

**T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
HARP SİLAH VE ARAÇLARI ANA BİLİM DALI
SİLAH SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**FÜZE DİKEY ATIŞ LANÇERİ KİLİT
MEKANİZMASI TASARIMININ MALZEME,
KAPLAMA VE ÜRETİLEBİLİRLİK AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PELİN AYDIN ORBEY
1981021**

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ULVİ ŞEKER

**ANKARA
TEMMUZ 2022**

ÖZGÜNLÜK RAPORU

Tez çalışmamın; kapak sayfası, giriş, ana bölümler ve sonuç kısımlarından oluşan toplam 93 sayfalık kısmına ilişkin, 17/05/2022 tarihinde şahsım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

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

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

Pelin AYDIN ORBEY
21/07/2022

ETİK BEYANI

Millî Savunma Üniversitesi Enstitüleri Lisansüstü Tez Hazırlama Kılavuzu'nda yer alan kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir; aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bu tezdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler bana aittir; Millî Savunma Bakanlığı, Millî Savunma Üniversitesi ve Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Pelin AYDIN ORBEY
21/07/2022

Sevgi, saygı ve anlayışlarıyla yoluma ışık tutan değerli aileme...



ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada Hava Aracı Askı Ekipmanı parçalarından kilit mekanizması tasarımı için, ekipman ve parça görevleri, uçak gereksinimleri, askeri standartlar ve kullanım koşulları açısından gereklilikler detaylandırılmıştır. Uçak, silah ve silah sistemleri detayları ile oluşturulan tasarım girdileri ile geometrik tasarımı yapılan parça malzeme, kaplama ve üretilebilirlik özellikleri bakımından değerlendirilmiştir. Türk Savunma ve Havacılık Sanayi'nde yerleştirme konularından biri olan Askı Ekipmanları için parça tasarımında görev koşullarına göre belirlenmesi gereken faktörler, tasarım aşamaları, malzeme ve kaplama seçimleri, üretilebilirlik özellikleri gibi detaylar çalışılarak ülkemiz silah sistemleri literatürüne katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

Öncelikle bu çalışmanın her aşamasında bilgi, tecrübe ve yönlendirmeleri ile desteğini esirgemeyen saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu değerli okulda öğrenci olma ve akademik çalışma yapma şansını bana verdikleri için Alparslan Savunma Bilimleri ve Milli Güvenlik Enstitüsü'ne ve tüm öğretim üyelerine, lisans öğrenciliğimden bu yana akademik çalışmalarında ve projelerimde desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mehmet YETMEZ'e teşekkür ederim.

Teknik destekleri ve silah sistemlerindeki bakış açımı sağladıkları katkılar ile çalışma boyunca yanımda olan genel müdür yardımcımız Sn. Uğur Zengin, müdürüm Sn. Erdem DAĞDELENLER, ürün liderim Sn. Haluk ÖKTEM, başmühendisim Sn. Semih Gökhan KUŞHAN ve değerli ekip arkadaşlarıma minnettarım. Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı (TUSAŞ)'na ve tüm yöneticilerimize akademik çalışmalarımıza verdikleri destekler için teşekkür ederim.

Hayatımın ve yıllardır sürdürdüğüm savunma sanayi yolculuğumun her durağında bana eşlik eden, inanan, yol gösteren, yapıcı eleştirileri ile geliştiren, sevgi, saygı ve anlayışlarıyla başarılarımın en büyük destekçileri olan değerli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ankara, Temmuz 2022

Pelin AYDIN ORBEY

ÖZ

Füze Dikey Atış Lançeri Kilit Mekanizması Tasarımının Malzeme, Kaplama ve Üretilirlik Açısından Değerlendirilmesi
ANKARA MAYIS 2022

Bu çalışma kapsamında avcı uçaklarında kullanılan Mühimmat Askı Ekipmanlarına ait kilit mekanizmasının tasarım yol haritası çıkartılarak, Türk Havacılık ve Savunma Sanayi sektöründe tasarlanmakta olan askı ekipmanı parçalarının tasarım aşamaları, bu aşamalarda takip edilmekte olan yol ve yöntemler, zorlayıcı etmenler, karar aşamaları ve dikkat edilmesi gereken ön koşullar açısından bir kaynak oluşturması hedeflenmiştir.

Literatürde Silah Sistemleri olarak yer alan Füze Dikey Atış Lançeri ülkemizde henüz üretilmemektedir. Çalışmada savunma sanayi gelişimi açısından büyük önem arz eden bu ekipmanların görev bilgileri, silah bilgileri, parça ömür isterleri, uçak gereksinimleri ve çalışma koşulları açısından gerçekleştirilmiş olan detaylı incelemeler ekipman kilit mekanizması tasarım detayları ile verilmiştir. Askı ekipmanları parça tasarımlarında yük hesapları için yararlanılması gereken standartlar ve tasarım yapılırken göz önünde bulundurulması gereken detaylar açıklanarak, kilit ana parçası tasarımı için malzeme, üretilirlik ve kaplama değerlendirmeleri yapılmıştır.

Değerlendirme sonuçları hava aracı askı ekipmanı kritik parçalarından olan ana kilit parçasının, detay tasarımlarda seçilen ekipman ve silaha özel olarak yük hesaplamalarının yapılmasının tasarım sürecine etkilerini gözler önüne sermektedir. Bu çalışma ile gereksinimlere uygun malzeme, kaplama seçilmesi ve üretilirliği iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılması ile bu ekipmanlara ait parçaların yerli olarak tasarım ve üretimlerinin gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Salan, Dikey Atış Lançeri, Kilit Mekanizması, Askı Ekipmanı

Bilim Kodu : 91432

Sayfa Sayısı : 93

Tez Danışmanı: Prof. Dr.

ABSTRACT

Evaluation of Weapon Suspension and Release System's Locking Mechanism Design in Terms of Material, Coating and Machinability for Aircrafts Within the scope of this study, the design roadmap of the locking mechanism of the Ammunition Suspension Equipment used in the fighter planes was drawn and the design stages of the suspension equipment parts being designed in the Turkish Aerospace and Defense Industry sector, the ways and methods followed in these stages, the compelling factors, the decision stages and the prerequisites to be considered. It is aimed to create a resource in terms of conditions. Missile Vertical Launcher, which is listed as Weapon Systems in the literature, is not yet produced in our country. Detailed examinations of these equipment, which are of great importance for the development of the defense industry, in terms of mission information, weapon information, part life requirements, aircraft requirements and working conditions are given with equipment lock mechanism design details. The standards to be used for load calculations in suspension equipment part designs and the details to be considered while designing were explained, and material, machinability and coating evaluations were made for the design of the key main part. The results of the evaluation reveal the effects of making load calculations specific to the equipment and weapon selected in the detailed designs of the main lock piece, which is one of the critical parts of the aircraft suspension equipment, on the design process. With this study, it has been shown that the local design and production of the parts of these equipment can be carried out by selecting materials and coatings suitable for the requirements and making studies to improve the machinability.

Key Words: Launcher Mechanism, MVEL, Locking Mechanism, Ejection Unit

Science Code : 91432

Pages : 93

Supervisor : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İÇİNDEKİLER

ÖZGÜNLÜK RAPORU
ETİK BEYANI
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR
ÖZ

ABSTRACT

İÇİNDEKİLER

vii

TABLO LİSTESİ

ix

ŞEKİL LİSTESİ

x

1.GİRİŞ

1

2.KURAMSAL TEMELLER

3

2.1 Silah Sistemleri

3

2.2 Hava Aracı Silahları

3

2.3 Askı Ekipmanları

15

2.4 Eniyileme Metodolojisi

19

2.5 Askı Ekipmanları Çalışma Prensipleri

20

2.6 Askı Ekipmanlarında Kilitlerin Görevleri

23

2.7 Mekanik Parça Tasarım Kriterleri

24

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

33

3.1 Hava Aracı Silah Taşıma ve Bırakma Sistemleri ile İlgili Çalışmalar

33

3.2 Kilit Mekanizmaları ile İlgili Çalışmalar

34

3.3 Çelik Malzemelerin İşlenebilirliği ile İlgili Çalışmalar

35

3.4 Çelik Malzemelerde Kaplama ile İlgili Çalışmalar

36

3.5 Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

36

4.MATERYAL VE METOT

38

4.1 Kilit Mekanizması Fiziksel Tasarımı

38

4.2 Malzeme Seçimi

51

4.3 Kaplama Seçimi

57

5.BULGULAR VE TARTIŞMA

60

5.1 Stres Analizleri ve Karşılaştırma

60

5.2 Malzemenin Üretilirlik Açısından Değerlendirilmesi

65

5.3 İmalat Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

66

5.4 Kilit Mekanizması Tasarımının Malzeme, Kaplama ve Üretilebilirlik Açısından Değerlendirilmesi ve Tartışma	70
6.SONUÇ VE ÖNERİLER	74
KAYNAKÇA	77
ÖZGEÇMİŞ	81



TABLO LİSTESİ

Tablo 4. 1: Paslanmaz Çeliklerde Mekanik Özellikler Şartname Farkları	54
Tablo 5. 1: Malzeme Seçimi için Eniyileme Tablosu.	66



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1: Lazer GÜDÜM Sistemleri	6
Şekil 2. 2: LGK-82.	7
Şekil 2. 3: TEBER GÜDÜM KİTİ.	8
Şekil 2. 4: Hassas GÜDÜM Kiti (HGK).	9
Şekil 2. 5: Kanatlı GÜDÜM Kiti (KGK).	10
Şekil 2. 6: LAÇİN GÜDÜM Kiti.	11
Şekil 2. 7: AIM-9E Hava-Hava Füzesi.	13
Şekil 2. 8: AIM-120 AMRAAM Hava-Hava Füzesi.	14
Şekil 2. 9: GÖKTUĞ Hava Füze Sistemleri.	14
Şekil 2. 10: Hafif Yük Salanı (LDERU).	16
Şekil 2. 11: Ağır Yük Salanı (HDERU).	17
Şekil 2. 12: Ray Lançer Atış Anı.	17
Şekil 2. 13: Füze Dikey Atış Lançeri.	18
Şekil 2. 14: Askı Ekipmanı Temel Mekanizmaları.	20
Şekil 2. 15: Pnömatik ve Piroteknik Askı Ekipmanları.	21
Şekil 2. 16: BRU-67 Füze dikey Atış Lançeri.	28
Şekil 4. 1: Hava-Hava Füzesi Ray Lançer Askısı.	39
Şekil 4. 2: Kilit Parçası Ön Tasarım Modeli Örneği.	41
Şekil 4. 3: Farklı Ağırlıklarda Mühimmatların MAU-12 Üzerine Etki Eden Kuvvet-Zaman Grafiği.	42
Şekil 4. 4: MAU-12 Salanı MATLAB Simulink Modeli.	42
Şekil 4. 5: MAU-12 Salanı MATLAB Kuvvet-Zaman Grafiği.	43
Şekil 4. 6: Boyutlandırma Çalışması Yapılmış Kilit Parçası.	46
Şekil 4. 7: Kilit Parçası Üzerine Etki Eden Yükler.	47
Şekil 4. 8: Wöhler Eğrisi.	49
Şekil 4. 9: İşlenebilirliğin Değerlendirilmesi.	55
Şekil 5. 1: Kilit Mekanizması Analiz Mesh Yapısı.	61
Şekil 5. 2: AISI 304 ve AISI 316 Malzeme için Analiz Sonuçları.	62
Şekil 5. 3: SAF 2205 Malzeme için Analiz Sonuçları	63
Şekil 5. 4: 17-4 Ph Malzeme için Analizi.	64
Şekil 5. 5: 15-5 Ph Malzeme için Analizi.	65
Şekil 5. 6: İşleme Başlangıç Yüzeyinin Tasarım Aşamasında Belirlenmesi.	68
Şekil 5. 7: Ön Tasarım Modeli ve Bitmiş Tasarım Modeli.	71
Şekil 5. 8: Tasarım Girdileri Modellemesi	73

1. GİRİŞ

Havacılık sektöründe düşük işleme toleransları ile kalite isterleri yüksek parça üretimi yapılmaktadır. Bunun bir sonucu olarak havacılık parçalarının tasarım süreçleri pek çok farklı sektörün ihtiyaçlarına göre daha zor bir hale gelmektedir. Askeri Hava Araçlarında kullanılmakta olan Mühimmat Askı Sistemleri ise hem askeri standartların karşılanması hem de uçuş emniyeti açısından önem arz eden ekipmanlardır. Ülkemiz savunma ve havacılık sektöründe pek çok parça belirtilen koşullara uygun olarak üretilmektedir. Hava aracı askı sistemleri projeleri de sektörde yerleştirme çalışmalarına konu olmaktadır. Ancak standartlar dahilinde gerçekleştirilen bu tasarımlar için örnek çalışma yayınları kapsamının gizlilik ve ulusal güvenlik nedenleri ile kısıtlı olması tasarım süreçlerinin uzun ve maliyetli olmasına sebebiyet vermektedir.

Hava araçlarında kullanılan askı ekipmanlarının taşıma ve bırakma görevi nihai olarak hedef etkinliği beklentisini barındırmaktadır. Bu nedenle bırakma işleminde kullanılan yöntemler çeşitlilik kazanmaktadır. Serbest bırakma şeklinde yapılan atışların yanı sıra uçaktan güvenli ayrılma sağlaması ve hedefe yönelmesi beklenen füzelerin bırakılması tamamen farklı tip mühimmatların farklı hedeflere iletilmesi için çözüm gerektirmektedir. Askı ekipmanlarının tasarım ve üretim maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle tasarım sürecinde değişkenlik gösteren kullanım koşulları, Askeri ve Havacılık Standartları'na uyumluluk, ömür isterlerin karşılanması ve mekanizmaların uzun süreler boyunca etkin kullanımda kalabilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle askı ekipmanının tasarımı aşamasında her parçanın kullanım yeri, ekipmandaki rolü ve ileride karşılaşılabilecek değişiklikler düşünülerek, olabildiğinde detaylı ve hassas çalışılmalıdır.

Askı ekipmanlarında bulunan kilit mekanizmaları ise üstlendikleri görevler ve uçak gereksinimleri nedeni ile tasarım aşamaları oldukça detaylı bir çalışma gerektiren mekanizmalardır. Tasarım ön modelleme aşamasında başlayan araştırma ve geliştirme çalışmaları, parçaların üretim sonrası test ve kabul aşamalarına dek devam etmektedir. Mühendislik bilgileri, silah bilgileri, ekipman bilgileri ve uçak bilgilerinin

harmanlaması ile gerçekleştirilmekte olan bu tasarımlar ekipmana özel yapılmaktadır. Bu alışma kapsamında incelenen kilit, yeni nesil savaş uçakları ile kullanıma giren, dahili yuvadan bırakılan hava-hava füzelerinin atış zarflarını karşılayacak nitelikte tasarlanmakta olan bir askı ekipmanı mekanizmasının kritik taşıyıcı yapısal parçalarından biridir. Çalışmada yeni nesil hava araçlarında dahili yuvalarda Silah Salma Sistemi olarak yer alan Askı Ekipmanının, taşıma ve bırakma görevlerinde kritik rolü bulunan kilit mekanizmasının tasarım aşamaları açıklanarak, malzeme, kaplama ve Üretilbilirlik açısından değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Silah Sistemleri

Silah sistemleri, bir silahın çalışması, kullanımı, taşınması, muhafazası gibi görevlerini yerine getirmesi için gerekli olan tüm araçların oluşturduğu bir sistem bütünüdür. Bir silahın atış yapması için gerekli olan tüm araçlar değerlendirildiğinde silahı taşıyan ve hedefe atışı gerçekleştiren tüm platformlar bir silah sistemi olarak görülmektedir.

Türkiye’de silah sistemleri yerli üretim ve yurt dışından temin sistemler olarak iki kategoride değerlendirilmektedir. Türk Savunma Sanayi’nin gelişmesi ile kara, deniz ve hava platformları tasarım, üretim ve modernizasyonları, çeşitli top ve topçular, roketler, füzeler, küçük silahlar, elektronik savaş sistemleri, sensörler ve yazılımlar yerli olarak üretilmektedir.

Kara platformları kendi içinde tekerlekli zırhlı araçlar, zırhlı paletli araçlar, tanklar, taktik araçları ve bunların ekipmanlarından oluşur. Kobra, Yavuz, Sarp ve Akrep gibi tekerlekli zırhlı araçlar, ACV 300 IFV 40, M113 (A2T2), ACV ENG RECCE Zırhlı Mühendislik Kurtarma Aracı gibi araçlar zırhlı paletli araçlar bir bütün halinde başlı başına silah sistemi olarak değerlendirilebilir.

Deniz platformlarında Barbaros ve Yavuz sınıfı fırkateynler, Milgem Karakol ve Denizaltı Karşıtı Harp Gemisi ve Tip 209 denizaltı gibi savaş gemilerinin yanı sıra insansız deniz araçları, çıkartma gemileri ve sahil güvenlik gemileri gibi devriye amfibi gemiler ve destek gemileri karşımıza çıkmaktadır.

Hava platformlarında ise F-16, F-4E gibi avcı uçakları, Boeing737 AEW&C ihbar ve kontrol uçakları, Airbus A400M askeri taşıma uçağı, Türk İlköğretim ve Temel Eğitim Uçağı (HÜRKUŞ), TAI T129 (ATAK) ve Eurocopter AS 532 gibi helikopterler ve insansız hava araçları bulunmaktadır.

2.2 Hava Aracı Silahları

Savaş uçaklarında birçok hava-hava ve hava-yer füzesi kullanılmaktadır. Kullanılan füzeler uçakların görev profillerine göre seçilmektedirler. Ülkemiz envanterinde

bulunan silahlar NATO üyesi ülkelerde kullanılan silahlar ve yerli mühimmatlardır. Türk Hava kuvvetleri envanterinde bulunan uçaklar ve bu uçakların görev profillerine göre uçuş başına füze yerleşimi yapılmaktadır.

Envanterimizde bulunan F4-E uçakları avcı bombardıman uçaklarıdır. Çeşitli askı ekipmanlarının kullanımı ile akıllı bombalar ve hava-hava güdümleri füzelerinin kullanımı mümkün olmaktadır. Böylece uçak taarruz kabiliyeti askı ve füze sistemleri ile geliştirilebilmektedir. 1970-1980 yılları arasında ilk kez envanterde yer bulan F4 uçakları Vietnam Savaşı döneminde ön plana çıkmış olan ABD yapımı uçaklardır. Bu tarih alımına başlanan F4-E uçaklarının yanı sıra 1980 yıllarında 70 adet ikinci el, 1991-1992 yıllarında Körfez Savaşı esnasında ise 40 adet yeni F-4E Phantom uçağı Türkiye'ye hibe edilmiştir. Böylece 1990'lı yıllarda Türk Hava Kuvvetleri envanterine çeşitli modellerde toplam 182 adet F4-E uçağı katılmıştır. Günümüzde sürdürülmekte olan sürekli bakım ve modernizasyon işlemleri ile bir filo kadar F4-E uçağının kullanımına devam edilmektedir. Emekli edilen uçaklar ise yedek parça, hammadde ve görsel olarak değerlendirilmeye devam edilmektedir.

1987 yılında ilk kez envanterimize giren F-16 avcı bombardıman uçakları günümüzde hala uçak filolarımızda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Türkiye F-16 avcı uçaklarının büyük rol oynamıştır. Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı (TUSAŞ) tarafından üretimleri yapılan bu uçağın birçok modeli bulunmaktadır. 1987-1995 yılları arasında toplam edinilen 160 uçaktan 152'sinin montaj işlemleri TUSAŞ tarafından gerçekleştirilmiştir. 1999 yılına kadar alımlarına devam edilen F-16 avcı uçağı 2000'li yıllara kadar 12 filoda uçmuştur. ABD anlaşmaları gereği TUSAŞ bünyesinde de üretimi yapılan uçaklar yurt dışına da satılmıştır. Modernizasyon çalışmaları ile envanterde sürekli güncelleme gören uçakların anlık kullanım sayısını vermek mümkün olmamaktadır.

Hava araçlarında kullanılmakta olan hava-yer ya da hava-hava mühimmatları uçağın özelliklerine, atış zarlarına ve görev profillerine değişiklik göstermektedir. Toplam silah sistemi uçak, askı ekipmanı ve bomba ya da füzeden oluşur. Bu elemanları her biri kendi içinde bir sistem olmakla birlik silah taşıma ve bırakma amacı bulunmayan uçaklar silah sistemi olarak sayılamazlar. Askı ekipmanları bir silahın uçakta taşınması ve ayrılması görevini üstlenirler. Bu nedenle askı ekipmanları her koşulda silah

sistemlerinin bir elemanıdır. Bırakılacak olan mühimmat ise başlı başına bir silah olup, akıllı bir silah olduğunda başlı başına bir sistemden, serbest düşümlü bomba olduğunda farklı bir sistemden oluşur.

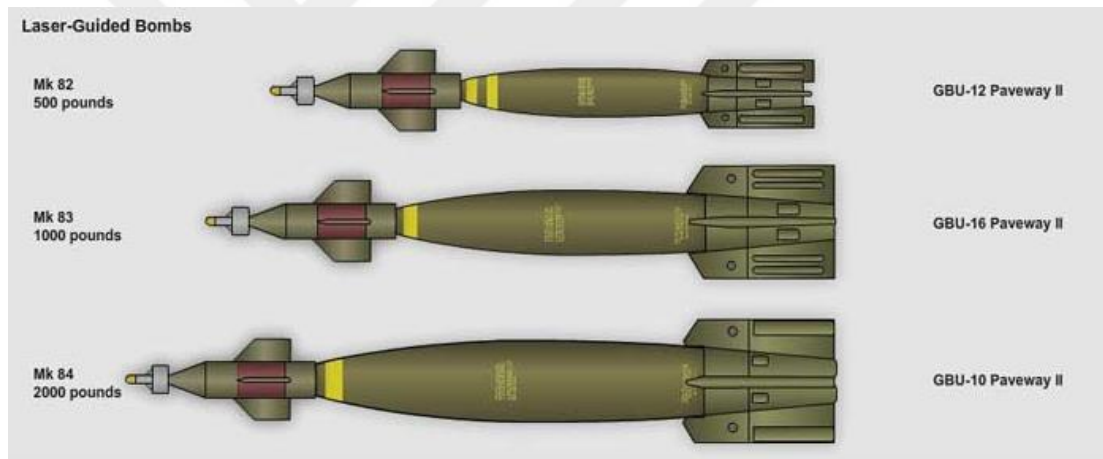
Hava-yer mühimmatları askeri uçaklardan kara ve deniz hedeflerine atış yapılması için tasarlanmaktadır. Bu mühimmatlar içinde füzeler ve füze sınıfında bulunmayan güdümlü süzülen bombalar bulunmaktadır. Hava-yer mühimmatı olan füzeler için yaygın olarak iki farklı tahrik sistemi kullanılmaktadır. Bunlar kısa menzilli roket motorları ve uzun menzilli jet motorlarıdır. Roket motorları jet motorlarına nispeten mühimmatın hedefe daha hızlı ulaşmasını sağlamaktadır. Ancak uzun menzilli atışlarda hız ihtiyacı bulunduğunda RAMJET denilen sıkıştırılmış hava akışlı ve döner kompresörü bulunmayan bir jet motor ile güçlendirme yapılmaktadır.

Hava-yer mühimmatları için hedef yönlendirmesi tipik olarak lazer aydınlatma ile yönlendirme, kızıl ötesi ışın ile yönlendirme, optik yönlendirme ya da uydu yönlendirmeleri ile yapılmaktadır. Yönlendirme tipinin seçimi hedef tipine bağlıdır. Hava-yer füzeleri uçaklardan karaya yapılacak olan hareketlerde büyük avantaj sağlamaktadır. Bu füzeler hedefleri hava savunma ekipmanlarının menzili dışında kalarak vurulmasında oldukça etkilidir. Belirli bir mesafeden uçak tarafından güdüm kontrolü yapılabildiği gibi önceden verilen hedefe yönelen at-unut tipi füzeler de hedefe hiç yaklaşılmadan görevin tamamlanması açısından oldukça önemli rol oynamaktadır. Seyir füzesi ya da gemilere fırlatılan birçok füze etkili uzun menzile sahip olup hedefi kendileri bulabilmektedir. Bu sayede hedefin ufukta belirmesi ile atış gerçekleştirilerek uçakların geri dönmelerine olanak sağlamaktadırlar.

Uçaklardan atılmakta olan hava-yer mühimmatlarının hedefe isabetli atışı ve uçaksavarlardan kaçınması için çalışmalar 2. Dünya Savaşı sırasında Almanlar tarafından başlatılmıştır. Çalışmalar sayesinde tasarım ve üretimleri gerçekleştirilmiş olan güdümlü bombalar ilk olarak yer hedeflerine ve deniz araçlarına karşı kullanılmıştır. Üretilmiş olan ilk akıllı bomba olma özelliğini taşıyan bu bombalar HS-293 ve FRITZ-X olarak adlandırılmıştır. Bu dönemde yapılan bombaların hedefte başarıları oldukça düşüktür. Mevcut uçaklarda bulunan hedef sistemlerinin düşük hassasiyeti ve dönemin en önemli silah sistemlerinden olan uçaksavarlardan kaçınım nedeni ile yüksek irtifalardan yapılan atışlar da başarıyı düşüren etmenlerdir. Vietnam Savaşı sırasında ise ABD tarafından atılan bombaların aynı hedefleri vurması ve uçaksavarlara yakalanan bombalar nedeni ile alçaktan atışlar denenmiş ve bu deneme

yerden yapılan atışlara hedef olarak büyük miktarda uçağın kaybedilmesi ile sonuçlanmıştır.

İlk güdümlü bombaların yüksek irtifadan atışlarında beklenen başarıyı elde edememesi ve alçak irtifadan yapılmak istenen atışlarda da uçak kayıplarının olması yeni nesil bir bomba ihtiyacı oluşturmuş ve lazer güdümlü bombalar üretilmiştir. Bu bombaların çalışma prensibi lazer ile aydınlatılan hedefe doğru bombanın güdümlü sürülmesi şeklindedir. İlk olarak 1965 yılında ABD tarafından üretilen ve denemeleri yapılan bu silah, lazer ile aydınlatılan bölgeyi tespit etmek amaçlı bir arayıcı başlık taşımaktadır. Bu başlık sayesinde hedeften yansıyan lazer ışınları yakalanır ve bomba ışın kaynağına doğru sürülür. Zırhlı personel araçları ve tanklar gibi hedefler serbest düşümlü bombalar ile vurulamazken lazer güdüm sistemi ile kolay hedefler haline gelmiştir.



Şekil 2. 1: Lazer Güdüm Sistemleri

(“Akıllı bombaların muharebe alanına çıkışı” 2020)

Piyasaya çıkartılan Paveway güdüm kitleri bir kontrolcü, yönlendirme komutlarını sağlayan arayıcı başlık önüne takılmış kılavuz kanat takımı ve serbest uçuşu sağlamak için silah kış tarafına takılmış bir kanat kompleksinden oluşmaktadır. Bu sayede uçaktan bağımsız olarak aydınlatılan hedefe doğru yol alma kabiliyetine sahiptir. Hedef işaretleme atışın yapılacağı uçak tarafından yapılabileceği gibi farklı bir uçak ya da yer aracından da yapılabilir. Bu sistemin başarısını etkileyen pek çok değişken bulunmaktadır. Hedefin erken işaretlenmesi durumunda bomba sürekli güdüm haline girer ve serbest uçuş modu bozularak hedefe yönelmek üzere sık sık düzeltme yapar. Silah sistemleri mühendisliği alanında “yunuslama” (dolphing) olarak

adlandırılan bu hareket silah hedefe varamadan yakıtın tükenmesine ya da hedeften çok daha önce yer çizgisine vararak ıskalamalara neden olmaktadır. Lazerin hedefi geç aydınlatması ise uzun süre serbest düşen bombanın yeterince güdümlenerek hedefe ulaşmasını engelleyebilmektedir. Hedef başarısını engelleyen bir diğer faktör ise hava koşullarıdır. Yoğun yağış ya da sis altında lazer ışınlarının arayıcı başlık tarafından tam olarak alınamaması ya da hava da bulunan serbest su yüzünden lazer ışınlarında oluşan yansıma ve kırılmalar nedeni ile hedefe giden yolda çok kez düzeltme yapılması gibi faktörlerle ıska atışları yapılabilmektedir. Genel olarak sivil kayıplarının azaltılması, keşif araçları ile havadan ve yerden hedef aydınlatılması yapılabilmesi nedeni ile etkin olarak kullanılan bir silah sistemidir.

