateşleme iğnesinin ilk çarptığı nokta kapsüldür. İçerisinde kimyasal karışımlar bulunur ve bu karışımlar başlatıcılar olarak adlandırılır. Kapsülde patlamaya hassas maddelerin yanı sıra; oksitleştirici ve yanıcı maddeler de mevcuttur [5].

- Barut

Yanarak mermi çekirdeğinin namlu içerisinde itilmesini sağlayan, kovan içerisine yerleştirilmiş patlayıcı maddelere barut adı verilir. Bu özelliğe ek olarak otomatik silahlarda, silahların çalışmasını sağlayan basıncı oluşturur. Kısa zamanda yanar ve büyük basınçlı bir gaza dönüşür. Kara barut ve dumansız barut olarak iki farklı çeşidi vardır. Günümüzde kara barut pek tercih edilmemektedir. Genellikle avcılıkta ve elle doldurulan fişeklerde kullanılır. Barutun karışımında; %70-80 oranında potasyum nitrat, %12-20 oranında odun kömürü, %3-14 oranında da kükürt bulunur. Karışımındaki potasyum nitrat, kömür ve kükürtün yanması için gerekli olan oksijeni verir. Kükürt ise barutun kolayca tutuşmasını sağlar ve yakılınca çok miktarda gaz oluşur. Barutun bileşenlerinden olan kömürün yanmasıyla karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), kükürtün yanmasıyla da, kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) gazları açığa çıkar. Geriye potasyum sülfat, potasyum karbonat ve potasyum sülfür kalır. Bunlar da yüksek bir basınç meydana getirir. Bu basınçla ateşli silahlarda mermi ileriye fırlatılır. Günümüzde dumansız sevk maddeleri, ana oksitletirici olarak nitroselüloz içerir. Sadece nitroselüloz içeren tek bazlı sevk maddeleri olduğu gibi, bu karışıma nitrogliserin eklenerek iki bazlı, nitroguanidin eklenerek de üç bazlı sevk maddeleri yapılabilir. Yapılan işlemi kolaylaştırmak, kimyasal kararlılığı arttırmak ve namlu çıkışı alevini

azaltmak için kararlılık sağlayıcılar, plastikleştiriciler, kaplayıcılar, yanma düzenleyiciler ve yükseltgeyiciler gibi çeşitli katkı maddeleri kullanılabilir [5].

- Mermi çekirdeği

Hedef üzerinde tahribat yapan, silahın ateşlenmesiyle namludan geçip hedefe giden kısımdır. Çok çeşitli maddelerden üretilmektedir. En çok imal edilen mermi türü metal olandır. Teknolojik gelişmelerle birlikte plastikten de mermi üretilmeye başlanmıştır [5].

- Ateşli silahlarda çap

Ateşli silahlarda silah çapına kalibre (cal) adı verilir. Kalibre üç sistemle ifade edilebilir. Bunlar; metrik, Anglo-Amerikan ve NATO kalibrasyon sistemleridir. Metrik kalibrasyon sisteminde silahın ateşlediği mermi çapı ve kovan boyu milimetre cinsinden ifade edilir. Hepsi milimetre cinsinden olmak üzere önce mermi çekirdeğinin çapı yazılır, sonra kovan boyu yazılarak fişek ifade edilmiş olur. Örneğin: 9x19 fişeginin açılımı şu anlama gelir. Mermi çapı 9 mm, kovan boyu 19 mm. Bazı fişekler standart fişeklerden farklılık gösterir. Bu durumda söz konusu farklılığı ifade etmek için kalibrasyon sonuna bazı harfler ilave edilir. Örneğin, 7x57R fişegini ele alalım. Bu fişek standart 7x57 fişeginden biraz farklıdır. Sonundaki 'R' harfi fişegin tabanında bulunan tırnak yuvasının içe doğru çevresel kanal şeklinde değil, dışa doğru çevresel tırnak şeklinde olduğunu ifade eder. Şarjörlü tabancalar genellikle mm cinsinden ifade edilirken, toplu (revolver) tabancalar kalibre cinsinden ifade edilirler. Kalibre cinsinden ifade edilenler silahlarda çap .22 Cal, .45 Cal, .338 Cal şeklinde yazılır. Kalibre olarak yazılan çapın milimetre eşdeğerini hesaplamak için kalibre 0,254 ile çarpılır [9].

### **2.3.2. Ateşsiz Silahlar**

Ateşsiz silahlar; hançer, kama, saldırma, şişli baston, kılıç, pala, sustalı çakı, kasatura, süngü, topuz, topuzlu kamçı, sivri uçlu ve oluklu bıçaklar, boğma teli ya da zinciri, muşta ve benzeri sadece saldırı ve savunma amacıyla kullanılan aletlerin genel adıdır. 6136 sayılı kanunla birlikte tüm bu ateşsiz silahların kullanılması yasaklanmıştır [10].

Bazı ateşsiz silahlar ve özellikleri şu şekilde sıralanabilir [10]:

- Hançer: Çift ağızlı, eğri ve sivri uçlu, kavisli yapılı bir namlusu olan bıçak türüdür.
- Kama: Çift ağızlı, sivri uçlu, düz ya da enli namlusu bulunan, oluklu veya oluksuz bıçaklardır.
- Pala: Tek ağızlı ve enli bir ağız yapısına sahip, sivri uçlu bir tür kılıçtır. Ortaya doğru genişleyen ve uç kısmı doğru daralan, ağır, hafif kıvrık, kalın ve kısa bir namlusu vardır.
- Kılıç: Büyük boy bıçak türüdür. Namlusu sivri uçlu olmakla birlikte tek-çift ağızlı, eğri-düz, ince-kalın gibi farklı şekillerde olabilir.
- Saldırma: 50-100 cm uzunluğundadır. Her iki ağzı da keskin olabilen uzun bir bıçak türüdür. İç bükey ağzı daha keskin özellik gösterir. Oluklu veya oluksuz, sivri uçlu, ucu biraz eğrice yapıdadır. Namlusu hafif kavislidir.
- Topuz: Malzemesi demir, bakır ve ağaçtan oluşan bir tür alettir. Yuvarlak ya da parçalı (dilimli) bir baş kısmı vardır. İçi dolu ya da boş halde olabilir. Eğer baş kısmı yuvarlak ise, dış yüzeyi düz veya sivri-çıkıntılı halde olur. Parçalı baş kısmına sahip ise, her parçanın üzeri küt ya da sivri uçlu halde olur.
- Topuzlu Kamçı (Zincirli Topuz): Zincir, sap ve yuvarlak yapıda bir topuz kısımlarından oluşan alettir. Sap kısmı ve topuz; demir, bakır ya da ağaçtan yapılabilir. Topuzun içi dolu veya boş olabilir, dış yüzeyi ise düz olabileceği gibi çok sayıda sivriltilmiş yapıda da olabilir.
- Muşta: Ele geçirilerek kullanılan bir alettir. Üzerinde baş parmak dışında diğer dört parmağın her birinin geçeceği delikler bulunur. Dış yüzeyi düz ya da çıkıntılı yapıda olabilir.
- Sustalı Çakı: Namlu ve sap kısımlarından oluşan bir tür çakıdır. Namlusu sap kısmının içerisinde. Sapın üzerinde bulunan mandal yardımıyla namlu açılabilir ve tekrar yerine yerleştirilebilir.
- Kasatura: Kısa ve düz bir kılıç türüdür. Tüfek namlusunun uç kısmına takılır. Bel kayışına asılı olarak taşınabilir.
- Süngü: Küçük kılıç biçiminde, delici bir silahtır. Tüfek namlusunun ucuna takılabilir.

### **2.3.3. Nükleer, Biyolojik ve Kimyasal Silahlar (N.B.C)**

Silahların sınıflandırılmasında üçüncü ve son kısım N.B.C adı verilen nükleer, biyolojik ve kimyasal silahların sınıflandırılmasıdır. Bu silahlar genel olarak bakıldığında çok tehlikeli ve ölümcül etkiye sahip silahlardır.

#### **2.3.3.1. Nükleer Silahlar**

Nükleer silah: enerjisini atomun çekirdeğindeki fisyon ve füzyon gibi nükleer reaksiyonlardan alan, patlama özelliği bulunan, çok kısa bir sürede büyük bir yeryüzü parçasını etkileyebilen; ısı, radyasyon, basınç gibi ölümcül etkileri olan ve etkileri onlarca yıl devam edebilen çok güçlü bir silah çeşididir [11].

Ortaya çıktıktan kısa bir süre sonra nükleer silahlar çok farklı şekillerde kullanılmaya başlanmıştır. Kullanım şekillerine örnek olarak; uçaktan atılan veya füze ile sevk edilen bir bomba, obüsle fırlatılan bir mermi, denizaltı veya su üstü gemilerine karşı kullanılan torpido, su bombası veya deniz mayını gösterilebilir. Teknolojik gelişmelerle birlikte günümüzde nükleer silahlar; özellikle belirli askeri hareketler için tasarlanmış değişik nükleer silah türlerini kapsayan çok karmaşık silah sistemlerinden, büyük kentlerdeki nüfusu öldürmek için tasarlanmış, daha az verimli olmasına karşın yine de ölümcül olan nükleer patlayıcılara kadar değişen çok geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Nükleer silahlar, diğer silahlarla karşılaştırıldığında çok daha yıkıcı etkilere sahiptir. Bu durumun nedeni şöyle açıklanabilir: Nükleer reaksiyonlar; bir kimyasal reaksiyona veya yanma olayına oranla çok daha büyük bir hızla gerçekleşir ve reaksiyon sonucu büyük miktardaki enerji çok kısa bir zaman içerisinde açığa çıkar [11].

Nükleer silahlar üç şekilde sınıflandırılabilir [11]:

- Atom bombası
- Hidrojen bombası
- Nötron bombası

### 2.3.3.2. Biyolojik Silahlar

İnsan, hayvan ve yararlı bitkileri öldürmek, yaralamak veya tahrip etmek amacıyla hastalık yapıcı virüslerin, mikroorganizmaların ya da ürünlerinin kullanıldığı silahlar biyolojik silah olarak adlandırılır. Bu silahlar ile yapılan bir savaş ise biyolojik savaştır. Biyolojik savaş amacı ile kullanılan virüs, mikroorganizma ve mikroorganizma toksinlerinin genel adı biyolojik savaş ajanıdır (BSA) [12].

Biyolojik savaş ajanlarının özellikleri genel olarak şöyle sıralanabilir [12]:

- Üretim, depolama ve uygulama aşamaları kolaydır ancak neden oldukları hastalıklardan korunmak çok pahalı ve zordur.
- Tarım ve hayvancılık, biyoteknolojik çalışmalar, aşı ve ilaç üretimi gibi insani amaçların arkasına gizlenerek üretimi yapılabilir..
- Hastalık yapıcı özellikleri olan mikroorganizmalar patojen olarak adlandırılır. Doğada patojen özellik göstermediği halde genetik değişimler sonucu patojen hale getirilen mikroorganizmalar ve bunların toksinleri kullanılabilir.
- Öldürücü etkileri olabilir.
- Dağılımı çok geniş bir kitleyi kapsayabilir. Fakat çoğu biyolojik silah ajanı yara ve çatlak olmadığı sürece deriye nüfuz edemez. Bu durumda solunum veya sindirim yoluyla bulaşabilir.
- Bulaşma riski veya ikincil geçiş, kimyasal silahlara göre oldukça yüksektir.
- Biyolojik savaş ajanlarını kimyasal silahlardan ayıran en önemli özellik etkilerinin anında değil zamanla görülmesidir. Hastalık oluşturma etkinliğine ve mikroorganizmanın yaptığı hastalık türüne bağlı olarak kuluçka süresi birkaç günden birkaç aya kadar değişebilir.
- Açık alanda kullanıldıklarını belirlemek zaman alır ve oldukça zordur. Tat ve koku duyularıyla varlıkları anlaşılabilir.
- Kullanıldıkları bölgelerde, kullanıcı için de bir tehdit olabilirler.
- Kullanıldıkları bölgeden, taşıyıcı canlılar (portör, rezervuar, vektör böcekler) , hasta insanlar, su ve besin maddeleri yoluyla farklı bölgelere yayılabilirler. Uluslararası ticaret, turizm ve hızlı nakil araçları da yayılımı arttıran etkenlerdir.
- Etkisini hızlı gösterip aynı hızla kaybolabilir veya uzun yıllar boyunca ciddi boyutta çevre kirliliği oluşturabilirler.



- Terör ve şiddetin de etkisiyle kitleleri paniğe sürükleyebilir.
- Etkileri doğal salgın vakalarıyla karıştırılabilir. Bu nedenle biyolojik silah kullanıldığına karar vermek zor olabilir.

### **2.3.3.3. Kimyasal Silahlar**

Kimyasal Silah Sözleşmesi'ne (KSS) göre kimyasal silahlar: "Kimyasal etkileri sonucunda insanlarda ve hayvanlarda ölüme, geçici veya kalıcı sakatlıklara yol açan her türlü kimyasal maddelerdir." şeklinde tanımlanmaktadır. 20. yüzyılda askeri mühimmatlar arasında bulunan ya da savaşlarda kullanılan kimyasallar iki grupta incelenebilir. Bunlar, taciz maddeleri ve yaralayıcı maddelerdir [13].

- Taciz maddeleri; etkisi sınırlı olan ancak düşman kuvvetlerinin etkinliğini azaltarak onları maske ve koruyucu elbise gibi ekipmanları kullanmaya sevk eden, koruyucu ekipmanı olmayan kuvvetleri ise alandan uzaklaştırmaya yarayan maddelerdir. Etkileri çoğunlukla kısa sürede kaybolur ancak maruz kalma düzeyi yüksekse yaralanma ve ölüme de yol açabilirler. Göz yaşartıcı gazlar ve hapşürtücü maddeler, taciz maddelerine birer örnektir [13].
- Yaralayıcı maddeler; öldürme veya ciddi yaralama maksadıyla kullanılan maddelerdir ve %10 oranında kısa sürede ölüme yol açabilirler. Bazı türlerine (sinir gazı, fosjen veya hardal gazı gibi) ölümcül dozda maruz kalınırsa birkaç dakika içinde öldürücü etki gösterebilir. Akciğeri tahriş eden maddeler, kan ajanları, deriyi kabartan zehirli gazlar, sinir ajanları ve psikokimyasal ajanlar gibi türleri mevcuttur. Yaralayıcı maddelere maruz kalınması sonucu oluşan yaralanmalarda ise en iyi ihtimalle kronik bronşit veya kansere yakalanma riski artmaktadır [13].

## **2.4. Mühimmatlar**

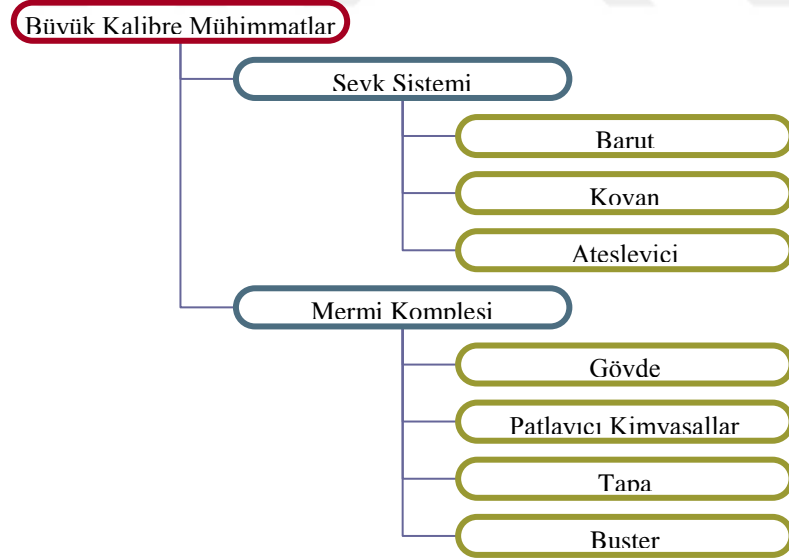
Personele, malzemeye, askeri hedeflere zarar vermek için bir silaha yerleştirilerek atılan ya da havadan bırakılan; patlayıcı ve çeşitli kimyevi maddeler içeren malzemelere mühimmat adı verilir [14].

Mühimmatlar üç gruba ayrılır [14]:

- Küçük Kalibre Silah Mühimmatı, 5.56 mm ile 12.7 mm arasındaki çapa sahip mühimmatlardır.
- Orta Kalibre Silah Mühimmatı, 12.7 mm ile 40.0 mm arasındaki çapa sahip mühimmatdır.
- Büyük Kalibre Silah Mühimmatı, alt bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

#### 2.4.1. Büyük Kalibre Mühimmatlar

60.0 mm ve üstü çapa sahip mühimmatlardır. Top, tank, obüs, havan gibi ateşli silahlardan atılırlar. Büyük kalibre mühimmatlar Şekil 2.4.'de de görüldüğü üzere iki alt sistemden oluşur. Bunlar, sevk sistemi ve mermi kompleksidir. Sevk sistemi barut, kovan ve ateşleyiciden oluşmaktadır. Mermi kompleksi ise gövde, patlayıcı kimyasallar, tapa ve buster kısımlarından meydana gelmektedir [14].



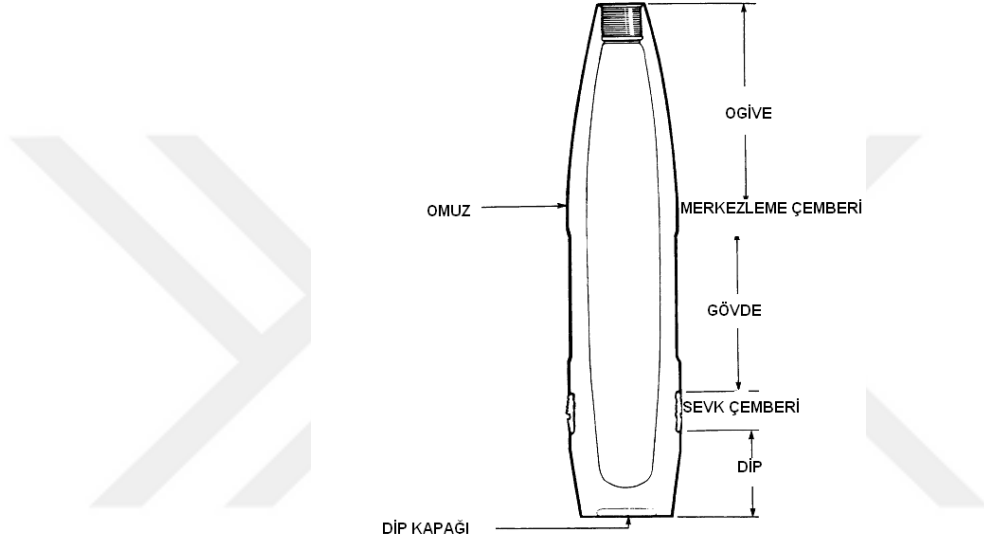
Şekil 2.4. Büyük kalibre mühimmatların sınıflandırılması

### 2.4.1.1. Sevk Sistemi

- Kovan: Sevk barutunun bulunduğu merminin alt bölgesine tutturulan metal malzemedir. Ateşlemenin ardından kovan sistemi ile mermi birbirinden ayrılır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte metal kovan yerine yanar kovan ya da modüler barut sistemi kullanılmaktadır [14].
- Ateşleyici: Ateşleyiciler, primer patlayıcı olarak da bilinirler. Barutun yanması için gereken ilk ateşlemeyi sağlarlar ve sevk barutlarına göre daha yüksek hızda yanabilirler. Ateşleyici olarak bilinen en eski barut, kara baruttur. Bazı mühimmatlarda kara barut kullanılmaktadır [14].
- Kara barut: Genel olarak %75 potasyum nitrat, %15 odun kömürü, %10 kükürten oluşan fiziksel karışımdır ve ilkel barut olarak da adlandırılır. En az iki veya daha fazla farklı inorganik bileşiklerden de oluşabilir. Yüzyıllardır kullanılan kara barut, günümüz koşulları göz önüne alındığında mermileri hızlandırmak için yeterli performansa sahip değildir. Çünkü kara barut; mermide hareketi boyunca düzensiz balistiğe sebep olur, fazla duman üreterek kalıntı bırakır, neme karşı çok duyarlıdır. Bu nedenlerden dolayı günümüzde kara barutun yerini modern tipte sevk barutları almıştır [14].
- Sevk barutu: Dış ortamdan oksijen almaksızın kısa zamanda 300-800 m/s arasında yanma hızına sahip olan, yanma sıcaklığı (2000°C) ve yanma enerjisi (1000 kcal/kg ) ile gaz basıncı (5000 kg/cm<sup>2</sup>) veren maddelerdir. Kullanılan sevk barutlarında ortak özellik, yandıkları yeri tahrip etmeden bir kütleyle hız verebilmeleridir. Mevcut hacminin 800 katına kadar gaz oluşturabilirler, nem ve suya karşı dayanıklıdırlar. Çok iyi stabilizeye sahiptir ve 30–40 yıl süre boyunca bozulmadan kalabilirler. Silah sisteminin yanma odasında, sevk barutunun kimyasal enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Isı enerjisi de, oluşan gazlarının basıncının da artırması ile kinetik enerjiye dönüşüp itki kuvveti oluşturur ve mermi hareketini sağlar [14].

### 2.4.1.2. Mermi Kompleksi

Mermi kompleksi; mermi, patlayıcı kimyasallar, tapa ve busterdan oluşmaktadır. Şekil 2.5.'de mermi ve bölümleri tapasız olarak görülmektedir [14]. Merminin bölümleri; ogive, omuz, merkezleme çemberi, gövde, sevk çemberi, dip ve dip kapağı olarak sıralanabilir.



Şekil 2.5. Mermi ve bölümleri [14]

- Mermi ve bölümleri [14]:
  - Ogive: Mermiye aerodinamiğini veren ve önünde bulunan kısımdır.
  - Omuz: Ogive ile merkezleme çemberinin karşılaşma noktasıdır.
  - Merkezleme çemberi: Omuzun hemen gerisinde, namlunun üzerindeki alanda devam eden bölümdür. Mermiyi namluda merkezleyerek namlunun titreşimini ve sallanmasını engeller.
  - Gövde: Merminin yükünün bulunduğu bölümdür, aynı zamanda en büyük parçasıdır.
  - Dip: Genel olarak konik şekilde olan ve sevk çemberinin arkasında bulunan merminin dip kısmıdır.

- Dip kapağı veya dip tamponu: Tahrip mermilerinde küçük deliklerden veya yarıklardan sıcak gazların içeri girmesini engelleyen kaynaktır.
- Sevk çemberi: Merminin namludaki yiv-setlere tam olarak oturmasını sağlayan, sevk barutunun yanmasıyla açığa çıkan gazların dışarı kaçmasına engel olan banttır. Merminin kararlı dönü hareketi yapmasını sağlar. Ayrıca mermi harekete başlamadan önce basıncın yeterli değere ulaşabilmesi için direnç kuvveti oluşturur. Yivli teçhizatlardan ateşlenmeye elverişli tüm mermilerde sevk çemberi mevcuttur. Sevk çemberinde kullanılan malzeme; namluda aşınma olmaması için yeterli derecede yumuşak aynı zamanda soyulmayacak kadar da sert olmalıdır. Bu özellikteki malzemeler olarak genellikle bakır, altın kaplama, sentetik kauçuk veya naylon kullanılır [14].

#### ➤ Patlayıcı kimyasallar

Sürtünme, ısı, vurma veya çarpma, şok gibi etkilere maruz kaldığında çok hızlı bir şekilde bozularak yüksek sıcaklık ve basınçta gaz üreten ve aynı zamanda yüksek genlikli ses dalgaları oluşturabilen maddelerdir. Yüksek patlayıcılar tarafından üretilen gazlar, orijinal malzeme hacminin 10.000 katına kadar genişleyebilen özelliğe sahiptir [14].

#### ➤ Busterlar

Çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilere karşı nispeten duyarsız yüksek patlayıcılardır. Başlatıcı tarafından küçük bir uyarı verilerek ana patlayıcının aktive olması için gereken şok dalgasının oluşmasını sağlarlar. Tapa ile birleştirilmiş haldedirler. Genellikle bir veya daha fazla patlayıcı ile katılanmış buster barutu içerirler. Tapanın aktive olmasıyla oluşan patlama dalgasını yükselterek mermi gövdesi içindeki patlayıcıyı aktive ederler. Busterların birçok tipi namlu güvenlik mekanizmasını sağlar [14].

#### ➤ Tapalar

Mühimmatın atış anından önce ve atış anından infilak anına kadar olan sevk sürecinde güvenliğini sağlayan; içerisinde elektronik, mekanik ve kimyasal alt bileşenler bulunan, bir mühimmatın hangi şartlar altında fonksiyon göstereceğine karar veren mekanizmaya tapa adı verilir. Tanımda bulunan fonksiyon gösterme; önceden girilmiş bir zaman bilgisiyle, mühimmatın zemine göre belli bir mesafe yüksekliğe ulaşmasıyla veya tapanın fiziki olarak bir yere temasıyla olabileceği gibi farklı bir şekilde de meydana gelebilir [15].

## 2.4.2. Mühimmatların Sınıflandırılması

- Hafif silah mühimmatları  
15,24 mm (0.06 inç) veya daha küçük çapa sahip 20 mm'ye kadar çapa sahip silahlarda kullanılan cephanedir. Fakat çapları büyük olduğu halde tepmesiz top, tüfek bombaları ve piyade tipi roketler gibi mühimmatlar da bu gruba dâhildirler [16].
- Ağır silah mühimmatları  
15,24 mm'den daha büyük çapa sahip mühimmatlardır. Top, obüs, havan, bazen de tepmesiz top ile atılabilirler [16].
- Uçak bombaları  
Uçaktan atılabilecek şekilde dizayn edilmiş bomba türüne uçak bombası adı verilir [17].
- Su (derinlik) bombaları  
Belli bir derinlikte basınç etkisiyle patlayan, denizaltılara karşı kullanılan bombalardır. Atıldığı platformlar; uçak, helikopter ve gemi olarak sıralanabilir [18].
- El bombaları  
Yapısında patlama veya ateşleme tertibatı, patlayıcı ve kimyasal maddeler bulunan küçük bomba türüdür. Kimyasal tahrip ve eğitim amaçlı olmak zere üç cins el bombası mevcuttur [19].
- Tüfek bombaları  
El ile yapılan atışla karşılaştırıldığında, bombanın daha uzağa, hatasız ve hızlı olarak atılmasını sağlarlar. Ancak tüfeklerde atışı engellediği için tüfek altına takılan bomba atarlar tercih edilmektedir [20].
- Torpidolar  
Savaş gemilerinde ve denizaltılarda kullanılan patlayıcı sualtı silahlarıdır. Su üzerinden veya suyun altından atılabilir. Hedefe ilerlemesini pervane ve dümenle sağlar [21].
- Roketler  
Roket; yörüngesinin başlangıcında özitmeli olarak hareket eden, sonra sadece balistik kanunlarına göre yol alan, atış sırasında mekanik olarak yön verilen

mermiye verilen addır. Roket sistemleri konusuna bir alt bölümde daha ayrıntılı olarak değinilecektir [22].

➤ Mayınlar

Kara, deniz ve hava taşıtlarını tahrip etmek, personeli yaralamak, öldürmek veya diğer şekillerde etkisiz bırakmak için tasarlanan; normal olarak koruyucu bir kaplama malzeme içinde bulunan patlayıcı ve onu harekete geçiren düzenekten oluşan mühimmatlara mayın adı verilir. Üzerinden geçilmesi halinde mayınlar, uzaktan kontrol araçları ile veya zaman ayarlı olarak patlatılabilirler. Toprağın üzerine ya da toprağa biraz gömülü olarak yerleştirilen, içi kimyasal maddeler veya infilak maddesi ile doldurulan mayınlara kara mayını adı verilir. Genel olarak kara mayını, üzerinden geçen araçların veya kıtaların ağırlığı ile infilak eder. Deniz mayını ise; bir giriş bölgesine gemilerin yaklaşmasını önlemek, gemilere hasar vermek veya batırmak amacıyla denize dökülen patlayıcı aygıttır [23].