Türkiye’de F-4E ve F-16 uçakları ile hava-yer mühimmatlarında güdümlü bombalar kullanılmaya başlanmıştır. ABD’den satın alınan Paveway serisi bombalar haricinde ASELSAN tarafından yerli lazer güdüm kitleri geliştirilmiştir. Bu kitler tamamen yerli olarak tasarlanmış ve üretilmiş olup 2. nesil lazer güdüm kitleridir. Bu kitler ile lisanslı olarak MKE tarafından üretilmekte olan 500 libre sınıfı Mk-82, 2000 libre sınıfı Mk-84 ve 2000 libre sınıfı serbest düşümlü bombalara entegre edilerek akıllı silah sistemleri haline getirilmektedir. Bu sistemler hedefle 10 metrenin altında hassasiyetle yaklaşık 12 km menzilde çalışmaktadır. (“HGK 82 ve L HGK 82 | ASELSAN” 2022)



Şekil 2. 2: LGK-82.

(Milli Savunma, 2016)

ROKETSAN tarafından geliştirilmiş olan ve 2018 yılında Türk Silahlı Kuvvetleri'ne teslim edilen TEBER lazer güdüm kitleri ise Mk-81/82 serbest düşümlü bombalara entegre edilerek, 3 metrenin altında hassasiyetle yaklaşık 2 ile 28 km menziller arasında hassas bir şekilde hedeflerde başarılı olmaktadır. TEBER lazer güdüm kitinde 4 farklı güdüm modu bulunmaktadır. Bombaların kuyruk kısmına yerleştirilen Ataletsel Ölçüm Birimi (AÖB) sisteminden ve Küresel Konumlama Sisteminden (KKS) veri alarak güdüm sağlamaktadır. Kuyruk bölümü entegre edilen bombayı tanımaktadır. Bu sayede kullanım kolaylığı sağlamaktadır. (Roketsan 2022b)



Şekil 2. 3: TEBER GÜDÜM KİTİ.

(“Roketsan TEBER” 2022)

Lazer güdüm kitlerinin olumsuz hava şartlarında istenilen neticeleri veremiyor olması nedeni ile hassas güdüm kitleri ihtiyacı oluşmuştur. Bu kitler JDAM (Joint Direct Attack Munition / Ortak Doğrudan Saldırı Mühimmatı) adını almıştır. Hassas güdüm kitleri hedef bilgilerini taşıyıcısından almaktadır. Silah salınmadan önce belirlenen hedefin koordinatları silahın sistemine yüklenir ve ardından atış yapılır. Sistem kontrol bilgisayarı, ayarlanabilir kuyruk kanat takımı, seyrüsefer sistemi, alıcı sistem ve GPS sistemlerinin bir bütün olarak çalışması ile etkin olmaktadır.

JDAM tipi silahların yükleneceği uçaklarda genel olarak mevcut görev planları kalkıştan önce uçağın görev bilgisayarına yüklenebilmektedir. Ancak olası görev değişiklikleri ve fırsat hedefleri için pilotlar da uçuş esnasında hedef bilgilerinde manuel olarak değişiklik yapabilmektedirler. Türk Hava Kuvvetleri envanterinde bulunan ve ABD’den satın alınan JDAM tipi akıllı bombalar yalnızca uygun güncellemelere sahip F-16 uçaklarından atılmaya uygun şekilde üretilmiştir. Bu bağımlılığın ortadan kalkması ve hareket kabiliyetinin artırılması adına TÜBİTAK SAGE tarafından yerli olarak Hassas Güdüm Kiti (HGK) tasarlanmıştır. 2015 yılında seri üretimi yapılmaya başlanan HGK ile MK-82, MK-83, MK-84 ve NEB serbest düşümlü bombalar akıllı mühimmatlara dönüştürülmekte ve mevcut F-16 ve F-4E uçaklarından atılabilmektedir.



Şekil 2. 4: Hassas Güdüm Kiti (HGK).

(“Hassas Güdüm Kiti (HGK) | Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü” 2022)

Hassas güdüm kitlerinden farklı olarak kısa menzilli hedeflerde düşük maliyetli atışlar yapılması amacıyla JSOW tipi silah sistemleri geliştirilmiştir. Bu silah sistemlerinde JDAM tipi sistemden farklı olarak mühimmatın üst yüzeyine yerleştirilen kanatların açılması ve kuyrukta bulunan kanat kompleksinin hareketleri ile hedefe szlme hareketi yapılmaktadır. Öncelikle bir lazer işaretleyicisi, veri bağlantısı ya da atış sonrası takip olmadan at-unut silah sistemleri geliştirmek hedeflenmiştir. Türk Hava Kuvvetleri tarafınca kullanımda olan F-16 uçaklarının hedef imha güçlerini arttırmak için ABD’den AGM-154 JSOW silah sisteminin A-1 ve C modelleri satın alınmıştır. AGM-154 A modeli JSOW geniş alanlarda konumlanmış hafif zırlı araçlar ve hava savunma sistemleri gibi hedefleri etkisiz hale getirebilmek amaçlı 145 adet BLU-97/B Bombacığı taşınmaktadır. C modeli ise sabit hedeflere yönelik kullanım için 246 kg ağırlığında nüfuz edici bir başlık içermektedir. (“AGM-154 Joint Standoff Weapon | Military.com” 2022) Güdüm kitlerinde genel olarak üretici ülkelerin koşulları ve yüksek maliyetler envanterde bulunan silah miktarı ve görev profillerini kısıtlamaktadır. Bu kısıtlamalardan kurtulmak ve maliyet etkin üretimler gerçekleştirmek adına Kanatlı Güdüm Kiti projesi TÜBİTAK SAGE tarafından geliştirilmiştir. Kanatlı Güdüm Kiti (KGK) ile MK-82 ve MK-83 genel maksat mühimmatları akıllı bombalara dönüştürülmektedir.



Şekil 2. 5: Kanatlı Güdüm Kiti (KGK).

(“Kanatlı Güdüm Kiti (KGK) | Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü” 2022)

Uzun menzilde maġara hedefleri de dahil olmak üzere etkin olarak kullanım ihtiyacı neticesinde 2019 yılı başında ROKETSAN tarafından LAÇ N Güdüm Kiti ve LAÇ N POD (L-POD) projesi geliştirilmeye başlanmıştır. MK-82 genel maksat bombaları ile kullanımı planlanan LAÇ N, L-POD aracılıġı ile pilotla etkileşimle kalabilmektedir. MK-82 genel maksat bombalarına Ataletsel  l  m Birimi [AOB], Küresel Konumlama Sistemi [KKS] ve Kızılötesi Arayıcı Bařlıġı eklenerek LAÇ N güdüm kiti oluşturulmaktadır. L-POD ise Kızılötesi Arayıcı Bařlıġı ile etkileşimde olan ve mühimmat ile pilotun haberleşmesini saġlayan sistemdir. (Roketsan 2022a)



Şekil 2. 6: LAÇİN Güzüm Kiti.

(“IIR Güzümlü LAÇİN Güzüm Kiti” 2021)

Hava-hava füzeleri atıldıkları uçağın hedefine girmiş başka bir uçağa yönlendirilmek üzere tasarlanmaktadır. Bu füzelerde hızlı ve mümkün olduğunca uzun yol kat etmek asıl hedef olduğu için genellikle katı yakıtlı olarak tasarlanmaktadır. Ancak seçenekler arasında sıvı yakıtlı ve çoklu roket motorlarıyla çalışan füzeler de bulunmaktadır. Hava-yer füzelerinde kullanılmakta olan Ramjet motorları ile üretilen füzeler de bulunmaktadır. Bu füzelerde angajman süresince yüksek hızın korunması ve uzun mesafe kat edilmesi hedeflenmektedir.

Hava-hava füzeleri “görüş içi füze” (GİF) ve “görüş ötesi füze” (GÖF) olarak iki grupta incelenmektedir. Görüş içi füzeler genel olarak 30 km altında hedeflerde kullanılan füzelerdir. Bu mesafede bulunan iki uçak birbirini karşılıklı görebilmektedir ve böyle bir hedefin bulunması görev icrasında “it dalaşı” (dog fight) olarak adlandırılmaktadır. Görüş içi füzelerde hareketli ve yakın mesafede bir hedef seçilmesi dolayısıyla füzenin manevra kabiliyeti menzilden daha ön plandadır. Bu tip füzelerin birçoğu kızıl ötesi ışın kullanılarak yönlendirilen füzeler olup ısı güdümlü füze adını alırlar. Kızıl ötesi ışınla taradıkları alanda hedeflerini ısı kaynakları sayesinde tespit eder ve yönlenirler.

Görüş ötesi füzeler ise orta ve uzun menzilli hedeflerde kullanılmakta olup genellikle radar yönlendirmesi ile hedefe yönelirler. Radar yönlendirmesinin yanı sıra tespit sensörleri yardımıyla hedefe yakın konuma gelebilmek için atalet yönlendirmeleri ve menzil için hedef düzeltmeleri kullanır. Bu anlamda hava-yer füzeleri ile oldukça

benzerlik gösteren füzeler aynı silahın iki farklı versiyonu olarak ya da hava-hava ve hava-yer ortak kullanımı olarak karşımıza çıkabilmektedir.

Yoğun olarak 2. Dünya Savaşı süresince yaşanan it dalaşı durumlarında uçaklar birbirlerine makinalı tüfekler ve küçük çaplı toplar ile üstünlük kurma çabasındaydı. Günümüzde hala uçaklarda entegre olarak bulunan bu toplar etkin hava-hava füzesi kullanımı dolayısıyla aktif görevden ziyade tedbir ve özel maksatlı kullanımlar için bulundurulmaktadır. Soğuk Savaş döneminde kullanıma alınmış olan hava-hava füzeleri hava savaşlarına yeni bir boyut getirmiştir. İlk hava-hava füzesinin kullanımında bu yana geçen süre içinde füze tipleri, etkin menziller, güdüm sistemleri ve atış parametreleri sürekli olarak değişiklik geçirerek güncellenmeye devam etmektedir.

Hava-hava füzelerinin menzilleri genel olarak net hesaplanamamaktadır. Ancak iki uçağın karşı karşıya geldiği durumlarda önemli ölçüde etkili olmasının yanı sıra caydırıcılık açısından en önemli silah sistemlerinden biri olmaktadır. Havacılık bilim dalı hız için mach birimini kullanmaktadır. Bu birim uçakların ya da füzelerin ses hızına oranıyla ölçülmekte olan bir değer olup 1 mach ses hızı olarak kabul edilmektedir. Ses hızı ise 20 °C’de ve deniz seviyesinde yaklaşık 1235 km/saat ölçülmektedir. Ancak irtifa artışıyla değişen hava yoğunluğu ve sıcaklığı bu hızı düşürmektedir. Dolayısıyla 2 mach hızıyla uçan bir uçağın ya da 4 mach hızıyla yol alan bir füzenin anlık hızı km cinsinden mutlak bir değerle ifade edilememektedir. Bu bilgiler ışığında bir hava-hava füzesinin menzilinın değişiklik göstermesi beklenen bir sonuçtur.

Hava-hava füzelerinin menzil yakınsaması atış anında sahip olunan ilk hız, bulunduğu irtifaya, bu irtifada mevcut olan hava koşullarına, füze motorunun çalışma süresine, bu sürede üretilen toplam güce, hedefin izlediği rotaya ve bu rotaya göre füzenin yapacağı hareketlere göre belirlenmelidir. Birçok değişkenin konu olduğu bu atış çeşidinde mutlak sonuçlara varılamaması olağan olmakta birlikte, uçakların, füzelerin ve pilotların kabiliyetlerine göre atış yapılan hedefte başarı oranı oldukça yüksektir. Türk Hava Kuvvetleri envanterinde 2 farklı hava-hava füzesi bulunmaktadır. Bu füzelerden ilki AIM-9 Sidewinder füzesidir. AIM-9 Sidewinder füzesi görüş içi füze (GİF) kategorisinde olup ısıya duyarlıdır. AIM ön eki “Air Intercept Missile” yani hava önleme füzesi anlamına gelmektedir.

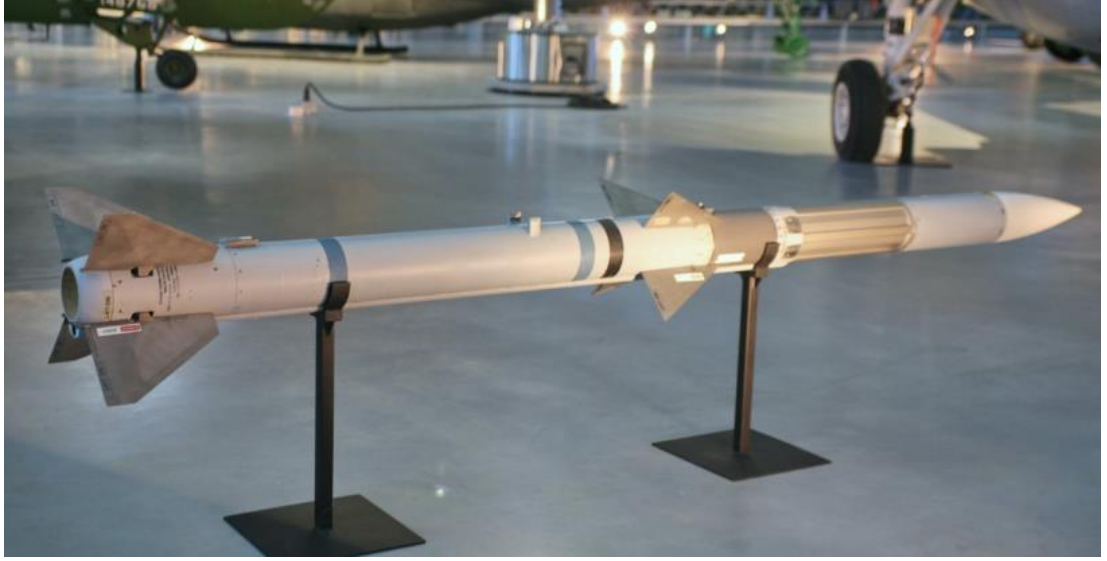
1956 yılında ABD Deniz Kuvvetleri tarafından, 1964 yılında ise ABD Hava Kuvvetleri tarafından kullanılmaya başlanmış olup NATO müttefikleri ve ABD'nin silah satışı bulunan ülkeler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. (Kopp 1994) Türkiye çeşitli zamanlarda AIM-9E, AIM-9F, AIM-9F, AIM-9X, AIM-9M, AIM-9L, AIM-9I, AIM-9S ve AIM-9P3 modellerini satın almıştır.



Şekil 2. 7: AIM-9E Hava-Hava Füzesi.

(“Missile, Air-to-Air, Sidewinder, AIM 9E” 2022)

Envanterde bulunan bir diğer füze ise AIM-120 AMRAAM füzeleridir. Bu füzeler görüş ötesi füze (GÖF) kategorisinde yer almakta olup aktif radar güdümü bulundurmaktadır. AMRAAM kelimesi “Advanced Middle Range Air to Air Missile” yani havadan havaya geliştirilmiş orta menzilli füze anlamına gelmektedir. 1980li yılların sonunda ABD tarafından geliştirilmiş olan bu füze süpersonik ortamda çalışmaktadır ve aktif radar izlemesi ile hedefe yönlenen bir füzedir. Aktif (dahili radarını kullanarak) ya da yarı aktif (uçak radarından bilgi güncelleyerek) hedef izlemesi yapabilmektedir. Yaklaşık 55 km menziline atışlarda tercih edilen bir füze tipidir. Türkiye AIM-120A, AIM-120B ve AIM-120C-7 modeli AMRAAM füzelerine sahiptir.



Şekil 2. 8: AIM-120 AMRAAM Hava-Hava Füzesi.

(Şimşek, 2021)

TÜBİTAK-SAGE tarafından 2013 yılında yerli hava-hava füzeleri projesi başlatılmıştır. GÖKTUĞ projesi olarak adlandırılan bu proje kapsamında hem aktif radar arayıcı başlıklı bir uzun menzilli görüş ötesi füze (GÖF) hem de kızılötesi görüntüleyici arayıcı başlıklı ve yüksek manevra kabiliyetine sahip kısa menzilli görüş içi füze (GİF) geliştirilmektedir. (“Göktuğ | Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü” 2022)



Şekil 2. 9: GÖKTUĞ Hava Füze Sistemleri.

(“GÖKTUĞ Hava-Hava Füze Sistemleri” 2019)

2.3 Askı Ekipmanları

Uçakların keşif görevlerinin yanı sıra, savaş ortamında aktif kullanılmasıyla birlikte kara savunma birliklerini bastırmak ve kara kuvvetlerini hedef alan hava saldırıları başlamıştır. İlk kullanımlarda pilotların elleriyle hafif bombalar atarak başladıkları düşünülen bu taktik ilerleyen dönemlerde uçakta bulundurulacak ek personelin daha yüksek irtifalarda uçuş esnasında daha ağır bombaları bırakmasıyla etkin bir görev haline gelmiştir. Bu görevi yerine getirecek uçakların büyüklüğü, görev profilleri ve silahların gelişmesi ile mühimmatı uçak üzerinde güvenli taşıyacak ve pilotun hedefe yönelik kararı ile bırakmayı gerçekleştirecek ekipman gerekliliği doğmuştur.

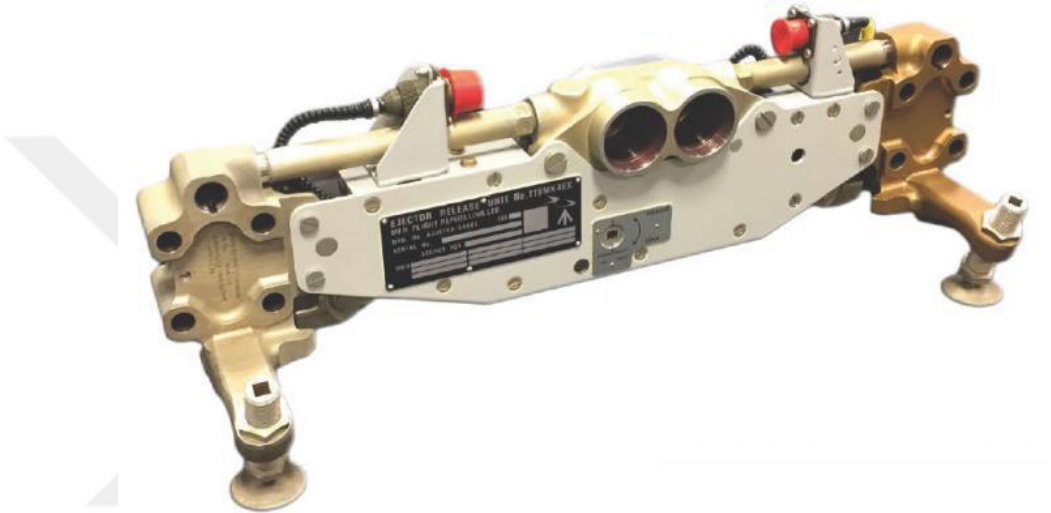
Günümüzde hava araçlarında bu görevi yerine getiren ekipmanlar Askı Ekipmanı olarak adlandırılmaktadır. Silah literatüründe Suspension and Release Equipment (SARE) olarak bilinen bu sistem uçuş esnasında üzerine gelebilecek tüm yüklere karşı dayanıklı olmalı, güvenli bir şekilde silahı taşımalı ve atış komutu ile birlikte bırakma işlemini gerçekleştirebilmelidir. Taşıma sırasında silahlarda bulunan pabuçlar askı ekipmanında bulunan kancalar ile tutulmaktadır. Birçok askı ekipmanında titreşimi engellemek ve taşıma güvenliğini sağlamak için “sway brace” adı verilen basma pabuçları bulunur. Sistemin atış anında serbest bırakılması pek çok farklı sistemin senkronize olarak çalışmasına bağlıdır. Genel prensipte elektriksel bir sinyal ile atış komutu askı ekipmanı tarafından alınır. Buna karşılık bir kartuş ya da pnömatik sistem serbest bırakılır ve öncelikle kilidin taşıma mekanizmasını bırakmasını ardından da piston vasıtasıyla silahın ekipmandan güvenli bir şekilde uzaklaştırılması sağlanmaktadır.

Yeni teknolojiler ile birlikte askı ekipmanları taarruz helikopterleri, avcı uçakları ve ağır bombardıman uçakları gibi pek çok hava aracında hem harici hem de dahili yuvalarda kullanılmaktadır. Taşıma ve bırakmanın yapılacağı silahlara göre Hafif Yük Salanı (LDERU), Ağır Yük Salanı (HDERU), Füze Dikey Atış Lançeri (MVEL), Füze Ray Lançeri (MRL) ve birden fazla silahın taşınması ve bırakılması için Çoklu yük Taşıyıcılar kullanılmaktadır.

Askı ekipmanı tasarımında dikkate alınan ilk özellik taşıma ve bırakmanın yapılacağı silahın ağırlığıdır. Seçilen silahın tipi askı ekipmanın özelliklerini değiştirmektedir. Silah ağırlıklarına göre NATO tarafından askı kancalarının aralıkları gruplandırılmış ve bir standarda bağlanmıştır. NATO üyesi ülkeler ağırlık sınıfına göre silah

retiminde pabuçların askı ekipmanı üretiminde ise askı kancalarının birbirine olan mesafelerini bu standarda göre belirlemektedir.

Taşınan silahın ağırlığı ve tipi askı ekipmanı seçiminde belirleyici faktör olmaktadır. Taşınan silah 1000 libre ağırlığında veya 1000 libre ağırlığın altında ise bu sınıfın özelliklerine göre 14 inç (35,56 cm) askı kancaları kullanılarak taşınması gerekmektedir. 1000 libre ve altı sınıfı silahlar Hafif Yük Salanı (LDERU) ya da Ağır Yük Salanı (HDERU) ile taşınabilmektedir.



Şekil 2. 10: Hafif Yük Salanı (LDERU).

(“Alkan Fr” 2022)

Taşınan silah 1000 libre ve üzerinde bir ağırlıkta ise bu sınıfta bulunan silahlarda 14 in (34.56 cm) ve 30 inç (76,2 cm) askı ekipmanı kullanılabilmektedir ve Ağır Yük Salanı (HDERU) ile taşınabilmektedir.



Şekil 2. 11: Ağır Yük Salan (HDERU).

(“Cobham Mission Systems, Weapons Carriage and Release, Air-to-Ground Bomb Racks” 2022)

Atışı yapılacak silah bir füze ise askı ekipmanı kullanımı değişmektedir. Füzeler Ray Lançer denilen bir askı ekipmanından ateşlenmek üzere tasarlanmıştır. Ray lançerler füzeyi taşıma esnasında tutan, ateşlenme sonrası ise itkinin belli bir kuvvete ulaşması ile tutma işlemini bırakarak füzenin ilerlemesine olanak sağlayan bir sistemdir. Füzenin uçaktan ayrılmadan önce ateşlenmesi ve kendi itkisi ile ayrılması prensibinde füze ateşlemesi söz konusu olduğu için plüm etkisi açığa çıkmaktadır.



Şekil 2. 12: Ray Lançer Atış Anı.

(“Aircraft Missiles – Far-Reaching Advances” 2020)

Plüm etkisinin uçağa zarar vermemesi için füze uçaktan olabildiğince uzak şekilde konumlandırılmakta ya da füzenin bağlanacağı bölgelerde çeşitli reflektörler kullanılmaktadır. Plüm etkisini bertaraf etmek ve dahili yuvalarda füze taşımak için Füze Dikey Atış Lançeri (MVEL) kullanılmaktadır. Bir füzenin uçaktan uzaklaştıktan sonra ateşlenmesi gerektiğinde aynı ağır yük ve hafif yük salanlarında olduğu gibi bir bırakma işlemi gerçekleşmelidir. Bu tip bir atışta füzenin atış sinyalinin ardından ancak motoru ateşlenmeden önce uçaktan uzaklaştırılması gerekmektedir. Oldukça kısa sürede gerçekleşen bu olay sırasında aerodinamik kuvvetlerin de etkisiyle füzenin uçaktan uzaklaştırması oldukça zor bir işlemdir. Atışın güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi için gerekli kuvvetler hafif ve ağır yük salanlarının çalışma performanslarında elde edilen kuvvetlerden çok daha büyüktür.

Gerekli olan büyük kuvvetleri elde edebilecek ve füzeyi ateşlenmeden önce uçaktan güvenli uzaklığa itme kapasitesine sahip olan füze dikey atış lançerleri genellikle uçak ve mühimmat tasarlanmaktadır. Dikey atış lançerleri günümüze genel kullanım alanında diğer ekipmanlar kadar bulunmamaktadır. Bunun nedenleri arasında füzelerin dikey fırlatmaya uygun tasarımda olmaması ve bu tip atışı gerçekleştirebilen uçak sayısının az olması gösterilmektedir.



Şekil 2. 13: Füze Dikey Atış Lançeri.

(“Pneumatic Eject Missile Launchers | L3Harris™ Fast. Forward.” 2022)

Çalışma konusu askı ekipmanı kilidi bir füze dikey atış lançerine aittir. Belirli tip mühimmatların görev bazında atılması için özel tasarlanmakta olan bu lançerin benzerlerinden daha büyük yükler altında çalışması beklenmektedir.

2.4 Eniyileme Metodolojisi

Eniyileme Metodolojisi yaygın olarak kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Genel tanımıyla optimizasyon, bir sistemde belirlenen koşullar ve kısıtlamalar altında belirlenmiş bir amacı tanımlayan fonksiyonun sonuç değerlerinin en iyilenmesi için değişkenlerinin alacağı değerlerin belirlenmesidir. Bu yöntemde girdiler ele alınarak en iyi sonuçlar elde edilebileceği gibi istenilen sonuca ulaşmak için en iyi girdilerin belirlenmesi de mümkün olmaktadır. Optimizasyon işleminde analitik yöntemler, sezgisel yöntemler ve meta-sezgisel yöntemler kullanılabilir.

Analitik yöntemler, belirlenen toleranslar ve kısıtlamalar içinde ulaşılacak en iyi çözüm değerlerini verir. Bu yöntem çok büyük sistemlerde ya da çok değişkenli sistemlerde kullanımı oldukça zor olan ve çoğu zaman sistem bütünü için kullanılamayan yöntemlerdir. Sezgisel yöntemler çözümü yapılacak sistem için bir algoritmanın benimsenmesi ile en iyi çözümlere ulaşmakta kullanılmaktadır. Bu yöntem çoğu çözümde tüm sistem için optimum sonuçları vermemektedir. Ancak analitik yöntemle göre daha hızlı ve sistem bütününe uygun sonuçlar elde etmek mümkündür. Meta-sezgisel yöntemler ise sezgisel yöntemde olduğu gibi algoritmalarla dayanılarak yapılır. Ancak bu yöntemde algoritmalar sistemin yapısına uyarlanır ve çözümü yapılacak sistem için sezgisel yöntemle göre daha yakınsak sonuçlar elde edilir.

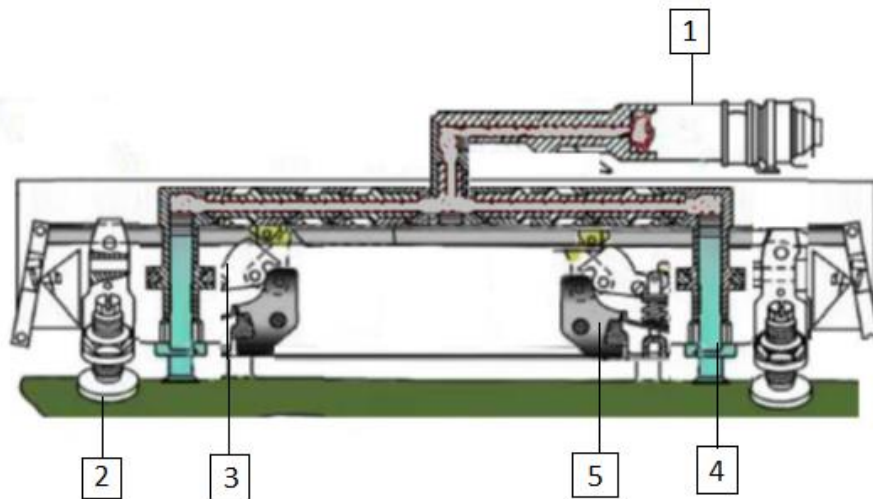
Bir optimizasyon çalışmasında sistemin en iyi çözümünün elde edilmesi için modelin iyi tasarlanmış olması gerekmektedir. Model tasarımında mühendislik alanında sıkça kullanılmakta olan yöntem doğrusal programlama yöntemidir. Bu yöntemde genel olarak bir amaç fonksiyonu ve doğrusal sınırların yer aldığı iki kısımlı matematik ifadeleri kullanılır. Tüm girdilerin çıktıları doğrudan etkilediği durumlarda kolay ve yakınsak çözümler sağlayan bir yöntem olması dolayısıyla mühendislik çözümlerinde kullanılan bu yöntem girdi çıktı bağlantıları nedeni ile doğrusallık adını almıştır. (Özyüksel Çiftçioğlu ve Doğan 2017)

Doğrusal programlama ya da doğrusallık yönteminde çizilen sınırların kesişim kümesi problem için bir çözüm alanı sunmaktadır. Bu alan içinde kalan değerler ile amaç doğrultusunda en iyilenmeye çalışılmaktadır. Mühendislik yaklaşımında, bu çalışmada olduğu gibi, malzeme ve kaplama seçimi gibi konularda fiziksel bağımlılıklar söz konusudur. Bu nedenle yapılan optimizasyon işleminin temel olarak sınırlı kaynakların nasıl dağıtılması gerektiği ve bu dağıtımdan maksimum fayda alınması esasına uygun olarak karar verme aracı şeklinde kullanılmaktadır. Bir doğrusallık modelinin kurulabilmesi için kaynaklarda bulunan değişkenlerde toplanabilirlik, bölünebilirlik ve belirlilik (kesinlik) karakterlerinin bulunması gerekmektedir. (Altunkaynak ve Es 2004)

2.5 Askı Ekipmanları Çalışma Prensipleri

Askı ekipmanları temel 5 mekanizmadan oluşmaktadır.

1. Gaz Kaynağı (Pnömatik Sistemler)
2. Salınım Desteği (Sway Brace)
3. Kilit Mekanizması
4. Piston Mekanizması
5. Kanca Mekanizması (Hook)



Şekil 2. 14: Askı Ekipmanı Temel Mekanizmaları.

(Bal, 2020)

Askı ekipmanlarında bulunan gaz kaynakları sistem çalışma prensibine göre değişkenlik göstermektedir. Kullanılan ekipman piroteknik ise sistemin gaz kaynağını patlayıcı kartuş karşılamaktadır. Kartuş atış komutu ile patlar ve sisteme sıcak gaz dağılır. Bu sistem süreklilik arz etmemektedir. Her atım sonrası hem kartuş değiştirilmekte hem de sistem temizlenmektedir.

Gaz kaynağı yeniden doldurulabilir bir pnömatik sistem içeriyorsa sistem sıkıştırılmış bir soğuk gaz depolayan tüp bulundurmaktadır. Atış komutu ile birlikte tüp üzerinde bulunan ara yüz açılmakta ve sisteme gaz salınmaktadır. Bu yöntem piroteknik yöntemle kıyasla daha kullanışlıdır. Tüp her atış öncesinde yerde doldurulabilmekte ya da uçakta bulunan bir kompresör yardımıyla atışın hemen ardında hava dolum başlatılabilmektedir. Ayrıca atış sonrası temizliğe gerek duyulmamaktadır. Bu da sistem sürekliliği açısından büyük avantaj sağlamaktadır.



Şekil 2. 15: Pnömatik ve Piroteknik Askı Ekipmanları.

(“L3Harris™ Fast. Forward.” 2022)

Atış komutu ile birlikte kaynaktan salınan gaz pistonlara ulaşmaktadır. Ekipmanın mekanizma düzenine göre önce kilidi açık konuma getirecek pistonun hareketlenmesi sonrasında ise silahın askı ekipmanından ayrılması için itme hareketini gerçekleştirecek olan pistonlar hareket edebilir. Bu düzenin sağlanmasında gaz debisini ve gaz yolunu ayarlamaya çalışan orifis denilen yapılar kullanılmaktadır. Orifis üzerinde bulundurduğu delikli yapı sayesinde, delik çaplarına göre gaz dağılımı kontrol etmeye yarayan bir çeşit debi kontrolcüsüdür.

Kilit mekanizmasının açılması ile birlikte kanca mekanizması aktif hale gelerek askı kancalarının geri çekilmesini ve silahın serbest bırakılmasını sağlamaktadır. Serbest bırakma ile senkron bir şekilde harekete geçen itme pistonları silahın yüzeyi ile temas

ederek silahı ekipmandan ayırmak üzere hızlı bir itiş gücü sağlamaktadır. Askı kancaları çeşitli standartlarda üretilmiş olan silah pabuçlarını kavramak ve kilidin açılması ile birlikte çalışmaya başlayan mekanizma sayesinde geri çekilme hareketi yaparak silahın serbest bırakılmasına yönelik tasarlanmalıdır. (Swarnakari ve G 2020) Kilidin serbest bırakılması ile askı kancası mekanizmalarında bulunan yay sistemi ile askı kancaları açılır ve bu süreçte kilidi açık konuma getirmek üzere ilk olarak tahrik edilen pistonla gelen gaz akışı kapanmış olur. Boruda hareketine devam eden gaz ilk çıkışın kapanması ile itme hareketini yapacak olan pistonlara yönelir ve pistonların hareketi ile itme gerçekleşir.

İtme kuvvetinin farklı silahlara ve silahların atış pozisyonlarına göre değişiklik göstermektedir. Bazı silahların atış anında yere paralel olması uygun olurken birtakım silahlarda atışın burun öne eğilecek şekilde açılı yapılması gerekmektedir. Aynı şekilde atış yapılan her silahın sınıfı dolayısıyla ağırlığı eşit olsa da ağırlık merkezleri birbirinden farklı olmaktadır. Bu nedenle itme pistonlarına gelen kuvvet ihtiyacı bir atış için farklı olabileceği gibi, aynı sınıfta bulunan farklı silahlar için de değişkenlik göstermektedir. Bu kuvvetin ayarlanması için kullanılan orifisler, oluşacak kuvveti belirleyecek şekilde boru çapını değiştirerek hava debisini ve basıncı kontrol etmeye yardımcı olmaktadır. Boru üzerinde dağılımda olan gazın iki farklı çapta geçiş kanalından akışa devam etmesi ile basınç farkı oluşturulmaktadır. Piston başlarına etki eden basıncın farklı olması ise farklı kuvvetlerin üretilmesine olanak sağlamaktadır.

Atış tamamlandıktan sonra mekanizmanın tekrar kurulması işlemi yerde manuel olarak yapılabilir. Ancak günümüz teknolojilerinde özellikle sürekli pnömatik geri beslemeli sistemlerde askı kancasına mekanizması ve pistonlara bağlanan yaylar ile tüm mekanizmanın yeniden kurulması ve kilidin aktif olarak kilitlenmesi mümkün olmaktadır. Bunun yanı sıra genel kullanımda askı mekanizması üzerinde bulunan yaylar pistonlar üzerindeki basıncın azalması sonucu oluşan kuvveti yenerek sadece pnömatik sistemin yeniden doldurulmak üzere tamamen kapatılmasına olanak sağlamaktadır.

Kilit üzerinde kapalı durumdayken bulunan yüklerin büyüklüğü geri toplama mekanizmaları için bir zorluk oluşturmaktadır. Geri toplama mekanizması tüm sistemin kurulması ve kilidin aktif olması için çok büyük ihtiva etmelidir. Bu da en başa döndüğünde atış anında gereken mekanizma açılma yüklerinin üzerine bir de toplama mekanizmasında bulunan yayların yüklerinin aşılmasını gerektirir ki bu

durum mekanizmanın hem fiziksel olarak büyümesine hem de daha büyük kuvvet ihtiyacına neden olmaktadır. Askı ekipmanının fiziksel boyutlarının yüklenecek uçak için uygun olması durumunda elektrik motorları ile atış sonrası otomatik toplama ve kilitleme işlemi yapılabilmektedir. Ancak hava araçlarının tümünde ağırlık ve hacmin minimize edilmesi temel ilke olduğu için bu yöntem genellikle tercih edilmemektedir.

2.6 Askı Ekipmanlarında Kilitlerin Görevleri

Askı ekipmanlarının görevleri belirlenen uçuş zarflarında ekipman üzerine gelebilecek tüm yüklere karşı dayanıklı olmak, bağlandığı silahı güvenle taşımak ve atış komutu ile birlikte bırakma işlemini gerçekleştirmektir. Temel prensipte askı ekipmanları gaz sistemi, salınım desteği, kilit mekanizması, piston mekanizması ve kanca mekanizmasından oluşan bir sistem bütünüdür. Atış komutu ile gaz kaynağından salınan gazın kilit açma pistonunu tetiklemesi ile kilidin açılması, askı kancalarının geri çekilmesi ve itki pistonları ile silahın ekipmandan uzaklaştırılması gerçekleştirilmektedir.

Kilit mekanizmasının devreye girmesi öncelikle taşıma görevi için bağlanan silahın sabitlenmesi için askı kancalarının kapatılması ve silahın ekipmana sabitlenmesi aşamasında olmaktadır. Silahın ekipmana bağlanması ile birlikte kurulan mekanik ekipmanın hareketinin kısıtlanması için kilitleme yapılmaktadır. Kilit parçaları silahın ekipmana bağlanması ile ilk yükü almaktadırlar. Bu esnada kilit mekanizmanın açılmaya zorlayan yay kuvvetlerini ve silahın ağırlığı ile askı kancalarına yüklenen ve kancalar boyunca kilide iletilen yüklere karşı koyması beklenmektedir. Uçağın havalanması birlikte hem askı ekipmanının kendisi hem de taşıdığı silah irtifa değişiklikleri, uçak manevraları ve aerodinamik etkiler kaynaklı çeşitli ek yüklere maruz kalmaktadır. Tüm bu yüklerin birçoğu mekanizmalar üzerinde dağılarak kilit üzerinde yeni yükler oluşmasına neden olmaktadır. Ekipmanda kullanılan kilitler hem bu yükleri taşıyabilmeli hem de ömür isterlerini karşılayacak şekilde uzun süreli çalışmalıdır. Atış anında ise kilit istenilen sürede kolaylıkla açılabilmelidir ve bu işlem sırasında değişken yükler nedeni ile fiziksel bozulmalara uğramamalıdır.

Bir savaş uçağının 2 ile 6 mach aralığında hızlarda ve değişken irtifalarda bulunan uçuş zarfları göz önüne alındığında askı ekipmanları kilitlerinde oluşan yüklerin değişkenliği devasa boyutlara ulaşmaktadır. Bu yükler altında kalan kilidin açılması ya da kırılması büyük felaketlerle sonuçlanabilir. Askı ekipmanının kanat altında

taşınması durumunda kilidin açılması ya da kırılması silahın kontrolsüz bir şekilde salınmasına ve hedef dışı bir bölgeye düşmesine neden olacaktır. Dahili yuvada bulunan bir askı ekipmandaki kilit için ise riskler farklı olmaktadır. İki kancayı tutan iki kilit olması durumunda kilitlerden birinin kırılması silahın bir kancadan kurtulması nedeni ile ekipmanın kilit ile tutulmakta olan tüm mekanizmalarının dağılmasına ve silahın ekipmandan ayrılmasına olacaktır. Böylesi bir kontrolsüz ayrılma dahili yuva içinde bulunan diğer ekipman ve silahları da riske atacağı gibi dahili yuva kapağını kırarak silah ve zarar gören yuva ekipmanlarının hava boşluğuna dağılmasına neden olabilecek ve bu hasar ile uçak kaybına yol açabilecek boyutta risk teşkil etmektedir.

Savaş uçaklarının asıl görevi hava-hava ve hava-yer görevlerini icra etmektir. Bu görev esnasında silahların güvenli taşınması ve atış komutu ile birlikte serbest bırakılması ise görevin yerine getirilebilmesi ve hedefin vurulması için zorunlu bir ihtiyaç olmaktadır. Bu ihtiyaç dahilinde görev yapan askı ekipmanlarının, görev icrası ve güvenliği için kritik parça olan kilit parçasının tasarımının toplam ekipman ağırlığı isteri dahilinde kalınarak yapılması gerekmektedir.

2.7 Mekanik Parça Tasarım Kriterleri

Mekanik parça tasarımı, tasarlanacak olan parçanın fonksiyonel olarak proje ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik, üretilebilirlik sınırları çerçevesinde bir bileşen oluşturma sürecidir. Mekanik parça tasarım kriterleri belirlenirken, sürekli geliştirme yapılabilmesi, maliyet etkin bir şekilde malzeme sağlanabilmesi, çeşitli imalat yöntemleri ile tasarlanan parçanın üretilebilmesi, güvenli montaj koşulu sağlanabilmesi ve test/doğrulama adımları kurgularıyla son ürünün elde edildiği fiziksel süreçte tasarım isterlerini karşılayabilmesi dikkate alınacak temel unsurları oluşturmaktadır.

Mekanik parçaların tasarım sürecinde uygulanması gereken temel adımlar ihtiyaç analizi, ön tasarım modellemesi, tasarımın geliştirilmesi, tasarımın gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesi şeklindedir. Tüm bu adımların detaylı bir şekilde çalışılması ortaya çıkacak ürün üzerinde etkili olmaktadır.

2.7.1 İhtiyaç Analizi

Mekanik bir sistemin tasarlanması aşamasında süreç başlangıcı ihtiyaç analizi kısmıdır. İhtiyaç analizi yapılırken öncelikle sistemden beklenen fonksiyonel ve fiziksel özellikler tanımlanmalıdır. Fonksiyonel özellikler belirlenirken parçanın kullanılacağı mekanizma, parçanın mekanizma bütününe yerine getireceği görevler, parçanın ve mekanizma bütününe kullanım süresi gibi isterler değerlendirilmelidir. Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde ise parça üzerinde oluşabilecek olası yük koşulları, mekanizmada bulunan diğer elemanlar ile etkileşimi, piyasada erişilebilen malzeme çeşitliliği ve üretilebilirlik değerlendirmesi yapılmalıdır.

Hava aracı askı ekipmanı kilit mekanizmaları bu kapsamda değerlendirildiğinde pek çok ister karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında değerlendirmesi yapılmakta olan kilidin kullanılacağı askı ekipmanı dahili yuvada kullanılmak üzere tasarlanan bir füze dikey fırlatma lançeridir. Füze dikey lançerlerinde gerekli olan piston kuvvetleri hafif ve ağır yük salanlarında uygulanan kuvvetlerden daha fazla olacaktır. Aynı şekilde atış hızı da hafif ve ağır yük salanlarında yaklaşık 5-6 m/s mertebesindeyken füze dikey atış lançeri muadillerinde 8-10 m/s civarında olmaktadır. (“Pneumatic Single Carriage and Release Systems | L3Harris™ Fast. Forward.” 2022) Uygulanan kuvvetin ve hızın artışı mekanizma üzerine gelecek yüklerin de artışına neden olacaktır.

Fonksiyonel olarak kilit mekanizması değişken ve yüksek kuvvetler altında 6000 uçuş saati boyunca güvenli bir şekilde çalışabilmelidir. Mümkün olduğunca bakım gerektirmemelidir. Hem askı ekipmanı üzerine gelen yüklere hem de silah üzerine gelen yüklerden kilide yansıyan çeşitli kuvvetlere karşı dayanıklı olmalıdır. Yurt içinde maliyet etkin bir şekilde üretilebilmelidir.

Fiziksel değerlendirilmede göz önüne alınması gereken ilk konu etkileşimde olduğu neredeyse tüm elemanlar çelik malzemelerden üretilmesinin planlanmış olmasıdır. Mekanizma konsepti oluşturulurken kurgulanan bağlantı ve askı kancalarının silahla bağlantı ara yüzü oluşturması nedeniyle çelik malzemedan üretilmesi, mekanizmanın ve ana kilit parçasının da karşı çelik parçalar nedeni ile aşınmaya uğramaması için bazı kısıtlamalar getirecektir. Bu aşamada tüm NATO ülkelerinde yaygın olarak kullanılmakta olan MAU-12 salanı incelenmiş, tüm kilit parçalarının çelik malzemedan üretildiği belirlenmiştir. Döküm olarak üretilmiş bu parçalarda askı

kancası ile bağlantı oluşan yzeylerde yapılan analizlerde yksek değerli yklerde kırılmalar olduğu ile ilgili bilgi edinilmiştir. (O'Bannon, 1964)

İncelenen ekipmanların lançer değil salan sınıfında olması ve kullanım devam ederken parça değişikliği gerektirmesi dikey atış lançerinde kullanılacak kilidin çok daha etkin bir şekilde kullanılması açasından önemli ipuçları sağlamıştır. Tm bu veriler ışığında yapılan ihtiyaç analizinde temel olarak mekanizmanın yurt içinde etkin maliyetle üretilebilmesi gerekliliği, muhtemelen çelik temelli bir malzemeden üretim gerekliliği, yksek ve değişken ykllere maruz kalacak olması, uçuş emniyeti ve hedef atışı açasından kritik olması, hızlı çalışma nedeni ile ani yklemelere maruz kalacağının ön görölmesi ve 6000 uçuş saati boyunca bakım gerektirmemesi gibi önemli koşullar belirlenmiştir.

2.7.2 Ön Tasarım Modeli

Bir mekanizma için ön tasarım modeli oluşturulurken ihtiyaç analizi sırasında belirlenen özellikler dikkate alınarak mekanizma için genel bir hat çizilir. Bu aşama mühendislik bilgisi ve deneyimlerine en çok ihtiyaç duyulan aşama olmaktadır. Ön tasarımda taslak niteliği taşıyan çizimler gerçeğe uygun olarak 3 boyutlu çizim programlarında hazırlanır ve bu aşamada parçalar için dūřnölün malzemeler program üzerinde parçalara atanır. 3 boyutlu tasarım çizimleri için CAD programları kullanılmaktadır. Bu programlar üzerinde modellenen parçalara malzemesi ataması yapılabilmektedir. Farklı malzemeler ile tasarlanan parçalar renklendirilmiş olarak görselleştirilebilmekte, bu şekilde tasarımcıya mekanizmaların bir btm halinde gösterilmesi sağlanmaktadır. Btmin malzemeleri ile birlikte görselleştirilmesi tasarımın detaylandırılması adına önemli bir vizyon sağlamaktadır. Kullanılan programlar üzerinde parçaya ataması yapılan malzemelerin öz ktle bilgileri katalogdan seçilerek ya da manuel olarak girilerek, çizimi yapılan parçanın yaklaşık ağırlığı da tespit edilebilmektedir.

3 boyutlu modellerin çiziminde tasarlanan parçalar bu aşamada öncelikle üzerlerinde herhangi bir hafifletme çalışması yapılmaksızın çizilir. Çizim sonucu ortaya çıkan ürün üzerinde yapılan atamalarla modelin yaklaşık ağırlığı elde edilir. Montaj halinde yapılmakta olan çizimlerde sabit parçalar çizim yzeyine çapalanabilmektedir. Hareketli parçalarda ise hareket eksenleri atanarak ve sabitleme noktaları belirlenerek mekanizma btminde parça uyumu gözlenebilmektedir.

Ön tasarımın modellenmesinde tasarlanacak ürünün benzerleri, alt mekanizmalar ve parçalar için literatür ve piyasa araştırması yapılması oldukça önemlidir. Bu aşamada varsa ürünün benzerlerine dair olan bilgiler, literatür araştırması sonucu elde edilen veriler, mühendislik uygulamaları açısından yapılacak değerlendirmeler ve ortaya çıkması istenen nihai ürüne dair isterler birleştirilerek tasarım konsept belirlenir. Belirlenen konsepte uygun olarak ön modelleme için taslak çalışma oluşturulur. Yapılan taslak üzerinde gerçekleştirilen mühendislik çalışmaları çeşitli analizler ve bu analizlerden çıkan sonuçlara göre güncellemeler ile devam eder. Bu şekilde sistemin ve tasarımı yapılmakta olan mekanizmanın genel hatları ortaya koyulmuş olur.

Füze dikey atış lançeri kilit mekanizması tasarımı için öncelikle bütün ekipmanın genel modellemesi yapılmalıdır. Modelde dikkate alınacak ön veriler taşınacak olan silahın ağırlığı ve askı kancası aralığı olmalıdır. Dikey atış lançerlerinden bırakılan hava-hava füzelerinin içinde Türk Hava Kuvvetleri envanterinde bulunduğu bilinmekte olan AIM-120 AMRAAM füzesi seçilmiştir. AIM-120 AMRAAM füzesi için yapılan araştırma sonucunda toplan uzunluğunun 143,9 inç (366 cm), toplam ağırlığının 335 libre (150,75 kg), çapının 7 inç (17,78 cm) ve kanat açıklığının 20,7 inç (52,58 cm) olduğu bilgilerine ulaşılmıştır. (“AMRAAM Missile” 2022)

Askı elemanlarının birbirine uzaklıkları, füze üzerinde bulunan askı pabuçlarının yatay merkezlerinin birbirine olan uzaklık ölçüdür. AIM-120 AMRAAM füzesi için bu ölçü 25 inçtir (63,5 cm). (Watson 1998) Baker, Keen ve Morgret’in F/A-22 uçuş testi sonuçlarını kullanarak silah ayrımı tahminlerinin doğrulanmasına yönelik çalışmalarından AIM-120 AMRAAM füzesinin atış zarfları ve bu zarflarda oluşan yükler ön veri olarak alınmıştır. (Baker, Keen, ve Morgret, 2004) Bu genel modellemenin yapılması için çalışma kapsamında çalışılan kilit mekanizmasını barındıracak lançer muadili olan Harris firmasının BRU-67 modeli incelenmiştir.



Şekil 2. 16: BRU-67 Füze dikey Atış Lançeri.

(“Pneumatic Eject Missile Launchers | L3Harris™ Fast. Forward.” 2022)

2.7.3 Tasarımın Geliştirilmesi

Tasarımın geliştirilmesi aşamasında gerçekleştirilmiş olan ön tasarım modeli üzerinde çeşitli analizler yapılarak son ürünün elde edilmesi amaçlı çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Ön tasarım modelinde bir bütün halinde çalıştığı gözlenen mekanizma öncelikle statik yük analizine tabi tutulur. Birçok CAD programı içinde statik ve dinamik yük analizi yapılabilen modüller bulunmaktadır. Bu modüller kullanılarak yapılan statik analizde model uygun görülüyorsa dinamik analizlere geçilir. Uygun olmayan parçalar ya da parça özelinde uygun olmayan bölümler bulunursa buralarda uygun sonuçlar alınana kadar düzeltme yapılmaya devam edilir.

Statik yük analizleri sonucu atanan malzemelere göre uygun sonuç alınan tasarım statik analizlere tabi tutulur. Yine CAD programlarında bulunan dinamik analiz modülleri kullanılarak parçaların atanan yükler altında hareket ederken değişen yük yoğunluklarına göre gerinim değerleri görünür. Söz konusu programlar genellikle renklendirme ile parçalar üzerinde yüke maruz kaldığında sakıncalı durum çıkartabilecek ve uygun bulunan yüzeyleri göstermektedir. Genel olarak kırmızı renkte görülen yüzeyler maruz kalınan yük karlığında parça geometrisi ve malzeme mukavemetine göre kırılma, çatlama ya da geometrik şekil bozukluğu yaşanabilecek potansiyel bölgelerdir. Bu bölgelerde için program çıktı verileri üzerinden parçaya noktasal ve yayılı olarak etki etmekte olan yükler incelenir. Parça geometrisinde

iyileştirme yapılarak bu durum aşılmaya çalışılır. Parça geometrisinin uygun koşula cevap veremediği durumlarda malzeme değişikliğine gidilmesi gerekmektedir.

Dinamik analiz sonucu tümüyle uygun sonuçlar alınan mekanizma üzerinde ağırlık tespiti yapılır. Program çıktısı olarak alınan ağırlık ister ile uyumlu ise tasarımın gerçekleştirilmesi aşamasına geçilebilir. Ancak çalışma konusu olan askı ekipmanları gibi havacılık ekipmanlarının tümünde ağırlık önemli bir etkidir. Uçak üzerinde bulunan her türlü ekipman için optimum koşullarda minimum ağırlık hedeflenerek çalışılmalıdır. Bu nedenle analiz sonucu hedeflenen ağırlık görülmüş olsa bile hafifletme için bir optimizasyon çalışması yapılması esastır.

Hafifletme çalışmaları için genellikle topoloji optimizasyonu kullanılmaktadır. Topoloji optimizasyonunda en uygun sonuca ulaşmak için malzeme dağılımı ve yapısal değişkenler hesaplanarak farklı yükler altında mukavemet değerleri incelenmekte, yapılar sürekli ve ayrık yapı olarak gruplanarak farklı yöntemler ile belirlenmiş yük altında çalışacak olan parçanın en hafif haliyle üretimi için tasarım çıktıları elde edilmektedir. (Bal, 2020)

Tüm bu çalışmalar gerçekleştirilirken parçaların üretilebilir geometrilerde olması gerekmektedir. Tasarımın bu aşamasında tasarımı gerçekleştiren mühendislerin üretim ve üretilebilirlik bilgileri ön plana çıkmaktadır. Tasarlanan parçaların üretilebilmesi kistasının yanı sıra yapılacak olan üretimlerde maliyetin de minimize edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada mekanik tasarım mühendislerinin ön görüşleri ile gerçekleştirilen tasarımlarda üretim mühendislerinden destek alınabilmektedir. Varılacak olan sonuçlara göre parça geometrilerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Parça geometrisinde yapılan her değişiklik sonrası analiz adımları tekrarlanmalı ve daha kati sonuçlar elde edilmesi amaçlanmalıdır.

2.7.4 Tasarımın Gerçekleştirilmesi

Bir mekanizma tasarımının gerçekleştirilme aşamasının tamamlanması için nihai üründe bulunması gereken tüm detaylar düşünülmelidir. Bu detaylar içinde kullanılacak bağlantı elemanları, hareketli yüzeylerde kullanılması muhtemel yatak ve burçlar, yaylar, sabitleme pimleri gibi pek çok yan ürün bulunmaktadır.

Hazır ürün olarak ekipmanda kullanılması düşünülen elemanlar da dahil olmak üzere model üretime hazır olacak şekilde detaylandırılır. Tüm detayların aktarılmış olduğu 3 boyutlu çizimler üzerinde hem parça bazında hem de sistem genelinde analizler

yapılarak hem mekanizmaların hareketleri hem de bu hareketler sırasında oluşan mekanik etkiler gözlenmelidir. Bu etkilerin detaylı gözlenebilmesi için CAD programlarında bulunan analiz modüllerinde çok daha fazla detay barındıran ve gerçeğe daha yakın sonuçlar veren özel analiz programları kullanılmaktadır. Yapılan detay analizlerde uygun olmayan sonuçlar ile karşılaşılması durumunda parçalar ve sistem üzerinde geliştirme çalışmalara uygun sonuçlar alınana kadar devam edilmektedir. Gerçeğe uygun olarak detaylandırılmış ve analizleri tamamlanmış olan 3 boyutlu modelde bulunan tüm parçalar ayrı ayrı çalışılarak bir bütün halinde tüm isterleri karşılayan bir ürün elde edilmesi için gerekli koşullara uygunlukları değerlendirilir.

Çalışma konusu olan askı ekipmanı kilit mekanizması kilit parçası, ana taşıyıcı olan yapısal bir parçadır. Son değerlendirmenin bu parça özelinde yapılacak işlemleri parça ile birlikte çalışacak olan elemanlar gözetilerek üretim ve doğrulama adımları için parçaya geometrik toleransların atanması, keskin köşelerin giderilmesi ile üretim ve montaj sırasında iş sağlığı ve güvenliği koşullarına uygun hale getirilmesi, montaj kolaylığı sağlaması açısından parça üzerinde gerekli ise montaj yönünü gösteren ibareler eklenmesi, parça numarasının parça üzerine markalanacağı bölgenin, yazı fontunun ve büyüklüğünün işlenmesi şeklinde olacaktır.