➤ Tahrip Malzemeleri

Mühimmat çeşitlerinin patlayıcı özellikleri ile genel olarak tahrip teknolojileri ilgilenmektedir. Günümüzde çalışmaların yoğunlaştığı konular; tandem harp başlıkları, yeni nesil enerjetik malzemeler, çok aşamalı imha yeteneği sunan nüfuz edici mühimmatlar, kinetik enerji mühimmatları ve akıllı mühimmat türleri olarak sıralanabilir [24].

➤ Piroteknik Malzemeler

Gaz, ısı, ışık, duman ve/veya ses üretmek için bağımsız olarak kendinden ekzotermik kimyasal reaksiyonları sürdürme yeteneğine sahip maddeleri kullanma bilimine piroteknik adı verilir. Havai fişek üretiminde kullanılan piroteknik, aynı zamanda patlayıcı cıvata ve perçinler, kibrit, oksijen mumları, otomobil hava yastığı bileşenleri, madencilik, taş ocakçılığı ve yıkım işlerinde patlatma gibi değişik alanlarda da kullanılmaktadır [25].

### 2.4.3. Roket ve Füze Sistemleri

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüzde elektronik savaşlar önem kazanmıştır. Elektronik savaşlarda; roket, füze ve pilotsuz hava araçları gibi çeşitli silahlar etkili

olmaktadır. Bu silahlar içerisindeki pilotsuz hava araçları, daha çok operasyon yapılacak bir bölgede keşif amacıyla kullanılırlar. Roket ve füzeler ise direkt hedefe gönderilen, oldukça etkili tahrip silahları olarak pek çok özelliği bünyesinde barındırır. Roketler (ballistic missile); itme kuvvetiyle önceden değiştirilmemiş bir yörünge üzerinden hedefe ulaşan, bir platform yardımıyla fırlatılan araçlardır. Füzeler (cruise missile) ise bir seyir planı doğrultusunda hedefi arayan, roketler gibi itme kuvvetiyle bir platformdan fırlatılan araçlardır. Füze sistemleri; her an için kontrole elverişli ve görev değişimine açıktır. Ayrıca bir uçak gibi seyredebilme yetenekleri mevcuttur. Bünyesine karar verme mekanizmaları yüklenmiş akıllı araçlar olup, hedefini 1–2 m doğrulukla vurabilmektedir. Bu özellik güdümlenme (kılavuzluk) sistemlerindeki; elektronik algılayıcı, akıllı yazılımlar ve güçlü haberleşme ile sağlanır [22].

Almanya, askeri amaçla ilk “Cruise” füzelerini 2. Dünya Savaşı’nda, Londra’ya karşı kullanmıştır. Bombardıman için kullanılan silahlar, V–1 uçan bombalardır. V-1’ler karadan, açılı bir platform üzerinden, bir roket motoru yardımıyla fırlatılmaktadır. Fırlatma tamamlandıktan sonra V–1 uçuşa geçince ramjet ana motoru devreye girer, roket motoru otomatik olarak düşer ve V–1 bir uçak gibi hedefine doğru yoluna devam eder. 2. Dünya savaşı zamanlarındaki elektronik teknolojisi, günümüz teknolojisinin çok gerisinde olduğundan V-1’ler, av önleme uçakları tarafından kolayca tespit ediliyordu. Zaman içinde bir yandan anti-balistik füze sistemleri geliştirildi, diğer yandan da nükleer silahların kullanılmaması için uluslararası anlaşmalar imzalandı. Bu anlaşmalar doğrultusunda, balistik füzeler imha edilmeye başladı. İmha edilmeyen füzeler ise konvansiyonel silah sistemlerini taşımak için çok pahalıydı. Mevcut durum “Cruise” füzelerine yeniden dönüşü sağladı. Bu sefer gelişen teknoloji kullanılarak çok daha akıllı sistemlerle donatılmış yeni nesil füzeler üretildi [22].

Füzeler; büyüklük, hız, menzil ve ivme gibi temel karakteristik özelliklerine göre mevcut şeklini almıştır. Hız ve ivme bu özelliklerden en önemlileridir. Her bir füzenin karakteristik özelliklerinde öncelik, askeri açıdan kullanım amacına göre belirlenir [22].



### 2.4.3.1. Füzelerin Çalışma Prensibi

Tepki esasına dayanan bir çalışma sistemi mevcuttur. Uzay boşluğunda veya atmosferde büyük bir hızla çalışan füzelerde; sıvı yakıt, sıvı oksijen ya da nitrik asit kullanılır. Bunlar yanma odasına püskürtülür ve ateşlenerek gereken tepki kuvveti sağlanmış olur. Jet motorları da füze gibi tepki esasına göre çalışır. Fakat jet motorunda yakıt, havadaki oksijenle yakılır. Bu nedenle jet motorları, havasız yerde yani atmosfer dışında çalışamazlar. Roket ve füzelerde ise yakıtın yanmasını sağlayan oksijen, füzenin içinde depolanmış haldedir. Onun için füzeler uzayda da çalışabilir. Bu, füzeyi sıradan roketlerden ayıran en önemli özelliktir [22].

### 2.4.3.2. Füzelerin Sınıflandırılması

Çizelge 2.1.'de füzelerin; fırlatma şekli (havadan karaya, havadan havaya vb.), menzil (kısa, orta, uzun vb.), itme kuvveti (katı yakıtlı, sıvı yakıtlı vb.), harp başlığı (konveksiyonel, stratejik) ve güdüm sistemi (GPS, lazer vb.) olarak temel özelliklerine göre sınıflandırılması yer almaktadır [26].

**Çizelge 2.1.** Füzelerin genel sınıflandırılması [26]

Türleri	Seyir Füzesi (Sübsonik, Süpersonik, Hipersonik) Balistik Füze
Fırlatılma Şekli	Karadan Karaya Atılan Füzeler Karadan Havaya Atılan Füzeler Karadan Denize (Kıyıya) Atılan Füzeler Havadan Havaya Atılan Füzeler Havadan Karaya Atılan Füzeler Denizden Denize Atılan Füzeler Denizden Karaya (Kıyıya) Atılan Füzeler Tanksavar Füzeleri

**Çizelge 2.1. (devam)** (Füzelerin genel sınıflandırılması [26])

Menzil	Kısa Menzilli Füze Orta Menzilli Füze Orta-Uzun Menzilli Balistik Füze Kıtalararası Balistik Füze
İtme Kuvveti	Katı Yakıt Sıvı Yakıt Hibrit Ramjet Scramjet Kriyojenik
Harp Başlığı	Konvansiyonel Stratejik
Yönlendirme/Güdümlü Sistemi	Kablo Güdümlü Komuta Güdümlü Arazi Kıyaslamalı Yönlendirme Karasal/Bölgesel Güdümlü Ataletli Güdüm Hüzme Takip Güdümlü Lazer Güdümlü Radyo Frekansı ve Küresel Konumlama Sistem (GPS) Yönlendirmeli

#### 2.4.3.3. Füze ve Güdüm

Güdüm mantığı; bir yükün belirlenmiş sabit veya hareketli bir hedefe, istenilen hassasiyette yakınlıkla ulaştırılmasını sağlama esasına dayanır. Bahsedilen yük; bir hedefin tahribatı için kullanılacak bir patlayıcı, içinde atmosferin yüksek katmanlarında bilimsel veri toplayacak cihazlar bulunan bir kapsül veya bir gök cismine gönderilen uzay aracı olabilir. Teknolojik gelişmelerle birlikte daha çok güdümlü mühimmat (guided munitions) üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu nedenle güdüm yasaları genellikle, bir hedefi tahrip etmeye yönelik bir bombanın ya da füzenin uçuş karakteristiğini ifade eden kuralların tümü olarak düşünülebilir [27].

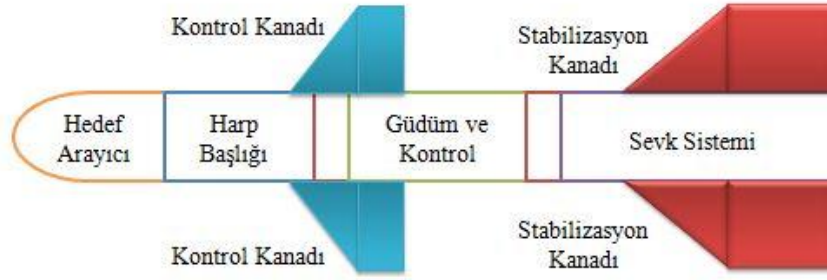
Temel kontrol sistemlerinde olduğu gibi güdümlü mühimmat sistemlerinde de amaç; mühimmatın hedefe istenen Şekilde yaklaşmasını engelleyecek faktörleri ve gürültü etkilerini kontrol altında tutabilecek bir sistem meydana getirmektir. Güdüm sistemi; tasarım amacına uygun olarak, dıŐsal etkileri en aza indirgeyerek mühimmatın hedefe en yakın noktaya ulaŐmasını sağlar [27].

Güdümlü mühimmatların, hedeflere ve atış platformlarına göre çeşitli Őekilleri mevcuttur. Eğer uçuş mesafesinin uzun ise veya hedefin manevra yeteneği fazlaysa bu gibi etkenler güdümlü mühimmat tasarımını daha karmaşık hale getirir. Ayrıca söz konusu mühimmatlar ileri teknoloji ürünleridir ve tek kullanımlıktır. Bu nedenle tasarlanırken maliyet-etkinlik özümlemesi yapılması gerekir. Çeşitli savaş senaryoları lojistik birimlerince incelenmiŐ ve bunlara uygun olarak farklı güdümlü mühimmat tasarımları belirlenmiştir. zerk, karmaşık, pahalı, insan ve yardımcı cihaz kullanımını en aza indiren tasarımlar tehlikeli senaryolar için oluşturulurken; basit, ucuz, insan ve yardımcı cihaz katkısı gereken cihazlar ise daha az tehlikeli senaryolarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır [27].

Güdümlü mühimmat sistemleri; yönlendirildiği hedefe göre kendi konumunu belirleyebilir ve gerektiğinde uçuş yörüngesi üzerinde gerekli deđiŐiklikleri yapabilir. Genel olarak bir güdümlü mühimmat sisteminin yapısında; algılama, hesaplama, yönlendirme yapan ve platformun kararlılığını sağlayan alt birimler vardır [27].

#### **2.4.3.4. Füzenin Temel Yapısı**

Füzelerin yapısı kullandıkları güdüm sistemlerine göre farklılık göstermektedir. Temel yapıyı oluşturan kısımlar; hedef arayıcı, harp başlığı, güdüm ve kontrol sistemi, sevk sistemi, kontrol ve stabilizasyon kanatları olarak görülmektedir.



**Şekil 2.6.** Bir füzenin temel yapısı [27]

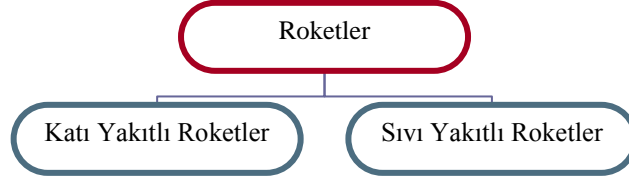
Şekil 2.6.'da güdümlü bir füzenin temel yapısı yer almaktadır. [27]. Temel olarak bir güdümlü füzenin kısımları; arayıcı, harp başlığı, füzenin hareketini sağlayan sevk (motor) sistemi, yönelimini sağlayan kanatçıklar (kanatçık kontrol birimi ile) ve tüm hata analizlerini yaparak yönleme karar veren güdüm ve kontrol birimidir. Kanatçık kontrol sistemi ve füze motoru, füzenin üzerinde yer alır. Güdüm kontrol birimi; insan ya da bilgisayar kontrollü olabilir, ayrıca füze üzerinde ya da bir yer istasyonunda da konumlandırılabilir. Güdüm birimi uçuş öncesi karar verilmiş (offline) veya uçuş sırasında üretilen (online) hareket komutlarını uygulayabilir. Güdüm biriminin çıktısı, kontrol birimi tarafından uygulanarak uçuş rotasında gerekli hata düzeltmeleri yapılır [27].

#### **2.4.3.5. Roketlerin Çalışma Prensipleri**

Roket; yörüngesinin başlangıcında özyitmeli olarak hareket eden, sonra sadece balistik kanunlarına göre yol alan, atış sırasında mekanik olarak yön verilen mermiye verilen addır. Genel olarak roketlerde, güdüm yoktur. Bu tip roketler çoğunlukla roketatarlar ile fırlatılır. Roketler, füzelerden farklı olarak sadece roket motoruyla tahrik edilir. Füzeler ise hem roket motoru hem de herhangi bir jet motoru ile tahrik edilebilir. Roket motorları; yakıtı ve yakıtın yanmasını sağlayan oksitleyici maddeyi bünyesinde bulundurur. Ayrıca roketlerde dış atmosfer havasına ihtiyaç yoktur yani dış çevreye bağlı olmaksızın boşlukta bile çalışabilir [22].

#### 2.4.3.6. Roketlerin Sınıflandırılması

Roketler, Şekil 2.7.'de de belirtildiği gibi katı ve sıvı yakıtlı olmak üzere iki şekildedir [22]. Katı yakıtlı ve sıvı yakıtlı roketlerin temel yapısına ve çalışma sisteminden kısaca bahsedilecektir.



Şekil 2.7. Roketlerin sınıflandırılması

##### ➤ Katı Yakıtlı Roketler

Katı yakıtlı roket motorlarının değişik ebatları olup yapıları basittir. Silindirik bir basınç kabı, bu kabın içerisinde bulunan yakıt-oksitleyici karışımı, ateşleyici ve egzoz kısımları bulunur. Yakıt ve oksitleyici (nitrogliserin ve nitroselüloz) ayrı ayrı bulunabilir veya oksitleyici yakıtın içerisine gömülmüş kompozit şeklinde olabilir. Kompozit yakıt-oksitleyici, roket gövdesine dökülerek doldurulabilir. Bu şekilde hafif yapılı ve çok ince roketler yapılabilir [22].

##### ➤ Sıvı Yakıtlı Roketler

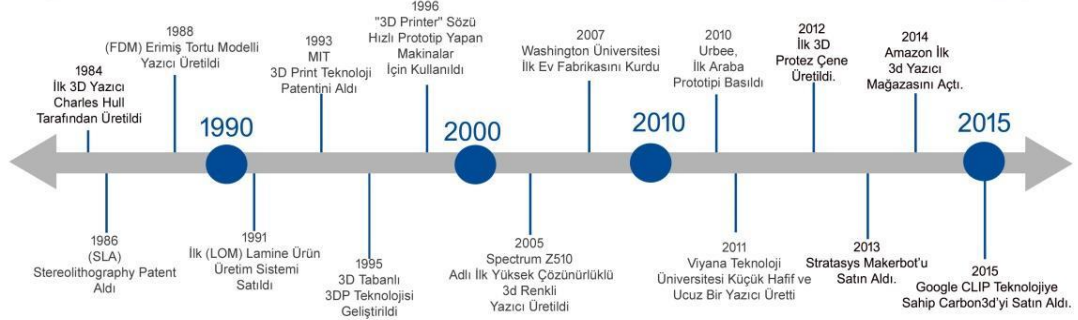
Uzay araçlarını ve balistik füzeleri tahrik etmek için sıvı yakıtlı roket motorları kullanılır. Oksijen tanklarda yakıt ve oksitleyici sıvı olarak depolanır. Pompa, boru ve valflerden geçerken karışan yakıt ve oksijen, yanma odalarına sevk edilir. Bu şekilde hareket sağlanır [22].

### 3. ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR

Üç boyutlu yazdırma, dijital ortamda hazırlanan üç boyutlu dosyadan (CAD çizimleri) üç boyutlu katı nesnelere üretilme sürecidir. Üç boyutlu yazdırma işlemlerini yapan makinelere üç boyutlu yazıcı adı verilir. Üç boyutlu yazıcılar sayesinde; üç boyutlu olarak tasarlanan çeşitli modeller kısa süre içerisinde incelenmesi mümkün nesnelere haline gelmektedir [28].

#### 3.1. Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihsel Gelişimi

Üç boyutlu (3 dimensional) yazıcılar ilk olarak 1984 yılında Charles Hull tarafından üretilmiştir. Üç boyutlu yazıcı teknolojisindeki gelişmeler, CAD sistemlerinin yaygın biçimde kullanılmaya başlanması ile hız kazanmıştır. 1988 yılında obje üretiminde kullanılmak üzere; SLA-250, Selective Laser Sintering (SLS) ve Fused Deposition Modelling (FDM) teknolojileri geliştirilmiştir. MIT' de iki boyutlu yazıcılarda kullanılan inkjet teknolojilerinden yola çıkılarak 1993 yılında 3 Dimensional Printing (3DP) teknolojisi geliştirilmiştir. Üç boyutlu yazıcıların satışa sunulması 1995 yılında gerçekleşmiş, 1996 yılında ise ZCorporation şirketi yüksek çözünürlüğe sahip ürünler üreten ilk üç boyutlu yazıcının tasarımını yapmıştır. 2009 yılına gelindiğinde; üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşma hızını arttıran bir gelişme yaşanmış, Reprap adıyla ilk açık kaynak kodlu yazıcılar (opensource) piyasada yerini almıştır. Object Geometries şirketi 2008 yılında, Connex500 model yazıcıyı ile aynı anda farklı malzemeler kullanarak ürün üretebilmeyi başarmıştır. 2009 yılı ve sonrasında ise, Makerbot ve 3D Systems firmalarının geliştirdiği Cubify gibi modeller ile ev tipi üç boyutlu yazıcıların satışı artmaya başlamış, kullanımı yaygınlaşarak gündelik hayata girmiştir [29].



**Şekil 3.1.** Üç boyutlu yazıcıların tarihsel gelişimi [29]

Şekil 3.1' de görüldüğü gibi 30 yıla yakın süren bu gelişmelerin sonucunda üç boyutlu (3D) yazıcılar, bilgisayarda tasarlanabilen, yüksek detaya sahip objeleri, en yüksek kalitede üretebilecek seviyeye gelmişlerdir [29].

### 3.2. Üç Boyutlu Yazıcıların Avantajları

- Dijital olarak bilgisayar ortamında çizilen her türlü ürün modeli çok kısa sürede somut nesnelere dönüştürülebilir.
- Geleneksel yöntemlerle üretim yapılırken ihtiyaç duyulan makine, teçhizat, işçilik ve emek gerektiren frezeleme, tormalama, üretim sonrası talaş temizleme gibi işler ortadan kalkar. Zamandan tasarruf edilir. Bu nedenle daha hızlı prototip üretilip incelenebilir.
- Karmaşık yüzey geometrisine sahip tasarımlar kolaylıkla gerçek nesne haline getirilebilir.
- Kullanılan sarf malzemesi, mısır nişastasından üretilen bir bioplastik olan PLA'dır. Sağlık açısından bu malzemenin hiçbir olumsuz etkisi yoktur. Ergitilirken koku yapmaz, çevreye zehirli gaz salınımı olmaz, doğada

çözünebilir. Bu nedenle çevre dostudur. PLA, temin edilmesi kolay ve ucuz olan bir filamenttir.

- Üretim maliyeti azdır. İşçilik masraflarının ortadan kaldırılması, daha ucuz sarf malzemelerinin kullanılması, parça üretiminin kolay olması maliyeti düşüren başlıca etkenlerdir [28].

### **3.3. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojileri**

Üç boyutlu yazıcılar katmanlı imalat (additive manufacturing) açısından birbirinin aynısıdır. Fakat obje üretmede kullandıkları teknoloji açısından çeşitlilik gösterirler.

Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan üretim teknolojileri şunlardır [30]:

- Fused Deposition Modelling (FDM) veya Fused Filament Fabrication (FFF)
- Stereolithography (SLA)
- Polyjet ve Multijet
- Selective Laser Sintering (SLS)
- Renkli 3D Baskı ( Binder Jetting, SDL ve Triple Jetting)
- Digital Light Processing (DLP)
- Metal 3D Baskı (DMLS ve EBM) [30].

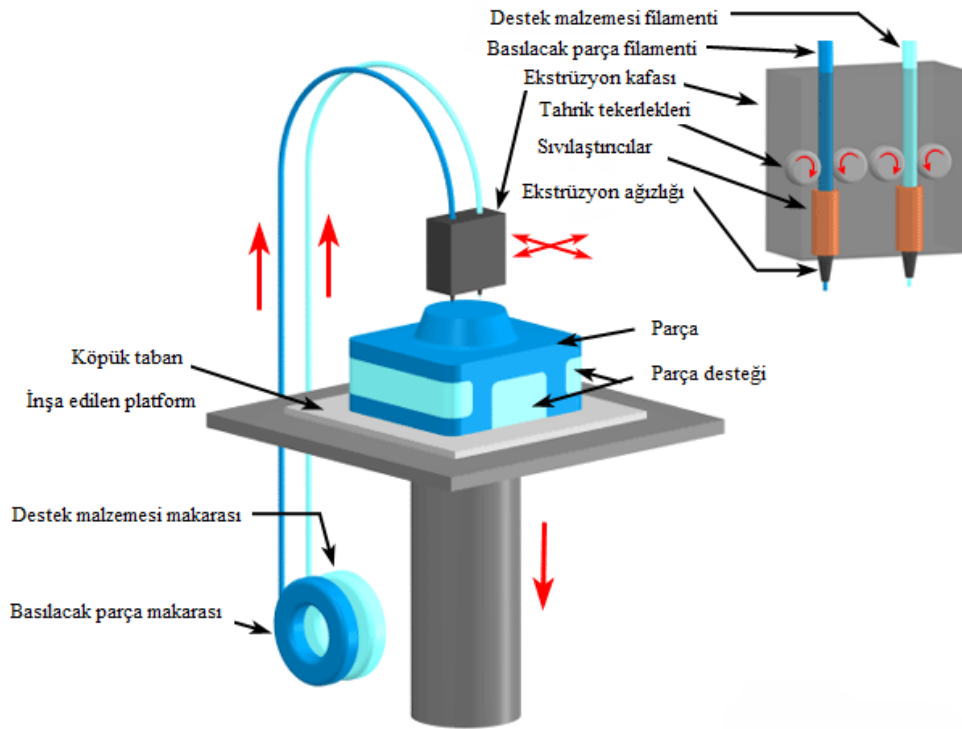
Bunların içerisinde en çok bilinen ve kullanılan teknoloji, FDM (Fused Deposition Modelling) ya da birleştirme yoluyla yığma teknolojisidir [28].

#### **3.3.1. Fused Deposition Modelling (FDM) veya Fused Filament Fabrication (FFF)**

Bu üretim sürecinde; mum veya plastik malzeme, parçanın kesit geometrisini izleyen bir meme içinden ekstrüzyon edilir. Üretilecek modelin malzemesi, filament adı verilen ince plastik tel şeklindeki malzemedir. Filament yerine bazen hazneden beslenen plastik granül de kullanılabilir. Memede, termoplastiği ergime noktasının hemen üzerindeki bir sıcaklıkta tutmaya yarayan ısıtıcı bir eleman vardır. Böylece plastik kolayca meme üzerinden akar ve bir katman oluşturur. Akan plastik



aniden sertleşir ve aşağıdaki katmana yapışır. Bir katman oluştuktan sonra yazıcının platformu aşağıya iner ve ekstrüzyon meme diğer katmanı oluşturmaya başlar. Düşey boyut hassasiyeti ile katman kalınlığı ekstrüzyon meme çapına bağlıdır, çap ise 0.178 mm-0.356 mm arasında değişiklik gösterir. Baskıda XY düzlemi üzerinde 0.025 mm çözünürlüğe ulaşılabilir. Şekil 3.2.'de FDM sisteminin çalışma prensibi ayrıntılı olarak görülmektedir [31]. FDM tekniğiyle çok parçalı, hareketli mekanizmaların ve karmaşık parçaların üretimi yapılabilir. Model malzemesi olarak; ABS, poliamid, polikarbonat, polietilen, polipropilen ve hassas döküm mumu kullanılabilir. FDM ile model üretilirken destek malzemesi kullanılır. Farklı destek malzemesi kullanılabilmesi adına sisteme ikinci bir meme eklenmiştir. Bu yöntemle üretilen parçaların; esnemeye, bükülmeye, kırılmaya ve uzamaya karşı dayanımları yüksektir. Suya ve neme karşı yüksek direnç gösterirler. Maliyetleri azdır. FDM yöntemi, fonksiyonel parçaların üretimi için uygundur.



Şekil 3.2. FDM sisteminin çalışma prensibi [44]

### **3.3.2. Stereolithography (SLA)**

Bu üretim yönteminde objeler, ultraviyole lazerin foto reaktif reçineyi katmanlar halinde dondurmasıyla üretilirler. Yazdırma işlemi sırasında yazıcının tablası 0.05-0.15 mm lik hareketlerle aşağıya iner. Her inişte lazer, objenin bir kesit alanını oluşturur. Üretim sonunda ise obje sıvı reçinenin içerisinde alınır [30].

### **3.3.3. Polyjet ve Multijet**

Polyjet ve multijet teknolojisiyle çalışan 3 boyutlu yazıcılarda UV ışık foto polimer maddeyi kürlemektedir (sertleştirme). Yazıcının kafası, küçük damlacıklar halinde foto polimer maddeyi bırakır. Bırakılan madde UV ışık ile dondurulur ve üretim bu şekilde gerçekleştirilir [30].

### **3.3.4. Selective Laser Sintering (SLS)**

Bu teknolojiye; üretim platformunda toz halde bulunan ham maddeden (genellikle poliamid) çok ince bir tabaka lazer tarafından sinterlenir, daha sonra platform mikron seviyesinde aşağıya iner ve diğer katman aynı yöntemle oluşturulur. Objenin tamamı bu şekilde üretilir [30].

### **3.3.5. Renkli 3D Baskı ( Binder Jetting, SDL ve Triple Jetting)**

Bu baskı teknolojisinde tıpkı SLS de olduğu gibi bir katman toz materyal (seramik tozu) serilir. Yazıcının kafası tozun üzerinden geçer, eş zamanlı olarak renk ve yapıştırıcı da kafadan püskürtülür. Sonrasında bir katman materyal daha serilir ve aynı işlem gerçekleştirilir. Objeler bu şekilde üretilir. Binder jet teknolojisiyle üretim yapan yazıcılarda destek malzemesi kullanılmaz. Bu yazıcılarda toz materyalin kendisi destek oluşturur [30].

### **3.3.6. Digital Light Processing (DLP)**

DLP üretim yöntemi; SLA teknolojisine oldukça benzerdir. Tek farkı, DLP de ultraviyole ışın yerine projektör kullanılmasıdır. Objeler foto polimer maddenin katmanlar halinde dondurulmasıyla oluşturulur [30].

### **3.3.7. Metal 3D Baskı (DMLS ve EBM)**

DMLS teknolojisinde 3 boyutlu baskı, metal tozunun lazer tarafından sinterlenmesiyle oluşturulur. EBM (electron beam melting) teknolojiyle çalışan yazıcılarda ise gücün kaynağı lazerden ziyade elektron ışınlarıdır. Elektron ışınları metal tozunu katmanlar halinde eritir ve objeler bu şekilde üretilir [30].

## **3.4. Üç Boyutlu Yazdırma Süreçleri**

3 boyutlu yazdırma sürecinde basitçe şu şekilde ifade edilmiştir [32]:

- CAD model tasarımı veya 3 boyutlu tarama
- Tasarımın STL dosya formatına dönüştürülmesi
- STL dosyasını katmanlara ayırma
- Ürün katmanlarının inşa edilmesi
- Parça temizliği ve sonlandırma [32].



**Şekil 3.3.** Üç boyutlu yazdırma süreçleri [45]

Şekil 3.3. 'de yazdırma süreçleri ifade edilmiştir. Yazdırma işlemi için ilk olarak üretilecek parça, üç boyutlu tasarım programlarında (Solidworks, Catia, Inventor vb. gibi CAD programları) veya üç boyutlu tarama sistemleri yardımıyla bilgisayara aktarılır. Bilgisayarda modeli oluşturulan parça genellikle STL olmak üzere yazıcının desteklediği uzantılı bir dosya olarak kaydedilir ve üç boyutlu yazıcı kontrol programına aktarılır. Üç boyutlu yazıcı kontrol programında model dilimlenir, katmanlara ayrılır ve “G kodu” dosyası oluşturulur. Bu dosya yazıcıya hafıza kartıyla ya da doğrudan bilgisayar bağlantısıyla aktarılır ve baskı işlemi yapılır [28].

Üç boyutlu yazıcıda üretilecek olan parçaların tasarımları genellikle serbest yüzey sayısı az olan ya da serbest yüzey buldurmeyen, düz yapılı parçalardır. Ancak karmaşık yapıdaki parçaların üretilmesi gerekebilir. Bu gibi durumlarda yazdırma sırasında parçanın çeşitli kısımlarına destek malzemesi atılır. Yazdırma işleminden sonra bu destek malzemesi temizlenir ve parça kullanıma hazır hale getirilir [31].

### **3.5. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Malzemeler**

Üç boyutlu yazıcılar için olmazsa olmaz iki unsur; yazıcıların hammaddesini oluşturan filamentler ve dijital çizim dosyalarıdır. Bunları yazıcıların besini olarak da düşünebiliriz. Plastik sanayisinde; oldukça uzun metrajlara sahip (birkaç yüz veya bin metre), eni boyuna göre fazlaca küçük olan, kesintiye uğramadan devam eden yapılara genel olarak filament adı verilir. Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan filamentler genel olarak hammadde ve çaplarına göre sınıflandırılırlar. Genel olarak piyasada 1.75 mm ve 3 mm (bazen 2.85 mm de olabilir) olmak üzere iki farklı çapta filament üretilmektedir. Masaüstü üç boyutlu yazıcılarda tüketici tercihlerine göre 1.75 mm çapındaki filamentler standart olarak kabul görmeye başlamıştır. Artık yazıcıların büyük çoğunluğu 1.75 mm filament kullanacak şekilde üretilmektedir. Hammaddeye göre ise kullanımı yaygın olan iki tür filament bulunmaktadır. Bunlar ABS ve PLA' dır. Bu iki filament dışında parça üretimi için kullanılan çok çeşitli filamentler de mevcuttur [33].

#### **3.5.1. Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) Plastik**

ABS (Akrilonitril Butadin Stiren) plastik, sert bir termoplastik polimer maddedir. Petrol ürünüdür. Aseton ile çözülebilir. Dayanımı ve darbe direnci yüksek bir malzemedir. Bu nedenle üç boyutlu yazıcılarda sıkça tercih edilir. ABS kullanarak yazdırılan parçalar, 20-80°C arasında kullanılabilir. ABS'nin başlangıçtaki erime sıcaklığı 105°C olduğundan, 80°C üzerindeki sıcaklıklarda parçada şekil bozuklukları ve yumuşama olabilir. Ayrıca parça yoğun güneş altında da zarar görebilir. Negatif bir başka özelliği ise yüksek sıcaklığa maruz kaldığında (yazıcı ile 230-250°C de eritilirken) HCN gazı ortaya çıkarır. Çıkan gazın miktarı az olmasına rağmen oldukça zehirli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle ABS kullanılarak yapılan yazdırma işleminde ortam mutlaka havalandırılmalıdır. Yazdırılmış, katı haldeki ürünün ise herhangi bir olumsuz etkisi yoktur. ABS plastik, yazdırma sırasında PLA'ya göre çok daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyar ve bu nedenle kalibrasyon işlemi zordur. Yazdırma esnasında çarpılma riski oluşabilir. Bunun önüne

geçebilmek için ısıtıcı yazma tablası kullanılmalıdır. ABS ile iyi bir parça üretmek PLA malzemesine göre daha zordur [28].

### **3.5.2. Polilaktik Asit (PLA) Plastik**

İstatistiklere göre en yaygın kullanılan üç boyutlu yazıcı malzemesi PLA (polilaktik asit) plastik malzemedir. Bunun başlıca sebebi PLA'nın düşük sıcaklıklarda eriyebilir yapısıdır. PLA, kolay çalışılabilir bir malzemedir, nişasta içeren ürünlerden elde edilir. Ergime sıcaklık aralığı geniştir, yazdırma işlemi sırasında çarpılma ihtimali ABS'ye göre çok daha düşüktür, dolayısıyla ısıtıcı tabla kullanımı zorunlu değildir. Medikal sektöründe implant ve protezlerde sıkça kullanılır. İnsan vücudunda parçalanma süresi 6 ay ile 2 yıl arasında değişiklik gösterir. PLA plastik, ABS'ye göre oldukça düşük dayanıma sahiptir. Sertleşme hızı yavaştır, yazım hızı arttırıldığında ortaya kötü sonuçlar çıkabilir. Yazdırma hızını arttırabilmek için yazdırılan parça, bir fan yardımı ile soğutulabilir [28].

### **3.5.3. Poliamid**

Poliamid, oldukça esnek ve sağlam bir malzemedir. Eğilmelere ve küçük çaplı darbelere karşı direnç gösterebilir. Poliamid kullanan üç boyutlu yazıcılar SLS teknolojisine sahiptir. Polimid kullanılan baskılar beyaz, çok ince taneli tozdan üretilir [30].

### **3.5.4. Reçine**

SLA üç boyutlu baskı teknolojisine sahip yazıcılarda reçine kullanılır. SLA teknolojisiyle yapılan baskılar; FDM ve SLS teknolojileri kadar iyi dayanım özellikleri göstermezler fakat baskı hassasiyetleri çok daha yüksektir. Görsel olarak pürüzsüz yüzeyli, düzgün, şeffaf ve kaliteli modeller elde edilmek isteniyorsa reçine kullanılmalıdır [30].

### **3.5.5. Kumtaşı (Sandstone) (Renkli)**

Binder jet teknolojisine sahip yazıcılarda renkli baskı yapılabilir. Mimari ölçekli modeller, seramik materyaller ve insan mini figürleri gibi renkli baskıların önemli olduğu alanlarda kullanımı uygundur [30].

## **3.6. Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanım Alanları**

Üç boyutlu yazıcılar; günümüzde tıp, uçak sanayi, gıda gibi çok geniş bir yelpazede kendine yer edinmiştir. Bu bölümde genel olarak üç boyutlu yazıcıların endüstriyel, tüketici ve uzay araştırmalarındaki kullanım özelliklerine değinilmiştir.

### **3.6.1. Endüstriyel Kullanım**

Amerikan ve İsrail sermayeli Stratasyss şirketi, Ekim 2012 itibariyle satış fiyatı 2000\$ ile 500.000\$ arasında değişen üç boyutlu yazıcılar satmaktadır. General Electric, türbin inşa ederken son teknolojiye sahip üç boyutlu yazıcılar kullanmaktadır ve bu alana 1 milyar doları bulan yatırımlar yapmıştır. Üç boyutlu yazıcıların endüstride kullanımı örneklerdeki gibi oldukça geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Başta sağlık sektörü olmak üzere önemli pek çok alanı etkilemiştir [34].

#### **3.6.1.1. Seri Prototipleme**

Endüstriyel alanda kullanılan üç boyutlu yazıcılar, 1980'li yılların başlarında ortaya çıkmıştır. Bu üç boyutlu yazıcılar başlangıçta sadece ticari şirketler ve üniversitelerin elinde bulunmaktaydı ve asıl üretim amaçları seri prototipleme ve araştırma yapmaktı. Seri prototipleme yapılan üç boyutlu yazıcılar, genel olarak devasa boyutlardadırlar. Materyal olarak bu yazıcılarda plastik, kâğıt ve toz metal kullanılır [34].

### **3.6.1.2. Seri Üretim**

Seri üretim yönteminin en büyük avantajı üretimin pahalı olmamasıdır. Küçük parçalar halinde yapılan üretimlerde bu avantaj daha belirgindir. Fakat endüstriyel alanda bu yöntem henüz kendini ispatlayamamıştır. Alanda en büyük yenilik lazer sinterleme (LS) olarak gösterilebilir ama bu üretim teknolojisinin de hala oldukça yeni ve yeteri kadar gelişmemiş olduğu düşünülmektedir [34].

### **3.6.1.3. Kütle Özelleştirme**

Özellikle şirketlerin kullandığı bir yöntemdir. Şirketler tarafından verilen hizmet bu yöntemle kullanıcı tarafından esnek olarak değiştirilebilir. Bu değişiklikler yazılımsal olarak da gerçekleştirilebilir. Örneğin; kullanıcı kişisel cep telefonu için özel kılıf üretebilir. Nokia da benzer bir uygulamayı yakın zamanda gerçekleştirmiştir [34].

### **3.6.1.4. Kütle Halinde Üretim**

Güncel kullanımdaki yazıcılarda baskı hızı özellikle seri üretim konusunda oldukça yavaştır. Bu durumu aşmak için sorunu aşmak için firmalar farklı materyaller ve çoklu kafa kullanımına yönelmiştir. Üretim hızında artış sağlamak için seri makineler alınıp bu makineler tek merkezden yönetilir hale getirilmiştir. Fakat bu yöntemin maliyeti oldukça yüksektir. Üretilen son teknoloji üç boyutlu yazıcılarda çift kafa mevcuttur. Bu yazıcıların çoklu halde kullanılmasının avantajları ve dezavantajları henüz bilinmemektedir [34].

### **3.6.1.5. Yerel ve Hobi Kullanımı**

Önceki yıllarda yerel üç boyutlu yazıcı kullanımı fazla yaygın değildi. Üretilen parçalar; dişli parçaları, kapı tokmakları gibi küçük parçalardı. 2013 yılında hayvanlara yardım amacıyla üç boyutlu yazıcılar kullanılmaya başlandı. Bir ayağı



olmayan ördeğe takma ayak yapılması buna örnek gösterilebilir. Ayrıca kolye, yüzük ve çanta gibi nesnelere bu yazıcılarla üretilmeye başlanmıştır [34].

### **3.6.1.6. Kıyafet Tasarımı**

Her alanda olduğu gibi moda dünyasında da üç boyutlu yazıcı kullanımı yaygınlaşmaktadır. Tasarımcılar; bikini, ayakkabı ve çeşitli kıyafetleri bu yazıcılarla üretmektedir. Nike şirketinin 2012 yılında Amerikan futbolcularına özel olarak ürettiği Vapor Laser Talon marka futbol ayakkabısı, ticari kullanım açısından önemli bir örnektir [34].

### **3.6.2. Tüketici Kullanımı**

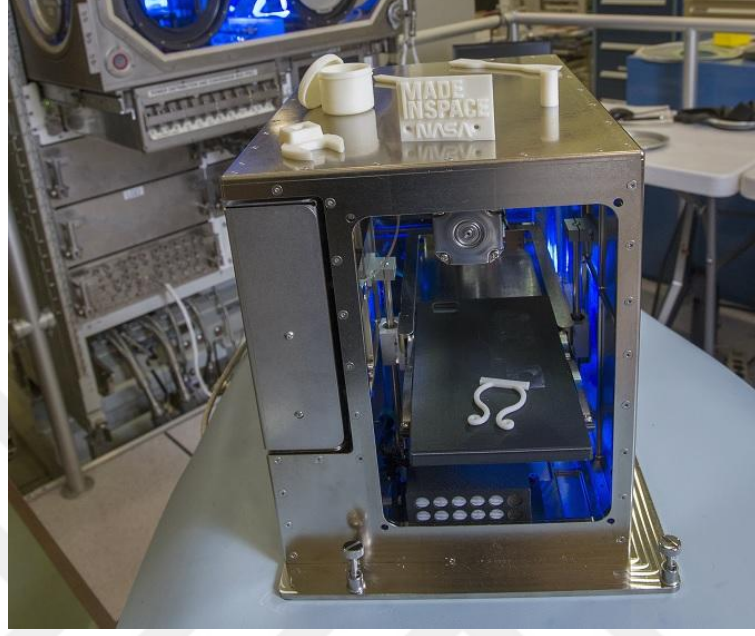
Şirketler çeşitli projelerle ev tüpü üç boyutlu yazıcı üretimi için çalışmalar yapmaktadır. Bu alanda en çok bilinen proje ise RepRap adı altında geliştirilmiştir. Projenin amacı üç boyutlu yazıcılar için ücretsiz bir yazılım (FOSS) geliştirmektir. Yazılım, General Public License (GNU15), lisansı altında oluşturulmaktadır ve ev içi üretime imkân vermektedir. Üç boyutlu yazıcıların fiyatları 2010 yılında hızlı bir düşüş göstermiştir. Genel fiyatlar 20.000 dolar civarında iken, 1000 dolara gerilemiştir. Günümüzde firmaların çalışmaları sonucunda çikolata, krep ve dolgu macunu gibi çok çeşitli materyal üretimi yapılabilmektedir. Son yapılan çalışmalarda ise üç boyutlu yazıcıların tasarım görselleştirme, CAD çalışmaları, mimari tasarım, eğitim, coğrafya, sağlık ve eğlence endüstrisi alanlarına katkı sağlaması beklenmektedir [34].

### **3.6.3. Uzay Araştırmalarında Kullanımı**

Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin kullanım alanı artık sadece gezegenimizle sınırlı kalmıyor, uzay araştırmalarında da kullanılıyor. Bu alanda ilk önemli çalışma Made in Space firmasının uzay yolculuklarında kullanılmak üzere ürettiği, yerçekimsiz

ortamda baskı yapabilen The First Zero-G Printer yazıcısıdır. The First Zero-Gravity yazıcıyı 2014 yılında üretilmiş olup, bu yazıcı astronotlara ihtiyaçları oldukları bir cihazı prototipleme olanağı vermiştir. Uzayda ilk üretimini gerçekleştiren The First Zero-G Printer'a ek olarak hem baskı hem de plastik geri dönüşüm kapasiteli yeni bir yazıcı üretimi için çalışmalar yapılmaktadır. Amerikalı Tethers firmasının alt kolu olan Firmamentum, uzay araştırmalarında kolaylık sağlayacak bir yazıcı üretmeyi planlamaktadır. Yerçekimsiz ortamda baskı yapabilen ikinci yazıcı olacak bu cihazı diğerlerinden ayıran en önemli özellik ise gerçekleştirdiği baskıların geri dönüştürülebilir özellikte olmasıdır. 'Refabricator' adı verilen bu cihazın geliştirme süreci için firma NASA'dan 750,000\$ destek fonu elde etmiştir. Mekân sınırlaması olan uzay roketlerinde hammadde ve cihaz ihtiyacı maksimum seviyededir. Refabricator ile hammadde ihtiyacı sorununun çözülmesi hedeflenmektedir yani astronotlar baskıda kullandıkları plastik materyalleri geri dönüşümle yeniden elde edebilecektir. Hem üç boyutlu yazıcı endüstrisinde hem de uzay araştırmalarında ilk olacak bu yazıcının nakliyat sürecinde önemli ölçüde tasarruf sağlaması beklenmektedir. Refabricator'un üretim aşaması devam etmekte olup kullanılan polimer hammaddesini kaç kere dönüştüreceği ise henüz deney aşamasındadır. Firmamentum'un Replicator için kendi geliştirdiği özgün geri dönüşürme sistemini kullanacağı açıklanmıştır. 'Positrusion' adı verilen bu sistemde filament; denetleme ve müdahale olmadan seri olarak yeniden üretilebiliyor, plastiklerin eritilmesi ve ekstrüderden sıkılması nedeniyle oluşan kimyasal tahribat da en aza indirgeniyor. Geliştirme sürecinde olan Refabricator'un ne zaman uzaya gönderileceği belli değildir. Üretim aşamasından sonra NASA tarafından bir dizi teste tabi tutulacak olan cihazın uzay araştırmaları için büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir [35].

Şekil 3.4.'te görülen Made in Space firmasının ürettiği The First Zero-Gravity Printer yazıcı görülmektedir.



**Şekil 3.4.** Made in Space firmasının ürettiği The First Zero-Gravity Printer [46]

## 4. KAVRAMSAL TASARIM

### 4.1. Mühendislik Tasarımı

Tasarım, fonksiyonel uzayda tanımlanan ihtiyaçları fiziki çözüm uzayında optimum karşılamak amacı ile yürütülen tüm faaliyetlerdir. Kısaca tasarım, disiplinler arası bir faaliyettir ve amaç faydalı bir ürün ortaya koymaktır denilebilir. Makine, elektronik, kimya gibi mühendislik alanlarında ya da mimari, mobilya gibi çeşitli ve sayısız alanda sürekli yeni tasarımlar ortaya konmaktadır. Bu alanlardan makineyi ele alırsak uçak parçalarından uzay araçlarına, otomotivden iş ya da tarım makinelerine, robotlardan bilgisayar parçalarına kadar geniş bir uygulama alanı görülmektedir. Tasarımları dört ana grupta toplayabiliriz [36]:

- Özgün tasarımlar: Tasarım amacı, ortaya orijinal bir çözüm koyabilmektir. Temel noktalar yaratıcılık ve yenilikçi olma fikirleridir.
- Taklit tasarımlar: Var olan bir çözümün oluşturulan yeni bir tasarıma adaptasyonudur.
- Geçiş tasarımları: Mevcut tasarım üzerinde bazı düzeltme ve iyileştirmelerin gerçekleştirilmesidir.
- Değişken tasarımlar: Bir tasarımın boyut ve oluşumunu, sistemin çözüm prensibi aynı kalmak şartıyla değiştirmektir.

Bahsedilen bu tasarımlar her zaman birbirlerinden kesin çizgilerle ayrılmayabilir. Gerçekte her tasarım, soyuttan somuta döngüsel ve gittikçe ayrıntılaştan bir şekilde değişir ve gelişir [36].

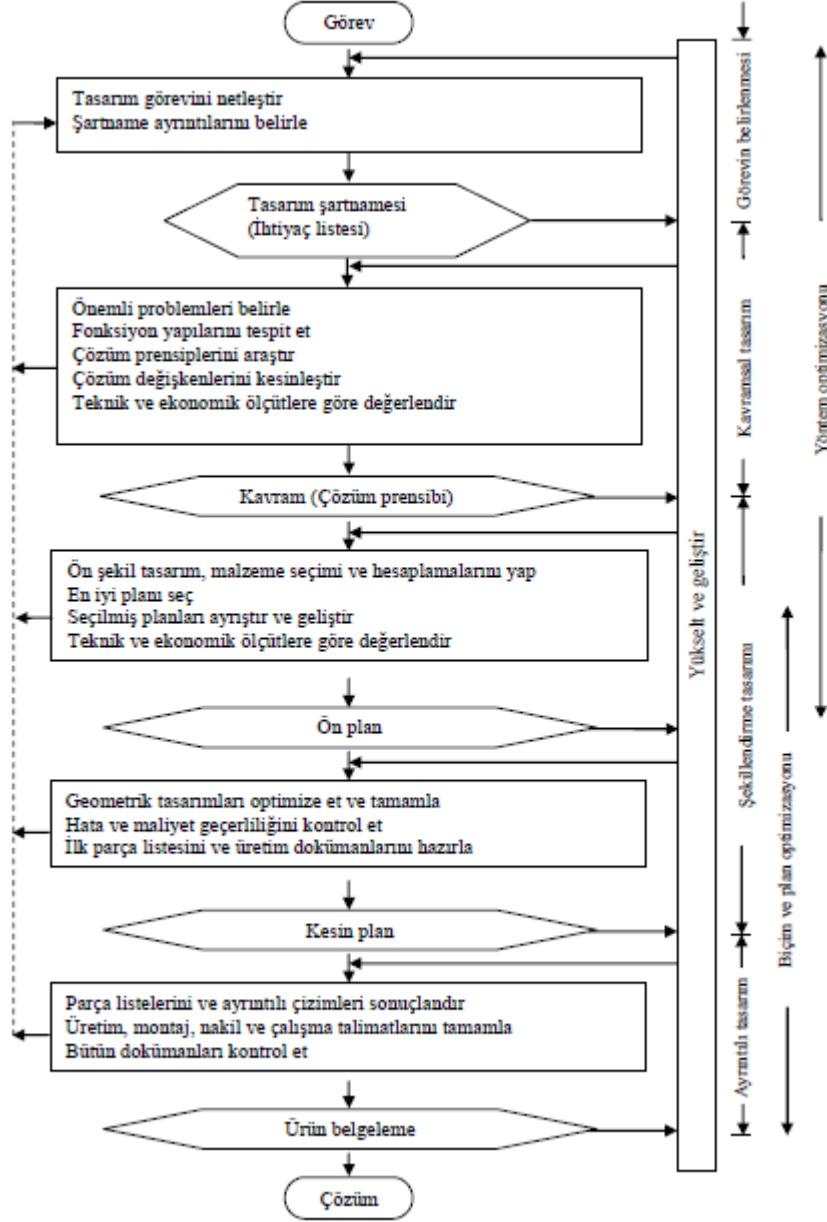
Tasarım eskiden bir sanat dalı olarak değerlendiriliyordu. Yıllar içinde öncelikle Alman bilim adamları olmak üzere yapılan çalışmalarla teknik bir süreç haline getirildi. Bunun önemli örneklerinden biri ise Pahl ve Beitz tarafından mühendislik tasarımı için oluşturulan Sistematik Tasarım Yaklaşımı'dır. Sistematik tasarım yaklaşımı, yapılacak tasarımı bilimsel temellerle ilişkilendirerek izlenmesi gereken yolları kurallı hale getirir. Bu şekilde daha fonksiyonel, ucuz, hızlı ve optimum

tasarımlar oluşturulabilir. Oluşturulan tasarımlarda kolayca değişiklik yapılabilir [37].

#### **4.1.1. Pahl ve Beitz'in Sistemik Tasarım Yaklaşımı**

Pahl ve Beitz tarafından oluşturulan sistemik tasarım yönteminde tasarımcının yetenekleri ve yaratıcılığına bakılmaksın algoritmik yollar kullanılır ve tasarım bu şekilde oluşturulur. Sistemik tasarım yöntemi, temel olan ve Şekil 4.1'de de gösterilen şu dört adımda incelenebilir [36]:

- Amacın netleştirilmesi: Tasarım için gerekli bilgiler toplanır. Bu bilgilere göre problem tanımı yapılır ve bir tasarım şartnamesi hazırlanır.
- Kavramsal tasarım: Tasarım şartnamesine bağlı olarak problem için alternatif çözümler oluşturulur. Bu çözümler için gerekli hesaplamalar ve çizimler yapılır. Şartnameye en uygun çözümler seçilir.
- Şekillendirme tasarımı: Nihai çözümler için alternatif yapılar geliştirilir. Bu yapıların uygunluğuna (ideal boyut, uygun maliyet, mukavemet ve emniyet gibi şartlar için ) bakılır. Şartları sağlayan çözümler için imalat aşamaları belirlenir.
- Ayrıntılı tasarım: Geometrik şekil, yüzey pürüzlülüğü, toleranslar gibi imalat özellikleri belirlenir ve bunlara göre bir maliyet analizi yapılır [36].



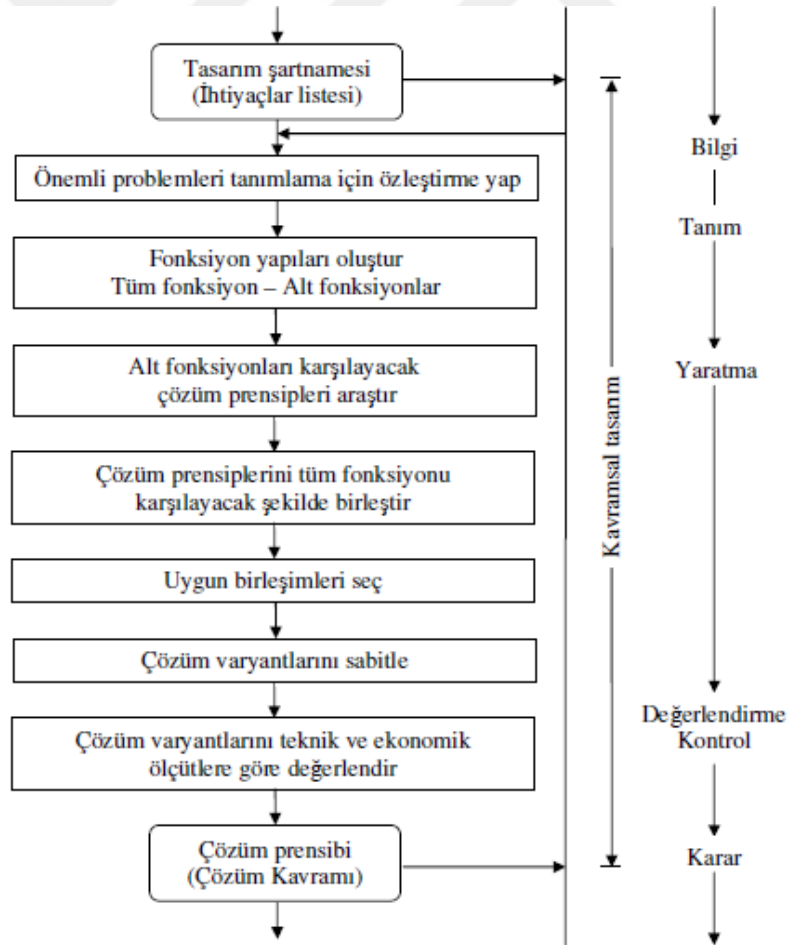
Şekil 4.1. Sistemik tasarım yaklaşımı aşamaları [36]

#### 4.1.2. Kavramsal Tasarım

Kavramsal tasarım yöntemi, bazı temel adımların izlenmesiyle optimum tasarım çözümü elde edilen bir yöntemdir. Bu sekiz adım uygulanış sırasıyla listelenmiştir [36]. Ayrıca Şekil 4.2. de adımlar ve bunların birbiriyle ilişkilendirilmesine görsel olarak da yer verilmiştir [37]:

- Tasarım görevini belirleme ve düzenleme (ihtiyaç listesi)
- Görevin genel ve temel ifadesi
- Fonksiyon şemaları (yapıları) oluşturma
- Çalışma ilkeleri arama
- Çalışma ilkelerini birleştirme (sentez)
- Uygun birleşimleri seçme
- Çözüm seçenekleri oluşturma ve gösterme
- Çözüm seçeneklerini değerlendirme [36].

Şekil 4.2. de bu sekiz adım ve adımların birbiriyle ilişkilendirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kavramsal tasarım aşamaları [37]

#### **4.1.2.1. Tasarım Görevini Belirleme ve Düzenleme**

Kavramsal tasarımda ilk aşama, tasarım görevlerini belirleme ve düzenlemedir. Bu kapsamda öncelikle tasarım için gerekli ihtiyaçlar belirlenir ve bu veriler kullanılarak tasarım şartnamesi (ihtiyaç listesi) oluşturulur. Hazırlanan tasarım şartnamesi kesin, açık ve tam olma şartlarını sağlamalıdır. Bunlardan kasıt; yoruma yer bırakmayan, anlaşılması kolay ve tasarıma ait tüm bilgileri içeren bir şartnamenin hazırlanmasıdır. Bir tasarım şartnamesinde tasarım için kesinlikle karşılanması gereken maddeler 'istekler' olarak gösterilir. Tasarım için temel unsurlardan olmayan fakat karşılanması durumunda tasarıma değer katacak maddeler ise 'arzular' olarak şartnamede yer alır. Şartnamedeki tüm maddeler bu şekilde istek ve arzu olarak sınıflandırılır. Şartnamedeki ihtiyaç listesinin hazırlanmasında ilişkisel yöntemler, ürün anketleri gibi çeşitli teknikler kullanılabilir [36].