Detay işlemlerin tamamlanmasının ardından parçaların imalat resimleri ve mekanizmaların montaj resimleri hazırlanmaktadır. Resimlere aktarılan detayların içinde parça ölçüleri, geometrik toleranslar, parçanın üretileceği malzeme bilgisi, gerekli ise üretim yöntemi, parça adı, parça numarası, kaplama ve markalama detayları bulunmaktadır. Resimler 2 boyutlu çizimler halinde üretim birimine aktarılabilirdiği gibi gelişen teknoloji ile birlikte 3 boyutlu model olarak da aktarılabilir. Model halinde verilen resimler üretim planlaması ve detay ölçülerin görülmesi adına kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

2.7.5 Tasarımın Değerlendirilmesi

Tasarımı gerçekleştirilen ürün için prototip üretim çalışmaları yapılması havacılık sektöründe genellikle tercih edilen bir yöntemdir. Parçaların havacılık standartlarına uygun, isterleri karşılayabilen ve üretilebilirliği yüksek doğrulukta istenmektedir. Genel olarak oldukça düşük toleranslarda üretilmesi beklenen bu tip parçalar için prototip üretimi fiziksel olarak parçaların elde edilmesinin yanı sıra montaj aşaması

açısından da değerlendirme yapılabilmesini sağlamaktadır. Tasarımın geliştirilmesi aşamasında değerlendirilmiş olan montaj kolaylığının sağlanıp sağlanmadığı, verilen toleransların elde edilebilirliği, karşılaşılan imalat ve parça ölçüm/doğrulama zorlukları detaylı olarak değerlendirilebilmektedir. Prototip imalatı sonrası montajı yapılan mekanizmalar ilk ürünü oluşturmaktadır. Elde edilen ilk ürün üzerinde çeşitli prosedürlere uygun olarak çeşitli testler gerçekleştirilmektedir. Test verilerinin toplanması ile tasarımın fonksiyonel ihtiyaçları karşılama durumu değerlendirilir.

Çalışma konusu askı ekipmanı ve alt elemanları için öncelikle silahın taşınması ve güvenli ayrılmanın gözlenmesi için MIL-HDBK-1763 askeri standardına uygun testler gerçekleştirilmektedir. Bu standart el kitabı niteliğinde olup, savunma sanayi bünyesinde bulunan tüm kurumlar ve askeri uçaklar ile uçak yuvaları arasındaki uyumluluğun kapsamını belirleyen endüstri için geçerlidir. Geliştirme, üretim, dağıtım, operasyonlar, destek, eğitim ve elden çıkarma dahil olmak üzere, uçak ve/veya yuva içeren sistemlerin yaşam döngüsünün her faaliyeti için geçerlidir. (“MIL-HDBK-1763 Aircraft/Stores Compatibility Systems Data” 1998) Ekipmanın uyumluluk testlerini başarıyla geçememesi durumunda oluşan bozulmalar ya da performans eksikleri değerlendirilerek tasarımın geliştirilmesi aşamasına geri dönülür ve gerekli iyileştirmeler yapılır.

MIL-HDBK-1763 kapsamında geçerli olan tüm testlerin uygun olarak tamamlanmasının ardından çevresel testlere geçilir. Çalışma konusu askı ekipmanı ve alt elemanları için çevresel testler MIL-STD-810G askeri standardına göre yapılmaktadır. Standart, tasarım veya test gereksinimlerini içermemektedir. Bunun yerine, sistem performans isterlerine göre yapılmış gerçek tasarımların test yöntemleri ile çevresel şartlara uyarlama sürecini tanımlamaktadır. Bu belge, malzeme tedarik sürecine dahil olan üç farklı personel grubunun işlevlerini destekler. Bu grupların her biri, çevresel hususları malzeme tasarımı, testi ve değerlendirmesine başarıyla dahil etme hedefi için kritik öneme sahiptir. Her grubun gerçekleştirmesi gereken farklı görevler olmasına rağmen, başarılı bir kazanım programında bu görevlerin hiçbirisi diğerlerinden ayrı tutulamaz. (“MIL-STD-810 G Environmental Engineering Laboratory” 2008)

Tüm testleri tamamlanan ekipmanların montajı tamamen dağıtılarak her bir parça için durum değerlendirmesi yapılmalıdır. Montajdan alınan parçalar ölçümlere tabi tutulur ve aşınma, bozulma gibi olası etmenler saptanır. Parçaların ömür isterlerine göre

sonuçlar değerlendirilerek ürün tasarımı üzerinde iyileştirme ya da uygunluk kararı verilebilmektedir.



3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1 Hava Aracı Silah Taşıma ve Bırakma Sistemleri ile İlgili Çalışmalar

Hava Aracı Silah Taşıma ve Bırakma Sistemleri hakkında sınırlı sayıda kaynak ve çalışma bulunmaktadır. İlgili sistemin askeri alanda kullanımı ile ilgili bilgiler ulusal güvenlik açısından önemlidir. Bu nedenle gerçekleştirilen çalışmaların büyük kısmı sistemin bütününden ziyade ana sistemi oluşturan alt sistemler üzerinde yapılmaktadır.

Ekipman tasarımına yönelik Schoppert ve Cheng tarafından yapılan çalışmalarda hava araçlarında taşınan silahlar üzerinde, hava aracı kaynaklı oluşan kuvvetler hesaplanarak, bunların taşıma ve bırakma ekipmanlarına etkileri incelenmiş ve yer testleri verileri ile karşılaştırılmıştır. (Schoppert 2002; Cheng vd. 2011)

Swarnakari ve G. tarafından yapılan çalışmada ise rüzgar nedeni ile oluşan yükler incelenerek bu değişkenlerin füze fırlatmasına etkisi hesaplanmış, belirli bir taşıma ve serbest bırakma ekipmanının yapısal parçalarına olan etkileri gözlenmiş ve tasarım optimizasyonu yapılmıştır. (Swarnakari ve G 2020)

Amerikan Hava Kuvvetleri Silah Laboratuvarında Bennon tarafından gerçekleştirilen çalışmada kullanım alanında kendini kanıtlamış olan MAU-12 askı ekipmanının performans verileri ve çalışma prensipleri açıklanmıştır. (O'Bannon, 1964)

Çeşitli sempozyumlarda Carter ve Kraft tarafından sunumları yapılmış olan çalışmalarda ise, MAU-12 ve uçak arasında bulunan bağlantı ara yüzleri incelenmiş, bu bağlantılarda oluşan kuvvetler incelenerek yapısal parçalarda oluşan yüklerin analizleri paylaşılmıştır. (Carter 2012; Kraft 1994)

Kaplan ve diğ. tarafından yapılan çalışmada MAU-12 askı ekipmanı için daha önce yapılmış olan yük analizlerinden yola çıkılarak, ekipmanın yapısal parçalarında oluşan yükler hesaplanmış ve tasarım girdileri oluşturulabilmesi açısından değerlendirilmiştir. (Kaplan, Acar, ve Özer, 2021)

F-35 kapsamında geliştirilen çok amaçlı ve çok uluslu ortak yeni nesil savaş uçağı tasarım projesi kapsamında yapılan bir konferansta Hetreed vd. tarafından sunulan çalışmada yarı otomatik olarak çalışan BRU-67 ve BRU-68 askı ve taşıma ekipmanları

hakkında bilgi verilmiş, uçaktan güvenli ayrılmaya yönelik test ve verifikasyon süreçleri anlatılmıştır. (Hetreed vd. 2018)

Tüm bu çalışmalarla gösterilen bilgiler dahil olmak açık kaynaklarda ne yazık ki sadece ekipman ağırlıkları, ekipman boyutları, ekipmanlar ile uyumlu silahlar, ekipmanların piston uzunlukları ve atış hız bilgileri paylaşılmaktadır. Çalışmaların genelinde yapılan yük analizleri bağlantı parçaları, uçak ve askı ekipmanı ara yüzleri ve ana yapısal parçalar üzerine etki eden yükleri incelenmektedir.

3.2 Kilit Mekanizmaları ile İlgili Çalışmalar

Hava Aracı Silah Taşıma ve Bırakma Sistemlerinde kullanılmakta olan kilit parçaları tüm sistem üzerine gelen yüklerden etkilenmektedir. Bu nedenle yapılan pek çok çalışma genel yük analizleri üzerine olmuştur.

Rui vd. tarafından yapılan çalışmada tüm askı sistemi bir bütün olarak incelenmiş ve farklı silahların atılması anında mekanizma üzerinde oluşan yükler hesaplanmıştır. Bu yüklerden yola çıkarak mekanik aksam ve kilitler üzerinde yük analizi de çalışma içinde yer almıştır. (RUI vd. 2016)

Chen vd. tarafında yapılan çalışmada çeşitli füzelerin hedefe kilitlenmesi anında oluşan yükler dinamik olarak incelenmiştir. (Chen vd. 2014) Bu çalışma kapsamında yer alan görüş ötesi füzeler, çalışma konusu olan dahili yuva silah taşıma ve bırakma sistemi tarafından taşınırken, veri bağı yoluyla hedef bilgilerini alarak atış öncesi hedefe kilitlenmektedir. Çalışma, taşıma esnasında gerçekleşen bu kitleme görevi nedeni ile oluşan yükler hakkında bilgi edinimi sağlamaktadır.

Yang vd. ise literatürde Latching Mechanism adıyla yer alan, askı ekipmanı ile füze arasında taşıyıcı ara yüz oluşma görevi bulunan, ayaklar üzerindeki mandallarda oluşan yükleri ve hasar mekanizmalarını incelemiştir. (Yang vd. 2019) İlgili ayak mandalları, bu çalışma kapsamında incelenen kilit parçasının yer aldığı ana mekanizma üzerine doğrudan bağlıdır. Kilidin açılması ile ayakların hareketlenmesi ve silahın salınması gerçekleşmektedir. Yapılan çalışma her ne kadar ayak mandalları üzerinde oluşan hasar üzerine olsa da içeriğinde bulunan yük analizleri tüm mekanizmanın tasarımında düşünülmesi gereken hususlar açısından bilgi vermektedir.

3.3 Çelik Malzemelerin İşlenebilirliği ile İlgili Çalışmalar

Çelik malzemeler ve bu malzemelerin işlenebilirliği konularında birçok çalışma bulunmaktadır. Ülkemizde ham çelik üretiminin yanı sıra, sanayi kullanımına uygun olacak şekilde çeşitli alaşımlar da yapılabilmektedir. Ülkemizde kullanımı yaygın olan bu malzeme, çalışma konularında malzeme özellikleri, alaşım özellikleri, işleme takımları, aşınma ve işlenebilirlik konuları ile kendine büyük bir yer edinmiştir. Tasarım sırasında seçilen malzemelerle parçanın üretilebilir olması için, malzeme özelinde işlenebilirliğin göz önünde bulundurulması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen çelik türlerinin işlenebilirliği ile ilgili yapılmış olan çeşitli çalışmalar incelenmiştir.

Özçatalbaş tarafından gerçekleştirilmiş olan çalışmada çeliklerin mekanik özellikleri, bu özelliklere hammadde ve ısıtılma işlemi proseslerinde oluşan değişikliklerin etkileri ve işlenebilirlik kabiliyetini arttırmak adına eklenebilecek alaşımlar gibi çeşitli konular derlenmiştir. Araştırma makalesi niteliğinde olan çalışma çeliklerin işlenebilirliği ve bu özelliğe etki eden koşulları göz önüne sererek, tasarım aşamasında malzeme seçimi yapan mühendisler açısından temel nitelikte bir kaynak olmuştur. (Özçatalbaş, 2020)

Bahçeci ve Özer tarafından gerçekleştirilen çalışmada AISI 303 ve AISI 410 çeliklerinin TİC kaplamalı takımlar ile işlenebilirliği deneysel yöntem ile değerlendirilmiştir. Östenitik yapıda olan AISI 303 çeliği ve martensitik yapıda olan AISI 410 çeliklerinin malzeme özelliklerinin yanı sıra, işleme, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. (Bahçeci ve Özer 2013)

Benzer bir yapıda bulunan östenitik AISI 304 çeliklerin kaplanmış karbür sementit takımlar ile işlenebilirliği hakkında bir çalışma da Çiftçi tarafından yapılmıştır. Deneysel olarak yapılmış olan bu çalışma ilgili çelik grubu malzemenin farklı takımlar ile işlenebilirliği hakkında bilgi sağlamaktadır. (Çiftçi, 2004)

Deneysel verilerle işlenebilirlik özelliklerini göz önüne seren çalışmalar, tasarım aşamasında seçilen malzeme ile ortaya çıkacak olan son ürün hakkında fikir vermesi açısından oldukça önemlidir. Gürbüz, Şeker ve Kafkas tarafından yapılan çalışmada AISI 316 L çeliğinin işlenmesinde kesici takımların form ve kesme parametrelerinin

yüzey üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. (Gürbüz, Şeker, ve Kafkas, 2020) İlgili çalışma, tasarım aşamasında 316 L çeliğinin seçimi ile üretilecek son ürün hakkında tasarımı gerçekleştiren mühendisler için kaynak oluşturmaktadır.

Yaşar, Uzun ve Korkut tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise 17-4 Ph ve 15-5 Ph çelik malzemeler üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda malzemeler üzerinde aynı takımlar ile farklı kesme parametreleri denenmiş. İşlenebilirlik özellikleri hem yüzey pürüzlülüğü hem de parametrelerde yapılan değişiklikler ile ortaya koyulmuştur. (Yaşar, Uzun, ve Korkut, 2019)

3.4 Çelik Malzemelerde Kaplama ile İlgili Çalışmalar

Çelik malzemeler üzerine çeşitli kaplamalar yapılabilmektedir. Bu çalışma konusu olan ekipman için uçak isterlerinden gelen koşullar alt ekipmanlarda kadmiyum kaplamaya izin vermemektedir. Bu koşul nedeni ile incelenecek kaplamalar arasında kadmiyum kaplama bulunmamaktadır. Malzeme seçiminde olduğu gibi kaplama seçiminde de çalışma konusu kilit parçasının birlikte çalıştığı elemanlar göz önünde bulundurulmalıdır. Kilit mekanizmasında bulunan ve kilit parçası ile temas yüzeyi bulunan parçalar çelik malzemedir. Aşınma nedeni ile parça bozulmasının önüne geçmek için kilit parçasının da çelik malzemeden imal edilmesi uygun olacaktır. Ömür isterlerinde bulunan 6000 uçuş saati koşulu ise parçanın uzun bir süre çalışır durumda kalmasını gerektirmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında değerlendirilmekte olan paslanmaz çelik malzemeler üzerinde etkin kaplamalar incelenmiştir.

Şirin tarafından yapılan çalışmada sıcak daldırma galvaniz kaplamanın malzeme özelliklerine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada yorulma dayanımları açısından ele alınan malzemede kaplama neticesinde yorulma dayanımlarında iyileşmeler saptanmıştır. (Şirin, 2018)

Plazma püskürtme yöntemi ile yapılan kaplamaların korozyon üzerine etkileri ile ilgili Demirören ve Özel tarafından yapılmış çalışmada ise paslanmaz çelik üzerine yapılan kaplamanın korozyon dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. (Demirören ve Özel 2021)

3.5 Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Literatür araştırması neticesinde Hava Aracı Silah Taşıma ve Bırakma Sistemleri hakkında yapılan çalışmaların birçoğunun alt sistem ekipmanları özelinde

gerçekleştirildiği görülmüştür. Ekipmanlar için alınan patentler, tasarım ve kullanım hakları genel olarak ulusal güvenlik temellidir ve açık kaynak sayısı sınırlıdır. Ekipman tasarımlarına yönelik çalışmalar ise genellikle jenerik ekipmanlarda bulunan parçalar üzerinde olup, pek çok ekipmanda ortak kullanım ve standartlara bağlı tasarımları konu almaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmaların büyük bir kısmı tasarımda optimizasyon basamaklarına odaklanmaktadır.

Mekanik parça tasarımında ele alınması gereken konular olan malzeme seçimi, işlenebilirlik ve kaplama değerlendirmeleri ile ilgili pek çok kaynak bulunmaktadır. Malzemeler özelinde ihtiyaç duyulan malzeme çeşidine göre yapılan taramada paslanmaz çeliklerin yapıları, yapıların malzeme dayanımları üzerine etkileri, işlenebilirlik, işleme parametrelerinin belirlenmesi gibi konularda yapılan çalışmalarda çalışma konusu gereği incelenen tüm malzemeler için tezgah, takım ve kesme parametrelerinin doğru belirlenmesi ile işlenebilirlik seviyesinin arttırıldığı görülmektedir. Malzemelerin kaplamalar ile uyumu, kaplamaların malzemeyi koruma koşulları ve uygulama yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda bir malzeme üzerine yapılacak kaplamanın doğru seçilmesi ile malzemelerin aşınma ya da korozyona karşı korunmasının yanı sıra mekanik özelliklerinde iyileşmeler elde edilebileceği tespit edilmiştir.

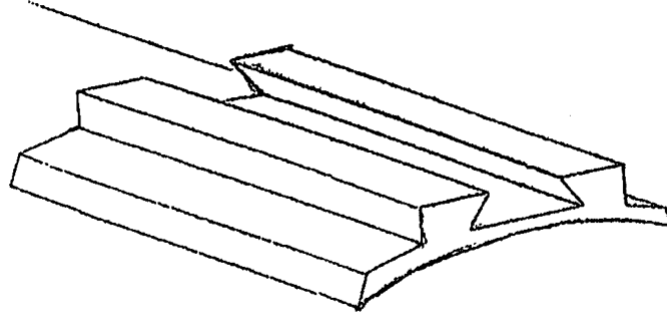
Bu çalışmada Hava Aracı Silah Taşıma ve Bırakma Sistemleri Kilit Mekanizması tasarımı malzeme, kaplama ve üretilebilirlik özellikleri açısından incelenmektedir. Silah sistemi kritik parçalarından olan kilit ana parçasının tüm tasarım basamaklarının gerçekleştirilmesi ile tasarımcılara yol haritası hazırlanarak hem silah sistemi hem de havacılık parçası tasarımlarında ele alınması gereken konular ve senaryolar hakkında kapsamlı bilgi verilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmanın Türk Havacılık ve Savunma Sanayi gelişimine ve ülkemiz Silah Sistemleri literatürüne katkıda bulunması amaçlanmaktadır.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Kilit Mekanizması Fiziksel Tasarımı

Hava Aracı Silah Taşıma ve Bırakma Sistemlerinde kullanılmakta olan kilit parçaları ekipman üzerinde bulunan birçok yükten etkilenmektedir. Uçaktan gelen titreşim, uçak manevra kabiliyeti, uçuş zarfı bilgileri, yüklenecek olan silahın kütlesi ve kütle merkezi gibi pek çok etken göz önüne alınmalı, bu etkenler altında ömür isterlerini karşılayacak şekilde ürün tasarlanmalıdır. Bu çalışma konusu hava aracı askı ekipmanı kilit mekanizması Füze Dikey Atış Lançeri (MVEL) için tasarlanmaktadır. Hem uçak dahili yuvasında ve altında kullanıma uygun olarak kullanılmak üzere tasarlanan bu lançerin 6000 uçuş saati boyunca mekanik bakım gerektirmeden kullanılması hedeflenmektedir.

Füze dikey atış lançerleri silah taşıma görevlerinin yanı sıra, ray lançer üzerinden ateşlenmek üzere tasarlanmış olan hava-hava füzelerini dikey yönde fırlatarak ateşleme öncesi uçaktan güvenli ayrılmasını sağlamaktadır. Dikey atış için tasarlanmamış olan hava-hava füzelerinde ayrılmanın gerçekleştirilmesi için yapılacak olan dikey vuruşa uygun güçlendirilmiş bölgeler bulunmamaktadır. Bu nedenle ayrılmanın sağlanması aşamasında uygulanacak kuvvetlerin silahı ateşleme öncesi güvenli mesafeye fırlatırken füze yüzeyine zarar vermemesi beklenmektedir. Füzeler genel olarak 500 libre (226,8 kg) altı ağırlık sınıfında bulunmaktadır. Askı pabuçlarının merkezleri uzaklığı 25 inçtir (63,5 cm). Pabuç yapısı ray lançere göre tasarlanmış olan bu füzelerde, bir pabuç standart tutma pabucu iken diğer pabuç ray ile uyumlu kızak şeklindedir. Pabuçların geometrisi noktasal kavramaya el vermediği için askı kancalarının silahı kavrama şeklini ve yük dağılımı etkilemektedir.



Şekil 4. 1: Hava-Hava Füzesi Ray Lançer Askısı.

(Söderberg, 2011)

Kanat altında uçuş ve manevra sırasında silah ve ekipman üzerine etki eden yükler ile dahili yuvalarda atıştan hemen önce açılan kapaklar dolayısıyla oluşan yükler birbirinden farklıdır. Ekipmanın her iki konumda da kullanılması hedeflendiği için, uçak üzerinde yapılan genel analizlerde elde edilen verilerden ekipman ve silah üzerine etki eden en büyük bileşke kuvvetler ile hesaplama yapılması gerekmektedir.

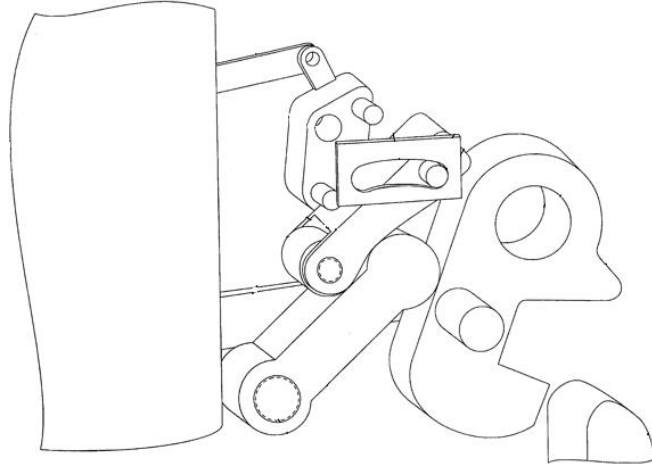
Savaş uçaklarında bulunan donanımlar ile etkileşim, elektriksel iletim, sinyal karışmasının engellenmesi ve yıldırım düşmesi gibi özel durumlar için belirlenmiş olan isterlerin karşılanması gerekmektedir. Aynı şekilde ekipman arızası durumları ve bunların önlenmesi için bulunan birçok ister tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmalı ve gerekli güvenlik katsayıları hesaplara eklenmelidir.

Çalışma kapsamında kilit parçası tasarımının seçilmesi, tüm askı ekipmanı tasarımlarında evrensel geçerliliği olan parçalar olması, ekipmanı oluşturan sistemler içinde kilit tasarımında silah sistemin genel performansına dair sadece girdi verileri bulunması ve bu verilerin açık kaynaklardan edinilmesi, ilgili ekipmanın ve parçanın yurt içinde üretilmiyor olması ve bilgileri verilen kilit parçasının gerçekleştirilen bir üründe kullanılmaması gibi temel nedenlere dayanmaktadır. Benimsenen temeller kapsamında yapılan tasarımda bilgi güvenliği ihlali oluşmaması adına tüm verilerin güvenlik seviyesi tasnif dışı olacak şekilde aktarılmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında mekanizma üzerinde bulunan yüklerin hesaplanması da dahil olmak üzere tüm veriler bileşke kuvvetler ve koşullandırılmış durumlar için geçerli olacaktır. Bu metotla tasarlanmakta olan ve çalışma kapsamında değerlendirilen kilit mekanizması yükleri ana kilit parçası üzerine indirgenmiş olarak verilecektir.

4.1.1 Mekanizmanın Fiziksel Özellikleri

Çalışmada gerçekleştirilecek olan askı ekipmanı kilit mekanizması tasarımında ekipmanın çalışma şekli, ekipmanın çalışacağı ortam ve performans beklentileri göz önüne alınmaktadır. Bu genel isterler tasarımda bulunması gereken sınırlayıcı özellikleri belirlemektedir. Ön tasarım modelleme aşamasında yapılan araştırma sonucu benzer ekipmanlarda kullanılan kilitlerin çelik malzemeden döküm yöntemi ile üretildikleri bilgisine ulaşılmıştır. Döküm işlemi sonrası uygulanan ısıtıl işlem ya da kaplama gibi doğrudan performansı etkileyen parametrelere dair açık kaynak bilgisi bulunmamaktadır. Benzer ekipmanlarda bulunan kilitlerin geometrik ölçüleri tasarımı gerçekleştirilmekte olan kilit mekanizmasının bulunacağı hacim ile uyumlu değildir. Bu nedenle kilidin tasarımı için bir ön model oluşturulmuş ve ekipmanın genel tasarım süreçleri ilerledikçe kilit mekanizması tasarımı da değişen şartlara uygun olarak iyileştirilmiştir.

Mekanizma içinde kilit parçası ile temas halinde çalışan elemanların malzemesi çeşitli analizler sonucu çelik olarak seçilmiştir. Örneklerde de bulunduğu üzere maliyet etkin bir üretim yapılabilmesi açısından parçanın tasarım sürecinde öncelikle çelik sınıfı malzeme kullanımı öngörülmektedir. Mekanizmanın fiziksel olarak kilitlenmesi için kilit parçasının ön tasarım modeli CATIA programı üzerinde oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin tüm mekanizmalar ile birlikte çalışmasının gözlenmesi amacıyla kilidin dönme eksenini merkezlenmiş ve çapalanmıştır. Ön tasarım modellemesinde geometrik olarak konumundan şaşmadan çalıştığı gözlenen kilit parçasının boyutlandırılması için üzerinde bulunan yüklerin hesaplanması gerekmektedir.



Şekil 4. 2: Kilit Parçası Ön Tasarım Modeli Örneği.

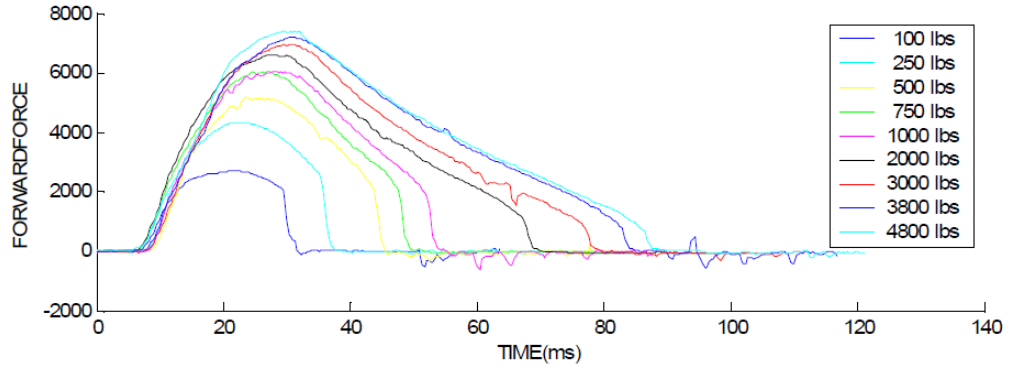
(Kay, 2012)

4.1.2 Mekanizma Üzerinde Bulunan Yüklerin Hesaplanması

Kilit mekanizması üzerine etki eden yüklerin en üst seviyeye çıktığı an kilidin açıldığı ve silahın ayrılma hareketine başladığı andır. Kilidin açılma hareketi ile eş zamanlı harekete geçen askı kancalarından, sıyrılma hareketi ile ayrılmaya başlayan silah üzerine gelen kuvvetler doğrudan askı kancaları üzerine etki etmektedir. Kilit ile temas halinde olan askı kancaları ise yükün büyük bir kısmını tüm kilit parçasına yansıtmaktadır. Buna karşılık kilit parçasının serbest bir şekilde dönmesini engelleyen yaylar, açılmanın kontrollü ve senaryo gereğince sağlanması için kilit üzerine ters yönde kuvvet uygulamaktadır.

Bu anın modellenmesi için ilk olarak için uçağın atış zarfı içinde bulunan en yüksek manevra halinde iken ayrılma aşamasında silah üzerine gelen yükler akla gelmektedir. Ancak ayrılma, silah üzerine etki eden tüm yükleri yenerek silahın ekipmandan uzaklaşmasını sağlayan pistonların uyguladığı kuvvet ile gerçekleşmektedir. Bu tip hesaplamaları manuel olarak yapmak mümkün olmamaktadır. Sistemde bulunan itme pistonlarının uyguladığı maksimum kuvvetlerin matematik modellemesi ile ilgili örnek çalışmalar bulunmaktadır.