#### **4.1.2.2. Özleştirme ve Problem Formülasyonu**

Bu adımda yapılacak tasarım küçük ve temel parçalara ayrılmalı ve bu parçalar için problem tanımları yapılmalıdır. Parçalar için yapılan problem tanımları birleştirilerek tüm tasarım sistemi için bir genel problem tanımı oluşturulmalıdır. Bir tasarımda görevin genel ve önemli olarak ifade edilebilmesi için şu maddeler esas alınmalıdır [37]:

- Kişisel öncelikler ihmal edilir.
- Fonksiyon ve önemli sınırlayıcıları direk etkilemeyen ihtiyaçlar dikkate alınmaz.
- Nicel veriler, nitel verilere dönüştürülür. Bu veriler, önemli ifadelere indirgenir.
- Elde edilen önemli ifadeler genelleştirilir.
- Bağımsız çözüm ifadeleri ile problem tanımı oluşturulur [37].



### 4.1.2.3. Fonksiyon Yapıları Geliştirme

#### ➤ Tüm fonksiyon

Teknik sistemlerde bir fabrika, makine veya montajda girdi ve çıktılar arası ilişki fonksiyon olarak isimlendirilir. Kavramsal tasarımda kullanılan tüm fonksiyon ise; tasarım şartnamesinde yer alan ihtiyaçların genel ve önemli ifadelere indirgenmesidir. Bir tüm fonksiyonunda girdi olarak enerji, sinyal ve/veya malzeme; çıktı olarak ise çıkış enerjisi, çıkış sinyali ve/veya işleme tabi tutulmuş malzeme yer alır. Tüm fonksiyonun içeriğini tanımlayan şey genel tasarım problemi olarak isimlendirilir. Bir tüm fonksiyonda sadece sistemin genel işlevi belirtildiği için, ayrıntı ve sistemin içyapısı alt fonksiyonlar aracılığı ile gösterilmelidir [37].

#### ➤ Alt fonksiyonlara ayırma

Oluşturulan tüm fonksiyonda yer almayan ayrıntılar ve tasarlanacak sistemin içyapısı alt fonksiyonlar şeklinde gösterilir. Sistemin alt fonksiyonlara ayrılması tasarımda çözüm aramayı kolaylaştıran en önemli basamaklardan biridir. Genel geçerli fonksiyonlarla geliştirilen bir fonksiyon yapısı, tasarım probleminin işleme-ilişki mantığını basit ve anlaşılabilir bir tarzda ifade eder. Bu da hem zaman hem de maliyetten tasarruf demektir [37].

#### ➤ Mantıksal düşünme

Alt fonksiyon yapıları gösterilirken, fonksiyona ait girdi ve çıktılar belirli bir sırada ve mantıkta oluşturulmalıdır. Bunun için “eğer-ise-yap” ilişkisine dayanan mantıksal fonksiyonlar kullanılır. Mantıksal fonksiyonlarda girdi - çıktı arası ilişkiler, ‘Boolean cebri’ ile ifade edilir. Mantıksal ilişkiler kurmada önemli hususlar şunlardır:

- Şartname ihtiyaçlarının mantıksal uygunluğuna bakılmalıdır.
- Tasarımda oluşturulan problem tanımı baz alınarak tanımda sınırlama ya da genelleştirmeler yapılmalı, emniyet, güvenilirlik, hatalar ve iletişim ile ilgili mantıksal çerçeve belirlenmelidir [37].

#### ➤ Fiziki düşünme

Hazırlanan tasarım şartnamesi; malzeme, enerji, ve sinyal dönüşümlerindeki fiziksel ilişkilendirmeyi ortaya koymalıdır. Bu fiziksel ilişkilendirme ise bir fonksiyon

yapısıyla gösterilmeli, buna bağılı alt fonksiyonlarla beraber tüm akış basitten karmaşığa doğru bir sıralamada devam etmelidir. Fonksiyon yapıları oluşturulurken şu hususlar dikkate alınmalıdır [37]:

- Gelişen bir sıra izlemelidir.
- Önemli fonksiyonel ilişkiler gösterilmelidir.
- Çalışma prensibi, fiziksel ve mantıksal ilişkilerle belirlenmelidir.
- Fonksiyon yapılarının tamamlanması için, malzeme, enerji ve sinyal verileri belirlenmelidir.
- Genel geçerli fonksiyon blokları kullanılabilir.
- Farklı çözümler elde etmede fonksiyon yapılarının değiştirilmesi yöntemi kullanılabilir.
- Fonksiyon yapıları sade ve basit olmalıdır.
- Olası çözümler göz önüne alınarak fonksiyon yapıları geliştirilmelidir.
- Fonksiyon yapıları oluşturulurken standart semboller kullanılmalıdır [37].

#### 4.1.2.4. Çalışma İlkeleri Arama

Tasarım problemleri için oluşturulan küçük ve bağımsız parçalar için bazı yöntemlerle çalışma ilkeleri (çözümler) aranır. Çözümler için izlenen yöntemler şu şekildedir [36]:

- Geleneksel yöntemler: Bilgi derleme, benzerlikler (analojiler), tabii sistemleri analiz etme, ölçümler ve model deneme ve mevcut teknik sistemlerin analizi olarak sıralanabilir [36].
- Sezgi temelli yöntemler: Genellikle zor problemlerin çözümünde etkilidir. Sezgi; dış dürtülerle ya da aniden oluşabilir, konsantrasyon, birikim, yetenek ve kapasiteye bağılıdır. Sezgi temelli yöntemler, yeni fikirlere ve kolektif düşünmeye teşvik etmelidir. Fakat salt sezgiye dayalı bir yöntem kullanılırsa, mevcut ön yargı ve alışkanlıklar gibi faktörler orijinal gelişmeyi olumsuz etkileyebilir [36]. Sezgisel yöntemler şunlardır: grup oluşturma, beyin fırtınası, işlem, 635 metodu, değerlendirme, Sentetik(synectics), grup liderliği, değerlendirme, yunus balığı metodu ve metotların birleştirilmesi [37].

- Etkileşimli yöntemler: tasnif şemalarıyla sistematik araştırma, tasarım katalogları kullanımı ve fiziksel işlemleri sistematik inceleme olarak sıralanabilir [37].

#### 4.1.2.5. Çözüm Prensiplerini Birleştirme

Tüm fonksiyonları karşılayacak çözümün belirlenmesi için çözüm prensiplerini birleştirme adımı uygulanır. Bu adımda olası çözümlerin fiziksel ve mantıksal fonksiyon yapıları kullanılır. Olası çözümlerin geometrik ve fiziksel açıdan birbirine uygunluğu, maliyet gibi özellikler çözüm prensiplerinin birleşimi için önem taşımaktadır [37].

##### ➤ Sistematik birleştirme

Bu yöntem, sınıflandırma şemaları kullanılarak yapılır. Alt fonksiyonların her birine karşılık bir çözüm prensibi seçilir ve bunlar sistematik olarak birleştirilir. Çözümlerin uygunluğuna bakılır. Bu şekilde teorik çözüm, uygulanabilir bir çözüm haline gelir. Uyumlu alt çözümler için şu adımlar uygulanır [37]:

- Alt fonksiyonlar, fonksiyon yapı sırasıyla yazılır.
- Sütun parametreleri ile çözüm prensipleri düzenlenir.
- Kelime ve krokilerle çözüm prensipleri gösterilir.
- Çözüm prensiplerinden önemli olanlar belirlenir.
- Uyumlu olan alt fonksiyonlar, sistematik birleştirme ile bir araya getirilir.
- Tasarıma uygun olan ekonomik çözümler sürdürülür.
- Çözüm prensiplerinin birleşimleri ve birleşimlerin tercih sebepleri incelenir [37].

##### ➤ Matematiksel metotlarla birleştirme

Bu yöntemde çözüm prensiplerini birleştirmek için bilgisayarlar ve matematiksel yöntemler tercih edilir. Matematiksel metotlarda, çözüme ait geometrik ve fiziksel özellikler de kullanılmaktadır. Özellikle kompleks sistemlerde bu durumda bir çözüm elde edilmesi olanaksız hale gelir. Ancak mantıksal fonksiyonların birleştirilmesinde (emniyet sistemleri, hidrolik devreler gibi) ‘Bolean Cebiri’ yöntemi kullanılabilir ve bu yöntemle çözümlerin birleşimi yapılabilir [37].

#### 4.1.2.6. Uygun Birleşimleri Seçme

Birleştirilen çözüm seçeneklerinin sayısı fazla ise, bu sayıyı azaltabilmek için ön seçim adı verilen bir eleme yöntemi uygulanır. Ön seçim için kilit nokta ‘seçim kartı’ dır. Seçim kartı, üzerinde belirli ölçütler bulunan bir çeşit çizelgedir. Bu ölçütler ihtiyaç listesini karşılama, uygun maliyet vb. şekildedir ve bunlar kullanılarak nihai çözüm için uygun seçenekler oluşturulur. Sonuçta hangi çözümler ölçütleri sağlıyorsa onlarla bir sonraki aşamaya geçilir [36].

#### 4.1.2.7. Çözüm Seçenekleri Oluşturma ve Gösterme

Seçim kartında belirlenen nihai çözüm seçenekleri çeşitli çizimlerle gösterilir. Bu çizimler montaj resminden çok bir kroki niteliğindedir ve çözümün daha iyi anlaşılabilmesi için oluşturulur. Gerekli görülürse oluşturulan krokiler bilgisayar ortamında 3 boyutlu olarak da düzenlenebilir ve ek hesaplamalar yapılabilir [36].

#### 4.1.2.8. Çözüm Seçeneklerini Değerlendirme

Kavramsal tasarımın son aşaması olan değerlendirmede mevcut olası çözümler arasından ‘en iyi’ çözüme ulaşmak esas amaçtır. Bunun için aşağıda görülen iki farklı yöntem tercih edilebilir [36]:

- Bağıl değerlendirme: Bu yöntemde seçenekler birbirleri ile karşılaştırılır ve içlerinden en uygunu optimum çözüm olarak seçilir.
- Global değerlendirme: İdeal yaklaşıma da denilebilir. Bu yöntemde mükemmel bir çözüme yaklaşım derecesi baz alınır.

Bağıl veya global değerlendirme aşamalarının uygulanmasında şu iki yöntem kullanılabilir [36]:

- VDI 2225 kılavuzu
- Maliyet-kazanç analizi: Bu yöntemde ‘amaçlar ağacı’ kullanılır. Amaçlar ağacında öncelikle tasarım şartnamesinde yer alan kriterlere göre bir ağaç yapısı oluşturulur. Bu yapının her bileşenine tasarım için önem sırasına göre

bir değer verilir. Bu değerler parametrelere aktarılır. Parametreler değerlendirilir ve bir çözüml seçeneğine ait tüm değer belirlenir. Tasarımda en iyi çözüme bu şekilde ulaşılır. Eğer daha hassas bir değerlendirme isteniyorsa; maliyet-kazanç analizi sonucu olası iki/üç çözüml kalmışsa ve bu çözümlerin puanları birbirine çok yakınsa bunlar için değer profil diyagramı adı verilen çözümlerin zayıf noktalarını kullanarak onları eleme işleml gerçekleştirilebilir [36].



## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

### 5.1. Füze Kavramsal Tasarımı

Pahl ve Beitz tarafından geliştirilen sistematik tasarım yaklaşımı ve buna bağlı kavramsal tasarım yöntemi, silah sistemleri tasarımı konusu göz önüne alındığında tüm silah sistemleri için rahatlıkla uygulanabilecek bir tasarım yöntemidir. Ancak çalışma kapsamında, silah sistemleri gibi uygulama alanı sınırsız konu içerisinden füze sistemleri seçilerek bu sistemler üzerinde kavramsal tasarım uygulaması yapılmıştır. Ülkemizde ve dünyada, roket ve füze sistemleri üzerine sürekli çalışılmakta, hızlı ve yenilikçi gelişmeler kaydedilmektedir. Özellikle karadan havaya, havadan karaya roket ve füze sistemleri mühimmatların en önemli konularındandır. Bu nedenle tasarım açısından havadan karaya bir füze sisteminin incelenmesi yararlı olacaktır. Eğitim-öğretim çerçevesinden yapılan çalışmaya bakacak olursak; tez kapsamında hazırlanan füze modeli, birbirine geçmeli bileşenlerden oluşan (sökülüp takılabilen), gerçek bir füze ile aynı boyutlarda, kanatlar gibi önemli detayların renk kullanılarak vurgulandığı, defalarca kullanılabilen filamentlerden oluşan, gerçeğine uygun olarak bir füzenin dış kısmını temsil eden yapıya sahiptir. Bu füze modeli ile öğrencilere daha verimli ve akılda kalıcı bir öğrenme tecrübesi sağlanabilecektir.

Füze eğitim modeli kavramsal tasarım aşamalarına uygun olarak yapılmıştır. Bu bölümde uygulanan temel sekiz aşama, açıklama ve tablolarla desteklenerek gösterilecektir.

#### 5.1.1. Tasarım Görevini Belirleme Ve Düzenleme

Tasarım görevlerini belirleme adımında yapılan ilk uygulama füze tasarımı için gerekli olan ihtiyaç ve arzuları belirlemektir. İhtiyaçlar olmazsa olmaz özellikleridir. Buna göre bir füzenin temel özelliklerinden yola çıkılarak ihtiyaçlar için ana başlıklar; menzil, füzenin takılacağı savaş aracı, hedef, maliyet, atış yapılacak

platforma uygunluk ve güvenlik olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu başlıklar, alt başlıkları ile birlikte çizelge 5.1.'de görüldüğü gibi bir tasarım şartnamesine yerleştirilmiştir.

**Çizelge 5.1. Füze tasarım şartnamesi**

		TASARIM ŞARTNAMESİ FÜZE	23.05.2017  Sayfa 1
DEĞİŞİKLİKLER	İ/A	İHTİYAÇLAR	SORUMLU
	İ	1) Füzenin menzili aşağıdaki gibi olmalıdır: -Kısa Menzil (1000 km ve daha az) -Orta Menzil (1000-3000 km arası) -Kıtalararası (asgari 5500 km) -Denizaltından atılan (asgari 5500 km / 3000 deniz mili)	
	İ	2) Füzenin takılacağı savaş aracı şu şekilde belirtilmelidir: -Uçak -Sabit kara platformu -Hareketli kara platformu -Taarruz helikopteri -İHA -Deniz platformu	
	İ	3) Füzenin atılacağı hedef aşağıdaki gibi belirtilmelidir: -Kara hedefleri -Deniz hedefleri -Hafif zırhlı araçlar -Zırhsız araçlar -Uçaklar -İHA	

### Çizelge 5.1. (devam) (Füze tasarım şartnamesi)

	İ	4) Füzeyle ayrılacak bütçede, ağırlık verilmesi istenen kısımlar aşağıdaki gibi belirtilmelidir: -Hedef arayıcı -Harp başlığı -Güdümlü sistemi -Sevk (motor) sistemi -Malzeme özelliği	
	İ	5) Füzenin yapısı, atış yapılacak platforma uygun montaj boyutlarında olmalıdır.	
	İ	6) Füze sistemi, kullanıcıya zarar vermeden çalışabilmelidir.	

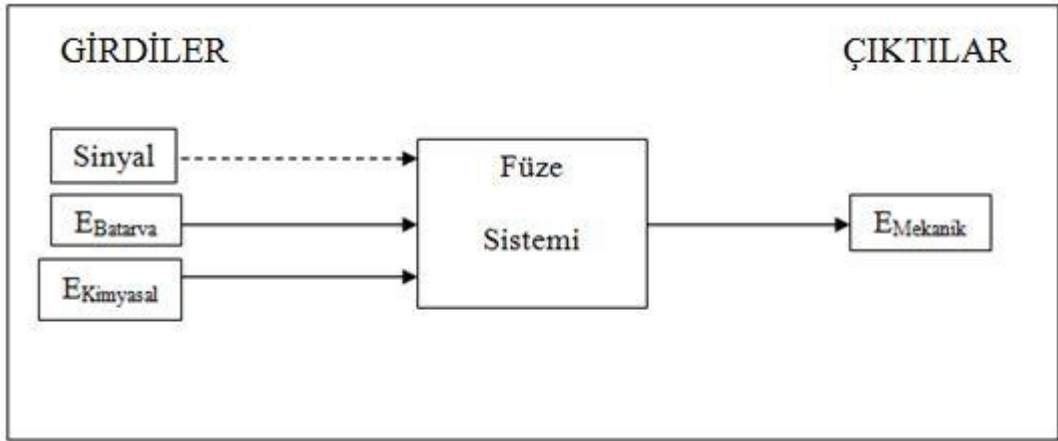
#### 5.1.2. Özleştirme Ve Problem Formülasyonu

Füze tasarımında, tasarım şartnamesine uygun olarak bir problem tanımı oluşturulmuştur. Genel problem tanımı; füzenin belirlenen doğrultu üzerinden, güdümlü sistemi kullanılarak ve itki sisteminin sağladığı hareketle hedefine ulaşmasıdır.

#### 5.1.3. Fonksiyon Yapıları Geliştirme

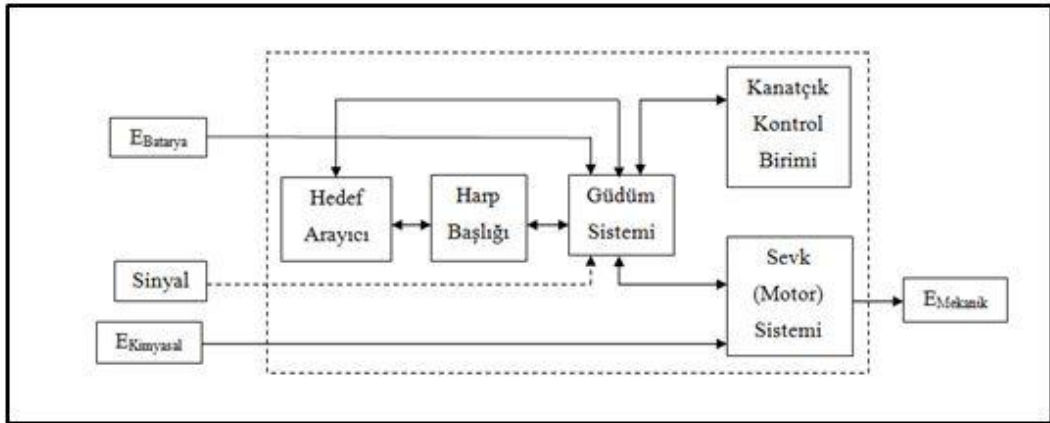
Yapılan genel problem tanımına göre, bir füzenin çalışma sistemine uygun tüm fonksiyon yapısı geliştirilmiştir. Bu tüm fonksiyonda girdiler sinyal,  $E_{batarya}$  ve  $E_{kimyasal}$ , çıktılar ise  $E_{mekanik}$  olarak belirlenmiştir. Şekil 5.1.'deki tüm fonksiyon yapısı, tasarım probleminin işleme-ilişki mantığını basit ve anlaşılır bir biçimde ifade etmektedir.





Şekil 5.1. Füzenin tüm fonksiyon yapısı [49]

Şekil 5.1.'de görülen tüm fonksiyon yapısında, bir füze sisteminin ana bölümlerini oluşturan hedef arayıcı, harp başlığı, güdüm sistemi, kanatçık kontrol birimi ve sevk (motor) sistemi alt fonksiyonlar olarak belirlenmiştir. Tüm fonksiyona bağlı olan bu alt fonksiyonlar ve birbirleriyle ilişkilendirilmesi Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.


















Şekil 5.2. Füzenin alt fonksiyon yapısı [49]









#### 5.1.4. Çalışma İlkeleri Arama

Füze tasarımında alt fonksiyona ait temel çözümler, tasarımda istenilen spesifik özelliklere göre bileşenler seçilerek Çizelge 5.2.'de gösterilmiştir. Yapılan tasarıma ve tasarımcıya göre söz konusu bileşenler daha farklı seçilebilir. Oluşturulan çözüm/alt fonksiyon şeması bundan sonraki aşamalar için tasarımda optimum çözüm elde edilmesinde kilit rol oynayacaktır.

**Çizelge 5.2.** Füze tasarımı sınıflandırma şeması

Çözüm		1	2	3	4	5	6	7
Alt Fonksiyonlar		1	2	3	4	5	6	7
1	Hedef Arayıcı	Kızılötesi Görüntülemeli Arayıcı (IIR) 	Yarı Aktif Lazer Arayıcı 	Arayıcı Yok 				
2	Harp Başlığı	Yüksek İnfilaklı Basınç Parçacık Etkili 	Ardışık Delici 	Zırh Delici 	Yangın Çıkarıcı 	Personel 	Tandem 	Yüksek Patlamalı Anti Tank (HEAT) 
3	Güdüm Sistemi	Tümleşik Ataletsel Navigasyon Sistemi (ANS) 	Küresel Konumlama Sistemi (KKS) 	Yeryüzü Referanslı Navigasyon Sistemi (YRNS) 	Terminal Güdüm 	Lazer Güdüm 		

**Çizelge 5.2. (devam)** (Füze tasarım sınıflandırma şeması)

4	Kanatçık Kontrol Birimi	Kanatsız 	Sabit Kanatlı 	Hareketli Kanatlı 			
5	Sevk (Motor) Sistemi	Kompozit Yakıtlı 	Katı Yakıtlı 	Sıvı Yakıtlı 	Hibrit (Katı+Sıvı Yakıtlı) 	Eletro-termal (Arcjet, Resisto-jet) 	

### 5.1.5. Çözüm Prensiplerini Birleştirme

Füze tasarımı sınıflandırma şemasında yer alan toplam çözüm seçeneklerinin sayısı  $3 \times 7 \times 5 \times 3 \times 5 = 1575$  adet olarak hesaplanabilir. Bu kadar fazla çözüm seçeneği içerisinde tasarım şartnamesine, problem tanımına ve genel fonksiyon yapısına uygun olmayanlar elenmiş, uygun olan 8 adet çözüm kavramsal tasarım bölümünde yer alan ‘sistemik birleştirme’ yöntemiyle belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ortaya çıkacak olan füze, eğitim modeli olarak kullanılacağı için olası çözümler de günümüzde uygulaması yapılmış olan füzelerden seçilmiştir. Öncelikli çözümler, farklı renkler kullanılarak hem şematik olarak hem de liste halinde gösterilmiştir.

Çözüm 1’de hedef arayıcı bulunmamaktadır. Kullanılan harp başlığı, yüksek infilaklı basınç parçacık etkili harp başlığıdır. Güdüm sistemi olarak tümleşik ataletsel navigasyon sistemi (ANS), küresel konumlama sistemi (KKS) ve yeryüzü referanslı navigasyon sistemi (YRNS) bir arada kullanılmaktadır. Kanatçık kontrol birimi sabit ve hareketli kanatlardan oluşmaktadır. Sevk sistemi ise kompozit yakıtlıdır. Bu özellikleri kapsayan çözüm Şekil 5.3’te renklendirilerek gösterilmiştir.

Çözüm 1		1	2	3	4	5	6	7
1	H.A.							
2	H.B.							
3	G.S.							
4	K.K.B.							
5	S.S.							

**Şekil 5.3.** Öncelikli çözüm 1

Çözüm 2’de kullanılan hedef arayıcı, kızılötesi görüntülemeli arayıcı (IIR) dır. Harp başlığı, yüksek infilaklı basınç parçacık etkili harp başlığıdır. GÜDÜM sistemi olarak tümleşik ataletsel navigasyon sistemi (ANS), küresel konumlama sistemi (KKS) ve yeryüzü referanslı navigasyon sistemi (YRNS) bir arada kullanılmaktadır. Kanatçık kontrol birimi sabit ve hareketli kanatlardan oluşmaktadır. Sevk sistemi ise kompozit yakıtlıdır. Bu özellikleri kapsayan çözüm Şekil 5.4’te renklendirilerek gösterilmiştir.

Çözüm 2		1	2	3	4	5	6	7
1	H.A.							
2	H.B.							
3	G.S.							
4	K.K.B.							
5	S.S.							

**Şekil 5.4.** Öncelikli çözüm 2

Çözüm 3’de kullanılan hedef arayıcı, kızılötesi görüntülemeli arayıcı (IIR) dır. Harp başlığı, ardışık delici harp başlığıdır. GÜDÜM sistemi olarak tümleşik ataletsel navigasyon sistemi (ANS), küresel konumlama sistemi (KKS) ve yeryüzü referanslı navigasyon sistemi (YRNS) bir arada kullanılmaktadır. Kanatçık kontrol birimi sabit

ve hareketli kanatlardan oluşmaktadır. Sevk sistemi ise kompozit yakıtlıdır. Bu özellikleri kapsayan çözüm Şekil 5.5'te renklendirilerek gösterilmiştir.

Çözüm 3		1	2	3	4	5	6	7
1	H.A.							
2	H.B.							
3	G.S.							
4	K.K.B.							
5	S.S.							

**Şekil 5.5.** Öncelikli çözüm 3

Çözüm 4'te kullanılan hedef arayıcı, kızılötesi görüntülemeli arayıcı (IIR) dir. Harp başlığı, zırh delici harp başlığıdır. Güdüm sistemi olarak tümleşik ataletsel navigasyon sistemi (ANS), küresel konumlama sistemi (KKS) ve yeryüzü referanslı navigasyon sistemi (YRNS) bir arada kullanılmaktadır. Kanatçık kontrol birimi sabit ve hareketli kanatlardan oluşmaktadır. Sevk sistemi ise kompozit yakıtlıdır. Bu özellikleri kapsayan çözüm Şekil 5.6'da renklendirilerek gösterilmiştir.

Çözüm 4		1	2	3	4	5	6	7
1	H.A.							
2	H.B.							
3	G.S.							
4	K.K.B.							
5	S.S.							

**Şekil 5.6.** Öncelikli çözüm 4

Çözüm 5'te kullanılan hedef arayıcı, yarı aktif lazer arayıcıdır. Harp başlığı olarak yüksek infilaklı basınç parçacık etkili, zırh delici, yangın çıkarıcı ve personel harp

başlıkları bir arada kullanılmaktadır. GÜDÜM sistemi, terminal güdüm sistemidir. Kanatçık kontrol birimi sabit ve hareketli kanatlardan oluşmaktadır. Sevk sistemi ise kompozit yakıtlıdır. Bu özellikleri kapsayan çözüm Şekil 5.7’de renklendirilerek gösterilmiştir.

Çözüm 5		1	2	3	4	5	6	7
1	H.A.							
2	H.B.							
3	G.S.							
4	K.K.B.							
5	S.S.							

**Şekil 5.7.** Öncelikli çözüm 5

Çözüm 6’da kullanılan hedef arayıcı, kızılötesi görüntülemeli arayıcı (IIR) dır. Harp başlığı olarak yüksek infilaklı basınç parçacık etkili arayıcı kullanılmaktadır. GÜDÜM sistemi olarak tümleşik ataletsel navigasyon sistemi (ANS) ve terminal güdüm sistemi bir arada kullanılmaktadır. Kanatçık kontrol birimi sabit ve hareketli kanatlardan oluşmaktadır. Sevk sistemi ise hibrit (katı + sıvı) yakıtlıdır. Bu özellikleri kapsayan çözüm Şekil 5.8’de renklendirilerek gösterilmiştir.

Çözüm 6		1	2	3	4	5	6	7
1	H.A.							
2	H.B.							
3	G.S.							
4	K.K.B.							
5	S.S.							

**Şekil 5.8.** Öncelikli çözüm 6

Çözüm 7’de kullanılan hedef arayıcı, kızılötesi görüntülemeli arayıcı (IIR) dır. Harp başlığı olarak tandem harp başlığı kullanılmaktadır. Güdüm sistemi, lazer güdüm sistemidir. Kanatçık kontrol birimi sabit ve hareketli kanatlardan oluşmaktadır. Sevk sistemi ise kompozit yakıtlıdır. Bu özellikleri kapsayan çözüm Şekil 5.9’da renklendirilerek gösterilmiştir.

Çözüm 7		1	2	3	4	5	6	7
1	H.A.							
2	H.B.							
3	G.S.							
4	K.K.B.							
5	S.S.							

**Şekil 5.9.** Öncelikli çözüm 7

Çözüm 8’de kullanılan hedef arayıcı, kızılötesi görüntülemeli arayıcı (IIR) dır. Harp başlığı, yüksek patlamalı anti tank (HEAT) harp başlığıdır. Güdüm sistemi, lazer güdüm sistemidir. Kanatçık kontrol birimi sabit kanatlardan oluşmaktadır. Sevk sistemi ise katı yakıtlıdır. Bu özellikleri kapsayan çözüm Şekil 5.10’da renklendirilerek gösterilmiştir.

Çözüm 8		1	2	3	4	5	6	7
1	H.A.							
2	H.B.							
3	G.S.							
4	K.K.B.							
5	S.S.							

**Şekil 5.10.** Öncelikli çözüm 8

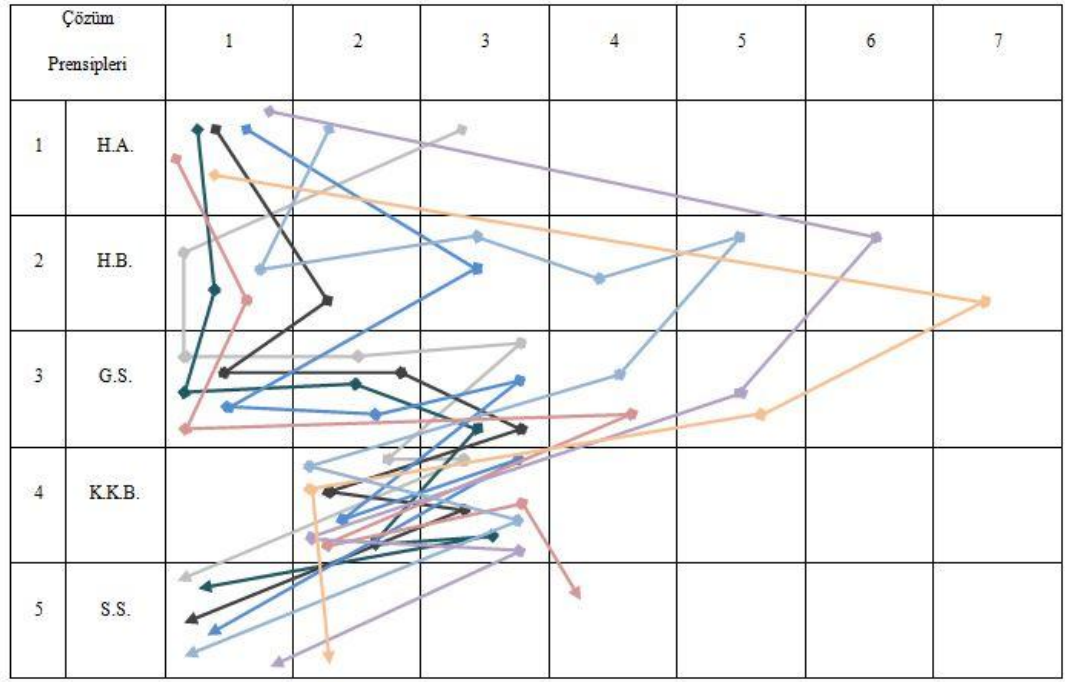
Verilen toplam 8 çözüm; öncelikle bağlı olduğu alt fonksiyonun, daha sonra da buna bağlı alt sistemlerin numaraları yazılarak Şekil 5.11’de çözüm numarasına göre renklendirilmiş bir liste şekilde gösterilmiştir.

Çözüm 1	1.3- 2.1- <u>3.1, 3.2, 3.3</u> - <u>4.2, 4.3</u> - 5.1
Çözüm 2	1.1- 2.1- <u>3.1, 3.2, 3.3</u> - <u>4.2, 4.3</u> - 5.1
Çözüm 3	1.1- 2.2- <u>3.1, 3.2, 3.3</u> - <u>4.2, 4.3</u> - 5.1
Çözüm 4	1.1- 2.3- <u>3.1, 3.2, 3.3</u> - <u>4.2, 4.3</u> - 5.1
Çözüm 5	1.2- <u>2.1, 2.3, 2.4, 2.5</u> - 3.4- <u>4.2, 4.3</u> - 5.1
Çözüm 6	1.1- 2.1- <u>3.1, 3.4</u> - <u>4.2, 4.3</u> - 5.4
Çözüm 7	1.1- 2.6- 3.5- <u>4.2, 4.3</u> - 5.1
Çözüm 8	1.1- 2.7- 3.5- 4.2- 5.2

**Şekil 5.11.** Öncelikli çözümlerin listesi [49]

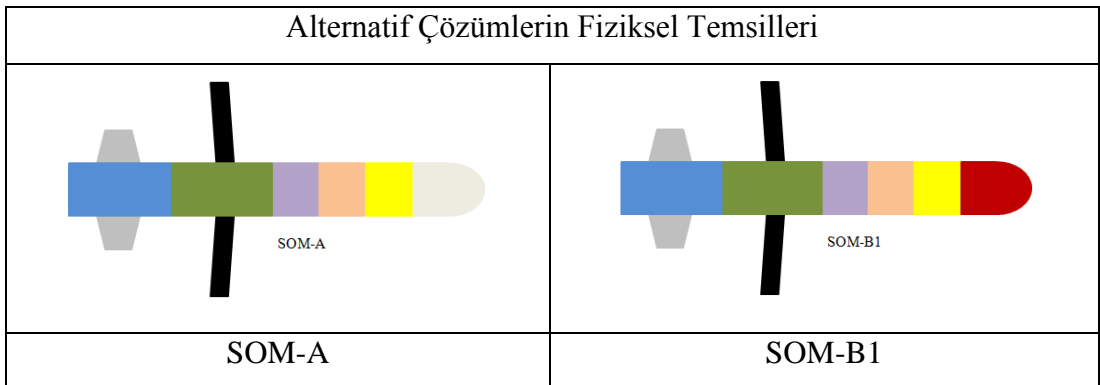
Olası 8 çözümün temsil ettikleri noktaların birleştirilmesiyle, farklı renkler kullanılarak çözüm prensipleri tablosu oluşturulmuştur. Tablo, Şekil 5.12.’de gösterilmiştir.



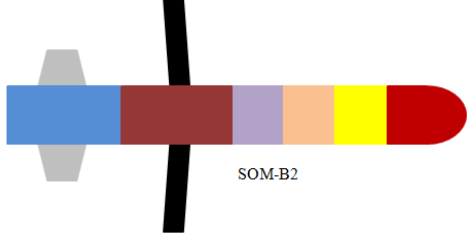
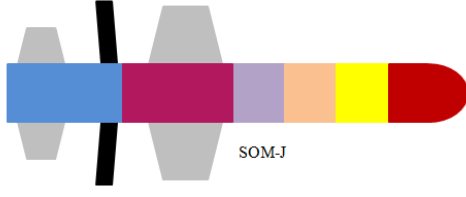

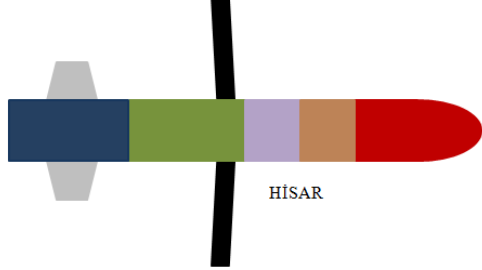
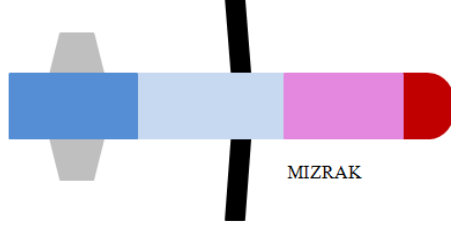
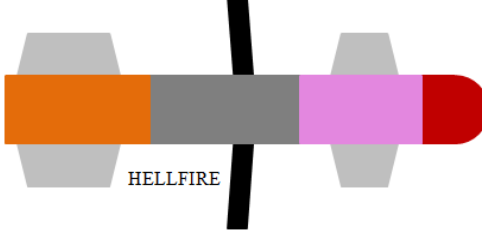


Şekil 5.12. Çözüm prensipleri tablosu

Çözüm/alt fonksiyon tablosundaki şemalar kullanılarak alternatif çözümler için temsili şekiller oluşturulmuştur. Bu şekillerin çözüm sistemleri içerisinde belli bir sırayla birleştirilmesiyle her bir çözümün temsilleri elde edilmiştir. Bu fiziksel temsiller Şekil 5.13’de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. (devam) (Alternatif çözümlerin fiziksel temsilleri)

 <p>SOM-B2</p>	 <p>SOM-J</p>
SOM-B2	SOM-J
 <p>CİRİT 2.75</p>	 <p>HİSAR</p>
CİRİT 2.75	HİSAR
 <p>MIZRAK</p>	 <p>HELLFIRE</p>
MIZRAK	HELLFIRE

Şekil 5.13. Alternatif çözümlerin fiziksel temsilleri

### 5.1.6. Uygun Birleşimleri Seçme

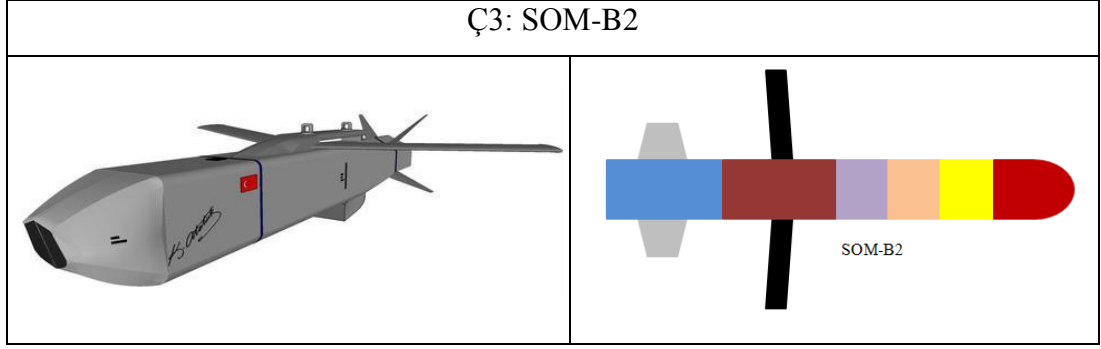
5. aşamada seçilen 8 farklı çözüm varyantı için seçim kartı kullanılarak bir ön eleme yapılır. Şartları sağlayan çözümler için (+) işareti, sağlamayanlar için ise (-) işareti kullanılmıştır [50]. Seçim kartındaki şartları sağlayan önemli 3 çözüm, renklendirilerek Çizelge 5.3.'teki seçim kartında gösterilmiştir.

**Çizelge 5.3. Seçim kartı**

		SEÇİM KARTI							FÜZE		KARAR
Çözüm varyantları		KARAR KRİTERLERİ								KARAR	
		(+ )Evet								KARAR	
		(- )Hayır								KRİTERLERİ	
		(?) Bilgi eksikliği								(+ ) Çözümü sürdür	
		(!) Şartı kontrol et								(- ) Çözümü çıkar	
		Tüm fonksiyonla uyumlu								(?) Bilgi topla	
		Şartname isteklerini karşılar								(!) Değişiklikler için şartnameyi kontrol et	
		Prensipte gerçekleştirilebilirlik									
		Müsaade edilebilir maliyet									
		Emniyet şartlarını doğrudan karşılar									
Tasarımcı şirketince tercih edilir											
Yeterli bilgi											
Görüşler (Sebepler)											
Ç1	1	A	B	C	D	E	F	G	Geliştirilmeli	-	
Ç2	2	+	+	+	?	+	-	-	Geliştirilmeli	-	
Ç3	3	+	+	+	?	+	+	-	Yeterli	+	
Ç4	4	+	+	+	?	+	-	?	Geliştirilmeli	-	
Ç5	5	+	+	+	?	+	-	?	Geliştirilmeli	-	
Ç6	6	+	+	+	?	+	+	-	Yeterli	+	
Ç7	7	+	+	+	?	+	-	-	Geliştirilmeli	-	
Ç8	8	+	+	+	+	+	+	+	Yeterli	+	

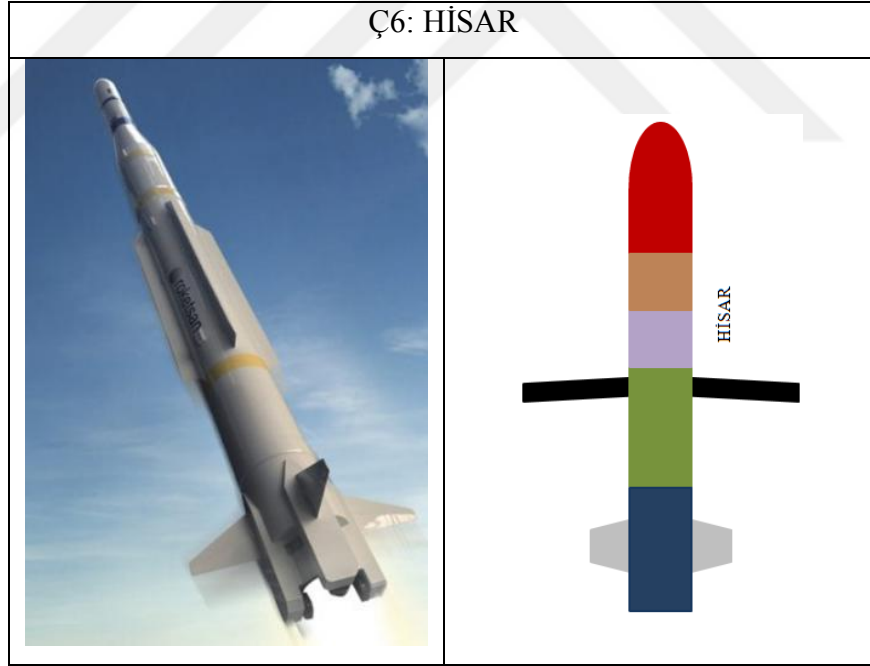
### 5.1.7. Çözüm Seçeneklerini Oluşturma Ve Gösterme

Seçim kartında yapılan işlemlere göre seçilen çözümler Ç3, Ç6 ve Ç8'dir. Ç3 ile gösterilen füze; uzun menzilli, havadan karaya milli bir füze olan SOM-B2 füzesidir. Yoğun şekilde korunan kara ve deniz hedefleri için üretilmiştir. Menzili 100 deniz milidir. Şekil 5.14.'de SOM-B2 füzesi görülmektedir.



**Şekil 5.14.** SOM-B2 füzesi

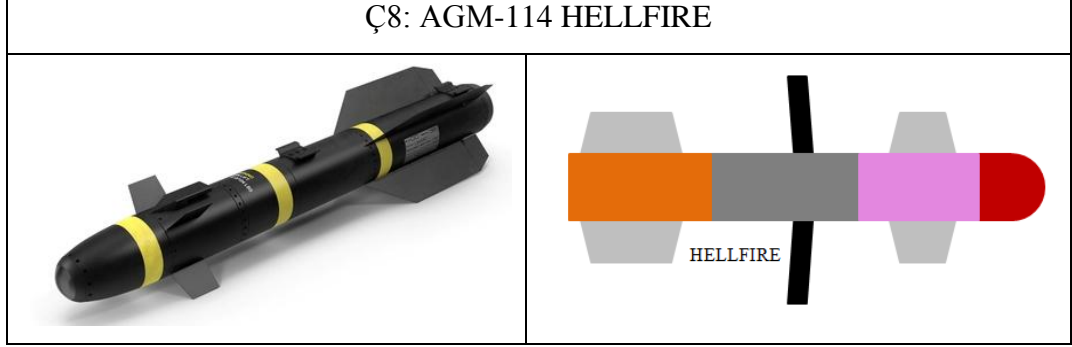
Ç6 ile gösterilen füze; HİSAR füzesidir. 25 km menzile sahip milli bir füzedir. Sabit kanatlı uçak, döner kanatlı uçak, seyir füzeleri, İHA ve havadan karaya füzelerde kullanılabilir. Şekil 5.15.'de HİSAR füzesi görülmektedir.



**Şekil 5.15.** HİSAR füzesi

Ç8 ile gösterilen füze; havadan karaya bir füze olan AGM-114 HELLFIRE füzesidir. Yüksek patlamalı (high explode) anti tank harp başlığına sahiptir. Menzili 500-8000

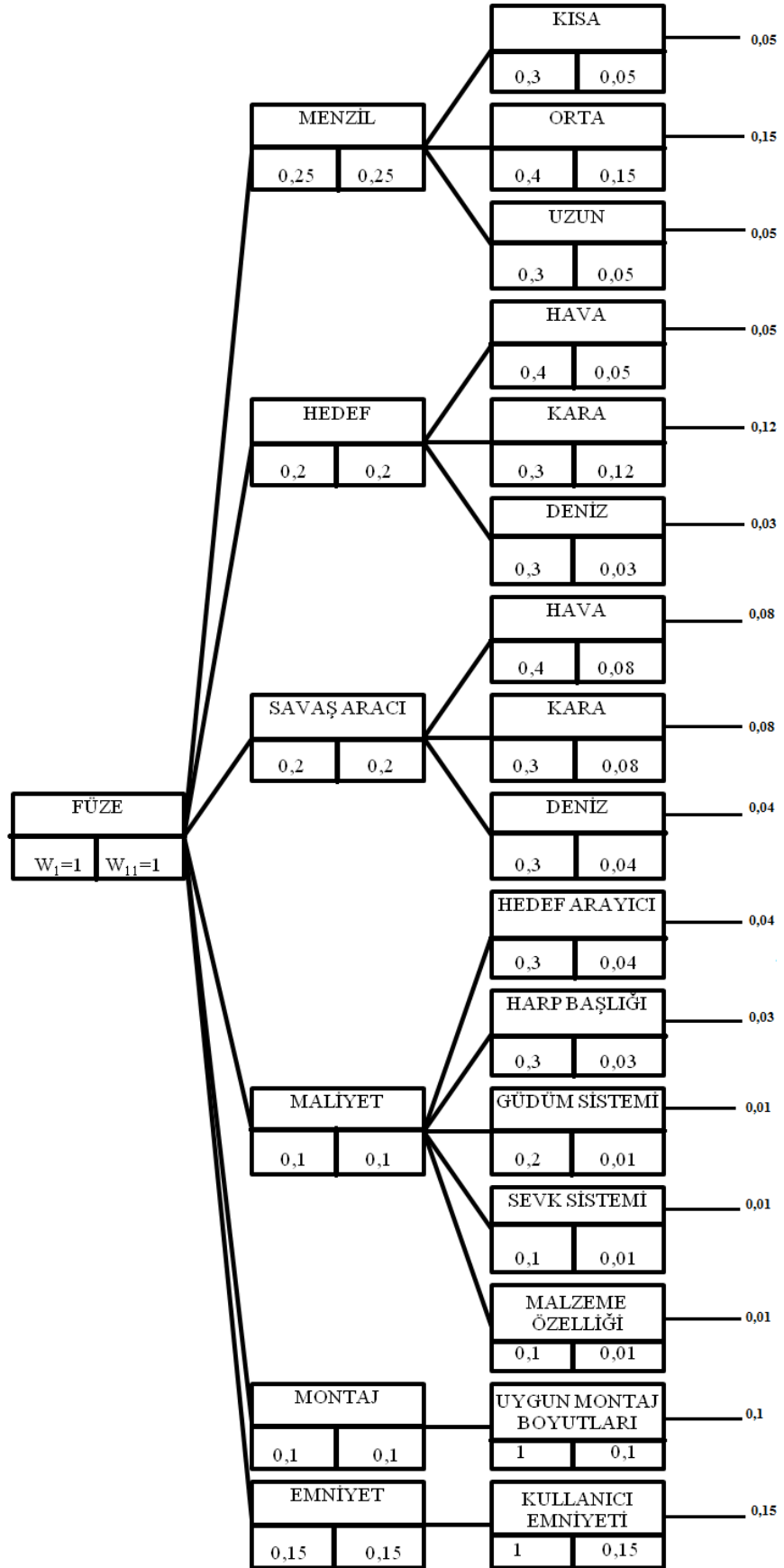
m arasındadır. Helikopterden kullanılabilir. Katı yakıtlı roket motoru bulunmaktadır. Şekil 5.16.'da AGM-114 HELLFIRE füzesi görülmektedir.



Şekil 5.16. AGM-114 HELLFIRE

#### 5.1.8. Çözüm Seçeneklerini Değerlendirme

Ç3, Ç6 ve Ç8 arasında hassas bir değerlendirme yapabilmek için 'maliyet-kazanç analizi' yöntemi kullanılmıştır. Bunun için öncelikle bir amaçlar ağacı oluşturulmuştur. Amaçlar ağacı, tasarım şartnamesine uygun olarak düzenlenmiştir. Her amaç için toplam %100 olacak şekilde ayrı bir yüzdelik dilim belirlenmiştir. Bu parametreler tasarıma ve tasarımcıya göre farklılık gösterebilir. Tasarım ağacının son bileşenlerinde görülen ağırlık değer toplamları da 1 değerini vermelidir. İhtiyaçlara göre füze tasarımı için belirlenen bileşenlerin toplam değeri de 1'dir. Füze tasarımı için oluşturulan amaçlar ağacı Şekil 5.17.'de verilmiştir.



Şekil 5.17. Füze tasarımı için oluşturulan amaçlar ağacı

Sonraki adımda amaçlar ağacındaki kriterler ve değerleri kullanılarak bir değerlendirme tablosu oluşturulmuştur. 3, 6 ve 8 için tüm değerler tabloya ayrı ayrı yerleştirilerek karşılaştırma yapılmıştır. Problem tanımına ve füze eğitim modeli için istenen özelliklere göre bir puanlama yapılmıştır. Çizelge 5.4.'te hazırlanan değerlendirme tablosu yer almaktadır.

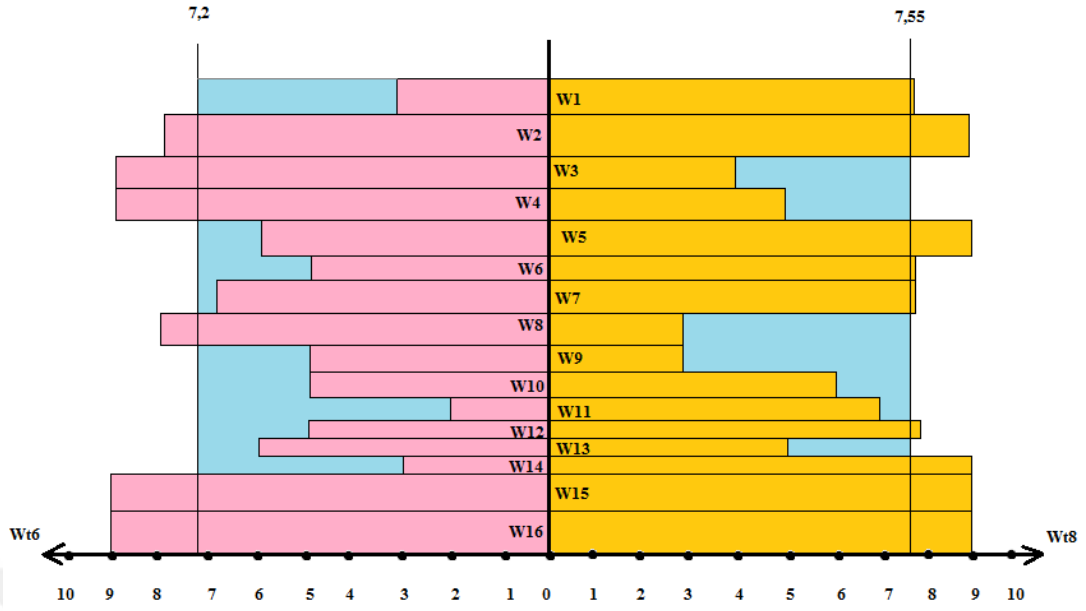


**Çizelge 5.4.** Füze tasarımı için oluşturulan değerlendirme tablosu

Değerlendirme Kriteri			Parametreler	3. Çözüm			6. Çözüm			8. Çözüm		
		$W_t$		Oran	Değer	Ağırlık Değeri	Oran	Değer	Ağırlık Değeri	Oran	Değer	Ağırlık Değeri
1	Kısa Menzil	0,05	Menzil	Düşük	2	0,1	Düşük	3	0,15	Orta	7	0,35
2	Orta Menzil	0,15	Menzil	Orta	5	0,75	Yüksek	8	1,2	Yüksek	9	1,35
3	Uzun Menzil	0,05	Menzil	Yüksek	9	0,45	Yüksek	9	0,45	Düşük	4	0,2
4	Hava Hedefi	0,05	Hedef	Düşük	1	0,05	Yüksek	9	0,45	Orta	5	0,25
5	Kara Hedefi	0,12	Hedef	Yüksek	8	0,96	Orta	6	0,72	Yüksek	9	1,08
6	Deniz Hedefi	0,03	Hedef	Orta	7	0,21	Orta	5	0,15	Yüksek	8	0,24
7	Hava Aracı	0,08	Atılan Platform	Yüksek	9	0,72	Orta	7	0,56	Yüksek	9	0,72
8	Kara Aracı	0,08	Atılan Platform	Düşük	4	0,32	Yüksek	8	0,64	Düşük	4	0,32
9	Deniz Aracı	0,04	Atılan Platform	Düşük	3	0,12	Orta	5	0,2	Düşük	3	0,12
10	Hedef Arayıcı	0,04	Maliyet	Düşük	2	0,08	Orta	5	0,2	Orta	6	0,24
16	Kullanıcıya Zarar Vermeme	0,15	Emniyet	Yüksek	9	1,35	Yüksek	9	1,35	Yüksek	9	1,35
$\Sigma W_t = 1$			3. Çözüm			6. Çözüm			8. Çözüm			
			$\Sigma_d=89 \quad \Sigma_{ad}=6,34$			$\Sigma_d=100 \quad \Sigma_{ad}=7,2$			$\Sigma_d=111 \quad \Sigma_{ad}=7,55$			

Değerlendirme tablosuna göre yapılan hesaplamalar sonucu Ç6 ve Ç8 en yüksek puana sahiptir ve puanlamaları birbirine yakındır. Bu nedenle son aşamada bu iki çözüm karşılaştırılacaktır. Bu iki çözüm için bir değer profil diyagramı oluşturulmuştur. Değer profil diyagramında çözümlerin zayıf noktaları karşılaştırılarak eleme işlemi gerçekleştirilecektir. Şekil 5.18.'de değer profil diyagramı yer almaktadır.





Şekil 5.18. Değer profil diyagramı [49]

Diyagrama göre, kavramsal tasarım sonucu elde edilen optimum çözüm 8. çözümdür. Yani füze eğitim modeli için üç boyutlu yazıcıda basılacak füze AGM-114 HELLFIRE tipi bir füze olacaktır.