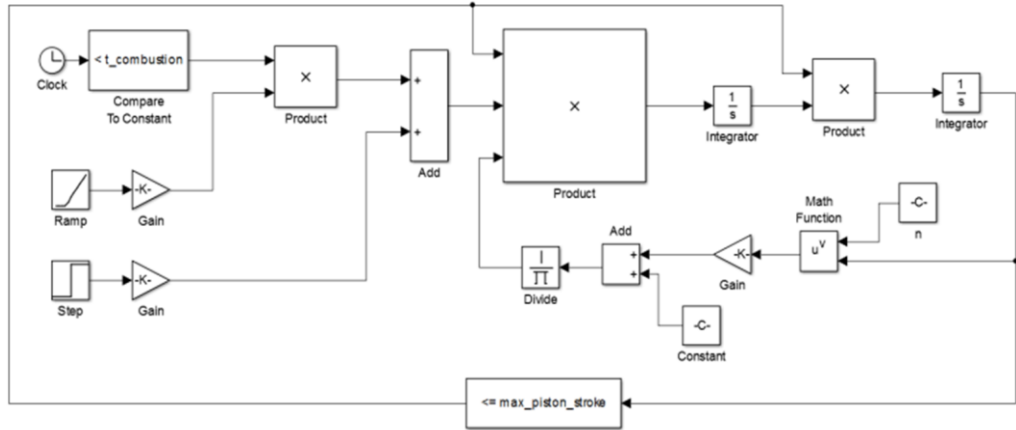
Carter tarafından yayınlanmış olan çalışmada MAU-12 salanından ayrılmakta olan farklı ağırlıktaki mühimmatlara, ayrılma anında itme pistonları tarafından uygulanan bileşke kuvvetler ölçülmüş ve grafik olarak paylaşılmıştır. (Carter, 2012)



Şekil 4. 3: Farklı Ağırlıklarda Mühimmatların MAU-12 Üzerine Etki Eden Kuvvet-Zaman Grafiği.

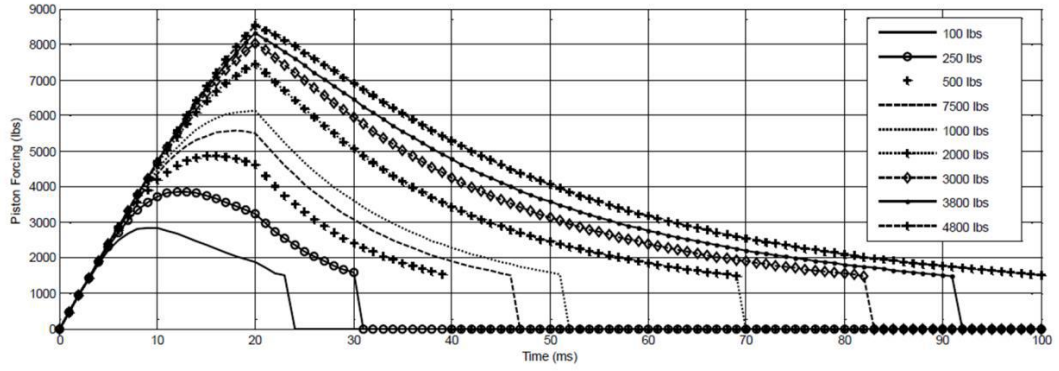
(Carter, 2012)

Kozak vd. tarafından yapılmış olan çalışmada ise gaz kaynağından alınan verilerle yola çıkılarak silaha itme kuvvetini uygulayan pistonların kuvvet modeli matematiksel olarak MATLAB Simulink ortamında hazırlanmıştır. (Kozak vd. 2014)



Şekil 4. 4: MAU-12 Salanı MATLAB Simulink Modeli.

(Kozak vd. 2014)



Şekil 4. 5: MAU-12 Salanı MATLAB Kuvvet-Zaman Grafiği.

(Kozak vd. 2014)

İki farklı çalışma sonucu oluşturulan modellerden benzer sonuçları alındığı göz önünde bulundurulduğunda, atış anında itme pistonları tarafından uygulanan kuvvet büyüklüklerinin silah ağırlığı ile doğrudan bağlantılı olduğu görülmektedir.

MAU-12 için yapılan çalışmalar bu örneklerle sınırlı kalmamıştır. Ülkemizde kullanılan bir askı ekipmanı olması dolayısıyla savunma sanayini geliştirmek ve veri sağlamak amaçlı TÜBİTAK-SAGE tarafından bir dizi deneysel veri toplanmıştır. Statik ortamda MK-82 mühimmatı ile gerçekleştirilen test sonuçlarında ve 500 libre (226,8 kg) sınıfı mühimmatlar için atış anında piston-silah ara yüzlerinde oluşan kuvvetlerin 30-35 kN aralığında gözlemlendiği yayınlanmıştır. Bu çalışma detaylarına Kaplan, Acar ve Özer'in yayınında yer verilmiştir. (Kaplan, Acar, ve Özer 2021)

Tüm bu çalışmaların sonuçları incelendiğinde elde edilen veri grafiklerinde genel eğim ve maksimum değerlerin tutarlı olduğu ve büyük oranda benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. MAU-12 salanı üzerinde yapılan çalışmalar genel prensip olarak mühimmatların uçaktan güvenli ayrılması için gereken piston kuvvetleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Elde edilen bu bilgi ışığında aynı ağırlık sınıflarında bulunan silahların güvenli ayrılma koşulunu sağlaması için uygulanması gereken piston kuvvetleri bulunabilmektedir.

Çalışma kapsamında kilit mekanizması tasarlanmakta olan füze dikey atış lançerinden AIM-120 AMRAAM füzesi atılması öngörülmektedir. Bu füzenin ağırlığının 335 libre yani 150,75 kg olduğu bilinmektedir. Güvenli ayrılma sağlanması ve maksimum yük altında kilit parçasının sağlıklı bir şekilde çalışmasının garanti altına alınması adına 500 libre (226,8 kg) sınıfında bulunan silahlara uygulanması ön görülen yükün tasarım girdisi olarak kabul edilmesinin uygun olacağı sonucuna varılmaktadır. Benzer bir

şekilde MIL-STD-2088B Askı Ekipmanları Tasarım Standardına göre hava-hava füzeleri için yapılan askı ekipmanı tasarımlarında maksimum ağırlığın 450 libre, atış yükünün ise 500 libre olarak kabul edilmesi gerektiği belirtilmektedir. (“MIL-STD-2088 B Design Criteria Bomb Rack Unit Aircraft” 2007) Verileri incelenen çalışmalar ve MIL-STD-2088B askeri standardı uyarınca atış yükü 500 libre kabul edilmiştir. Atış yükünün 500 libre kabul edilmesi ile matematik modelleme ve deneysel veriler sonucu elde edilen kuvvet değerinin piston başına yaklaşık 22,5 kN olduğu sonucuna varılmaktadır.

MIL-STD-8591 askeri standardı askı ekipmanlarında oluşan maksimum reaksiyon kuvvetlerinin hesaplanması adına temel bilgiler sunmaktadır. (“MIL-A-8591 H Airborne Stores Suspension Equipment Design” 1990) Bu hesaplamanın yapılabilmesi için standart tarafından sunulan yöntem atalet yüklerinin kullanılması şeklindedir. Standartta silahın ağırlık sınıfına göre silah merkezine etki eden 6 adet ivme değeri jenerik bir savaş uçağı için verilmektedir. Bu değerler ve aşağıda verilen denklemler kullanılarak silahın ayrılma anında tüm eksenler için doğrusal ve açısal ivme değerleri hesaplanmaktadır.

$$n_{x_s} = -a_x + \frac{1}{g} [\ddot{\omega}_z \Delta Y - \ddot{\omega}_y \Delta Z + (\dot{\omega}_y^2 + \dot{\omega}_z^2) \Delta X - \dot{\omega}_x \dot{\omega}_y \Delta Y - \dot{\omega}_x \dot{\omega}_z \Delta Z] \quad (4.1)$$

$$n_{y_s} = -a_y + \frac{1}{g} [\ddot{\omega}_x \Delta Z - \ddot{\omega}_z \Delta X + (\dot{\omega}_x^2 + \dot{\omega}_z^2) \Delta Y - \dot{\omega}_x \dot{\omega}_y \Delta X - \dot{\omega}_y \dot{\omega}_z \Delta Z] \quad (4.2)$$

$$n_{z_s} = -a_z + \frac{1}{g} [\ddot{\omega}_y \Delta X - \ddot{\omega}_x \Delta Y + (\dot{\omega}_y^2 + \dot{\omega}_x^2) \Delta Z - \dot{\omega}_x \dot{\omega}_z \Delta X - \dot{\omega}_y \dot{\omega}_z \Delta Y] \quad (4.3)$$

$$\Delta X = X_{\text{silah ağırlık merkezi}} - X_{\text{uçak ağırlık merkezi}} \quad (4.1.a)$$

$$\Delta Y = Y_{\text{silah ağırlık merkezi}} - Y_{\text{uçak ağırlık merkezi}} \quad (4.1.b)$$

$$\Delta Z = Z_{\text{silah ağırlık merkezi}} - Z_{\text{uçak ağırlık merkezi}} \quad (4.1.c)$$

$$P_{x_{\text{atalet}}} = n_{x_s} W_s \quad (4.4)$$

$$P_{y_{\text{atalet}}} = n_{y_s} W_s \quad (4.5)$$

$$P_{z_{\text{atalet}}} = n_{z_s} W_s \quad (4.6)$$

$$M_{x_{\text{atalet}}} = -I_{xx} \ddot{\omega}_x + (I_{yy} - I_{zz}) \dot{\omega}_y \dot{\omega}_z + I_{yz} (\dot{\omega}_y^2 - \dot{\omega}_z^2) + I_{xz} (\ddot{\omega}_z + \dot{\omega}_x \dot{\omega}_y) + I_{xy} (\ddot{\omega}_y + \dot{\omega}_z \dot{\omega}_x) \quad (4.7)$$

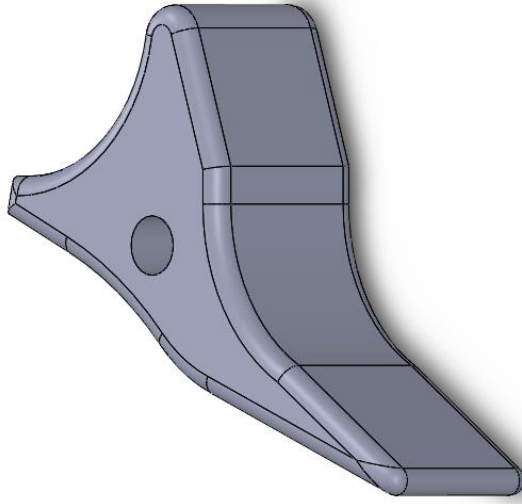
$$M_{y_{\text{atalet}}} = -I_{yy} \ddot{\omega}_y + (I_{zz} - I_{xx}) \dot{\omega}_z \dot{\omega}_x + I_{xz} (\dot{\omega}_z^2 - \dot{\omega}_x^2)$$

$$+I_{xy}(\ddot{\omega}_x + \dot{\omega}_y\dot{\omega}_z) + I_{yz}(\ddot{\omega}_z + \dot{\omega}_x\dot{\omega}_y) \quad (4.8)$$

$$M_{Z_{atalet}} = -I_{zz}\ddot{\omega}_z + (I_{xx} - I_{yy})\dot{\omega}_x\dot{\omega}_y + I_{xy}(\dot{\omega}_x^2 - \dot{\omega}_y^2) + I_{yz}(\ddot{\omega}_y + \dot{\omega}_x\dot{\omega}_z) + I_{xz}(\ddot{\omega}_x + \dot{\omega}_y\dot{\omega}_z) \quad (4.9)$$

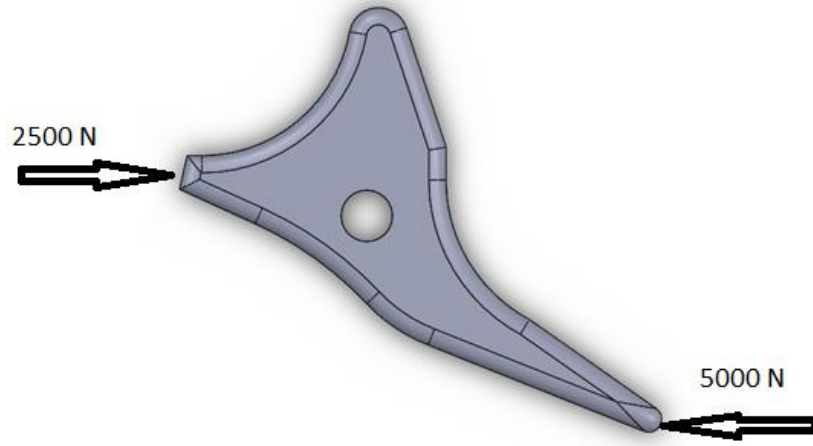
Verilen denklemler ile yapılan hesaplamalar sonucunda x, y ve z eksenlerinde ivme ve kuvvet değerleri elde edilmektedir. Silah merkezine konumlandırılmış olan koordinat düzlemi uçak koordinat düzlemi ile aynıdır. Bu nedenle çeşitli zarflarda hesaplanmakta olan ivme değerleri neticesinde bulunan kuvvetler ve momentler için doğrusal hesaplama kullanılabilir. Kilit mekanizması, askı ekipmanının dış yüzeyini oluşturan bir kutu içinde bulunmaktadır. Bu nedenle herhangi bir aerodinamik yüke doğrusal olarak maruz kalmamaktadır.

Silah pabuçlarından askı kancalarına aktarılan kuvvetlerin yansımaları ve ekipman mekanizmalarından taşınan kuvvetler kilit parçasının diğer elemanlarla temas yüzeyleri olan iki yüzeyden etki etmektedir. Standartlar ve araştırmalar sonucu elde edilen başlangıç kuvvetleri tasarım girdisi olarak kullanılmış ve geometrik tasarım üzerinde boyutlandırma işlemi yapılmıştır. Bu aşamada topoloji optimizasyonu ile parçanın hafifletilmesi düşünülmüştür. Ancak ömür isterleri içinde bulunan 6000 uçuş saati ya da 10 yıl raf ömrünü karşılama koşulu nedeni ile korozyon oluşumu ihtimali değerlendirilmelidir. Korozyon yapısının genellikle parça dış yüzeylerinde oluşmaya başladığı bilinmektedir. Bu nedenle parça içinde boşaltma işlemi yapılarak ortama açık yüzey alanının artırılması risk olarak görülmektedir. Korozyon oluşum riskin en aza indirilmesi için parça üzerinde geometrik düzenleme yapılması yeterli bulunmuştur.



Şekil 4. 6: Boyutlandırma Çalışması Yapılmış Kilit Parçası.

Elde edilen kilit parçası üzerine etki eden yükler mekanizmanın bütünü üzerinde incelenmiştir. Temas yüzeylerinde oluşan bileşke kuvvetlerin değerleri MATLAB ve NX programlarında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucu parça üzerine iki farklı yüzeyden etki eden kuvvetlerin büyüklükleri 2500 N ve 5000 N olarak bulunmuştur. Parça üzerinde en büyük yükleme itme pistonlarının harekete geçtiği anda oluşmaktadır. Bu an hem kilidin açılmaya zorlandığı hem de silahın askı kancalarından ayrılmak üzere sıyrılma hareketine başladığı andır. 2500 N değerindeki kuvvet kilidin taşıma safhasında üzerinde bulunan ve askı kancasından aktarılmakta olan kuvvettir. Askı kancası ile yüzey teması açısından uyumlu olarak şekillendirilmiş yüzey basma alanının tamamına yayılı olarak bu kuvveti vermektedir. 5000 N değerindeki kuvvet ise kilidi açmaya zorlayan itme pistonlarından kilit üzerine atış anında yansıyan yük olup, mekanizma parçaları yine kuvveti tüm yüzey boyunca yayılı uygulayacak şekilde şekillendirilmiştir.



Şekil 4. 7: Kilit Parçası Üzerine Etki Eden Yükler.

Büyüklik ve yönleri tespit edilmiş olan kuvvetler NX NASTRAN analiz programına aktarılmıştır. Bu programda yapısal analizler yapılarak parçaların değişken yükler altında davranışları gözlenmektedir. Statik koşullarda ekipman taşıma görevini yerine getirmektedir. Taşıma esnasında mevcut olan titreşimler ile uçak uçuş zarflarına göre belirlenen ivmeler kilidin kapalı haldeyken üzerinde bulunan yükleri değiştirmektedir. Bu yükler göz önüne alınarak kilidi kapalı pozisyonda tutmaya zorlayan askı kancası kuvveti 2500 N seçilmiştir. Bu pozisyon kilit ana parçasını kapalı durumda bulunan askı mekanizması üzerine doğru basmaya zorlamaktadır. Açılma anında etkiyen 5000 N yüke karşılık askı kancasının aktardığı kuvvet yenilerek kilit açılmakta ve silah serbest kalmaktadır.

4.1.3 Kilit Mekanizmasının Ömür İsterleri

Hava aracı askı ekipmanları için biçilen ömür 6000 saatlik uçuş boyunca ya da toplam 10 yıl çalışır durumda kalmasıdır. Hangisinin önce oluştuğuna göre ömür hesaplaması yapılarak çalışır durumda kalmanın garanti edilmesi gerekmektedir. İstenen ömür değerlerini karşılayabilmek için tasarım aşamasında birçok karar verilmesi gerekmektedir. 6000 saat uçuş ya da 10 yılı çalışır durumda tamamlaması gereken ekipmanların özellikleri iyi tanımlanmalıdır. Geometrik tasarımı tamamlanmış parça üzerinde yapılacak olan analizlerle, parça üzerinde oluşan yüklerin elastik ya da plastik deformasyon sınırına yaklaşıp yaklaşmayacağı tespit edilebilmektedir. Malzeme seçimi sırasında büyük rol oynayan bu hesap sonucu elde edilen verilere göre

deformasyon sınırlarına yaklaşmayan bir malzemenin seçilmesi ile ömür isterlerinin büyük ölçüde karşılanması mümkündür.

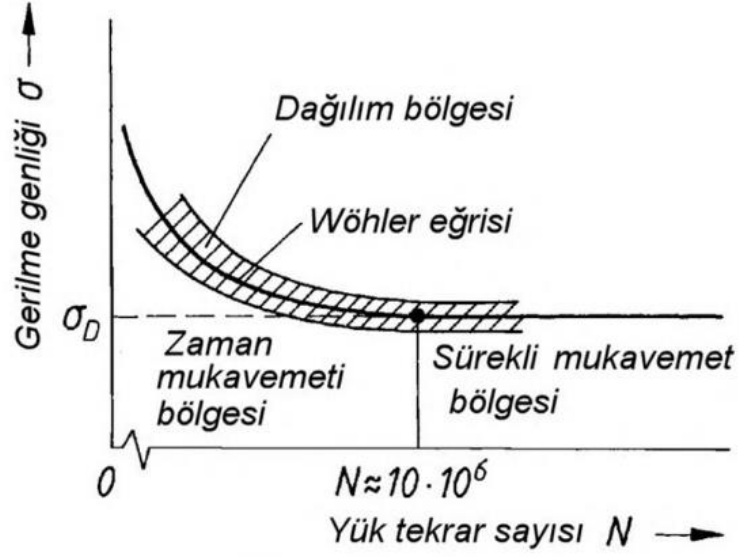
Mekanizma tasarımında ömür hesabını yapmak ya da istenen ömür boyunca tasarlanan mekanizmanın çalışmasını garanti almak için sadece deformasyon sınırlarının kontrol edilmesi ve buna göre malzeme seçilmesi yeterli olmamaktadır. Birçok parça düzenli yük artışlarında, ani yüklemelerde ya da farklı yönlerden gelen moment etkileri ile burulmaya zorlandığında hasara uğramaktadır. Bu tip zorlamalar sonucu meydana gelen kırılma olayları seçilen malzemenin akma sınırına hiç gelmediği durumlarda bile ortaya çıkabilmektedir. Malzemelerde yorulma kırılması olarak adlandırılan bu olay hava araçlarında sıkça karşılaşılan bir durumdur. Hava araçlarında yaşanan parça yorulması neticesi oluşan kırılmalar ise hayati riskler teşkil etmektedir.

Yorulma kırılmaları moment sonucu burulma zorlamalarına maruz kalma ya da değişken yüklerin tekrarlı olarak parçaya etki etmesi sonucu oluşabilmektedir. Aynı şekilde korozyon sonucu malzeme yapısında boşlukların oluşması ve malzeme çekirdek yapısının yük ya da sıcaklık değişimleri etkisiyle bozulması da parçada çatlak ya da kırılma oluşmasına neden olabilmektedir.

Yorulma kaynaklı kırılmalar genellikle bir çatlak oluşumu ve bu çatlağın ilerlemesi ile meydana gelmektedir. Bir yorulma olayı neticesinde çatlak oluşumu için verilen ömür literatürde N_i ile gösterilmektedir. Çatlağın ilerleyerek kırılma oluşumuna neden olacağı ömür ise çevrim sayısına bağlıdır ve ömür N_p ile gösterilmektedir. Yorulma ömrü çatlak oluşumu ömrü ve çatlağın ilerleme ömür toplamına eşittir.

$$N_t = N_i + N_p \quad (4.10)$$

Bir çatlağın başlangıcı ile ilerlemesi arasında doğrudan bir bağıntı bulunmasa da hammadde üzerinde bulunan bir hatanın çıkan parça ömründe de yorulmanın erken gerçekleşmesin neden olduğu bilinmektedir. Parçaların yorulma dayanımları tipik olarak Wöhler yöntemi ile bulunabilmektedir. Bu yöntem 6 ile 10 adet arasında birbirinin aynısı parçaların üretilmesi ve aralıksız olarak zorlama gerilmelerine maruz bırakılmasına dayanan deneysel bir yöntemdir. (Osten ve Kaynaklı 2006)



Şekil 4. 8: Wöhler Eğrisi.

(Temiz, 2022)

Wöhler eğrisi yönteminde gerilme genliğinin (σ_D) altında kalındığı sürece parçanın yorulmaya maruz kalmadan sonsuza kadar çalışacağı var sayılmaktadır. Ancak tasarım aşamasında deneysel yöntem ile elde edilen veriler kesin sonuç vermemektedir. Deneysel yöntemlerde genellikle numune hazırlama yapılmaktadır. Belirli boyutlarda düz parçalar halinde hazırlanan numunelerden alınan sonuçlar parça geometrisi için geçerli olmamaktadır. Bir başka şekilde parçanın üretilmesi ve gerekli çevrim süresince test edilmesi daha doğru sonuç verecektir. Uçak parçalarında bu testler ürün haline gelmiş alt ekipmanlar üzerinde yapılabildiği gibi mekanizmalar özelinde de yapılmaktadır. Ancak tasarım sürecinde mümkün olduğunca fazla problemin çözümü maliyet ve zaman açısından etkin bir yöntemdir.

Uçağın uçuş zarflarında değişen irtifalar ve aerodinamik etkenler nedeni ile çalışma sıcaklıkları $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişebilmektedir. Bu sıcaklık değerleri genellikle anlık olup silah ve ekipmanlar bu değerlerde bulunmamaktadır. Havacılık standartlarında kullanılmakta olan ISA modeli irtifaya göre sıcaklık hesaplamak için en yaygın kullanılan yöntemdir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü tarafından tanımlanan termodinamik denklemi temel alan, su buharı, rüzgar ve türbülans içermeyen ideal bir atmosferi temsil etmektedir. Atmosfer boyunca farklı yüksekliklerde basınç, yoğunluk, viskozite ve sıcaklık için standart bir referans kullanır. Model bir değerler tablosundan oluşur ve bu değerlerin çeşitli yüksekliklerde

nasıl değiştiğini gösterir. ISA modelinde standart deniz seviyesi sıcaklığı 59°F (15°C)'dir. Atmosferik basınç yükseklikle azaldıkça, sıcaklık standart bir atlama hızında azalacaktır. Troposfer içindeki standart ISA sıcaklıkları, Uçuş Seviyesi (FL) 100'de -4,8°C, FL200'de -24,6°C ve FL300'de -44,4°C'dir. FL360'ın üzerindeki irtifalarda sıcaklık sabit kalır. ("International Standard Atmosphere: How It Affects Flight – Understanding the Basics" 2014)

Her tasarım için sıcaklık değerleri ekipmanın kullanılacağı uçağın uçuş zarflarına göre değişmekte olup, tasarım yapılırken ekipmanın kullanım ve depolama sıcaklığı tasarımcı tarafından verilmelidir. Çalışma konusu kilit mekanizmasının ve askı ekipmanı bütünüünün tasarımında kullanılan elektrik elektronik malzemeler de göz önüne alınarak -40 °C ile +50 °C arasında çalışma sıcaklığı seçilmiştir.

Tasarım için kullanılmakta olan CATIA programının analiz modülü parçanın geometrisi ve maruz kalınan yüke göre yorulma nedeni ile kırılma olup olmayacağını vermektedir. Ancak daha ileri bir analiz programı olan NX NASTRAN çok daha emniyetli sonuçlar alınması için tasarımı bitmiş olan parça ile analiz yapmak için daha uygun olmaktadır. Bu program ile yapılan analizlerde malzemelerin sadece oda şartlarında yüke maruz bırakılması gerekmemektedir. Aynı zamanda termal analizlerin de yapılabildiği programda sınır sıcaklıkları programa girdi olarak verilerek çevrimler bu sıcaklıklarda ya da belirli süreler içinde değişen sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmektedir. Tasarım için ön görülen çalışma sıcaklıkları analiz programına girdi olarak aktarılarak yorulma nedeni ile parçalarda deformasyon oluşumları değerlendirilecektir. Tüm detaylar düşünüldüğünde raf ömrünün 10 yıl atanması yerine 6000 uçuş saatinin ömür olarak seçilmesi daha uygun görülmektedir. Uçuş süresinde kilit mekanizmasının maruz kalacağı yükler ve sıcaklık değişimlerinin parça ömrü üzerinde etkin oynayacağı düşünülmektedir. Raf ömrünün karşılanması için korozyon önleyici işlemler yapmak mümkündür. Bu sayede 6000 uçuş saatinde bozulmaya uğramayacak şekilde tasarlanacak parçanın raf ömrü de garanti edilebilmektedir.

Askı ekipmanı mekanik bileşenlerinde belirtilen sürelerde bakım gerektirmemesi tercih edilen bir durum olarak isterler içinde bulunmaktadır. 6000 uçuş saati düşünülen bir savaş uçağında maksimum kaç kez atış yapılacağını ön görmek mümkün olmamaktadır. Uçak üzerinde atış yapacak ekipman sayısı ve her sortide yapılacak atış sayısı gibi faktörler görev bazlı düşünülmesi gereken bir konu olup değişkendir.

Mühendislik temellerinde en zorlayıcı koşulu düşünmek işin daha iyi yapılmasını sağlarken aşırı emniyetli davranmanın tasarımın gerçekleştirilememesine neden olabileceği unutulmamalıdır. Değerlendirmeler göz önüne alındığında aynı ekipmanla 6000 uçuş saati boyunca 6000 atış yapıldığının varsayılması oldukça güvenli bir seçim olacaktır. Taşıma anında mekanizma üzerine gelen yükler tam bilinmemektedir. Bu yükler ekipmanın kullanılacağı uçağın manevra kabiliyetlerine göre değişmektedir ve ekipmanlar atışı gerçekleştirebilecek farklı tip uçaklarda kullanılabilir. Bununla birlikte atış anı yüklerinin maruz kalınan en büyük yük olduğu bilinmektedir. Sınır sıcaklıkları içinde maksimum yükler ile yapılacak 6000 çevrimlik bir analizi uygun tamamlayan parçanın ömür isterlerini yerine getireceği düşünülmektedir.

4.2 Malzeme Seçimi

Askı ekipmanı kilit mekanizmasının tasarım sürecinde, malzeme seçimini sadece mekanizmanın maruz kaldığı yüklere göre yapmak mümkün olmamaktadır. Mekanizma içinde çalışan tüm parçaların malzemeleri aşınmaya karşı direnç göstermesi bakımından değerlendirilmelidir.

Askı ekipmanlarının uçak dahili yuvalarında kullanılabilmesi için diğer uçak donanımları ile uyumlu çalışıyor olması gerekmektedir. Uçak dahilinde bulunan tüm ekipmanlar için EMC (elektromanyetik uyumluluk) ve EMI (Elektromanyetik parazit) koşulları bulunmaktadır. Bu koşulların sağlanması güvenli uçuş ve ekipmanın sağlıklı çalışması açısından büyük önem arz etmektedir. Koşullar her uçak için ayrı belirlenmekte olup, tasarlanan ekipmanın manyetik alan oluşturmaması, çalışması için pil ve batarya bulundurmaması, sinyal bozacak bir elektrik akımı oluşmaması için yalıtılması gibi önlemlerle genel olarak uçakların birçoğunda geçerli olan isterler karşılanabilmektedir. Askı ekipmanı bir bütün olarak bu koşullara uyumlu çalışmalıdır. Yalıtım gibi ek önlemler getirilmemesi ve ekipman içinde bulunan elektronik bileşenler ile uyumlu çalışması açısından tüm parçalar için seçilen malzemelerde manyetik özellikler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Mekanizma bütününde kilit parçasına kuvvet aktaran iki eleman bulunmaktadır. Bunlardan biri askı kancasıdır. Askı kancaları silah pabuç malzemeleri ile uyumlu olması açısından çelik malzemeden üretilmektedir. ("MIL-STD-2088 B Design Criteria Bomb Rack Unit Aircraft" 2007) Diğer eleman ise kilit mekanizmasını kapalı

durmaya zorlayan yayın temas yüzeyini genişletmek için kullanılmakta olan çelik plakadır.

Kilit mekanizması tasarımının askı ekipmanının tüm mekanik ekipmanları ile eş zamanlı tasarlanmakta olduğu daha önce de belirtilmiştir. Tüm mekanik aksama bakıldığında ekipmanı hafifletmek adına çelik dışı malzeme kullanılabilecek birtakım kollar bulunmaktadır. Ancak füze dikey atış lançeri mekanik aksamları güvenli ayrılma için gerekli olan itme kuvvetleri nedeni ile standart salanlara kıyasla daha fazla yüke maruz kalmaktadır. Bu yükler altında yapılan kinematik analizlerde, bahsedilen kolların alüminyum malzeme seçildiği durumda plastik deformasyon bölgesine girerek sehim verdikleri gözlenmiştir. Bu nedenle mekanik aksamlarda alüminyum kullanımı mümkün olmamış tüm mekanizmalar için çeşitli kalite ve özelliklerde çelik malzeme kullanılarak tasarımın devam etmesi uygun görülmüştür.

Ömür isterinin karşılandığından emin olmak için yapılan tüm çalışmalarda temel çıkış noktası seçilen malzemenin özellikleri olmaktadır. Tasarım için bu noktaya gelinene kadar yapılan çalışma ve araştırmalar sonucu parçanın çelik türevli bir malzemeden imal edilmesi mantıklı görünmektedir. Parça ömrü isterleri göz önüne alındığında raf ömrünün 10 yıl olması dolayısıyla paslanmaz çeliklere yönelmek ve uygulanabilir kaplamaları ile bu kaplamaların çalışma niteliklerini değerlendirmek mantıklı olacaktır.

4.2.1 Malzemenin Dayanım Özelliklerine Göre Değerlendirilmesi

Malzemelerin dayanım özellikleri çeşitli yükler altında malzemenin davranışları ve şekil değiştirmeleri ile belirlenmektedir. Dayanım özellikleri anlamına gelen mukavemet değeri tüm davranışların ele alınışı ile belirlenmektedir. Malzeme dayanım özellikleri; çekme, basma, akma ve darbe mukavemetleri, eğilme, kopma uzaması, elastisite modülü, eğme modülü, sürünme dayanımı, tokluk, sertlik ve aşınma direnci gibi konuların bir bütün olarak değerlendirilmesi ile mümkündür.

Askı ekipmanı kilit mekanizmasında çelik malzeme kullanılacağı için çelik türleri içinde korozyon oranı düşük, elastikiyeti yüksek ve işlenebilme özellikleri iyi olan malzemeler değerlendirilecektir. Çeliklerin alaşım değerleri malzeme yapısı ve özelliklerini büyük ölçüde değiştirmektedir. Bu kapsamda paslanmaz çelikler östenitik, ferritik, duplex, martensitik ve çökelme sertleştirilmesi yapılan çelikler olmak üzere 5 ana grupta incelenmektedir.

Östenitik paslanmaz çelikler bünyelerinde krom (Cr), nikel (Ni) ve karbon (C) elementlerini %0,1 oranından az bulundururlar ve manyetik değillerdir. Ferritik paslanmaz çelikler bünyelerinde krom (Cr) elementlerini %10,5'ten fazla, karbon (C) elementini ise %0,1 oranından az bulundururlar ve manyetikler. Duplex paslanmaz çelikler demir (Fe), krom (Cr) ve nikel (Ni) elementlerini bulunduran östenitik ve ferritik kombine bir yapıdır ve manyetikdir. Martensitik paslanmaz çelikler ise bünyelerinde krom (Cr) ve karbon (C) elementlerini %0,1 oranından az bulundururlar. Hem manyetik hem de sertleştirilebilir çeliklerdir. (Tehç, 2011) Çökeltme sertleştirilmesi yapılan çelikler martensitik çeliklerden daha yüksek dayanıma erişebilmektedir. Bunun yanı sıra korozyon dayanımları östenitik çeliklere benzerdir.

Savaş uçaklarında kullanılacak olan ekipmanlarda uçak donanımları ile etkileşime girecek malzemelerden kaçınmak gereklidir. Bu tip bir malzemenin kullanılması durumunda ise uçak sistemlerinden tamamen yalıtılması gerekmektedir. Özellikle manyetik alan oluşumlarından kaçınmak sinyal bozulmalarını engellemek açısından oldukça önemlidir. Ekipmanlarda kullanılan manyetik metaller, piller ve elektrik-elektronik aksamaların tümü güvenlik şartları çerçevesinde tasarlanmaktadır. Bu nedenle malzeme seçimlerinde seçenek bulunduğu takdirde manyetik olmayan malzemelerin kullanılması yerinde olacaktır. Paslanmaz çelik grupları içinde manyetik olmayan alaşımlar östenitik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler de alaşımlarına göre kendi içinde gruplara ayrılmaktadır.

Krom ve nikel içeren paslanmaz çelikler AISI 304 ve AISI 304 L grubu çeliklerdir. AISI 304 paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi X5CrNi1810 şeklindedir. Piyasada kolay bulunması, maliyetinin düşük olması, kaynak özelliklerinin ve şekil verilebilirliğinin iyi olması nedeniyle tercih edilmektedir. AISI 304 L paslanmaz çeliği AISI 304 çeliğine göre daha düşük karbonludur ve bu nedenle kaynak özellikleri daha iyidir. Krom, nikel ve molibden içeren paslanmaz çelikler AISI 316, AISI 316 L ve AISI 316Ti çelikleridir. AISI 316 paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi X5CrNiMo17-12-2 şeklindedir. 304 serisine göre klorlu ortamlarda korozyona karşı daha dayanıklıdır. 316 L ise X2CrNiMo18143kimyasal bileşenine sahip olup karbon oranı 316 çeliğinden daha düşüktür. Bu da kaynak çalışmaları gibi yüksek sıcaklıklarda korozyon açısından daha başarılı bir malzeme olmasını sağlamaktadır. AISI 316 Ti kalite çelik alaşımında titanyum elementi barındırmaktadır. Bu nedenle aşınmaya karşı diğer çeliklere göre daha dirençlidir. (Bakircioğlu 2013; Tehç 2011; Çiftçi 2004)

17-4 Ph paslanmaz çeliklerin korozyon direnci östenitik grubu paslanmaz çeliklere benzerdir. Bunun yanı sıra ısıtıl işlem uygulamaları ile mekanik özellikleri martensitik çelikler sınıfına uygun hale getirilebilmektedir. Bu iki gruptan farklı olarak literatürde yerini almış olan çökelme ile sertleşebilen çelik grubunda bulunmaktadır. 15-5 Ph paslanmaz çelikler ise malzeme formunda 17-4 Ph grubu çeliklere göre daha iyi bir yapıya sahiptir. Bu nedenle değişken yüklerde tüm yönler değerlendirildiğinde akma dayanımları çok daha iyi seviyelerde gözlenmektedir. (“630 (1.4542) PH 17-4 Paslanmaz Çelik” 2022)

AISI 304 ve 316 grubu paslanmaz çeliklerin akma dayanım değerleri 17-4 Ph ve 15-5 Ph çeliklere göre oldukça düşüktür. Ancak 17-4 Ph ve 15-5 Ph çelikler manyetik özellik barındırmaktadır. 316 Ti paslanmaz çeliği ise diğer seçeneklere göre hammaddede %80 fazla maliyet getirmektedir. Bu çeliğin işlenmesi için de titanyum işleyen firmalar seçilmek durumunda olup maliyetlerinin yükselmesine neden olmaktadır. Bu nedenle değerlendirmeye öncelikle 304 ve 316 serisi paslanmaz çelikler ile başlanması uygun olacaktır. Bu malzemelerin analiz sonuçların yeterli bulunmaması durumunda 17- Ph ve 15-5 Ph çelikler ile analizlere devam edilerek malzeme seçimi gerçekleştirilecektir.

Tablo 4. 1: Paslanmaz Çeliklerde Mekanik Özellikler Şartname Farkları

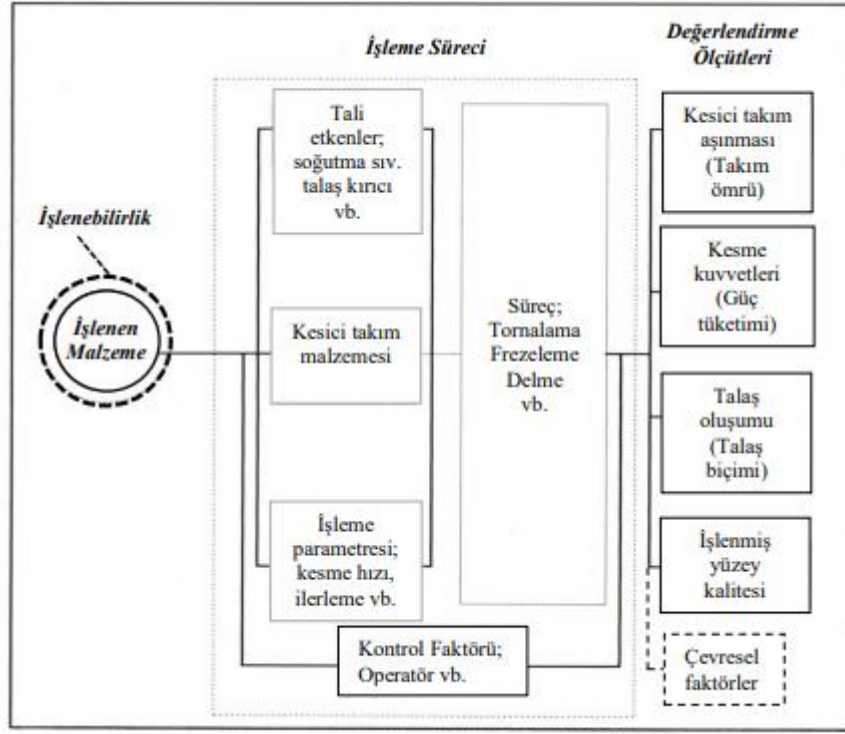
Kalite	UNS No	Akma Mukavemeti min. (MPa)	Uzama min. (%)	Sertlik Brinell maks (HRB)
304	S30400	205	40	201
304 L	S30403	170	40	201
316	S31600	205	40	217
316 L	S31603	170	40	217
17-4 Ph (H900)	S17400	1069	10	388
15-5 Ph (H900)	S15500	1275	10	388

(“ASTM A240 Specification - Boltport Fasteners” t.y.; “Stainless Steel Grades” 2013)

4.2.2 Malzemelerin İşlenebilirlik Özellikleri

Malzemelerin işlenebilirliği farklı imalat yöntemleri ile şekillendirilmeleri sırasında malzemelerin davranışına, talaş kaldırma başarısına, ortaya çıkan ürünlerdeki yüzey kalitesine ve takım kullanım özelliklerine göre değerlendirilmesi anlamına gelip, malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile doğrudan bağlantılıdır. Malzemelerde

kimyasal özellikler çeşitli alaşımlarla, mekanik özellikler ise hem alaşımlar hem de mikro yapı özellikleri ile değiştirilebilmektedir. Bu işlemler sayesinde metal malzemeler grubunda bulunan her malzeme için işlenebilirlik özellikleri iyileştirilebilir ya da değiştirilebilir demek mümkün olmaktadır. (Özçatalbaş, 2020)



Şekil 4. 9: İşlenebilirliğin Değerlendirilmesi.

(Smith, 1989)

Malzemenin işlenebilirlik özelliklerini etkileyen faktörlerden biri de işlenecek malzemeye uygun takım ve işleme parametresi seçimidir. Paslanmaz çeliklerin işleme esnasında deformasyon sertleşmesine uğraması da hem takım aşınmasını hem de ortaya çıkan ısıyı arttırarak takım ömrünü azaltarak işlenebilirlik kabiliyetini düşürmektedir. (Bakircioğlu, 2013) Kesici takım geometrilerinin, parça geometrilerinin ve kesme anında verilen işleme parametrelerinin de işlenebilirlik üzerine etki ettiği bilinmekle birlikte her parça ve takım için ayrı çalışılarak optimum kesme parametrelerinin elde edilmesi, doğru parça üretimi, yüzey kalitesi ve maliyet etkin bir üretim için önemli olmaktadır. (“ASM Handbook Volume 16: Machining - ASM International” 2022) Bununla birlikte AISI 304 ve AISI 316 çeliklerde takım ve kesme hızı ile ilgili parametrelerin doğru belirlenmesi ile, parçanın işlenmesi sırasında yorulma ömrünün uzatılması, yüzey kalitesinin iyileştirilmesi gibi pek çok çıktı alınabileceği deneysel metotlarla kanıtlanmıştır. (Tekaslan ve Gerger 2009; Altinkaya

ve Güllü 2008) Benzer şekilde yapılan çalışmalarla 17-4 Ph ve 15-5 Ph paslanmaz çeliklerin de tezgah, takım ve kesme parametrelerinin seçimleri ile işlenebilirlik kabiliyeti artmaktadır. Malzeme üzerinde yapılması planlanan ısıtıl işlem varsa bu noktada sertlik değeri iyi değerlendirilmeli seçimler bu değerlere uygun şekilde yapılmalıdır. (Yaşar, Uzun, ve Korkut 2019)

4.2.3 Aday Malzemelerin Belirlenmesi

Malzeme mekanik özellik şartnameleri incelendiğinde akma mukavemeti AISI 304 ve AISI 316 kalite çeliklerde L kalitelere göre daha yüksek görülmektedir. Buna karşılık AISI 304 L ve AISI 316 L kalite çeliklerin korozyona karşılık dayanımları daha yüksek olmaktadır. Maliyet açısından 316 sınıfı çelikler 304 sınıfı çeliklere göre yaklaşık %20 daha maliyetlidir. Ancak 316 çelik ile 304 kıyaslamasında 316 serisinin korozyon dayanımı daha iyi olduğu için bu maliyete karşılık tasarıma daha uygun görülmektedir.

Paslanmaz çeliklerde işlenebilirlik ile ilgili yapılan araştırmalarda hem AISI 304 hem de AISI 316 grubu çeliklerin işlenebilirliği uygun görülmektedir. 17-4 Ph ve 15-5 Ph malzemelerin dayanımları ise östenitik çeliklere göre çok daha yüksektir. Maliyetleri 316 grubuna göre yaklaşık %50 daha fazla olmaktadır ve genellikle ısıtıl işlemli olarak kullanılmaktadırlar. İşlenebilirlik özellikleri yapılacak olan üretim seçimleri ile iyileştirilebilmektedir. Ancak ısıtıl işlemli malzemelerde hassas toleransların işlenmesi için seçim çalışmalarının daha detaylı yapılması gerekmektedir.

Piyasa deneyimleri sayesinde bu iki grup malzemedan de tornalama, frezeleme ve delik delme tezgahlarında geometrik toleransları oldukça düşük parçalar üretilebildiği bilinmektedir. Hem yapısal hem de termal olarak kuvvet ve yorulma analizleri sonuçlarına göre son değerlendirme yapılacak olup, ömür isterleri göz önünde bulundurularak öncelikle AISI 304 L ve 316 L sınıfı çeliklerin değerlendirilmesi uygun görülmektedir. Bu çeliklerin dayanım sınırlarının düşük olması nedeni ile analizlerde uygun bulunmaması durumunda 17-4 Ph ve 15-Ph çelikler ile analizlerin tekrarlanması uygun olacaktır.

4.3 Kaplama Seçimi

Mekanizma parçalarında aşınma ve korozyon göz önüne alındığında metal aksamalarda kaplama uygulamalarının değerlendirilmesi uygun olmaktadır. Kaplama prosesleri genel olarak parça malzemesi ile kaplama malzemesinin mekanik ve kimyasal bağ kurması ile gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle her metal sınıfı malzemeye uygulanabilecek kaplama çeşidi de farklılık göstermektedir.

Çelik malzemelerde kaplama yöntemleri mekanik kaplama, elektrolitik ve daldırma yöntemi ile kaplama, püskürtme yöntemi ile kaplama olarak çeşitlenmektedir. Mekanik kaplamalar genellikle çelik bir malzemenin korozyon dayanıklılığı arttırmak amaçlı farklı bir metal ile kaplaması yöntemidir. Elektrolitik ve daldırma yöntemi ile yapılan kaplamalarda elektrik akımı verilerek havuzlara daldırılan parçalarda sadece mekanik değil kimyasal bağların da kurulması ile homojen ve daha dayanıklı kaplamalar elde edilmektedir. Püskürtme yöntemi ile kaplamanın bir diğer ismi ise detonasyondur. Bu yöntemle yapılan kaplamalarda metal yüzeyine kaplanacak diğer bir metalin tozunun hızla çarpması sonucu nüfuz ederek bir yapı elde edilmesi amaçlanmaktadır. Diğer kaplama yöntemlerine göre daha kalın ve yoğunluğu yüksek kaplama yüzeyleri elde edilebilmektedir. Genel olarak çelik malzemelere çinko, çinko fosfat, mangan fosfat, kadmiyum, akımsız nikel ve sert krom kaplama yapılabilmektedir.

Çinko, çinko fosfat ve mangan fosfat kaplamalar genellikle parça yüzeylerini temizlemek, korozyona karşı korumak ve metalleri boyaya hazırlamak için kullanılmakta olup kırılgan yapıda kaplamalardır. Kadmiyum kaplama atmosferik koşullara karşı dayanıklı bir kaplama olup anodik yapıya sahiptir. Bu yapısı sayesinde çizilme ya da aşınmaya uğrasa bile altında bulunan çelik parçanın korozyona karşı direncini korumasında rol oynamaya devam etmektedir. Akımsız nikel kaplama ise korozyona karşı dayanımı arttırmasının yanı sıra kaplama yapılan parça üzerinde sert bir tabaka oluşturmaktadır.

4.3.1 Uçak Üzerinde Kullanılabilen Kaplamalar ve Özellikleri

Uçak üzerinde bulunan ekipmanların kaplama seçimlerinde birçok faktörün bir arada incelenmesi gerekmektedir. Tasarımı yapılan her parça için ekipman içi ve ekipman bütünü değerlendirmelerinde elektrik iletkenliği, yıldırımdan korunma, sinyal etkileşimi gibi pek çok özellik tüm uçaklarda kayıt altındadır. Tasarımı yapılan bir parçanın malzemesi uygun seçilmiş olsa bile parça üzerine uygulanan kaplamalar parça özelliklerinde büyük değişikliklere neden olabilmektedir.

Askı ekipmanı isterlerinde içinde EMC (elektromanyetik uyumluluk) ve EMI (Elektromanyetik parazit) parametreleri bulunmaktadır. Bu parametreler bir uçakta bulundurulacak tüm ekipmanlar için geçerli olup, uçuşun güvenli gerçekleştirilebilmesi, donanım ve ekipmanların doğru çalışması gibi pek çok konuda önemli bir rol oynamaktadır. Malzeme ve kaplama seçimlerinde bu isterleri karşılayacak seçimler yapılması hayati önem arz etmektedir. Bu nedenle manyetik alan oluşumuna etki edebilecek bir kaplama seçilmemesi gerekmektedir.

Askı ekipmanı kilit mekanizması isterlerinin de bulunduğu gereksinim setinde kadmiyum kaplama yapılmasına izin verilmediği açıkça belirtilmektedir. Kadmiyum kaplama genel olarak siyanür içinde çözünen kadmiyumun bulundurulduğu kaplama havuzlarında yapılmaktadır. Siyanürün insan dokusuna işlemesi halinde zararları telafi edilememekte ve ölümlere neden olmaktadır. Kadmiyum kaplamanın azaltılması, siyanür kullanımının azaltılması ve iş sağlığı güvenliği kapsamında bir önlemdir. Bu nedenle kadmiyum kaplama seçenekler içinde bulundurulmamaktadır.

4.3.2 Aday Kaplamaların Belirlenmesi

Askı ekipmanı kilit mekanizmasında karşılaşılabilecek en önemli olaylar ani yüklere maruz kalma ve sürtünme yüzeylerinin bulunması olacaktır. Sürtünme esnasında parçaların aşınması ve gerekli yükler altında dayanımı göz önünde bulundurularak ana kilit parçası için paslanmaz çelik malzeme seçilmiştir. Paslanmaz çelikler üzerine yapılabilecek kaplamalardan çinko, çinko fosfat ve mangan fosfat kaplamalar kırılabilir bir yüzey oluşturdukları için ani yüklemeler altında dağılması ve istenen etki vermemesi beklenen kaplamalardır. Bu nedenle uygulanabilecek kaplamalardan akımlı ve akımsız nikel kaplamalar ile pasivasyon işlemleri değerlendirilebilmektedir. Nikel kaplamaların elektrik iletkenliği ve ısıl genleşme katsayısı çeliklere göre yüksektir. EMC (elektromanyetik uyumluluk), EMI (Elektromanyetik parazit) isterleri

gereği, elektrik iletkenliği özelliği ile manyetik alan oluşturmaya yatkın bir malzeme olan nikelin kaplama olarak kullanılması sakıncalı olabilmektedir. Isıl genleşme katsayısının yüksek olması ise ekipman için daha önce belirlenmiş olan -40 °C ile +50 °C arasında değişen çalışma sıcaklığında uzun ömürlü bir kullanımı olmayacağını göstermektedir.

Aday malzemeler olan AISI 304 L, AISI 316 L, 17-4 Ph ve 15-5 Ph çeliklerde korozyon oranlarının düşük olması ve bu çeliklerin korozif yüzey oluşturmadan on yıllarca kullanımının görölmüş olması ile ek kaplama ihtiyacı bulunmadığı bilinmektedir. (Fontana ve Staehle 2012; Alnajjar 2020) Yapılan değerlendirilmeler ile askı ekipmanı kilit mekanizması kaplama seçiminin işlenmiş parça üzerinde korozyon dayanım etkilerini daha da arttırmak ve talaşlı imalat sonrası oluşacak yüzey gerilimleri indirgeme amaçlı pasivasyon işlemi olması gerektiği düşünölmektedir.

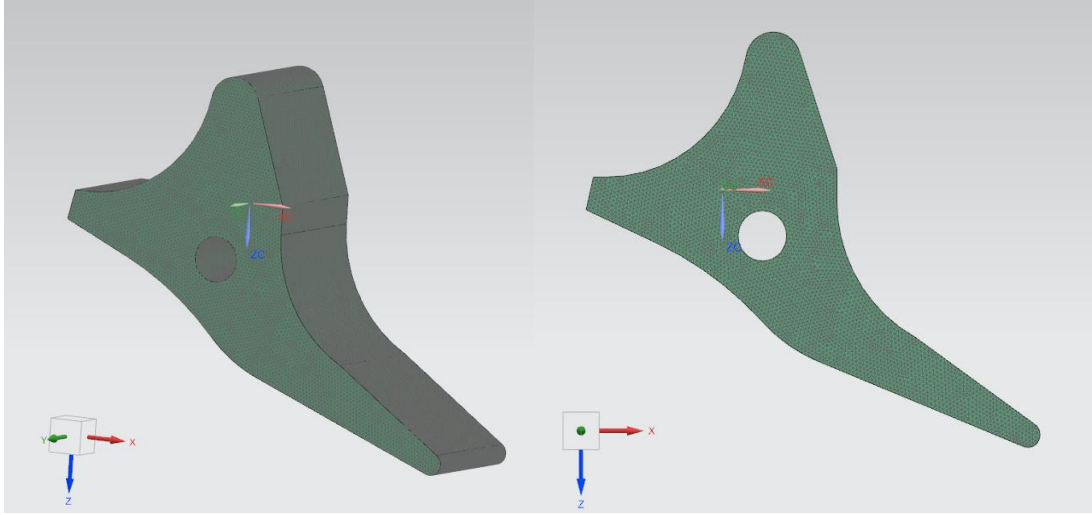
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Stres Analizleri ve Karşılaştırma

Askı ekipmanı kilit mekanizması üzerinde parçaların 3 boyutlu tasarımı aşamasında CATIA programı statik ve kinematik analiz modülü ile çalışılmıştır. Bu analizlerde uygun görülen kilit parçası modeli üzerinde yapılan iyileştirme çalışmaları ile mekanizmaya uygun sonuç veren en iyi parçaya ulaşılmaya çalışılmıştır.

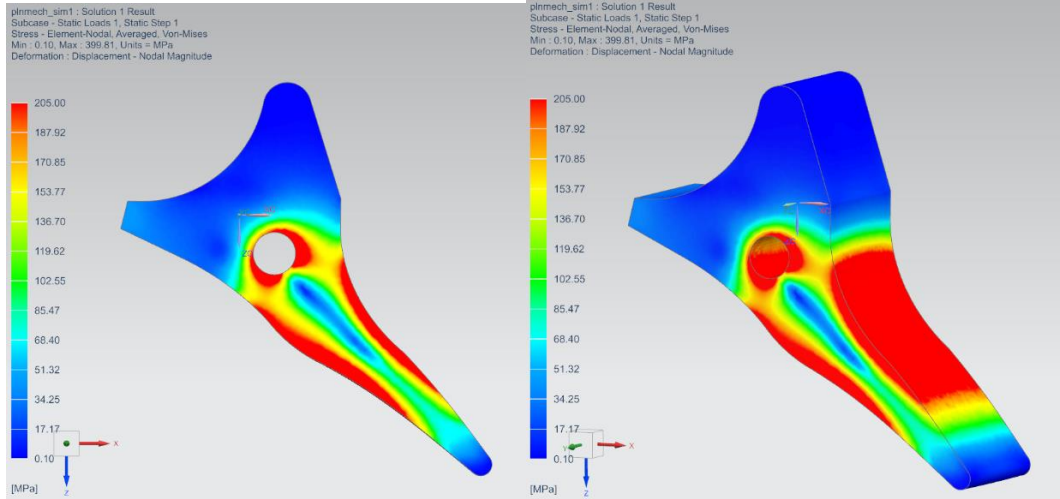
Stres analizleri modellenirken deneysel çalışma verileri ile nümerik veriler karşılaştırılmakta ve bu karşılaştırmadan elde sonuçlar ile ortalama stres değerleri bulunmaktadır. (Yetmez, t.y.) Kullanılmakta olan analiz programları da benzer şekilde elde edilmiş olan verilerden oluşan geniş bir kütüphane ile her bir malzeme için belirli yükler altında davranışlarını modelleyen algoritmalar barındırmaktadır. Bu algoritmalar ile parçaların geometrik şekillerine göre oluşan yüzeyler ve düzlemlerde bir çeşit yük hesabı yapılarak, parçanın gerçek yüklenmede nasıl davranacağı yaklaşık değerlendirme ile kullanıcıya gösterilmektedir.

Analiz programları temel olarak nümerik analiz yoluyla çözümleme için kullanılmakta olup bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde sonlu elemanlar metodu olarak Von-Mises kullanılmıştır. NX NASTRAN programına alınan parça üzerine mesh atılarak yük dağılımlarının hesaplanması için kafesler oluşturulmuştur. Bu işlem sonrası çelik ana malzeme seçilen parça üzerinde temel yükler ile analiz çalıştırılmıştır. Doğru mesh sayısı analizin gerçeğe yakın sonuç vermesini sağlamaktadır. Bu nedenle atılan mesh sayısı sürekli arttırılarak analiz tekrarlanmış ve sayıdan bağımsız olarak aynı sonucun alındığı modele ulaşılmıştır.