En iyi çözüm olarak elde ettiğimiz ve prototipi oluşturulacak olan AGM-114 Hellfire havadan karaya tanksavar füzelerinin genele özellikleri şunlardır [38]:

- Üretici firma: Lockheed Martin (ABD)
- Tipi: Havadan karaya taarruz füzesi
- Güdüm sistemi: Yarı aktif/lazer
- Harp başlığı: 8 kg (yüksek patlayıcı anti tank)
- Etkili menzil: 500-8.000 m
- Uzunluk: 1.3 m
- Çap: 178 mm
- Kanat Açıklığı: 33 cm
- Ağırlık: 45 kg [38].

## 5.2. Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD)

Etkileşimli Bilgisayar Grafik (Interactive Computer Graphics kısaca ICG) sistemi temeline dayanan Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design kısaca CAD) sistemleri kullanıcıya yönelik olarak yapılmış sistemlerdir. Bu tür sistemlerde bilgisayar kullanıcının verdiği komutlar doğrultusunda veriyi semboller ve şekiller kullanarak oluşturur, görüntüler, değiştirir ve çizer. Genellikle sistemlerde görüntüler çember, doğru, nokta gibi geometrik elemanlardan meydana gelir. Sistemde tasarımcı bizzat kullanıcıdır. Tasarımcı verdiği komutlar sayesinde görüntüde küçültme, büyütme, ekranın farklı bölgesine kaydırma, renklendirme, gölgelendirme, döndürme ve farklı dönüştürmelerle değişiklikler yapılabilir. Yapılan her şey, görüntünün detaylarının formüle edilebilmesi içindir. CAD, ismini Ivan Sutherland'dan almıştır. Tanımlayacak olursak CAD; tasarımla ilgili ergonomik problemler, ürün geliştirme, maliyet konularının çözümünü amaç edinen, bilgisayarlardaki donanım ve yazılım paketleriyle desteklenen, karmaşık bilgisayar grafik tekniklerinin kullanıldığı tasarım süreçlerinin tümüdür. CAD sistemleri, yapılan bir tasarımın her aşamasına (eskiz, tasarım, modelleme, uygulama, animasyon) yönelik kullanılırlar. CAD sistemlerinde, farklı özelliklere sahip mimarlık, mühendislik gibi meslek gruplarının ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde geliştirilmiş programlar mevcuttur [39].

Tasarım alanında bilgisayarlar yarım asırdan fazla süredir kullanılmaktadır. 1957 yılında Dr. Patrick J. Hanratty, PRONTO adı verilen ilk ticari nümerik-kontrol programlama sistemini yapmıştır. Bu CAD/CAM (bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli imalat) sistemleri için oldukça önemli bir adımdır. CAD kavramının ilk aşaması olan SKETCHPAD projesi ise 1960 yılında Massachusetts Institute of Technology (MIT)'de çalışan Ivan Sutherland tarafından yapılmıştır. Amerikan ordusu da, desteklediği projelerle CAD kavramının teknik ve ticari anlamda gelişmesini hızlandırmıştır. 70'li yılların başından itibaren tasarımda adeta devrim yaratan bilgisayarlar tüm tasarım ofislerinde kullanılmaya başlanmıştır. Sonraki yıllarda bilgi tabanlı sistemler, programlama dilleri, yapay zekâ ve birbiriyle ilişki kurabilen veritabanı sistemlerinde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bu gelişmelerle CAD sistemleri de yeni teknolojik avantajlar elde etmiş, bilgisayar

donanımlarının maliyetinde düşüş yaşanmıştır. Bu süreçte bilgisayar destekli sunum değişerek tasarım konusunda ekonomik yönden vazgeçilmez bir araç olmuştur. Pek çok programda ortak kullanılan biçimler, çizilmiş geometrik biçimlerin görünümelerini kontrol eden komutlar ve “modifiers” olarak adlandırılan çevirme, sıralama, aynalama gibi değiştirme komutları da bu sistemlere eklenmiştir. Komutlar artık fare ve klavye ile verilebilmektedir. Öte yandan üç boyutlu modelleme teknikleri, üretim grafikleri yazılımlarının en temel ögesi haline gelmiştir. 80’li yıllarda bilgisayar destekli sunum; endüstride tam gelişmiş şekilde kullanılmaya başlanmış, katı (solid) modelleme teknikleri geliştirilmiştir. Bu katı modeller; bilgisayarda görsel olarak nesneyi yüzeyleri, kenarları ve hacmiyle gerçekmiş gibi gösterebilmektedir. Katı modellemede öncü olarak Pro ENGINEER, Unigraphics ve SolidWorks yazılımları gösterilebilir [39].

Kısaca özetlersek; CAD sistemleri önce iki boyutlu çizim olarak yapılmış, üç boyutlu modellemeyle gelişim göstermiştir. Üç boyutlu modellemeye renk, doku, yüzey gibi özellikler eklenmiştir. Daha sonra hareketli görselleştirme (animasyon), yapay zekâ kullanımı ve sanal gerçeklik (içinde gezilebilen, hissedilen bilgisayar teknolojileri) ile günümüzde bu sistemler en üst düzeylere ulaşmıştır [39].

### **5.2.1. SolidWorks**

SolidWorks, üç boyutlu tasarım programıdır. Windows işletim sistemleri ile tam uyumlu olarak çalışır. 3 boyutlu tasarım programıdır. Windows işletim sistemine ait sürükle-bırak, "Kes-Kopyala-Yapıştır", fare sağ tuş özellikleri, klavye kısayol tuşları gibi pratik yollar SolidWorks programında da uygulanabilir. Bu da programın kullanımını pratik hale getirir. SolidWorks, Parasolid prensibi ile çalışır. Bu durumda kullanıcı tasarımın her aşamasına müdahale edebilir; tasarladığı modelin boyutlarını, ölçülerini istediği şekilde değiştirebilir. Kullanıcı tarafından yapılan bu değişiklikler, tasarıma bağlı olan teknik resim veya montaj varsa bunlara da aynen yansıtılır. Bu da montaj ya da teknik resmin tekrar düzenlemesi gibi bir sorunu ortadan kaldırır. SolidWorks programının içerisinde yer alan alt programlar bulunmaktadır. Bunlar; teknik resim (drawing), montaj tasarımı (Assembly), imalat

yöntemlerine has özellikler barındıran sac levha (sheet metal), borulama (routing) ve kalıp tasarımı (molding) olarak sıralanabilir [40].

Bilinen CAD programları ile karşılaştırıldığında SolidWorks programının adaptasyonu ve kullanımı daha kolaydır. Delik sihirbazı (hole wizard) özelliği ile metrik ya da Inch, faturalı veya havşalı tüm delikler oluşturulabilir. Bu özellik, montaj ve tasarımda da kullanıcıya hız kazandırır. Ayrıca program bünyesinde montajlara hareket verebilir, bu hareketlerle çarpma kontrolü (collision detection) yapılabilir. Tasarım sonucunda oluşturulan dosyaların büyüklükleri diğer programlara göre daha az yer kaplar. Bu sayede montaj ve parça dosyalarının işlem zamanları çok daha kısa sürer. Bu işlem zamanında montaj büyüklüğünün bir etkisi yoktur. Tasarım yapılırken foto gerçekçi görüntüler (PhotoView360) oluşturulabilir, animasyon (motion study) yapılabilir [40].

#### **5.2.1.1. SolidWorks Yazılımı**

Mekanik tasarım için geliştirilmiş olan SolidWorks; Windows grafik kullanıcı arayüzünden yararlanan, öğrenmesi kolay, parametrik, unsur tabanlı bir katı modelleme tasarım yazılımıdır. Tanımda yer alan unsur tabanlı, parametrik ve katı modelleme ifadelerini açacak olursak [40];

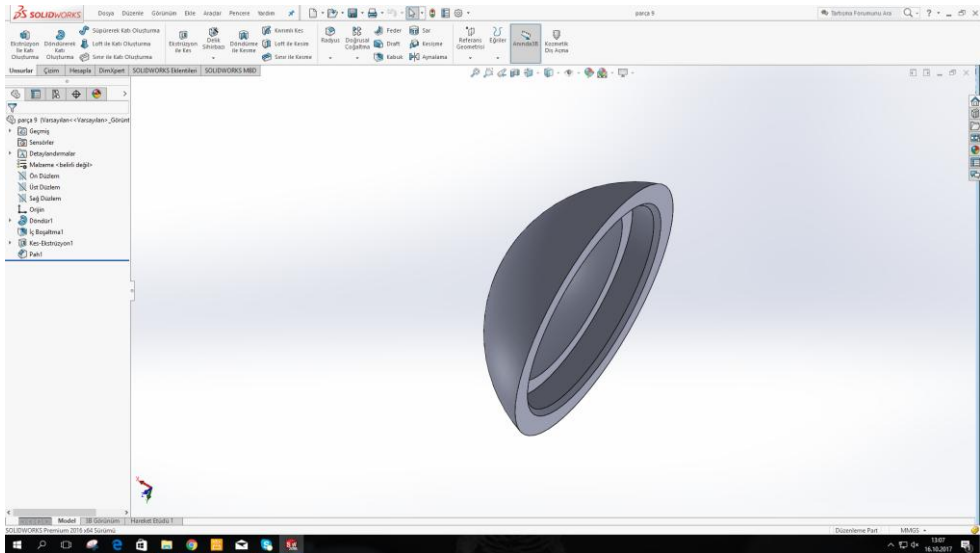
- Unsur tabanı: Nasıl ki bir montaj birkaç ayrı parçadan oluşuyorsa SolidWorks programında oluşturulan model de ayrı ayrı bileşenlerden meydana gelir. Bu bileşenlere unsur (feature) adı verilir.
- Parametrik: Bir unsuru oluşturmak için kullanılan ölçüler ve ilişkiler modelle yakalanır ve depolanır. Böylece tasarım amacına ulaşılabilir ve modelde hızlı ve kolay değişiklikler yapılabilir.
- Katı Modelleme: CAD sistemlerinde tasarımı tamamlanmış, geometrik model katı model olarak isimlendirilir. Program tarafından hesaplanarak oluşturulan ya da tasarımcı tarafından girilen nokta koordinat değerleri, çizgi ve eğriler modeli oluşturan unsurlardır ve bunlar genel ifadeyle parçanın geometrisi olarak isimlendirilir. SolidWorks programı geometrinin oluşturduğu alanları otomatik tanıyabilir; bu alanları bir kenar yüzeyi olarak gösterip bize yüzeylerde delik

delme, çıkıntı verme gibi istediğimiz işlemleri gerçekleştirebilme imkânı sağlar [40].

### 5.2.2. Füze Bileşenlerinin SolidWorks İle Katı Modellenmesi

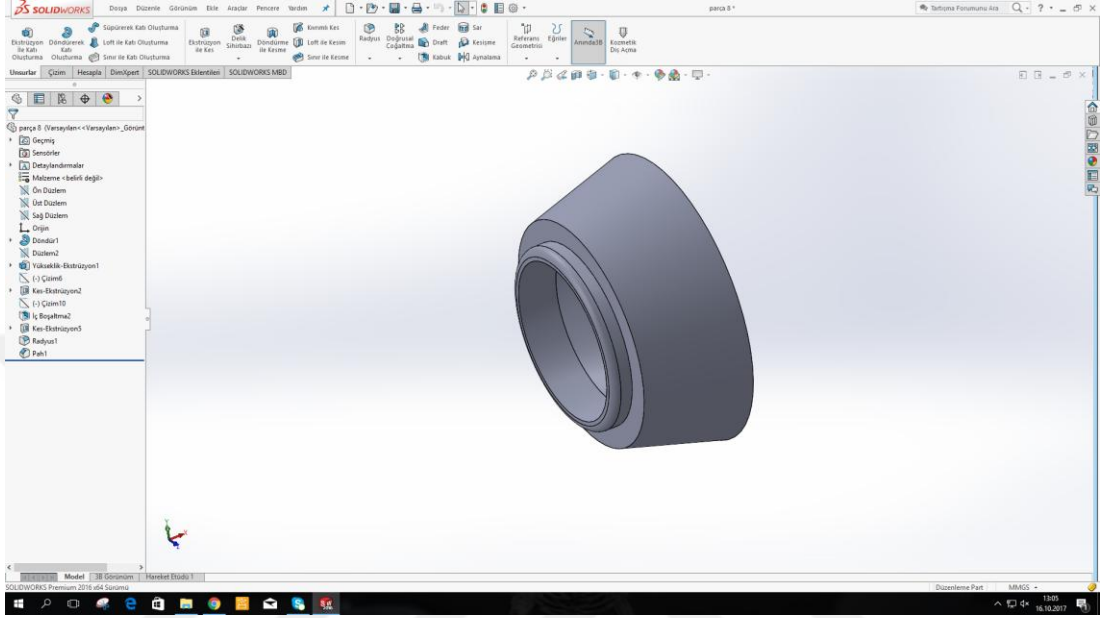
Geliştirilen füze eğitim modeli; üretimin yapılacağı üç boyutlu yazıcının boyutları göz önüne alınarak, gerçek füze ölçülerine yakın, parçalı olarak tasarlanmıştır. Model birbirinden bağımsız 12 parçadan oluşmaktadır ancak bağlantı parçasının 3, kanat parçalarının 4'er kez kullanılmasıyla bu sayı 23'e çıkmaktadır. Füze eğitim modeli parçalarının çizimi, katı modellemesi ve montajında SolidWorks programı kullanılmıştır. Parçalar yapıştırma bağlantısı olmaksızın geçmeli olarak birbirine bağlanabilmektedir. Silah sistemleri eğitiminde kullanılmak üzere tasarlanan füze modeli kolaylıkla monte-demonte edilebilmektedir.

Şekil 5.19. da optik göz yer almaktadır. Optik göz füzenin en ön kısmındadır ve kontrol ünitesine bağlanmaktadır. Üç boyutlu baskısında ise mavi renkli Z-ABS filament kullanılmıştır.



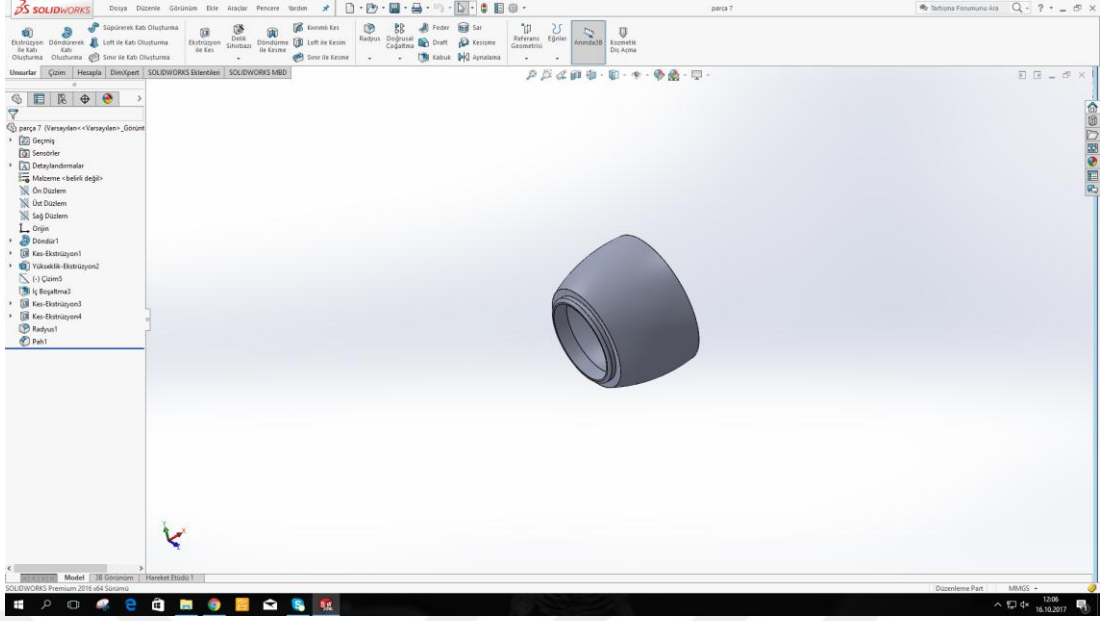
Şekil 5.19. Optik göz

Şekil 5.20’de kontrol ünitesi yer almaktadır. Kontrol ünitesi, füze başlığı ve optik göz ile bağlantı halindedir. Üç boyutlu baskısında ise kırmızı renkli Z-ABS filament kullanılmıştır.



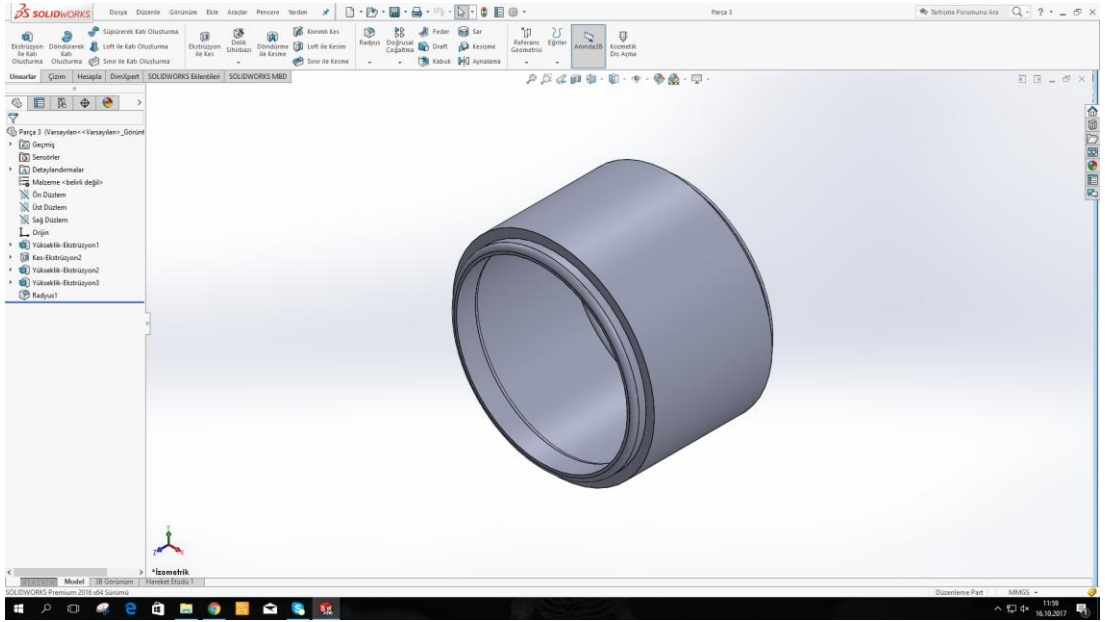
Şekil 5.20. Kontrol ünitesi

Şekil 5.21.’de füze başlığı görülmektedir. Füze başlığı, modüler bağlama parçası ve kontrol ünitesi ile birbirine bağlıdır. Üç boyutlu baskısında ise beyaz renkli Z-ULTRAT filament kullanılmıştır.



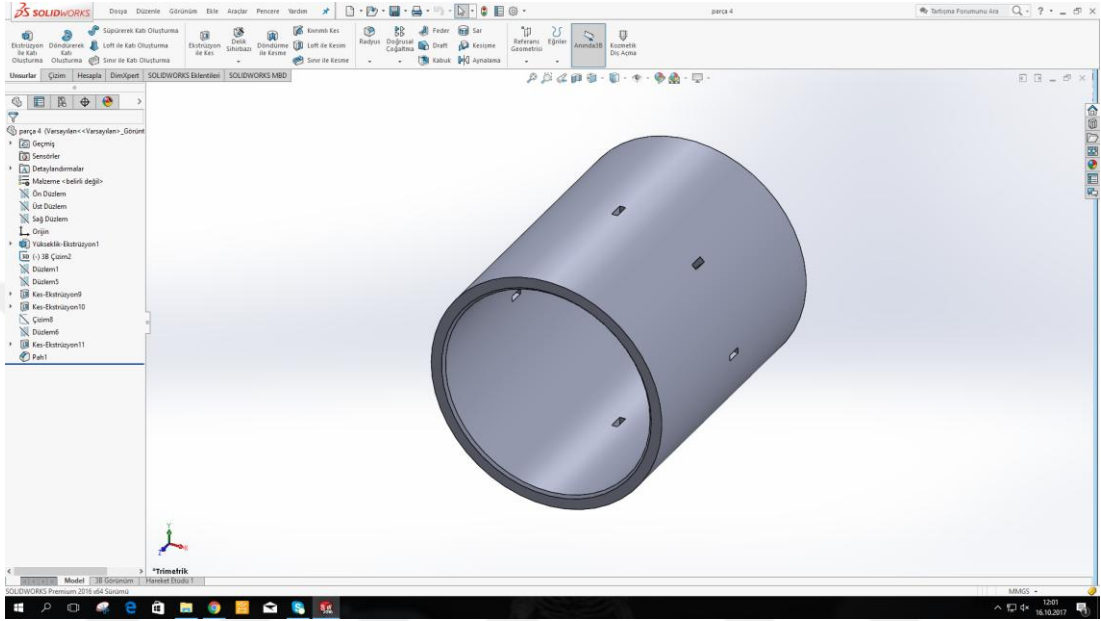
Şekil 5.21. Füze başlığı

Şekil 5.22.'de modüler bağlama parçası yer almaktadır. Bu parça, füze başlığı ve ön kanat gövdesiyle bağlantılıdır. Üç boyutlu baskısında ise kırmızı renkli Z-ABS filament kullanılmıştır.



Şekil 5.22. Modüler bağlama parçası

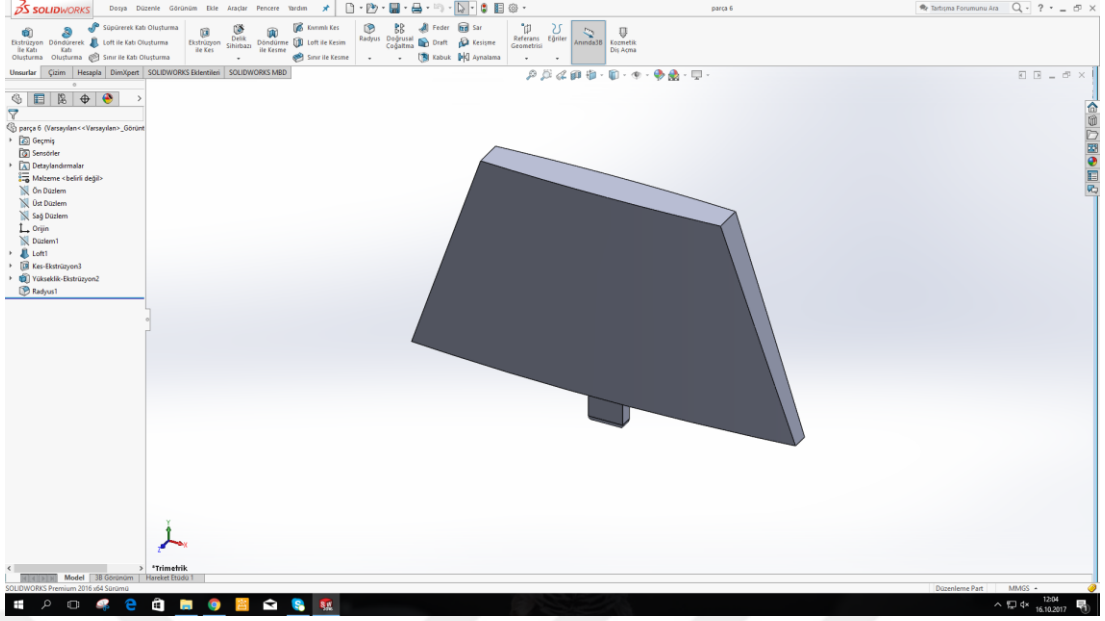
Şekil 5.23.'te ön kanat gövdesi görülmektedir. Ön kanat gövdesi, iki modüler bağlama parçası arasındadır. Üzerine 4 adet ön kanatçık ve elektronik bağlantı girişi yerleştirilmiştir. Üç boyutlu baskısında ise beyaz renkli Z-ULTRAT filament kullanılmıştır.



Şekil 5.23. Öñ kanat gövdesi

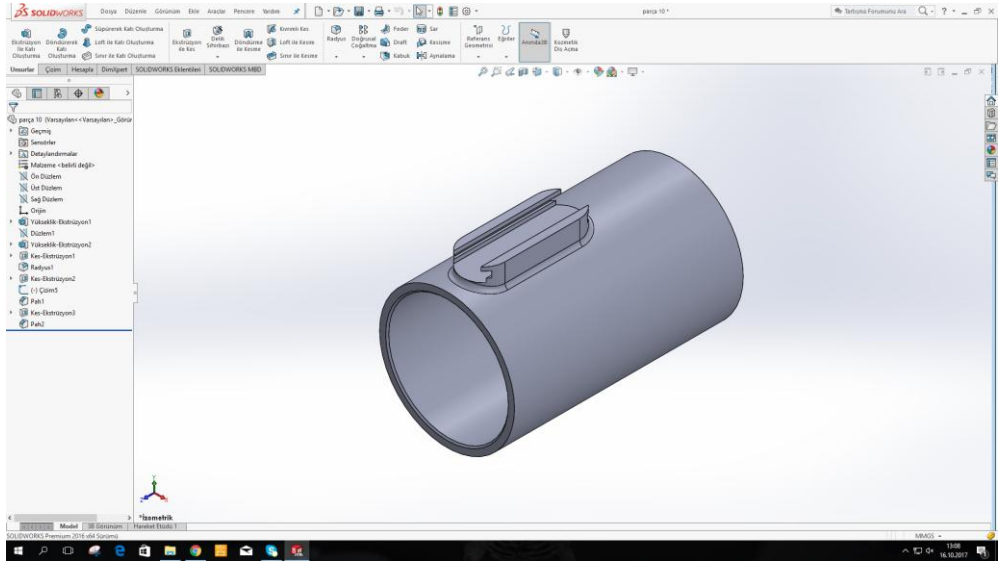
Şekil 5.24.'te öñ kanatçıklar görülmektedir. Bu kanatçıklar 4 adettir, öñ kanat gövdesi üzerinde konumlandırılmıştır. Üç boyutlu baskısında ise kırmızı renkli Z-ULTRAT filament kullanılmıştır.





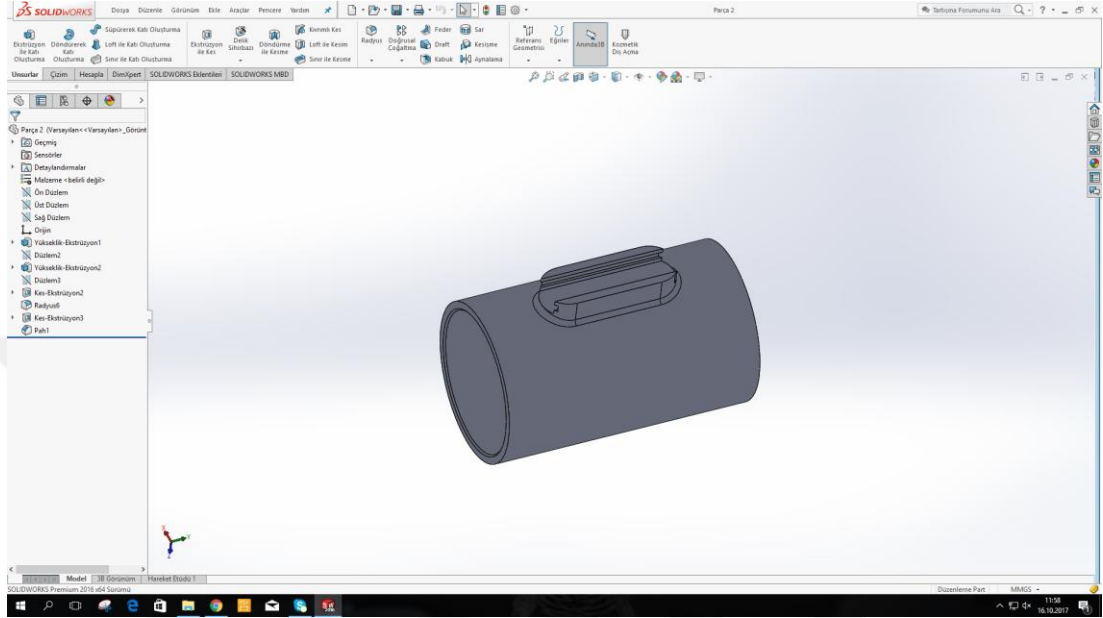
Şekil 5.24. Ön kanatçıklar

Şekil 5.25.'te ön bağlama gövdesi bulunmaktadır. Ön bağlama gövdesi füze modeline 2 adet modüler bağlama parçasıyla monte edilmiştir. Üç boyutlu baskısında ise beyaz renkli Z-ULTRAT filament kullanılmıştır.



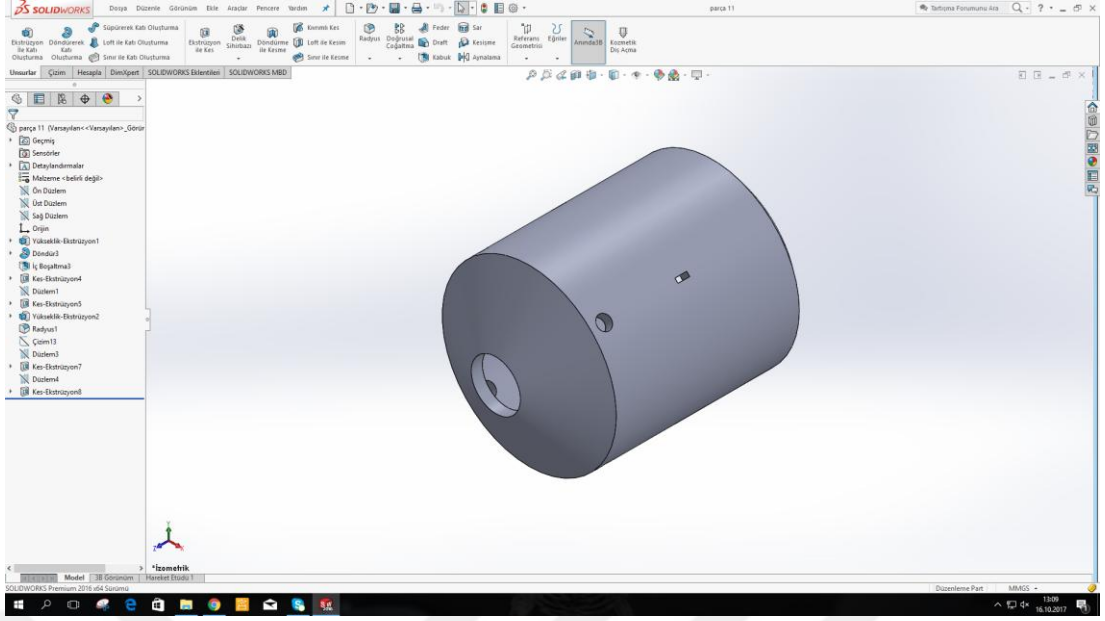
Şekil 5.25. Ön bağlama gövdesi

Şekil 5.26.'da arka bağlama gövdesi görülmektedir. Bu parça roket motoru ve modüler bağlama parçasıyla bağlantılıdır. Üç boyutlu baskısında ise beyaz renkli Z-ULTRAT filament kullanılmıştır.



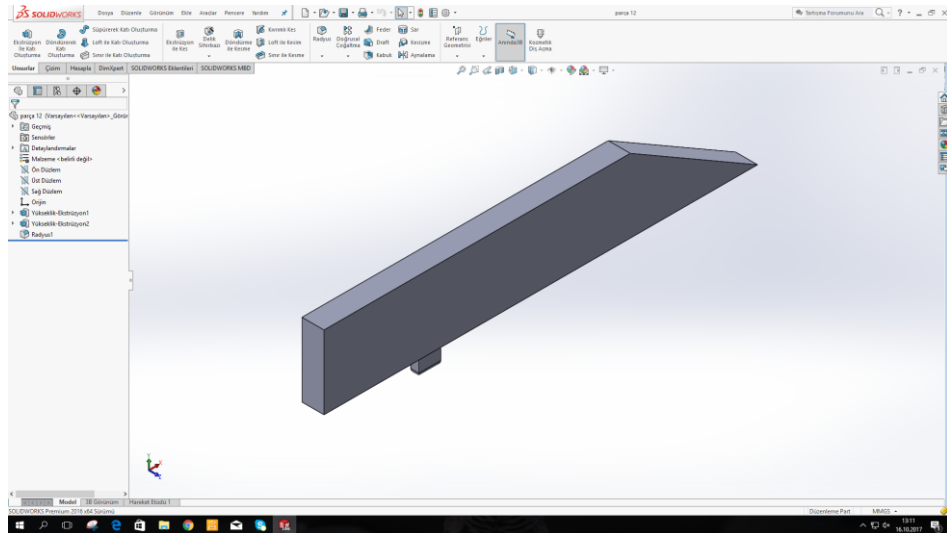
Şekil 5.26. Arka bağlama gövdesi

Şekil 5.27.'de roket motoru görülmektedir. Roket motoru füze modelinin en arka kısmına konumlandırılmış olup arka bağlama gövdesine bağlıdır. 4 adet yönlendirme kanadı ve 4 adet arka kanatçık bu parça üzerine konumlandırılmıştır. Üç boyutlu baskısında ise beyaz renkli Z-ULTRAT filament kullanılmıştır.



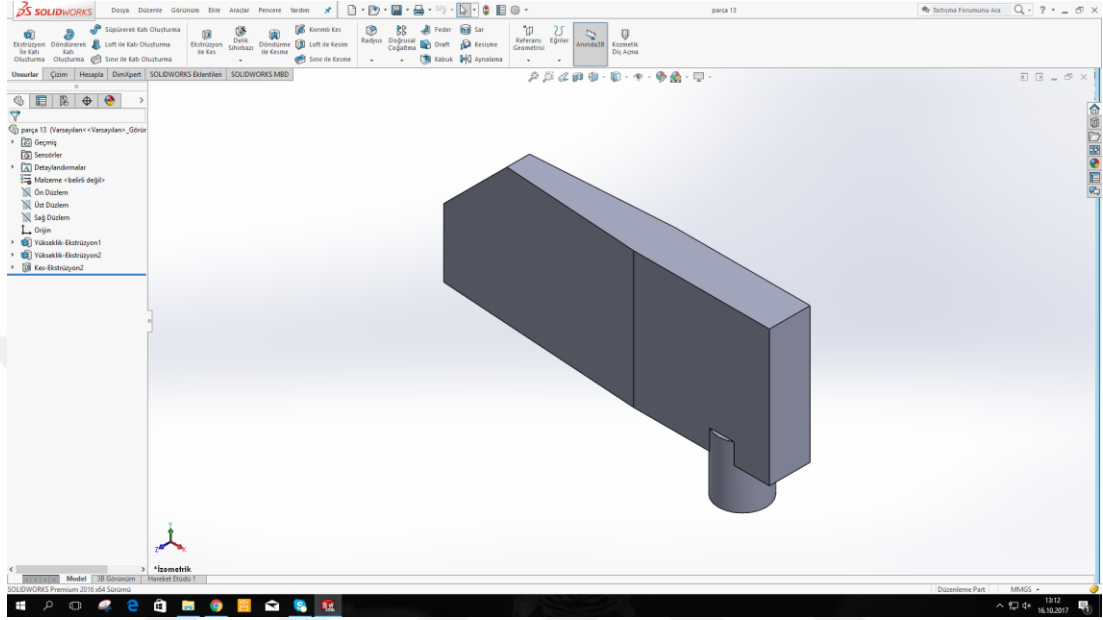
Şekil 5.27. Roket motoru

Şekil 5.28.'de arka kanatçık görülmektedir. Arka kanatçıklar 4 adet olup roket motoruna bağlı halde bulunurlar. Üç boyutlu baskısında ise kırmızı renkli Z-ABS filament kullanılmıştır.



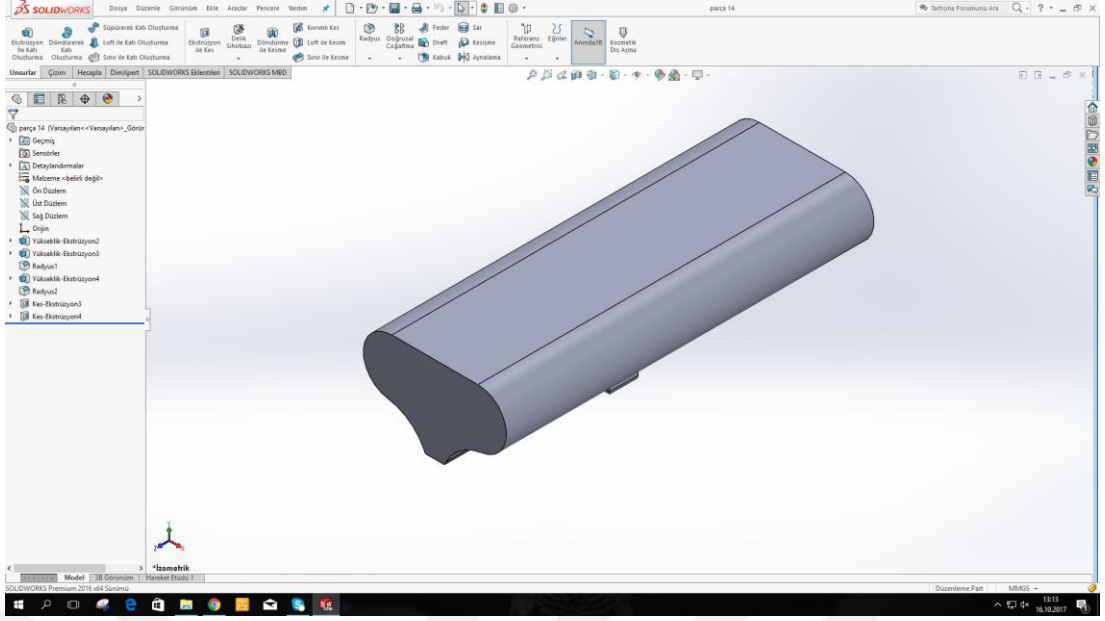
Şekil 5.28. Arka kanatçıklar

Şekil 5.29.'da yönlendirme kanatları yer almaktadır. Bu kanatlar 4 adet olup roket motoruna bağlı olarak monte edilmektedirler. Üç boyutlu baskısında ise kırmızı renkli Z-ABS filament kullanılmıştır.



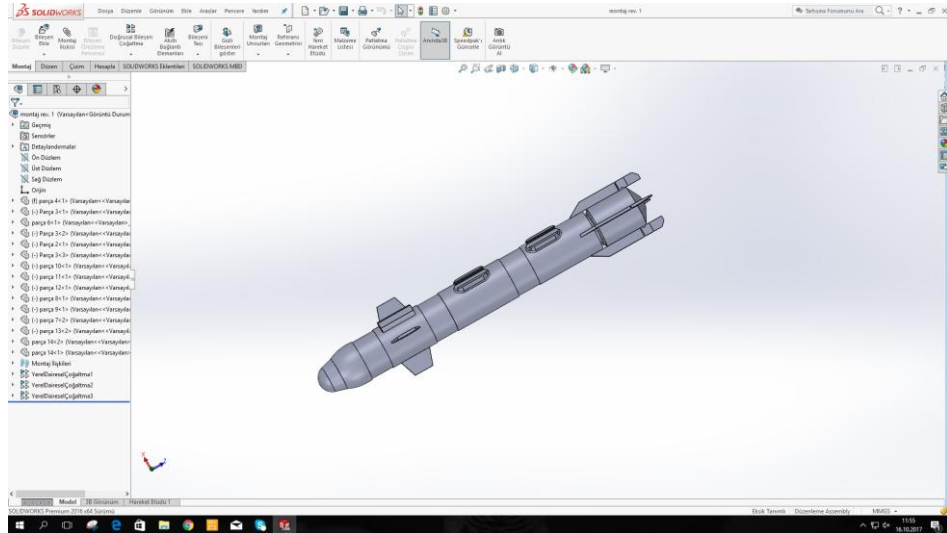
Şekil 5.29. Yönlendirme kanatları

Şekil 5.30.'da elektronik bağlantı girişi görülmektedir. Elektronik bağlantı girişi ön kanat gövdesi üzerine konumlandırılmıştır. Üç boyutlu baskısında ise beyaz renkli Z-ULTRAT filament kullanılmıştır.



**Şekil 5.30.** Elektronik bağlantı girişi

Şekil 5.31’de SolidWorks programında tüm parçaların konumlandırılmasıyla oluşturulan montaj görülmektedir. Montaj, geçmeli bağlantı ile birbirine bağlanan toplam 23 parçadan oluşmaktadır.



**Şekil 5.31.** Füze montaj resmi [48]

### 5.3. Üç Boyutlu Yazıcı İle Prototip Üretimi

SolidWorks ile yapılan tasarım sonrasında parçaların üretimi aşamasına geçilmiştir. Üretim için günümüzde her alanda kullanılan ve gittikçe yaygınlaşan üç boyutlu yazıcı ( 3 dimensional printer/ 3D printer ) teknolojisi kullanılmıştır. Parçaların basımı için kullanılan üç boyutlu yazıcı ise Zortrax firmasının ürettiği M200 modelidir. Bu bölümde yazıcının ve filamentlerinin teknik özelliklerine değinilecektir.

Zortrax M200 üç boyutlu yazıcı hassas çıktı verebilen, verimliliği yüksek bir yazıcıdır. Entegre bir sistemle çalışır. Yazıcıda kullanılan filamentler çok çeşitli renk seçeneği ve profesyonel niteliklere sahiptir. Ayrıntılı öğeler yazdırılabilir ve tasarlanan modeller orijinal görünümünü kaybetmeden çoğaltılabilir. Yazıcıda iki yan kapak mevcuttur. Bunlar üretilecek modelin yazdırılması sırasında sıcaklık dengesini ve kontrollü soğumayı sağlar, modeli dış faktörlere karşı korur. Ayrıca baskı sırasında oluşabilecek çatlak ve çözümler de kapaklar sayesinde engellenmiş olur. Yazıcının kendine ait Z-Suite sezgisel üç boyutlu baskı yazılımı mevcuttur. Ayrıca .stl, .obj, .3mf, .dxf dosya formatlarını ve pek çok modelleme programını okuyabilir. Şekil 5.32.'de Zortrax M200 yazıcının görüntüsü verilmiştir [41].


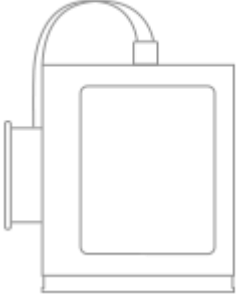


Şekil 5.32. Zortrax M200 üç boyutlu yazıcının görüntüsü [41]

### 5.3.1. Yazıcının Özellikleri

Zortrax M200 yazıcının fiziksel boyutları; üzerinde kullanılan filamentin makarası takılı halde ve takılı olmadan, milimetre ve inç cinsinden Çizelge 5.5.'te verilmiştir [41].

**Çizelge 5.5.** Zortrax M200 üç boyutlu yazıcının fiziksel boyutları [41]

Fiziksel Boyutlar	
<p>Makarasız</p> 	<p>345 x 360 x 430 mm 13,6 x 14 x 16,9 inç</p>
<p>Makaralı</p> 	<p>345 x 430 x 430 mm 13,6 x 17 x 16,9 inç</p>

Zortrax M200 üç boyutlu yazıcının baskı teknolojisi, hacim, çözünürlük, duvar kalınlığı, yazdırılabilir alan çözünürlüğü, malzeme çapı ve çalışma alanı boyutları gibi çeşitli baskı özellikleri Çizelge 5.6.'da verilmiştir [41].

**Çizelge 5.6.** Zortrax M200 yazıcının baskı özellikleri [41]

<b>Baskı</b>	
Teknoloji	LPD
Hacim	200 x 200 x 180 mm
Çözünürlük	90-400 mikron
Malzeme Konteyner	Makara
Duvar Kalınlığı	Minimum: 400 mikron Optimum: 800 mikron
Tek Yazdırılabilir Alanın Çözünürlüğü	400 mikron
Malzeme Çapı	1,75 mm (0,069 inç)
Meme Çapı	0,4 mm (0,015 inç)
Minimum Tek Konumlandırma	1,5 mikron
Konumlandırma Hassasiyeti (X/Y)	1,5 mikron
Z Eksenine Tek Adımlı	1,25 mikron
Çalışma Alanı Boyutları	200 x 200 x 180 mm

Zortrax M200 yazıcının ekstruder minimum sıcaklık, ısıtılabilir platform, platform maksimum sıcaklığı, ortam çalışma sıcaklığı ve depolama ile ilgili sıcaklık değerleri Çizelge 5.7.'de verilmiştir [41].

**Çizelge 5.7.** Zortrax M200 yazıcının sıcaklıkla ilgili özellikleri [41]

<b>Sıcaklık</b>	
Ekstruder Minimum Sıcaklık	380°C (716°F)
Isıtılabilir Platform	Evet
Platform Maksimum Sıcaklık	110°C (230°F)
Ortam Çalışma Sıcaklığı	20°-35°C (68°-95°F)
Depolama Sıcaklığı	0°-35°C (32°-95°F)

Zortrax M200 üç boyutlu yazıcının AC girişi, güç gereksinimi ve güç tüketimi gibi elektriksel özelliklerine Çizelge 5.8.'de değinilmiştir [41].



**Çizelge 5.8.** Zortrax M200 üç boyutlu yazıcının elektriksel özellikleri [41]

<b>Elektrik</b>	
AC Girişi	110/240 V ~ 2 A 50/60 Hz
Güç Gereksinimleri	24 V DC @ 11 A
Güç Tüketimi	190 W

Yazıcıda kullanılan filament listesi, bağlantı girişi, ekstruder ve destek malzemesi gibi genel özellikler Çizelge 5.9.'da gösterilmiştir [41].

**Çizelge 5.9.** Zortrax M200 üç boyutlu yazıcının genel özellikleri [41]

<b>3 Boyutlu Yazıcı Genel Özellikleri</b>	
Destek	Mekanik olarak çıkarılır. Modelle aynı malzemeden basılmıştır.
Ekstruder	Tek
Bağlantı	SD Kartı
Mevcut Malzemeler	Z-ABS Z-ULTRAT Z-HIPS Z-CAM Z-PCABS Z-PETG

Zortrax M200'ün yazılım paketi, dosya türleri ve bilgisayarda desteklenen sürümler gibi yazılımsal özelliklerine Çizelge 5.10.'de değinilmiştir [41].

**Çizelge 5.10.** Zortrax M200 yazılım özellikleri [41]

Yazılım	
Yazılım Paketi	Z-SUITE
Dosya Türleri	Stl, Obj, Dxf, 3mf
Destekler	Mac OS X/Windows 7 ve daha yeni sürümleri

### 5.3.2. Kullanım Alanları

Zortrax M200 yazıcı oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Kullanıldığı alanları sıralayacak olursak [42];

- Mimari
- Otomotiv
- Mühendislik
- Tıp
- Robotik
- Eğitim
- Bireysel Kullanım

### 5.3.3. Yazıcının Desteklediği Filamentler

Yazıcıda kullanılan, M200 modelinin desteklediği çok çeşitli renk aralıklarına ve baskı özelliklerine sahip 6 adet filament mevcuttur. Bunlardan model baskısı için tercih edilenler ise Z-ABS ve Z-ULTRAT filamentleridir [42].

#### 5.3.3.1. Z-ULTRAT

Z-ULTRAT, enjeksiyon kalıplama teknolojisi ile üretilen ürünlerin özelliklerine sahip çok yönlü bir malzemedir. Güçlü, kararlı, zamana karşı dirençli bir filamenttir ve geniş bir renk yelpazesine sahiptir. Mekanik ve kimyasal post-processing için de

uygundur. Şekil 5.33.'te bu filament ve aynı filamentle üretilmiş hoparlör bulunmaktadır [43].



Şekil 5.33. Z-ULTRAT filament

Füze eğitim modelinin üretilmesinde de, tüm bu özellikler dikkate alınmış ve filament olarak Z-ULTRAT kullanılmasının model için uygun olduğu görülmüştür. Füze modelinde ayırt edilmesi istenen bileşenler aynı parça üzerinde farklı renk kombinasyonları ile belirlenmiş ve yazıcının bu özelliğinden yararlanılarak çıktılar elde edilmiştir [43].

Z-ULTRAT filamentin kullanım alanları şunlardır [43]:

- İşlevsel prototipler
- Son kullanım parçaları
- Test için gövde prototipleri
- Düşük hacimli üretim için son kullanım gövde parçaları
- Tüketici ürünlerinin prototipleri
- Mekanik parçalar
- Enjeksiyon kalıplama kullanılarak yapılan elemanların simüle özelliklerini gösteren parçalar
- Zamanla karşı dayanıklı ve istikrarlı olması gereken elementle [43].

Kullanılan Z-ULTRAT filamentin doğal, temel, pastel ve neon kategorilerine göre renk seçenekleri Çizelge 5.11.'de verilmiştir [43]. Z-ULTRAT filamentin, toplamda 22 renk seçeneği bulunmaktadır.

**Çizelge 5.11.** Z-ULTRAT filamentinin renk seçenekleri [43]

<b>Z-ULTRAT Renk Seçenekleri</b>			
Basics	Naturals	Neons	Pastels
-Blue	-Nude	-Neon blue	-Patel Yellow
-Yellow	-Magenta	-Neon gren	-Pastel Pink
-Green	-Olive	-Neon Yellow	-Pastel Purple
-Cool Grey	-Brown	-Neon Orange	-Pastel Blue
-Ivory		-Neon Red	-Pastel Turquoise
-Pure Black		-Neon Pink	
-Red			

Çizelge 5.12.'de; Z-ULTRAT filamente ait yoğunluk, kalıp çekme, akış, eriyik akış ve eriyik vizkosite gibi fiziksel özelliklerine verilmiştir [43].

**Çizelge 5.12.** Z-ULTRAT filamentinin fiziksel özellikleri [43]

<b>Fiziksel Özellikler</b>	<b>Metrik</b>	<b>Test Metodu</b>
Yoğunluk	1.04 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Kalıp Çekme, Akış	0.5-0.8 % Kalınlık 3.20 mm	
Eriyik Akış	11.7 g/10 dk Yük 3.80 kg, Sıcaklık 230°C	ASTM D1238
	12 g/10 dk Yük 5 kg, Sıcaklık 220°C	ISO 1183

**Çizelge 5.12. (devam)** (Z-ULTRAT filamentinin fiziksel özellikleri [43])

	42 g/10 dk Yük 10 kg, Sıcaklık 220°C	ISO 1183
Eriyik Vizkosite	1720 1000 sn <sup>-1</sup> Sıcaklık 240°C	ASTM D3825

Z-ULTRAT filamentinin sertlik, çekme mukavemeti, kopma uzaması, gerilim modülleri, eğilme dayanımı ve toplam enerji gibi mekanik özellikleri Çizelge 5.13.'te verilmiştir[43].

**Çizelge 5.13.** Z-ULTRAT filamentinin mekanik özellikleri [43]

Mekanik Özellikler	Metrik	Test Modülü
Sertlik, Rockwell R	113	
Çekme Mukavemeti, Verim	46 MPa 5 mm/dk	ASTM D638
	46 MPa 50 mm/dk	ISO 527
Çekme Mukavemeti, Kopma	35 MPa 5 mm/dk	ASTM D638
	35 MPa 50 mm/dk	ISO 527
Verimde Uzama	2%	5 mm/dk; ASTM D638
	2.3%	50 mm/dk; ISO 527
Kopma Uzaması	18%	5 mm/dk; ASTM D638
	40%	50 mm/dk; ISO 527

**Çizelge 5.13. (devam)** (Z-ULTRAT filamentinin mekanik özellikleri [43])

Gerilim Modülleri	2.45 GPa 1 mm/dk	ISO 527
	2.48 GPa 5 mm/dk	ASTM D638
İzod Etkisi, Çentikli	80j/m Sıcaklık -30.0°C	ASTM D256
	240 j/m Sıcaklık 23.0°C	ASTM D256
	7 kJ/m <sup>2</sup> 80x10x4 mm, Sıcaklık -30.0°C	ISO 180/1A
	16 kJ/m <sup>2</sup> 80x10x4 mm, Sıcaklık 23.0°C	ISO 180/1A
Charpy Etkisi, V-Çentik	18 kJ/m <sup>2</sup> 80x10x4 mm, Mesafe 62 mm	ISO 179/1eA
Eğilme Dayanımı, Verim	79 MPa 1.3 mm/dk, 50 mm mesafe	ASTM D790
	70 MPa 2 mm/dk	ISO 178
Eğilme Modülü	2.62 GPa 1.3 mm/dk, 50 mm mesafe	ASTM D790
	2.5 GPa 2 mm/dk	ISO 178
Enstrümantal Etkiler, Toplam Enerji	5 j Sıcaklık -30.0°C	ASTM D3763
	21 j Sıcaklık 23.0°C	ASTM D3763

Çizelge 5.14.'de Z-ULTRAT filamente ait vicat yumuşama noktası, alev sınıfı değerlendirmesi, ısı genleşme katsayısı, sapma sıcaklığı ve bağlı sıcaklık endeksi gibi termal özellikleri gösterilmiştir[43].

**Çizelge 5.14.** Z-ULTRAT filamentinin termal özellikleri [43]

Termal Özellikler	Metrik	Test Metodu
Vicat Yumuşama Noktası	98.0°C	Oran B/50; ASTM D1525
	98.0°C	Oran B/50; ISO 306
	100.0°C	Oran B/120; ISO 306
Alev Sınıfı Değerlendirmesi	HB Kalınlık 1.52 mm	UL 94
Isı Genleşme Katsayısı	8.82E-05 1/°C -40.0°C ve 40.0°C	ASTM E 831; Akış
	8.46E-05 1/°C -40.0°C ve 40.0°C	ASTM E 831; akış yok
	8.82E-05 1/°C -40.0°C ve 40.0°C	ISO 11359-2; Akış
	8.46E-05 1/°C -40.0°C ve 40.0°C	ISO 11359-2; akış yok
Sapma Sıcaklığı 0.45 Mpa (66 psi)	95°C Kalınlık 3.20 mm	Tavlama yok; ASTM D648
Sapma Sıcaklığı 1.82 Mpa (264 psi)	82°C Kalınlık 3.20 mm	Tavlama yok; ASTM D648
Sapma Sıcaklığı 0.45 Mpa (66 psi)	89°C 120x10x4 mm Başlangıç değeri=100 mm	ISO 75/Be
Sapma Sıcaklığı 1.82 Mpa (264 psi)	76°C 120x10x4 mm Başlangıç değeri=100 mm	ISO 75/Ae
Bağlı Sıcaklık Endeksi, Elektriksel	60°C	UL 746B

**Çizelge 5.14. (devam) (Z-ULTRAT filamentinin termal özellikleri [43])**

Bağıl Sıcaklık Endeksi, Mekanik Etki İle	60°C	UL 746B
Bağıl Sıcaklık Endeksi, Mekanik Etkisiz	60°C	UL 746B

### 5.3.3.2. Z-ABS

Z-ABS, üç boyutlu baskıya yeni başlayanlar için idealdir. Konsept modeller, kuklalar, küçük aletler veya şeritler bu filament kullanılarak kolayca basılabilir. Ayrıca yapılan tasarıma dikkat çekmek için geniş bir renk yelpazesinden seçim yapılabilir. Z-ABS filament ve bu filament kullanılarak üretilen rubik küp Şekil 5.34.'de görülmektedir [43].