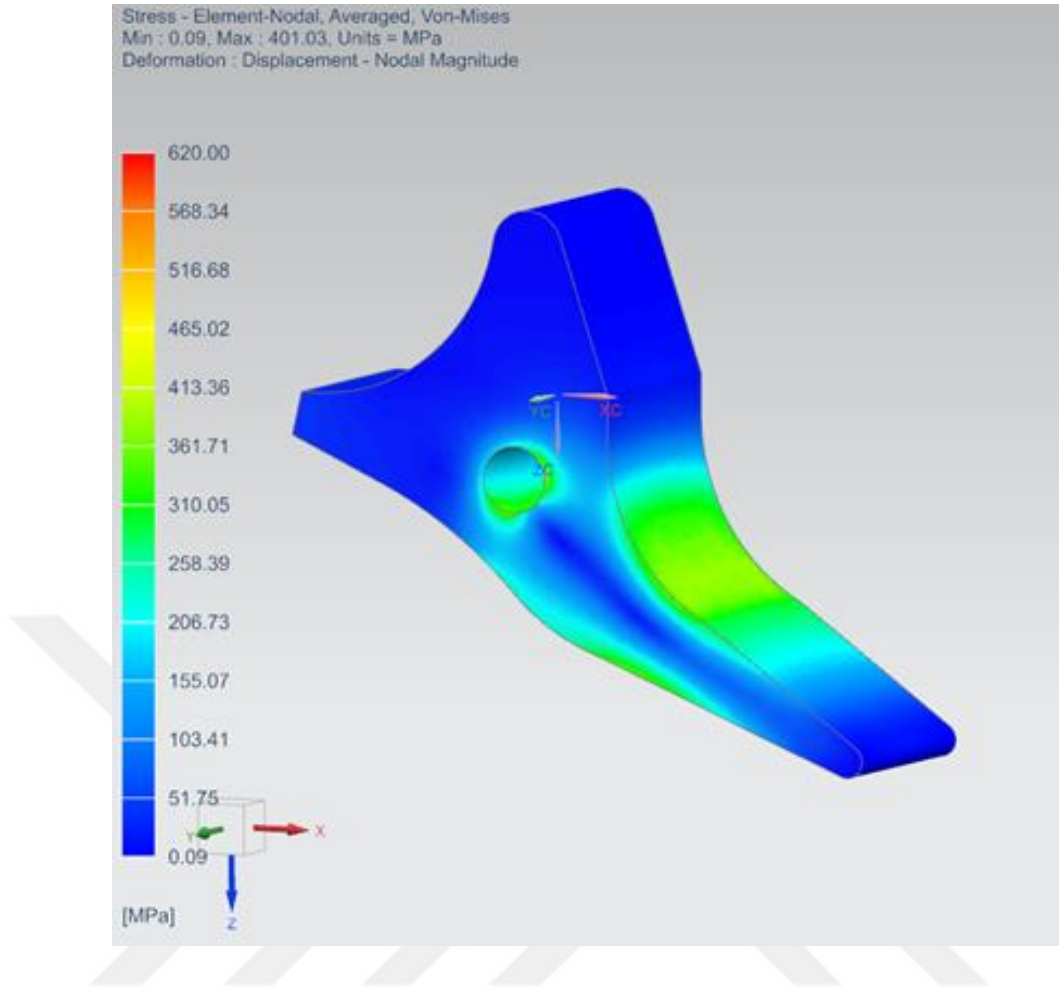
Şekil 5. 1: Kilit Mekanizması Analiz Mesh Yapısı.

Geometrik tasarımı tamamlanmış olan parçaya aday çelikler için mekanik özellik tablosuna göre (Tablo 4.1) dayanım kriterleri atanmıştır. Yapısal analizlerin gerçekleştirilmiş olduğu NX NASTRAN programı içinde bulunan kütüphaneye esneklik, sertlik, ısıl iletkenlik ve genleşme gibi tüm özellikler manuel olarak eklenmiştir. Analizlerin gerçekleştirilmesi için gerçek yükler olan 2500 N ve 5000 N yerine, güvenlik katsayısı eklenmiş yükler kullanılmıştır. Havacılık parçalarında genellikle güvenlik katsayıları 1,5 olarak alınsa da malzemenin çalışma koşulları, malzeme güvenliği, olası yapısal hatalar ve beklenmedik durumlar göz önüne alınarak bu katsayının 3 alındığı birçok yapısal eleman bulunmaktadır. Çalışma konusu askı ekipmanı kilit ana parçası hem yapısal hem de kritik parça sınıfındadır. Çevresel koşullar, uçaktan ve silahtan gelen titreşimler, atış anı yüklemeleri gibi değişken yükler altında 6000 çevrim çalışma belirlenmiştir. Parçanın toplam ağırlık hedefi 1650 gr şeklindedir. Tasarımı sonlandırılan modelde yapılan geometrik optimizasyonla belirlenen ağırlık yaklaşık 950 g olmaktadır. Bu koşullarda dayanım açısından en kritik etken malzeme olacaktır. Seçilen malzemenin belirlenen şartlarda ve ömür isterlerine uygun çalışabilmesi için emniyet katsayısı 5 olarak belirlenmiş ve parça üzerine etki eden kuvvetler 12,5 kN ve 25 kN olarak uygulanmıştır.



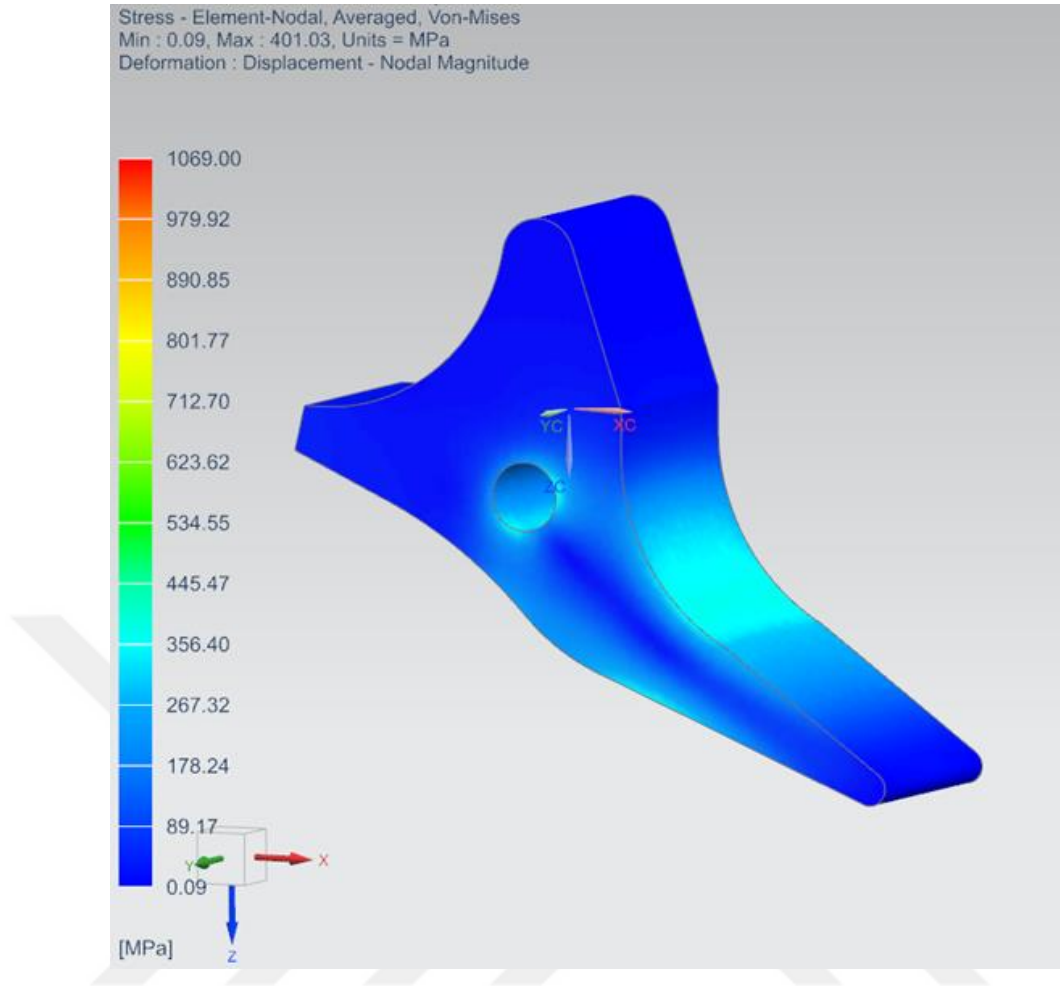
Şekil 5. 2: AISI 304 ve AISI 316 Malzeme için Analiz Sonuçları.

AISI 304 ve AISI 316 çelikler dayanım özellikleri bakımından aynı olup, korozyon özelliklerinde farklılık göstermektedir. L serisi olan çeliklerde dayanımların daha düşük olması nedeni ile önce 304 çelik üzerinde analiz yapılmıştır. Akma dayanımı Tablo 4.1 uyarınca 205 MPa olarak atanmıştır. Şekil 5.2’de görüldüğü üzere program tarafından analiz sonucu kırmızı renk ile gösterilen bölgelerde oluşan kuvvetler akma sınırını geçmiştir. Bu şekilde alınan sonuçlarda, belirtilen bölgelerde plastik deformasyon oluşması kaçınılmazdır. Bu nedenle AISI 304 ve AISI 316 kalite paslanmaz çeliklerin tasarım malzemesi olarak düşünülmesi mümkün olmamaktadır. L kalite çeliklerin akma dayanımlarının 170 MPa olması dolayısıyla mevcut analizde turuncu olan tüm bölgelerde de plastik deformasyon görüleceği için analiz yapılmasına gerek duyulmadan seçenekler arasından elenmiştir.



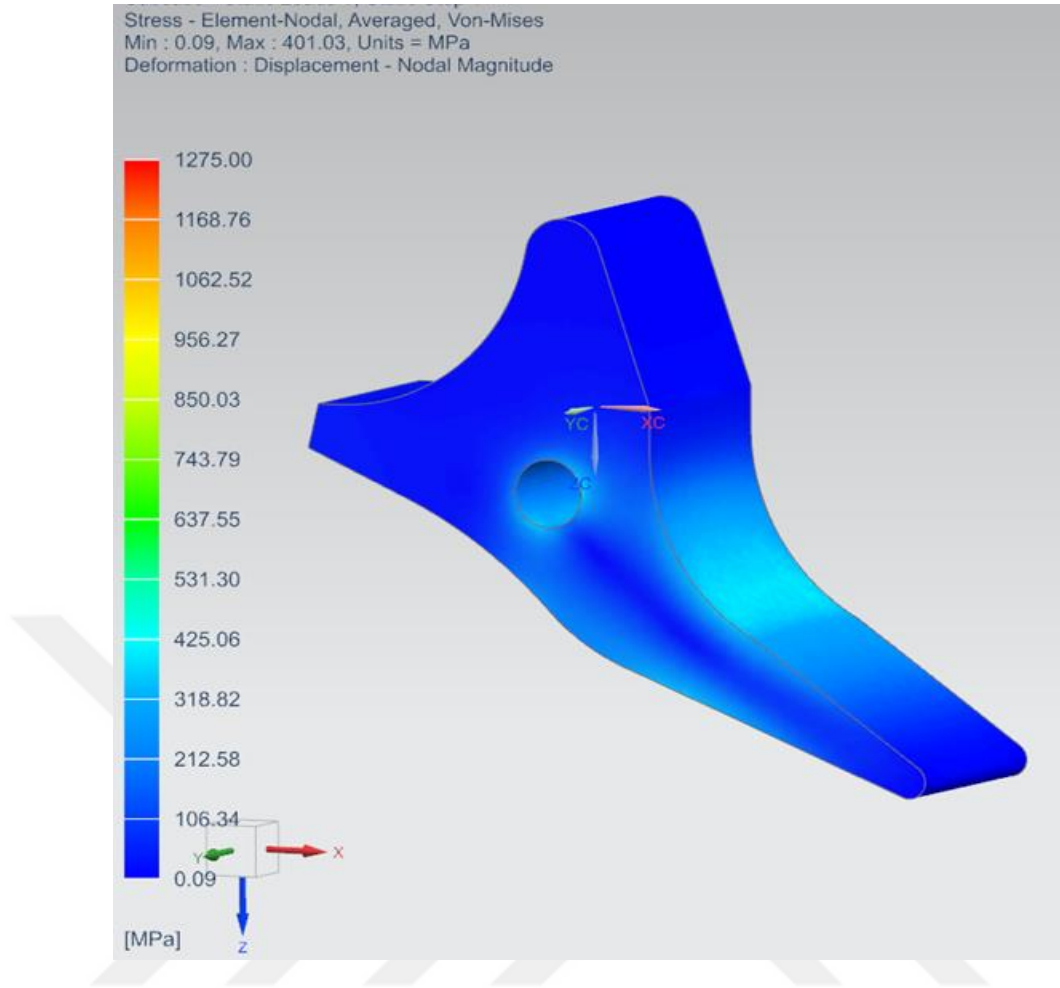
Şekil 5. 3: SAF 2205 Malzeme için Analiz Sonuçları

Analizin kontrolü için aday olarak belirlenen malzemeden farklı olarak program kütüphanesinden akma dayanımı 620 MPa olan SAF 2205 paslanmaz çelik seçilerek analiz tekrarlanmıştır. Alınan analiz ile bölgesel yük dağılımı ve kuvvetler kontrol edilmiştir. Analiz görseline göre 600 MPa seviyelerinde akma dayanımına sahip malzeme kullanılması halinde sarı ile gösterilen bölgeler yorulma kırılmalarına sebebiyet verebilecek bölgeler olacaktır. Bu bölgelerde moment etkileri yoğun olarak gözlenmektedir. Ayrıca bu analiz sayesinde oluşan en büyük gerilmelerin yaklaşık olarak 400MPa-450 MPa aralığında olacağı belirlenmiştir.



Şekil 5. 4: 17-4 Ph Malzeme için Analizi.

Akma dayanımı Tablo 4.1 uyarınca 1069 MPa olarak atanmış olan 17-4 Ph paslanmaz çelik malzeme için yapılan analizde emniyet katsayısı 5 alınmış olmasını da göz önünde bulundurarak güvenli bir şekilde çalışacak parça elde edilebileceği görülmektedir. Akma sınırına hiç yaklaşmayan malzeme üzerinde sarı ile gösterilen ve genellikle yorulma etkileri oluşturan bölge bulunmamaktadır.



Şekil 5. 5: 15-5 Ph Malzeme için Analizi.

15-5 Ph paslanmaz çelik malzeme ile yapılmış olan analizde akma sınırı Tablo 4.1 uyarınca 1275 MPa olarak belirlenmiştir. Bu malzemenin iç yapı özellikleri sayesinde farklı yönlerde daha iyi yük taşıdığı bilinmektedir. Bu nedenle momente maruz kalan bölgelerde daha başarılı sonuçlar vermiş olması beklenen bir durumdur.

5.2 Malzemenin Üretilbilirlik Açısından Değerlendirilmesi

Östenitik paslanmaz çeliklerde işlenebilirliğin oldukça yüksek olduğu yapılan araştırmalardan bilinmektedir. AISI 316 grubu çeliklerin AISI 304 grubu çeliklere göre işlenebilirlik açısından daha zorlayıcı olduğu bilinmektedir. (Özbek vd. 2015) Buna rağmen doğru takım ve işleme parametreleri ile işleme yapıldığında oldukça düşük toleranslarda doğru parça elde etmek mümkündür. (Gürbüz, Şeker, ve Kafkas 2020, 316; Altinkaya ve Güllü 2008) 17-4 Ph ve 15-5 Ph kalite paslanmaz çeliklerde ise işlenebilirlik özellikleri yapılan ısıt işlemler neticesinde değişkenlik göstermektedir. İşleme yapılacak olan malzemenin doğru tanımlaması ile belirlenen

işleme parametreleri sayesinde doğru parça elde edilebilmektedir. (Yaşar, Uzun, ve Korkut 2019)

Tablo 5. 1: Malzeme Seçimi için Eniyileme Tablosu.

Malzeme	UNS No	Akma Mukavemeti min. (MPa)	Sertlik Brinell maks (HRB)	İşlenebilirlik Seviyesi (0-5)	Karar Sayısı
304	S30400	205	201	4	4,079602
316	S31600	205	217	4	3,7788018
17-4 Ph (H900)	S17400	1069	388	3	8,2654639
15-5 Ph (H900)	S15500	1275	388	3	9,8582474

Malzeme seçimini eniyileme metodu ile belirleyebilmek için Tablo 4.1’de bulunan akma mukavemeti ve sertlik değerleri alınmıştır. Excel Solver üzerinden oluşturulan modelin sonuçlarının izlenmesi için analiz sırasında belirlenmiş olan güvenlik katsayısına göre kullanılmaması gereken malzemeler de tabloya aktarılmış ve görselleştirilmiştir. İşlenebilirlik seviyesi çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelere göre atanmıştır. Tüm aday malzemeler için doğru parametreler belirlendiği takdirde işlenebilirliğin mümkün olduğu bilinmektedir. Ancak 17-4 Ph ve 15-5 Ph malzemelerde sertliğin artması ile takım seçimi ve parametre hesaplarında daha titiz davranılması gerekliliği bulunmaktadır. Bu nedenle seviye belirlenirken AISI 304 ve AISI 316 kalite malzemeler için seviye numarası 4 verilirken diğerleri için 3 verilmiştir. Karar sayısı belirlenirken oluşturulan fonksiyon aşağıda verilmiştir;

$$Karar Sayısı = \frac{Akma\ Mukavemeti * İşlenebilirlik\ Seviyesi}{Sertlik} \quad (5.1)$$

Karar Sayısı için fonksiyon oluşturulurken akma mukavemeti ve işlenebilirlik seviyesi kriterlerinin yüksek olması pozitif etkisi, işlemeyi zorlaştırması açısından değerlendirilen sertlik değerinin negatif etkisi düşünülmüştür. Maliyet etkin bir üretimin yapılması göz önünde bulundurulduğunda ilk prototiplerde mümkün olduğunca isterleri karşılayacak ve üretimi gerçekleştirilebilecek bir parça tasarlamak esastır. Elde edilen sayılar içinde en büyük değere sahip olan 15-5 Ph kalite çeliğin seçilmesi uygun olacaktır.

5.3 İmalat Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Tasarım aşamasında her mekanik parça için imal edilebilirliği göz önünde bulundurulmalıdır. Aynı parçanın farklı yerlerde aynı doğrulukta üretilebilmesi için geometrik toleranslar kullanılmaktadır. Geometrik tolerans bir parçanın sadece boyutlarını göstermek yerine diklik, paralellik, salgı vb. özelliklerinin de belirtilmesini sağlamaktadır. Bu sayede tasarım, üretim ve kalite kontrol birimleri arasında firma fark etmeksizin her değer aynı şekilde okunur ve doğru parça elde edilmesi garantilenmiş olur.

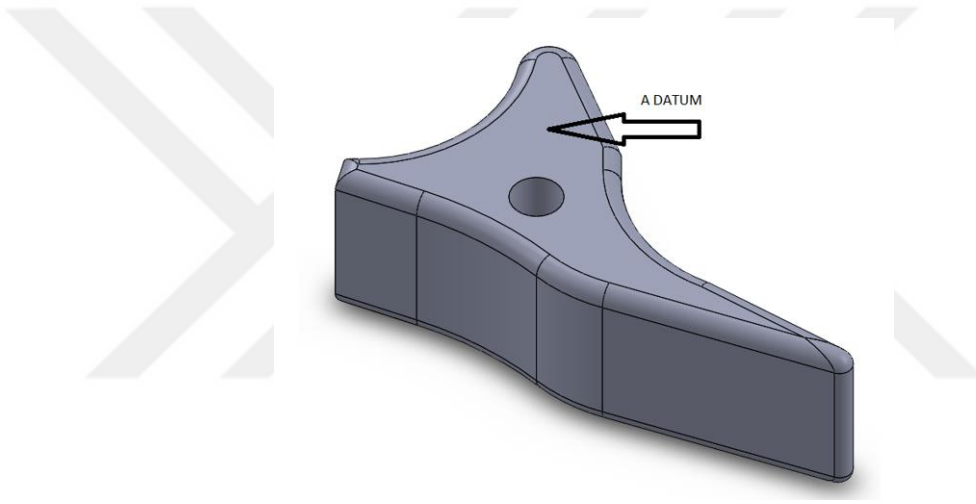
Çelik malzemelerden parça üretiminde talaşlı imalat, döküm ve dövme gibi pek çok yöntem kullanılabilmektedir. Bir tasarım parçasının imalat yöntemi belirlenirken hem son ürünün kullanım koşullarına cevap vermesi hem de doğru ürün elde edilebilmesi eşit derece önem arz etmektedir. Çalışma konusu kilit ana parçası geometrik şekil bakımından pek çok yöntemle elde edilebilecek bir parça olup imalat yöntemleri değerlendirilirken ölçü toleransları ve maliyet etkin üretim öncelik olarak düşünülmüştür.

Kilit parçası dayanım isterleri bakımından malzeme boşlukları ve düzensiz çekirdek yapıları gibi oluşumların izin verilemeyeceği kritik bir parçadır. Geometrik toleransları bakımından ise dövme ya da döküm yöntemleri ile üretilmesi durumunda yarı mamul olarak ürün alınıp, talaşlı imalat ile son hale getirilmesi gerekmektedir. Döküm yöntemlerinde malzeme iç yapısı nedeni ile hassas döküm yöntemleri ve ısıtma işlemi proseleri kullanılması gerekecektir. Dövme işleminde ise son proses olan talaşlı imalat önce yüzey hazırlığı ve ısıtma işlemi gerektirecektir. Seri imalat aşamasında parça adetleri düşüktür. Bu nedenle kalıp maliyetleri parça üretim toplam maliyetlerini oldukça yükseltecektir. Tüm bu koşullar göz önüne alındığında parçaların doğrudan talaşlı imalat ile üretilmesi, hem doğru parça üretim sayısının maksimumda tutulması hem de diğer seçeneklere göre düşük maliyetli olması nedeni ile uygun olacaktır.

15-5 Ph paslanmaz çelikler piyasada dolu çap malzeme ve plaka olarak bulunabilmektedir. Askı ekipmanı kilit parçasının et kalınlığı 40 mm'dir. Bu ölçü düşünülerek parçanın plaka şeklinde dolu bir hammaddeden talaşlı imalat ile üretilmesi uygun olacaktır. Bir parçanın ölçüleri üretim sonrası hiçbir zaman teknik resim ya da 3 boyutlu modelde tam verilen değerde çıkmamaktadır. Takım salgıları, tezgah aynalarında bulunan salgılar, sıfırlama yapılan bölge gibi pek çok etken üretim sonucu ortaya çıkan ölçüleri etkilemektedir. Aynı şekilde bir parçanın tam boyunda yapılabilecek hata oranını gösteren tolerans ile parça üzerinde bulunan herhangi iki

nokta arasında bulunan mesafede yapılabilecek olan hata oranını gösteren tolerans birbirinden farklı olabilmektedir. Bunun bir sonucu olarak tam boyda doğru işlenmiş olan bir parça delik konumları nedeni ile hatalı olabilmektedir.

Parçalarda geometrik toleransları belirlerken en önemli nokta datum seçimidir. Datuamlar parçanın sıfır noktası olarak tanımlanırsa A datumu verilen yüzey ya da köşeye göre tüm ölçüler verilebilmektedir. Bu kapsamda datuamlar parçanın doğru olacağı düşünülen bir yüzeyine atılırsa hem işleme hem de ölçüm süreçleri daha doğru ve kolay bir hale gelmektedir. Askı ekipmanı kilit parçasında birbirine paralel iki yüzey bulunmaktadır. Hammaddeden işlenecek parça düşünüldüğünde bu yüzeylerden birine A datumu atamak uygun olacaktır.



Şekil 5. 6: İşleme Başlangıç Yüzeyinin Tasarım Aşamasında Belirlenmesi.

Dikdörtgen şeklinde kesilerek tezgaha bağlanan parça malzemesinin bir yüzeyinden tezgah tablasına paralel olarak freze ile talaş kaldırıldığında düz bir yüzey oluşturulmaktadır. Parçanın işlenen yüzeyi A datumu kabul edildiğinde işlenecek tüm yüzeylerde doğru toleransları yakalamak mümkün olacaktır.

Kilit parçasında bulunan delik, parçanın ekipman dış kutusuna bağlanmasını ve askıya alınmasına sağlayan pime denk gelmekte olup, konumu parçanın doğru çalışması ve mekanizmanın diğer elemanları ile tam temasın sağlanması açısından önemlidir. Bu öneme karşılık parça geometrisinin işleme açısından zorlayıcı olacağı düşünülerek parçanın oturma yüzeylerinde uzatmalar yapılmıştır. Bu sayede delik merkezinden dış yüzeylere olan uzaklıklarda toleranslar geniş tutulmuş ve + yöne verilmiştir. + yöne verilen toleranslar verildiği yönde parçanın boyunun tolerans dahilinde daha uzun işlenebileceğini belirtmektedir.

A datumu oluşturulan parça bu datumdan tablaya bir fikstür ile yükseltilerek bağlandığında dikey 5 eksen CNC merkezi ile rahatlıkla işlenebileceği düşünülmektedir. Parça keskin köşelerinde verilen radyuslar bir ölçü kıstası değildir. Tüm keskin köşelerin tesviye işlemine tabi tutulması talep edildiği için görsele eklenmiştir.

Dikey işleme merkezleri olarak bilinmekte olan 5 eksen tezgahların freze versiyonunun ülkemizde kullanımı oldukça yaygındır. Ancak parçanın üretime alınabilmesi için sadece işleme yapmak yeterli olamamaktadır. Üretim hatlarının çıkartacağı ürünlerin kalitelerini belirleyen standartlar arasında ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi en çok bilinen ve en yaygın kullanılan sistemdir. Havacılık ekipmanlarında ise birçok parça ve ekipman ISO 9001 standartlarında üretime uygun değildir. Bunu yerine çok daha geniş kapsamlı olan AS 9100 Kalite Yönetim Sistemi uygulamaları gerekmektedir. AS 9100 Kalite Yönetim Sistemi, ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi'nin havacılık gereksinimlerine göre detaylandırılmış bir versiyonu olarak düşünülebilir. Bu sistemde parçanın işleneceği hammaddenin kalite uygunluk ve test sertifikaları, işleme parametreleri, tezgah bilgileri, CNC işleme program kodları, detaylı iş emirleri, ölçüm raporları ve yetkili operatör bilgileri kayıt altına alınarak parça serileri her bir parça numarası için ayrı takip edilmektedir. Bu sayede karşılaşılan bir hata sonucunda hatanın kaynağı daha doğru tespit edilebilmekte ve uygunsuz durumlar düzeltilebilmektedir.

Askı ekipmanı kilit parçası görevi nedeni ile kritik parça statüsünde olup, AS 9100 Kalite Yönetim Sistemi kurallarına uygun bir şekilde üretilmesi gereken parçalardandır. Bu sertifikanın firmalara getirdiği mali yükler nedeni ile özellikle havacılık parçaları üreten firmalarda kullanımı daha yaygındır. Sertifikasyon süreci, bu prosesin firmaya uyarlanması ve getirdiği personel yükü nedeni ile maliyetler artmaktadır. Bu maliyetler ise parçaların üretimine doğrudan yansımaktadır.