**Şekil 5.34. Z-ABS filament**

Z-ABS filamentin kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir [43]:

- Konsept modeller
- Araçlar ve figürler
- Ekran modelleri



- Orta derecede fonksiyonel ve test özellikli modeller

Z-ABS filament, toplam 11 adet renk seçeneğine sahiptir. Bu filamentle yapılan tasarımların bileşenleri, mevcut renk seçeneklerinden yararlanılarak çok daha etkili bir biçimde ifade edilebilmektedir. Bu renkler Çizelge 5.15.'te verilmiştir [43].

**Çizelge 5.15.** Z-ABS renk seçenekleri [43]

<b>Z-ABS Renk Seçenekleri</b>	
Blue	Pure White
Sky Blue	Pure Black
Android Green	Red
Green	Warm Grey
Orange	Yellow
Cool Grey	

Çizelge 5.16.'da Z-ABS filamentine ait young modülü, gerilme direnci, çekme eksen, Rockwell sertliği ve maksimum yük gibi mekanik özellikler metrik sistemdeki karşılıkları ile yer almaktadır [43].

**Çizelge 5.16.** Z-ABS filament mekanik özellikleri [43]

<b>Mekanik Özellikler</b>	<b>Test Metodu</b>	<b>Metrik</b>
Young Modülü	DIN EN ISO 527-2 (ASTM D638)	1,80 GPa
Gerilme Direnci	DIN EN ISO 527-2 (ASTM D638)	38 MPa
Çekme Ekseni	DIN EN ISO 527-2 (ASTM D638)	% 17

**Çizelge 5.16. (devam)** (Z-ABS filamenti mekanik özellikleri [43])

Charpy Etkisi (çentikli)	PN-EN ISO 179-1 2004/A1:2006 (ASTM 6110-1)	8 kJ/m <sup>2</sup>
Rockwell R Sertliği	PN-EN ISO 2939-1 (ASTM D785)	109
Maksimum Yük	PN-EN ISO 2039-1 (ASTM D785)	49 N

Z-ABS filamentine ait erime noktası, koku, termal genleşme, çözünürlük, vicat yumuşama sıcaklığı, yazdırma için verimli erime noktası ve yazdırma sırasındaki tehlikeler gibi bazı spesifik özellikler Çizelge 5.17.'de yer almaktadır [43].

**Çizelge 5.17.** Z-ABS filamentinin bazı spesifik özellikleri [43]

Özellikler	Metrik
3D yazdırma için verimli erime noktası (Amorf doğası nedeniyle malzeme gerçek bir erime noktasına sahip değildir.)	250-260°C
Cam değişim ısısı	125°C
Vicat yumuşama sıcaklığı	112°C
Termal genleşme	En az
Koku	Neredeyse kokusuz
Çözünürlük	Suda çözünmez
Tehlikeler	Yazıcı çalışırken herhangi bir tehlike oluşturmaz

Z-ABS filamentine ait dambıl şeklinde bir numune kullanılarak yapılan statik çekme testi ve test sonucunda elde edilen young modülü, gerilme direnci, akma dayanımı, kopma kuvveti ve uzama yüzdesi gibi sonuçlar Çizelge 5.18.'de gösterilmiştir [43].

**Çizelge 5.18.** Z-ABS filamentinin statik çekme testi sonuçları [43]

<b>Statik Çekme Testi Sonuçları</b>						
Numune	Young Modülü [Mpa]	Gerilme Direnci [Mpa]	Akma Dayanımı [Mpa]	Kopma Kuvveti [Mpa]	Kopmada Uzama [%]	Test Metodu
Dambıl şeklindeki numune	564,69±12	15,28±0,43	7,83±0,69	14,11±2,11	17,21±3,45	DIN EN ISO 527-2 (ASTM D638)

Z-ABS filamentinin çentikli numune kullanılarak uygulanan Charpy darbe testine ait sonuçları; darbe skoru ve test metodu ile birlikte Çizelge 5.19.'da gösterilmiştir [43].

**Çizelge 5.19.** Z-ABS filamentinin Charpy darbe testi sonuçları [43]

<b>Charpy Darbe Testi Sonuçları</b>		
Numune	Charpy Darbe Testinde Hesaplanan Darbe Skoru (kJ/m <sup>2</sup> )	Test Metodu
Çentikli Numune	7,98±1,03	PN-EN ISO 179-1 2004/A1:2006 (ASTM 6110-1)

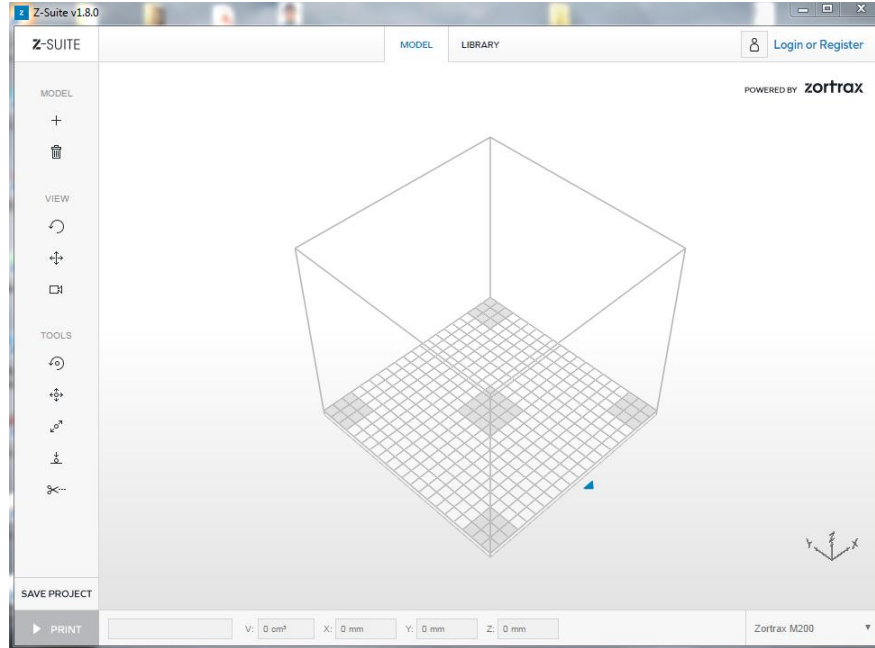
Z-ABS filamentine uygulanan küre baskı sertlik testinin sonuçları HB sertlik değeri ve uygulanan test metodu ile birlikte Çizelge 5.20.'de yer almaktadır [43].

**Çizelge 5.20.** Z-ABS filamenti küre baskı sertlik testi sonuçları [43]

Küre Baskı Sertlik Testi		
Numune	49N Yükte Belirlenen HB Sertliği	Test Metodu
	20,45±1,15	PN-EN ISO 2039-1 (ASTM D785)

#### 5.3.4. Z-SUITE

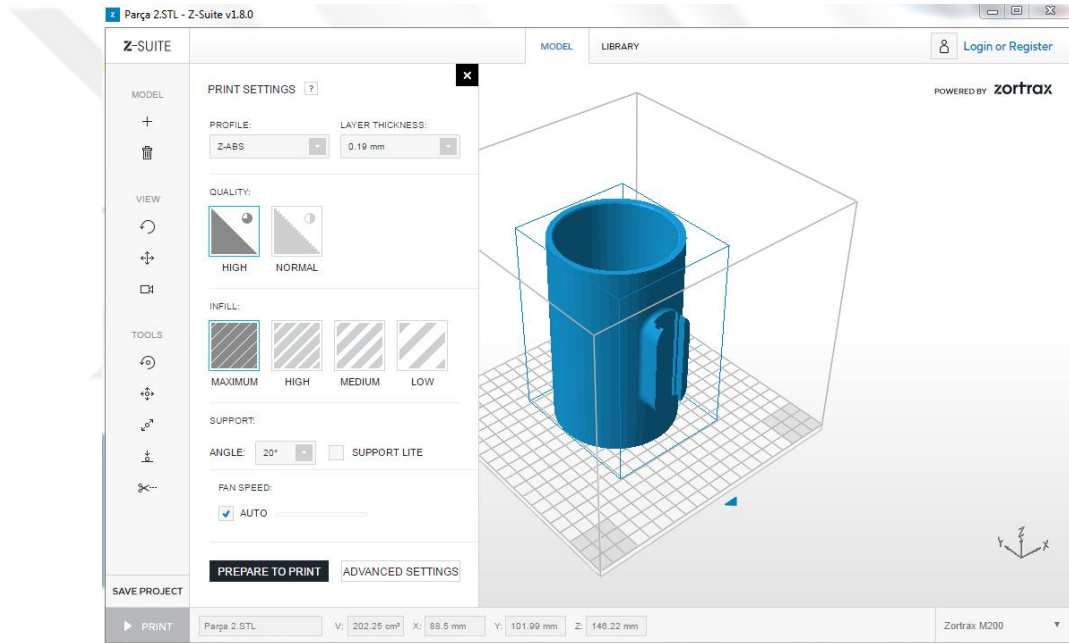
Zortrax' ın kendine ait sezgisel 3D baskı yazılımıdır. Bu arayüz programı .stl, .obj, .3mf, .dxf dosya formatları üzerinden çıktı ayar işlemlerini yapabilir. Füze modeli oluşturulurken; SolidWorks programında katı modeli oluşturulan parçalar .stl uzantılı dosyalar halinde kaydedilmiş ve o şekilde Z-Suite yazılımında çıktı ayarları yapılmıştır. Bu yazılım kullanılarak geliştirilen füze sistemi parçalar halinde imalata hazırlanmıştır. Söz konusu Z-Suite arayüz programının görünümü Şekil 5.35.'te verilmiştir [3].



**Şekil 5.35.** Z-Suite Arayüz Programı

Z-Suite programı ile parçalar x,y ve z eksenlerinde yazıcının tablası üzerinde istenilen yön ve şekilde konumlandırılabilir. Ayrıca baskı öncesi kalite, dolgu, kullanılacak filament, tabaka kalınlığı, baskı sırasında atılacak destekler, pervane hızı gibi pek çok unsur istenilen şekilde düzenlenebilir [3].

Füze modelini oluşturan parçalar tek tek Z-Suite programına atılarak çıktı için ayarları yapılmıştır. Parçaların SolidWorks programındaki çizimleri verildiğinden, Z-Suite programındaki baskı ön izleme ayarlarının görülebilmesi için yalnızca bir parçanın resmi Şekil 5.36.'da verilmiştir [3].



Şekil 5.36. Z-Suite baskı ön hazırlama ayarları [48]

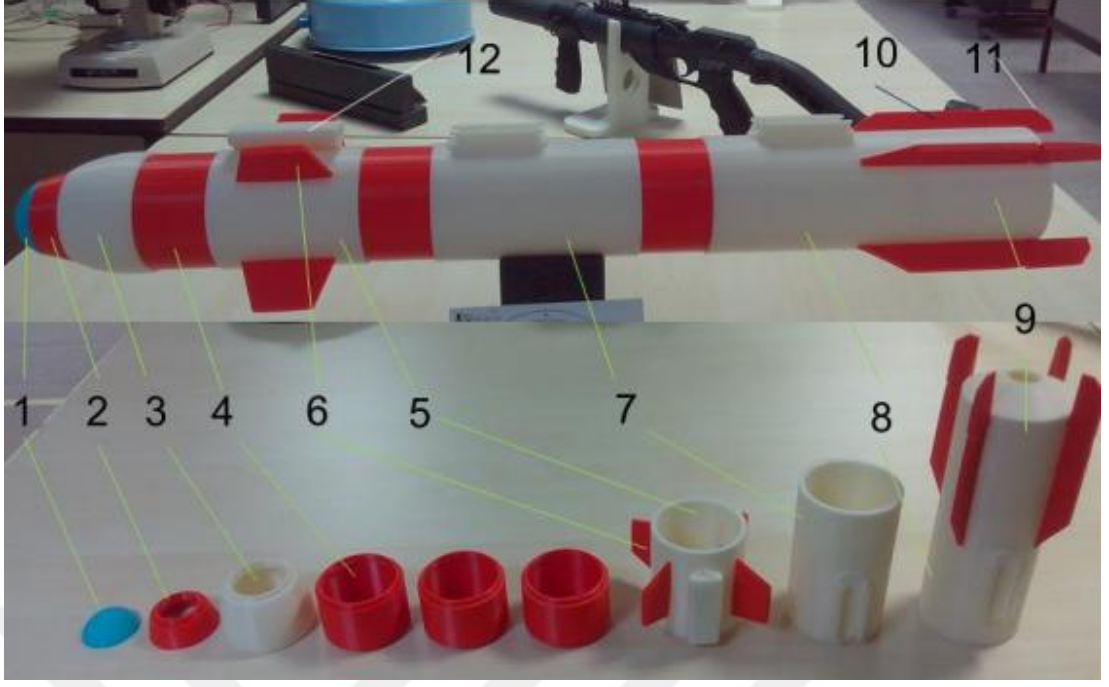
### 5.3.5. Füze Bileşenlerinin Çıktısı, Montajı ve Eğitim Modeli

Z-Suite programında baskı ön hazırlama ayarları yapılan parçaların dosyaları bir SD kart ile yazıcıya gönderilmiştir. Çizelge 5.21.'de prototip olarak 3D baskı teknikleriyle üretilen füze modeline ait parçaların isimleri, sayıları, kullanılan filament miktarı, baskı süresi gibi temel veriler gösterilmiştir [3].

**Çizelge 5.21.** Füze modeli baskısı temel verileri [3]

Sıra No	Parçanın Adı	Parça Sayısı (adet)	Malzemesi (Filament)	İmalat Süresi (sa,dk)	Malzeme miktarı (gr)
1	Optik göz	1	Z-ABS (mavi)	1 sa 26 dk	15
2	Kontrol Ünitesi	1	Z-ABS (kırmızı)	2 sa 36 dk	27
3	Füze Başlığı	1	Z-ULTRAT (beyaz)	6 sa 44 dk	67
4	Modüler Bağlama Parçası	3	Z-ABS (kırmızı)	5 sa 59 dk	58x3=174
5	Ön Kanat Gövdesi	1	Z-ULTRAT (beyaz)	10 sa 29 dk	97
6	Ön Kanatçıklar	4	Z-ULTRAT (kırmızı)	48 dk	10x4=40
7	Ön Bağlama Gövdesi	1	Z-ULTRAT (beyaz)	14 sa 58 dk	141
8	Arka Bağlama Gövdesi	1	Z-ULTRAT (beyaz)	15 sa 35 dk	146
9	Roket Motoru	1	Z-ULTRAT (beyaz)	13 sa 23 dk	118
10	Arka Kanatçıklar	4	Z-ABS (kırmızı)	48dk	10x4=40
11	Yönlendirme Kanatları	4	Z-ABS (kırmızı)	27 dk	6x4=24
12	Elektronik Bağlantı Girişi	1	Z-ULTRAT (beyaz)	1 sa 38 dk	17
	TOPLAM	23 parça	0,09 mm kalınlık	Yaklaşık 83 sa	906 gr

Füze eğitim modelinin parçalı üretim sonrasında montajının yapılmasıyla ortaya çıkan son görüntüsü Şekil 5.37.'de verilmiştir. Montajlama işleminde parçalar 0.1 mm toleransla birbirine geçme yapılmıştır. Hiçbir parçada yapıştırılmalı bağlantı bulunmamaktadır. Üretilen füze eğitim modeli, gerektiğinde demonte edilebilir, silah sistemleri eğitimi amacına uygun olarak yeniden montajlanabilir [3]. Füze modeli ölçüleri Hellfire füze çapı ve uzunluğunun 1/2 'si kadardır. Modelin çapı Ø 85 mm, uzunluğu ise 0.65 m dir.



Şekil 5.37. Bir füze eğitim modelinin montaj görüntüsü [3]

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kavramsal tasarım yöntemiyle silah sistemleri eğitiminde kullanılmak üzere bir füze eğitim modeli oluşturulmuştur.

Havadan karaya bir Füze eğitim modelinin tasarımı için Pahl ve Beitz tarafından ortaya atılan ‘Sistemik Tasarım Yöntemi’ ne bağlı ‘Kavramsal Tasarım’ uygulaması yapılmıştır. Kavramsal tasarımdaki temel adımlar izlenerek optimum çözüme ulaşılmıştır. Elde edilen optimum çözüm, AGM-114 Hellfire tipi bir füze modelidir.

Kavramsal tasarımla elde edilen füze modelinin 3 boyutlu olarak bilgisayar ortamındaki tasarımında SolidWorks katı modelleme programı kullanılmıştır. Toplam 23 parçadan oluşan, parçaların birbirine geçmeli olarak bağlandığı bir tasarım oluşturulmuştur.

Parçaların model haline getirilebilmesi için 3 boyutlu yazıcı teknolojilerinden yararlanılmıştır. SolidWorks programında oluşturulan tasarım .stl dosyaları şeklinde kaydedilerek 3 boyutlu yazıcıya aktarılmıştır. Baskıda ABS ve ULTRAT olmak üzere iki filament kullanılmıştır. Füzenin temel kısımlarına uygun olarak parçalarda farklı renklerde filamentler kullanılmıştır. Parçalar geçmeli bağlantıyla birleştirilerek füze modeli elde edilmiştir.

Elde edilen füze eğitim modeli defalarca kullanılabilen, sökülüp takılabilen, görsel olarak yapılan renklendirmeler ve füze modelini gerçeğe uygun olarak temsil eden dış iskeletiyle bir eğitim materyali haline gelmiştir. Öğrenme-öğretme sürecinde; hem öğrenci hem de öğretmenin bakış açısıyla, zaman tasarrufu, öğrenmede kolaylık, akılda kalıcılık, görsellik gibi özellikleriyle silah sistemleri eğitiminde faydalı bir eğitim materyali olacağı öngörülmektedir.

Silah sistemleri, sürekli değişen ve gelişen bir alandır. Kavramsal tasarım yöntemi ile silah sistemleri konusunda yeni tasarımlar elde edilebilir ve mevcut olanlar geliştirilebilir. Gelişen 3 boyutlu yazıcılar ve yeni baskı teknikleriyle yapılan



tasarımlar işlevsel modeller haline getirilebilir. Gerek silah sistemleri, gerek 3 boyutlu baskı teknikleri ve kavramsal tasarım konuları yeni fikirler geliştirmeye açık konulardır.



## KAYNAKLAR

- [1] Ernst & Young Türkiye, Türkiye’de ve Dünya’da Savunma Sanayi Sektörü, 2010.
- [2] Savunma Sanayii Müsteşarlığı, Teknoloji Yönetim Stratejisi 2011-2016, s. 12, 2011.
- [3] Bozdemir, M., Silah Mekanik Sistemleri İçin 3 Boyutlu Eğitim Modellerinin Geliştirilmesi. International Symposium on 3D Printing Technologies, Mayıs 2016, Yeşilköy-İstanbul, s. 91-100, 2016.
- [4] Çelik, D., Çetinkaya, K., Üç boyutlu yazıcı tasarımları, prototipleri ve ürün yazdırma karşılaştırmaları. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi. 5 (2): 151-152, 2016.
- [5] A.Y. Sarıbey, Ateşli Silahlar İle Yapılan Atışlar Sonrası Hedef Yüzeyler Üzerinde Oluşan Atış Artıklarının İncelenmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara, 2008.
- [6] H. Ataç, Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2006.
- [7] Anonim, Ağır Silahlar, <http://www.wiki-zero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvQcSfxLFyX3NpbGFobGFy> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [8] Anonim, Silahın Tanımı ve Silah Ruhsat Çeşitleri, <http://www.ordu.pol.tr/Sayfalar/Silah%C4%B1n-Tan%C4%B1m%C4%B1-ve-Silah-Ruhsat-%C3%87e%C5%9Fitleri.aspx> (Erişim tarihi: 26.05.2018)

- [9] Anonim, Tabanca, <http://www.wiki-zero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvVGFiYW5jYQ> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [10] Anonim, Yasak Ateşsiz Silahlar, <http://www.kriminal.pol.tr/kayseri/Sayfalar/Yasak%20Ate%C5%9Fsiz%20Silahlar.aspx> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [11] S. Durmuş, Nükleer Silahların Uluslar arası İlişkilerdeki Rolü. Yüksek Lisans Tezi. Genelkurmay Başkanlığı Harp Akademileri Komutanlığı, İstanbul, 2006.
- [12] F. Türe, Biyolojik Silahların Tanımlanması ve Ülkemiz Açısından Önemi. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, 2009.
- [13] S. Karataş, Uluslar arası Hukukta Silahsızlanma ve Kimyasal Silahların Yasaklanması Örgütü (OPCW). Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya, 2014.
- [14] F. Yıldırım, Büyük Kalibre Mühimmatta Kullanılan Barutların Geometrik Şeklinin Değişiminin, Namlu İç Basıncı ve Namlu Çıkış Hızı Üzerindeki Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara, 2013.
- [15] F. Ula mış, Mühimmatlar İçin Elektronik Zaman Ayarlı Ateşleyici Sistem Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2012.
- [16] Anonim, Mühimmat, <https://www.guncelkaynak.com/nedir/muhimmat/> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [17] Anonim, Hava Bombası, <http://www.wiki-zero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvSGF2YV9ib2liYXMIQzQlQjE> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [18] Anonim, Sualtı Bombası, <http://www.wiki-zero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvU3VhbHQlQzQlQjFfYm9tYmFzJU> [M0JUIx](http://www.wiki-zero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvU3VhbHQlQzQlQjFfYm9tYmFzJU) (Erişim tarihi: 26.05.2018)

- [19] Anonim, El Bombası, <http://www.wiki-zero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvRWxfYm9tYmFzxLE> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [20] Anonim, Bomba Atar, <http://www.wiki-zero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvQm9tYmFhdGFy> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [21] Anonim, Torpido, <http://www.wiki-zero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvVG9ycGlkbw> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [22] G. İçöz, Roket ve Füzelerin Hedefe Yönlenmesi İçin Gerekli Kontrol ve Güdümleme Sistemlerinin Analitik İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi, Edirne, 2010.
- [23] Anonim, Mayın, <http://www.wiki-zero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTWf5xLFu> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [24] Savunma Sanayii Müsteşarlığı, Tahrip Teknolojileri, <http://sanayilesme.ssm.gov.tr/ARGE/MUKNET/TahripTeknolojileri/Sayfalar/default.aspx> (Erişim tarihi: 26.05.2017)
- [25] Anonim, Piroteknik, <http://www.wiki-zero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvUGlyb3Rla25paw> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [26] Keskin, H., Dinçkurt, M., Mut, M., Özdamar, A., Füze ve roket teknolojisinde son gelişmeler. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi. 13 (4): 111-129, 2016.
- [27] E. Yalçın, Füze Güdüm ve Kontrol Sistemlerinin Yapay Sinir Ağları İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya, 2009.

- [28] D. Çelik, Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi ve Tersine Mühendislik Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Karabük, 2015.
- [29] Tandırcıoğlu, F.E., Arslan Selçuk, S., 3 Boyutlu Yazıcılar ve Geleceğin Mimarlık Teknolojisi. International Symposium on 3D Printing Technologies, Mayıs 2016, Yeşilköy-İstanbul, s. 85-86, 2016.
- [30] Vardarlı, İ., 3D yazıcılar, programlar, baskı teslim süresi ve ekipmanlar hakkında her şey. Complet3D Dergisi. 1 (1): 12-15,2015.
- [31] Maden, H., Kamber, Ö.Ş., Dipcin, E., Uğur, H., Özsarıkaya, B., İğneci, A., FDM Teknoloji ile Üretilen Prototip Parçalarının Hataları ve Hataların Önlenmesi. International Symposium on 3D Printing Technologies, Mayıs 2016, Yeşilköy-İstanbul, s. 65-72, 2016.
- [32] Soyaslan, M., Nart, E., FDM Tipi Bir 3 Boyutlu Yazıcı İle Planet Dişli Sisteminin Üretilme Süreci. EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Mayıs 2016, Tokat, s. 296-298, 2016.
- [33] Tosun, O., 3D yazıcılarda kullanılan filamentlere genel bakış-1. Complet3D Dergisi. 1 (1): 16-18,2015.
- [34] Y.S. Balcıoğlu, 3 Boyutlu Yazıcı ve Sinemada Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Yaşar Üniversitesi, İzmir, 2014.
- [35] Anonim, Firmamentum uzay araştırmaları için geri dönüşümlü yazıcı ürettiyor. <http://www.printing3d.news/firmamentum-uzay-arastirmalari-icin-geri-donusumlu-yazici-uretiyor/> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [36] M. Mayda, Yeni Bir İnovatif Kavramsal Tasarım İşlem Modeli. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2013.

- [37] M. Mayda, WEB Tabanlı Kavramsal Tasarım. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007.
- [38] Anonim, AGM-114 Hellfire. [www.wikizero.info /index. php?q =aHR 0cHM 6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvQUdNLTEyNF9lZWxsZmlyZQ](http://www.wikizero.info/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvQUdNLTEyNF9lZWxsZmlyZQ) (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [39] R.E. Akkök, Çelik Yapı Tasarımında Kullanılan Bilgisayar Destekli Tasarım Programlarının Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2015.
- [40] Bıçakcı, A.N., SolidWorks, SolidCam, 3DQuickpress, 3DQuickmold. 17-23. KODLAB Yayın Dağıtım Yazılım ve Eğitim Hizmetleri San. Ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, 2013.
- [41] Anonim, Zortrax M200 3 boyutlu yazıcı teknik özellikleri, Zortrax, [https://cdn3.zortrax.com/wp-content/uploads/2016/06/m20030.107web.pdf?ga= 2 .101812291.37032421.1527333923-560047254.1527333923](https://cdn3.zortrax.com/wp-content/uploads/2016/06/m20030.107web.pdf?ga=2.101812291.37032421.1527333923-560047254.1527333923) (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [42] Anonim, Zortrax M200 3 boyutlu yazıcı kullanım alanları, Zortrax, <https://zortrax.com/printers/zortrax-m200/> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [43] Anonim, Zortrax M200 3 boyutlu yazıcının desteklediği filamentlerin özellikleri, Zortrax, <https://zortrax.com/materials/zortrax-m-series/> (Erişim tarihi: 26.05.2017)
- [44] Sezer, H.K., Ereni O., Börklü, H.R., Karbon Fiber Takviyeli ABS Filament Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. International Symposium on 3D Printing Technologies, Mayıs 2016, Yeşilköy-İstanbul, s. 138-139, 2016.

- [45] Martin, A., 10 secrets and facts about 3D printer you should now, Quertime, <http://www.quertime.com/article/10-secrets-and-facts-about-3d-printer-you-should-know/> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [46] Sarıgöl, T., 3D yazıcılar uzayda, TÜBİTAK Bilim Genç, <http://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/3d-yazicilar-uzayda> (Erişim tarihi: 26.05.2018)
- [47] Ay, N., Meslek Eğitimi Alanında 3D Yazıcılarla Tasarım Etkinlikleri Geliştirilmesi. 1<sup>st</sup> International Symposium on Light Alloys and Composite Materials, Mart 2018, Karabük Üniversitesi-Karabük, s. 178-179, 2018.
- [48] Bozdemir, M., Ay, N., Meslek Eğitimi Alanında 3D Yazıcılarla Tasarım Etkinlikleri Geliştirilmesi. 1<sup>st</sup> International Symposium on Light Alloys and Composite Materials, Mart 2018, Karabük Üniversitesi-Karabük, s. 178-179, 2018.
- [49] Bozdemir, M., Ay, N., Füzeler Sistemleri Tasarımı İçin Kavramsal Tasarım Uygulaması. 1<sup>st</sup> International Symposium on Light Alloys and Composite Materials, Mart 2018, Karabük Üniversitesi-Karabük, s. 169-170, 2018.
- [50] M. Bozdemir, Takım Tezgâhlarının Yapay Zekâ Tekniklerine Dayalı Sistematik Tasarımı. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2003.