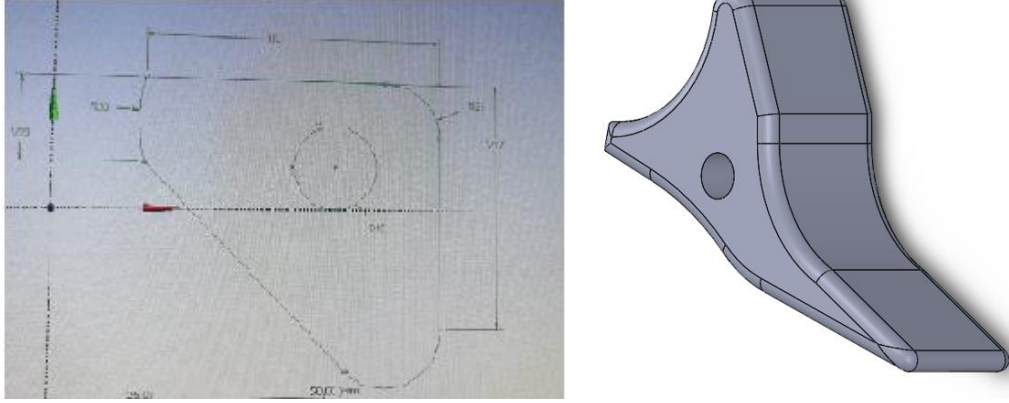
Çalışma konusu askı ekipmanı kilit mekanizmasının kritik parça olması nedeni ile getirdiği bu sorumlulukların maliyetine yansımaları kaçınılmazdır. Bu nedenle tasarım aşamasında maliyet etkin üretilmesi ve doğru ürün elde edilmesi amaçlanarak çalışılmıştır.

5.4 Kilit Mekanizması Tasarımının Malzeme, Kaplama ve Üretilirlik Açısından Değerlendirilmesi ve Tartışma

Askı ekipmanı kilit mekanizması füze dikey atış lançeri için tasarlanmıştır. Tasarım kapsamında lançerin ekipman özellikleri, taşıma ve bırakmanın yapılacağı silah, silahın uçaktan güvenli ayrılması için gerekli olan kuvvetler ve ekipmanın kullanım ömrü incelenmiştir.

Füze dikey atış lançerleri örnekleri incelenerek, kullanımda olan lançerlerin atış anı güçleri, ekipman yapısı, silah ara yüzleri ve bu ara yüzlerde olan etkileşimler değerlendirilmiş, tasarım kriterlerinde istenen özellikler ile birleştirilerek tasarım yapısı oluşturulmuştur. Bu yapı içinde bulunan kilit mekanizmasının görevleri ve kullanım koşulları detaylandırılmıştır.

Ön tasarım modeli oluşturan parçanın, taşıyacağı yaklaşık yükler ve kullanımda bulunan örnek mekanizmaların incelenmesi sonucu çelik hammaddeden üretilmesi gerekliliği belirlenmiştir. Askeri standartlar uyarınca askı ekipmanlarının belirlenmiş tasarım yöntemleri araştırılarak silah ekipman arasında güvenli ayrılma için standartlaştırılmış ivme ve kuvvet değerleri alınarak askı kancaları üzerinden kilide yansıyan kuvvet değerlendirilmiştir. Kilit parçasının etkileneceği en büyük kuvvetlerin atış anında olduğu değerlendirilmiş ve parça üzerine aynı anda yansıyan yüklerin büyüklükleri 2500 N ve 5000 N olarak belirlenmiştir. Kullanılmakta olan tasarım programında parça üzerine çelik hammaddesi atanarak geometrik tasarım olgunlaştırılmıştır. Çelik genel dayanım özellikleri ile mekanizma üzerinde uygun çalıştığı görülen kilit parçası için isteleri karşılayan nitelikte malzemenin seçilmesi aşaması geçilmiştir.



Şekil 5. 7: Ön Tasarım Modeli ve Bitmiş Tasarım Modeli.

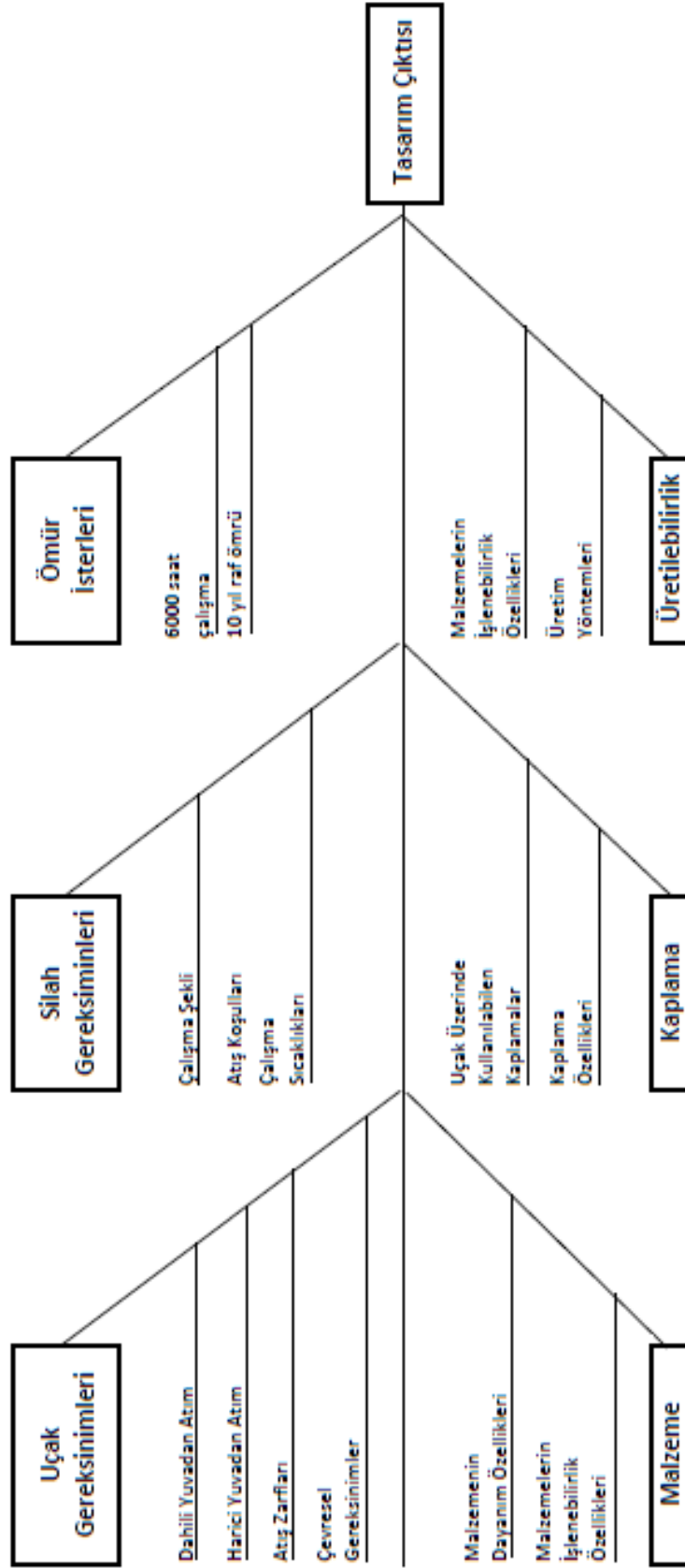
Kilit mekanizması özelinde yapılan malzeme seçiminde öncelikle aday malzemeler belirlenmiştir. Bu malzemeler ekipman ve uçak isterlerinden gelmekte olan manyetik ve elektriksel gereksinimler, ekipmanın diğer parçalarına ait malzemeler ile çalışma uyumu, yapısal dayanımları, çevresel koşul dayanımları ve işlenebilirlik özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırma ve analizler içinde özelliklere uygun olan 17-4 Ph ve 15-5 Ph kalitelerde paslanmaz çelik tespit edilmiştir.

NX NASTRAN programı ile yapılan analizlerde parçanın davranışları gözlenmiştir. Hareket halinde parça üzerine yansıyan yükler emniyet katsayıları ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelenerek yük detayları ve gerilimler tespit edilmiş, bu değerlere uygun dayanımlar elde edilmesi adına aday malzemeler değerlendirilmiştir.

Parçanın üretilebilmesi için malzemelerin işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir. İmalat yöntemleri, parçanın geometrik toleransları bakımından doğru ürün elde edilebilmesi, yapılacak işlemler ve maliyetler açısından incelenmiştir. İnceleme sonucu üretim yöntemi talaşlı imalat olarak değerlendirilmektedir. Döküm ve dövme gibi imalat yöntemlerinin getirdiği kalıp maliyetleri haricinde, imalat proseslerinin takibi de kalite isterleri bakımından gereklidir. Bu gereklilik sonucu hammadde, yarı mamul ve parça üzerinde yapılması gereken tüm işlemlerin denetimi ve kayıt altına alınması kendi içinde farklı riskler barındırmaktadır. Parçanın üretiminde geometrik şekil ve çalışma koşulları bakımından son üretim prosesinin talaşlı imalat olması gerektiği değerlendirilmiştir. Bu noktada riskleri azaltmak ve doğru üretilen parça sayısını arttırmak amaçlı üretim yönteminin talaşlı imalat olması gerektiği düşünülmektedir. Bu imalat yönteminde tezgah seçimi, takım seçimi ve işleme

parametrelerinin doğru belirlenmesi ile tasarım kriterlerini yerine getirecek nitelikte parça üretiminin mümkün olduğu belirlenmiştir.

Elde edilecek parçanın ömür isterlerinin karşılanması, uçak gereksinimlerine uygun olması ve parçanın korunması için uygulanabilecek kaplamalar değerlendirilmiştir. Uçak ve ekipman isterleri üzerinden yapılan incelemelerde kaplamanın etki edeceği tüm faktörler göz önüne alınmıştır. Malzeme seçimi aşamasında kriterlere uygun görünen parçaların kaplama sonrası aynı kriterleri karşılamayacak fiziksel özelliklere erişmesi değerlendirilmiştir. Kaplama prosesinin gerekliliği ve uygulanabilecek kaplama türleri belirlenmiştir. Parça tasarımında ele alınan konuların bir bütün olarak görülmesi ve nihai üründe elde edilecek sonuçların ele alınması ile doğru ürüne ulaşılacağı değerlendirilmiştir. Tasarım aşamalarında kullanılan girdiler Şekil 5.8’de model halinde sunulmaktadır.



Şekil 5. 8: Tasarım Girdileri Modellemesi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmada askı ekipmanı kilit mekanizması tasarım süreci gerçekleştirilmiştir. Tasarımın gerçekleştirilebilmesi için göz önüne alınması gereken konular içinde çalışma koşulları, uçak isterleri ve ömür gereklilikleri değerlendirilmiştir. Geometrik olarak kilit parçası tasarlanmış olup bu parça için malzeme seçimi, üretilebilirlik ve kaplama değerlendirilmiştir. Tasarım aşamalarında elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır;

- Askı ekipmanlarının genel tasarım kriterlerinde yük hesaplamaları yapılırken askeri standartlardan yararlanılarak ekipman tipi ve atış yapılacak silaha göre ayrılma yüklerinin seçilebileceği ve mekanizma tasarımında en büyük yüklerin buradan yola çıkarak hesaplanabileceği tespit edilmiştir.
- Parça geometrik tasarım sürecinde mekanizmanın bir bütün olarak çalışması için ön modelleme ve tasarım geliştirme aşamalarında malzeme tipinin seçilmesinin tasarımın sonuçlanması bakımından büyük önem arz ettiği görülmüştür.
- Tasarımın geliştirilmesi aşamasında kilit parçası için hafifletme çalışmalarının taşınan yüklerden çok ömür üzerine etki edebileceği düşünülerek korozyon yüzeylerinin azaltılması adına dönme eksen pimi deliği haricinde parçada boşaltma yapılmadan tasarıma devam edilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.
- Malzeme seçimi sırasında parça ömür isterleri, işlenebilirlik kabiliyetleri ve parça üretiminin maliyet etkin bir şekilde sürdürülebilirliği değerlendirilmiştir. Aday malzeme olarak AISI 304, AISI 316, 17-4 Ph ve 15-5 Ph kalite paslanmaz çelik malzemeler seçilmiştir.
- 17-4 Ph ve 15-5 Ph kalite malzemelerin dayanım özelliklerinin parça için yeterli olduğu analizler sonucu görülmüştür. Paslanmaz çelik malzemelerin üretiminde alaşıma eklenen metallerin elde edilen malzeme üzerine etkileri değerlendirilmiş hem mekanik hem de korozyon dayanım özellikleri diğer aday malzemelerden daha iyi olduğu için 15-5 Ph kalite paslanmaz çelik seçimi ile parçanın daha uzun süre bozulmadan çalışabileceği tespit edilmiştir.

- Parça üretimi için imalat yöntemleri değerlendirilmiş ve doğru ürünün maliyet etkin bir şekilde üretilmesi için talaşlı imalat yönteminin uygun olduğu tespit edilmiştir.
- Aday malzemeler için işlenebilirlik özellikleri değerlendirilmiştir. İşlenebilirlik kabiliyetinin tezgah, takım ve kesme parametreleri seçimi ile doğrudan ilgili olduğu görülmüştür.
- Parça üzerine yapılabilecek kaplama türleri değerlendirilmiştir. Dayanımı arttıracak olan nikel kaplamaların elektrik iletim kabiliyeti nedeni ile uçak gereksinimlerinden gelen manyetik alan oluşumları koşullarını bozabileceği değerlendirilmiştir. Parça temizliği ve talaşlı imalat sırasında oluşabilecek yüzey gerilmelerinin giderilmesi amaçlı parça üzerinde pasivasyon prosesi yapılabileceği değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen veri ve deneyimlere göre şu öneriler yapılabilir;

- Hava araçları askı ekipmanları kilit mekanizması tasarımlarında askeri standartlardan elde edilen ara yüz yük ve ivme verileri kullanılarak yük hesapları yapılabilir.
- Kilit ana parçası tasarım optimizasyonunda iç boşaltma yapılmadan parça geometrisi değiştirilerek geliştirme yapıldığında korozyon dayanımı ve ömür isteklerini karşılama açısından daha iyi sonuçlar elde edilebilir.
- Malzeme seçimi sırasında benzer ekipmanlar ve mekanizmanın birlikte çalışacağı diğer elemanlar incelenerek malzemenin ana grubunun belirlenmesi ve bunun üzerine tasarımın devam etmesi kolaylık sağlayabilir.
- Aday malzemeler belirlenirken tasarlanan mekanizmanın gereksinimleri göz önünde bulundurularak aday malzeme sayısı düşürülebilir ve böylece analiz süreleri dahil pek çok süreç kısaltılarak tasarımın daha doğru ve hızlı ilerlemesi sağlanabilir.
- İşlenebilirlik özellikleri seçilen malzeme üzerinde uygulanan imalat yöntemleri ve bu yöntemlerde kullanılacak parametrelerin iyi seçilmesi ile arttırılabilir.
- İmalat yöntemi belirlenirken, araştırılan yöntemlerin gereklilikleri değerlendirilerek maliyet etkin üretim koşulları tasarım aşamasında belirlenebilir.

- Kaplama seçimi yapılırken istenilen fiziksel özelliklerin yanı sıra parçanın kullanım yeri göz önüne alındığında daha uygun seçimler yapılabilir.
- Aşınma dayanımı gözetilen parça tasarımlarında Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) yöntemi ile kaplanması değerlendirilebilir.
- Teknoloji ve uygulama geliştirmeleri ile dayanım değerleri yükseltilmekte olan toz metalürjisi, uygun olan parçalar için üretim yöntemi olarak değerlendirilebilir.



KAYNAKÇA

- “630 (1.4542) PH 17-4 Paslanmaz Çelik”. 2022. 2022. <https://bircelik.com/tr/kategori/630-1-4542->.
- “AGM-154 Joint Standoff Weapon | Military.com”. 2022. 2022. <https://www.military.com/equipment/agm-154-joint-standoff-weapon>.
- “Aircraft Missiles – Far-Reaching Advances”. 2020. *Air Power Asia* (blog). 12 Mayıs 2020. <https://airpowerasia.com/2020/05/12/aircraft-missiles-far-reaching-advances/>.
- “Akıllı bombaların muharebe alanına çıkışı”. 2020. 22 Mayıs 2020. <https://www.savunmasanayist.com/akilli-bombalarin-muharebe-alanina-cikisi/>.
- “Alkan Fr”. 2022. alkan. 2022. <http://www.alkan.fr/alkan.fr>.
- Alnajjar, Michella. 2020. “Corrosion properties of 17-4 PH martensitic stainless steel obtained by additive manufacturing”, 153.
- Altinkaya, Emre, ve Abdulkadir Güllü. 2008. “AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğin İşlenmesinde Kesme Hızının ve Takım Kaplamasının Takım Aşınmasına Etkileri”, 5.
- Altunkaynak, Bülent, ve Alptekin Es. 2004. “The Genetic Algorithm Method for Parameter Estimation in Nonlinear Regression”, 8.
- “AMRAAM Missile”. 2022. 2022. <http://www.raytheonmissilesanddefense.com/what-we-do/air-warfare/air-to-air-missiles/amraam-missile>.
- “ASM Handbook Volume 16: Machining - ASM International”. 2022. 2022. https://www.asminternational.org/search/-/journal_content/56/10192/06022G/PUBLICATION.
- “ASTM A240 Specification - Boltport Fasteners”. t.y. Erişim 11 Mayıs 2022. <https://boltport.com/specifications/astm-a240/>.
- Bahçeci, Ersin, ve Alpay Özer. 2013. “Tic Kaplamalı Takımla İşlenen AISI 303 ve AISI 410 Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirlik Özelliklerinin Değerlendirilmesi”. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 15 (43): 45-52.
- Baker, William, Scott Keen, ve Charles Morgret. 2004. “Validation of weapon separation predictions using F/A-22 flight test results”. İçinde *USAF Developmental Test and Evaluation Summit*, 6803.
- Bakircioğlu, Barış. 2013. “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği Üzerinde Farklı Kesici Kenar Formlarının Etkisinin Karşılaştırmalı Olarak Araştırılması”. 2013, 119.
- Bal, Melih Kaan. 2020. “Designing Universal Yoke Structure of Suspension and Release System with Topology Optimization for Fighter Aircrafts”. <http://openaccess.hacettepe.edu.tr:8080/xmlui/handle/11655/23172>.
- Carter, Ryan. 2012. “Store Separation Equations of Motion”. İçinde . <https://doi.org/10.2514/6.2012-4957>.
- Chen, S., J. Li, W. Zhang, X. Wang, ve X. Lu. 2014. “Transient dynamics analysis on working process of rocket lock mechanism”. *Nanjing Li Gong Daxue*

- Xuebao/Journal of Nanjing University of Science and Technology 38 (Ekim): 608-14.
- Cheng, Hong Jie, Yuan Zhao, Zhi Bo Qian, ve Jin Chun Zhan. 2011. "Research on the Load to Ground on Missile Erection and Launching". *Advanced Materials Research* 295-297: 663-67. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.295-297.663>.
- "Cobham Mission Systems, Weapons Carriage and Release, Air-to-Ground Bomb Racks". 2022. <https://www.cobhammissionsystems.com/weapons-carriage-and-release/air-to-ground-weapons-carriage-and-release-systems/air-to-ground-bomb-racks/>.
- Çiftçi, İbrahim. 2004. "AISI 304 ostenitik paslanmaz çeliğin kaplanmış sementit karbür kesici takımla işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması". *Technology* 7 (3-4): 489-95.
- Demirören, Hülya, ve Serkan Özel. 2021. "CoMoCrSi ile Kaplanmış Ferritik Paslanmaz Çeliğin Korozyon Davranışı". *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Ağustos. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.951272>.
- Fontana, Mars G., ve Roger W. Staehle. 2012. *Advances in Corrosion Science and Technology: Volume 1*. Springer Science & Business Media.
- "Göktuğ | Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü". 2022. <https://www.sage.tubitak.gov.tr/tr/urunler/goktug>.
- "GÖKTUĞ Hava-Hava Füze Sistemleri". 2019. *Millisavunma.com* (blog). 31 Aralık 2019. <https://www.millisavunma.com/goktug-hava-hava-fuze-sistemleri/>.
- Gürbüz, Hüseyin, Ulvi Şeker, ve Fırat Kafkas. 2020. "Effects of cutting tool forms on the surface integrity in turning of AISI 316L stainless steel". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 35 (1). <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.454386>.
- "Hassas Güdüm Kiti (HGK) | Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü". 2022. <https://www.sage.tubitak.gov.tr/tr/urunler/hassas-gudum-kiti-hgk>.
- Hetreed, Christopher, Matthew Carroll, Joe Collard, ve Richard Snyder. 2018. "F-35 Weapons Separation Test and Verification". *İçinde* . <https://doi.org/10.2514/6.2018-3680>.
- "HGK 82 ve L HGK 82 | ASELSAN". 2022. <https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/insansiz-sistemler/gudum-kontrol-sistemleri/hgk-82-ve-l-hgk-82>.
- "IIR Güdümlü LAÇİN Güdüm Kiti". 2021. <https://www.savunmasanayist.com/iir-gudumlu-lacin-gudum-kiti-envanter/>.
- "International Standard Atmosphere: How It Affects Flight – Understanding the Basics". 2014. Universal® Operational Insight Blog. 08 Eylül 2014. <https://www.universalweather.com/blog/international-standard-atmosphere-how-it-affects-flight-understanding-the-basics/>.
- "Kanatlı Güdüm Kiti (KGK) | Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü". 2022. <https://www.sage.tubitak.gov.tr/tr/urunler/kanatli-gudum-kiti-kgk>.
- Kaplan, Engin Metin, Erdem Acar, ve Mehmet Bülent Özer. 2021. "Jet uçağı ile taşınan bir faydalı yükün yapısal cevabının havacılık yapıları tasarımında kullanımı". *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Eylül. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.898550>.
- Kay, Steven D. 2012. Low force bomb rack release mechanism. United States US8127655B1, filed 11 Mart 2009, ve issued 06 Mart 2012. <https://patents.google.com/patent/US8127655B1/en>.

- Kopp, Carlo. 1994. "The Sidewinder Story; The Evolution of the AIM-9 Missile". *Australian Aviation* 1994 (April). <http://www.ausairpower.net/TE-Sidewinder-94.html>.
- Kozak, Mustafa Tugrul, Erdinc Nuri Yildiz, Yigit Yazicioglu, ve Ender Cigeroglu. 2014. "Effects of Aircraft Aeroelastic Deformations on External Store Separation Dynamics". İçinde . American Society of Mechanical Engineers Digital Collection. <https://doi.org/10.1115/IMECE2013-63772>.
- Kraft, Edward. 1994. "Combining ground test, computations, and flight test to improve aircraft/weapon integration". İçinde . <https://doi.org/10.2514/6.1994-2660>.
- "L3Harris™ Fast. Forward." 2022. 2022. <https://www.l3harris.com/>.
- "MIL-A-8591 H Airborne Stores Suspension Equipment Design". 1990. 1990. http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-A/MIL-A-8591H_10997/.
- "MIL-HDBK-1763 Aircraft/Stores Compatibility Systems Data". 1998. 1998. http://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-1500-1799/MIL_HDBK_1763_1775/.
- "MIL-STD-810 G Environmental Engineering Laboratory". 2008. 2008. http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810G_12306/.
- "MIL-STD-2088 B Design Criteria Bomb Rack Unit Aircraft". 2007. 2007. http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-2000-2999/MIL-STD-2088B_33182/.
- Milli Savunma,. 2016. "Aselsan LGK Lazer Gdm Kiti". *Millisavunma.com* (blog). 2016. <https://www.millisavunma.com/aselsan-lgk-lazer-gudum-kiti/>.
- "Missile, Air-to-Air, Sidewinder, AIM 9E". 2022. Smithsonian Institution. 2022. https://www.si.edu/object/missile-air-air-sidewinder-aim-9e%3Aanasm_A20030007000.
- O'Bannon, D. E. 1964. "MAU-12A/A Bomb Ejector Rack Stress Analysis". https://www.zhangqiaokeyan.com/ntis-science-report_other_thesis/020712010738.html.
- Osten, Ve, ve Saclarin Nokta Kaynakli. 2006. "İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü", 112.
- zbek, Nursel, Adem iek, Mahmut Glesin, ve Onur zbek. 2015. "AISI 304 ve AISI 316 stenitik Paslanmaz eliklerin İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi". *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, Kasım. <https://doi.org/10.31202/ecjse.67151>.
- zatalbaş, Yusuf. 2020. "eliklerin işlenebilirliği: kimyasal bileşim, mikroyapı, mekanik özellikler ve işlenebilirlik ilişkisi". *Politeknik Dergisi* 23 (2): 457-82. <https://doi.org/10.2339/politeknik.550000>.
- Özyüksel iftioğlu, Aybike, ve Erkan Doğan. 2017. "Güncel Optimizasyon Tekniklerinin Matematiksel Problemlerin zmndeki Performanslarının Kıyaslanması". *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Haziran. <https://doi.org/10.18466/cbayarfb.324006>.
- "Pneumatic Eject Missile Launchers | L3Harris™ Fast. Forward." 2022. 2022. <https://www.l3harris.com/all-capabilities/pneumatic-eject-missile-launchers>.
- "Pneumatic Single Carriage and Release Systems | L3Harris™ Fast. Forward." 2022. 2022. <https://www.l3harris.com/all-capabilities/pneumatic-single-carriage-and-release-systems>.

- Roketsan. 2022a. "Roketsan - LAÇİN GÜDÜM KİTİ ve LAÇİN POD (L-POD)". Roketsan. 2022. <https://www.roketsan.com.tr/urunler/lacin-gudum-kiti-ve-lacin-pod-l-pod>.
- . 2022b. "Roketsan - TEBER GÜDÜM KİTİ". Roketsan. 2022. <https://www.roketsan.com.tr/urunler/teber-gudum-kiti>.
- "Roketsan TEBER". 2022. 2022. <http://ssdergilik.com/tr/HaberDergilik/Milli-imkanlarla-gelistirilen-gudum-kiti-TEBER>.
- RUI, Xiaoting, G. Wang, J. Gu, Y. Zhao, ve C. Fu. 2016. "Study on System Design Method of Firing Precision for Multiple Rocket Launcher". *Journal of Mechanical Engineering* 52 (Nisan): 164-77. <https://doi.org/10.3901/JME.2016.07.164>.
- Schoppert, Tim C. 2002. "Dynamic Model of the Interface Reactions in an Aircraft Bomb Rack Due to an External Store". PhD, West Virginia University Libraries. <https://doi.org/10.33915/etd.2430>.
- Smith, Graham T. 1989. *Advanced Machining: The Handbook of Cutting Technology*. Kempston: Springer Verlag.
- Söderberg, Hans. 2011. Missile launching system, and a hanger member for suspending the missile in a launch rail. United States US7997180B2, filed 06 Mart 2009, ve issued 16 Ağustos 2011. <https://patents.google.com/patent/US7997180B2/en>.
- "Stainless Steel Grades". 2013. AZoM.Com. 07 Haziran 2013. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9134>.
- Swarnakari, Sindura, ve Raja Singh Thangadurai G. 2020. "Design and Structural Analysis of Fighter Aircraft's Bomb Release Mechanism Subjected to Aerodynamic and Inertial Loads Using FEA". *International Journal of Engineering & Technology* 9 (1): 92-103. <https://doi.org/10.14419/ijet.v9i1.29347>.
- Şimşek, Alaeddin. 2021. "AIM-120 AMRAAM". 12 Şubat 2021. <https://www.kokpitteyiz.com/aim-120-amraam/>.
- Şirin, Şule Yıldız. 2018. "The effect of hot dip galvanizing process on the fatigue properties of hot rolled and quenched-tempered AISI 4340 steel". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences* 24 (4): 626-34. <https://doi.org/10.5505/pajes.2017.30633>.
- Tehç, Turgay. 2011. "AISI 316 Serisi Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Parametrelerinin Nüfuziyete ve Mekanik Özelliklere Etkisi", 201.
- Tekaslan, Özgür, ve Nedim Gerger. 2009. "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Farklı Kesme Parametreleri ile Tornalama İşleminde Sonra Oluşan Kalıcı Gerilmelerin Araştırılması", sy 3: 10.
- Temiz, Vedat. 2022. "Makina Elemanlarının Sürekli Mukavemete Göre Hesabı", 45.
- Watson, LCDR Tom. 1998. "Distributed Simulation Testing for Weapons System Performance of the F/A-18 and AIM-120", 17.
- Yang, Yang, Ning Liu, Qilong Sun, Xiaoxue Wang, ve Juwei Chen. 2019. "The Optimization the Latching Mechanism Design Based on Progressive Damage Analysis". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 649 (Ekim): 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/649/1/012019>.
- Yaşar, Saltuk Alper, Gültekin Uzun, ve İhsan Korkut. 2019. "17-4 PH ve 15-5 PH Paslanmaz Çeliklerinin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Araştırılması", 11.
- Yetmez, Mehmet. t.y. "Stress Analysis of a Cracked Finite Strip with Rigid Ends", 10.