



Süleyman Demirel Üniversitesi

YEKARUM e-DERGI

(Journal of YEKARUM)



Cilt 9 , Sayı 2, 164-189, 2024
E - ISSN:1309-9388

Yeni Nesil Savaş Uçaklarında Silah Sistemi Tasarım Yaklaşım Yöntemleri

Gürel BUR¹, Mustafa İZGÜDEN^{2*}

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye,
(ORCID: 0009-0008-8087-4651), gurelbur@hotmail.com

^{2*} Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara,
Türkiye (ORCID: 0009-0004-0015-1519), izguden@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 12/09/2024 ve Kabul Tarihi 18/12/2024)

ÖZET:

Artan harekât ihtiyaçlarını karşılamak ve savaş ortamında hava üstünlüğü sağlamak için farklı kabiliyet ve özelliklere sahip savaş uçaklarının kullanımına ihtiyaç duyulmuştur. Teknolojik gelişmeler ve bu gelişmelerin hava araçlarına uygulanması ile farklı özelliklere sahip savaş uçakları tasarlanmaya başlanmıştır. Tasarlanan yeni nesil savaş uçaklarının operasyon gücünü arttırarak etkin hale getirmek ve modern savaş ortamlarına entegrasyonunu karşılamak için gelişmiş silah sistemleri ile donatmak silah sistemleri tasarımının kritik bir geliştirme ortamı olarak ortaya konmasına sebep olmuştur. Modern silah sistemlerinin kompleks yapısı nedeniyle silah sistemi tasarımı birçok farklı disiplini ve uzmanlık sahasını bünyesinde barındıran bir süreç haline gelmiştir. Bu çalışmada, yeni nesil savaş uçağına ait silah sistemlerinde bulunması gereken fonksiyonlar ve fonksiyonların etkin bir şekilde kullanılabilmesi için dikkate alınması gereken tasarım yaklaşım yöntemleri incelenmiş, gelecekteki savaş uçaklarının silah sistemi tasarımlarının şekillendirilmesine, gelişen tehditlere karşı uyarlanabilir olmasına ve hava üstünlüğü sağlamak için ihtiyaç olacak yeteneklerin belirlenmesine yönelik uygulanacak yaklaşımların önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Savaş Uçağı, Silah Sistemi, Tasarım Yaklaşımı

Weapon System Design Approach Methods in Next Generation Fighter Aircraft

ABSTRACT

In order to meet increasing operational needs and sustain air superiority in warfare environment, military is forced to utilize advanced fighter aircraft. With the technological developments and by the application of these developments to fighter aircraft design, new generations of fighters have been developed. Increased operational effectiveness of new generation fighter aircraft stems from being equipped with advanced weapon systems which has become a critical area of development. Weapon system design for advanced air vehicles involves a multidisciplinary process that relies on many different area of expertise. In this study, it is aimed to provide an insight into the design approaches to be considered to realize functions that are necessary to exist on the new

* Sorumlu yazar E-mail: izguden@hotmail.com

generation fighter aircraft weapon systems and emphasize the importance of design approaches for future aircraft weapon systems, ability to adapt everchanging threat environment and determining applicable capabilities to maintain air superiority.

Keywords: *Fighter Aircraft, Weapon System, Design Approach*

1. GİRİŞ

Askeri uçaklar, harp sahasında yer hedeflerini bombalamak, hava tehditlerini tahrip etmek, keşif gerçekleştirmek, personel ve teçhizat taşımak gibi rolleri yerine getirmek amacıyla kullanılmaktadır [1]. Askeri uçaklar arasında bir alt sınıf olan savaş uçakları ise kendi üzerlerinde taşımakta olduğu ekipman ve mühimmatları kullanarak düşman tehditlerini tespit edip, yok etmeye yönelik tasarlanmışlardır. Düşman unsurların tespit edilmesine yönelik savaş uçakları, elektro-optik, kızılötesi ve radar sistemleri gibi gelişmiş ekipmanlarla donatılmışlardır. Tespit edilmiş olan tehditleri etkisiz hale getirmek için askeri savaş uçakları görev ve tehdit tiplerine göre Hava-Yer mühimmatları, Hava-Hava mühimmatları ve Top Sistemi ile donatılmışlardır.

Gelişen teknoloji ve değişen harekât ihtiyaçları ile savaş uçaklarının üstlenmiş olduğu roller ve nesilleri değişmiştir. Birinci nesil sayılan ilk jet motorlu uçaklardan günümüzde halen geliştirme faaliyetleri devam etmekte olan beşinci nesil savaş uçaklarına geçiş yapılmıştır. Nesiller arası genel bir geçiş standardı açık bir şekilde tanımlanmıyor olsa da geliştirilen yeni bir teknolojinin mevcut uçaklara entegrasyonu ile bir üst nesile geçiş uçak üreten devletler ve firmalar tarafından kabul görmektedir [2]. Tablo1’de savaş uçaklarının gelişimine yönelik entegre edilmiş olan yeni teknolojiler genel olarak verilmiştir.

Tablo 1. Savaş Uçakları Nesil ve Özellikleri [2]

Savaş Uçağı Nesilleri	Periyot	Başlıca Özellikler
Birinci Nesil	1945 - 1955	Jet motorları ile ses altı hızda seyir Güdümsüz mühimmat taşıma Entegre makineli tüfek
İkinci Nesil	1955 - 1960	Ses hızını geçen sürat Güdümlü mühimmat kullanımı Radar kullanımı
Üçüncü Nesil	1960 - 1970	Manevra ve taarruz kabiliyetlerinde artış Analog göstergelerin kullanılması Radar görünürlüğünün azalması
Dördüncü Nesil	1970 - 1990	Motor performanslarında artış Hassas güdümlü mühimmatların kullanımı Etkin manevra kabiliyeti Dijital aviyonik sistemler

Savaş Uçağı Nesilleri	Periyot	Başlıca Özellikler
Dördüncü - Beşinci Ara Nesil	1990 - 2000	Dördüncü nesil uçaklar üzerinde iyileştirmeler Aviyonik kabiliyetlerin artırılması Düşük görünürlük İtki yönlendirme
Beşinci Nesil	2000 - 2025	Daha gelişmiş manevra kabiliyeti Düşük termal iz ve düşük görünürlük Gelişmiş aviyoniklerin kullanımı ve veri füzyonu Ağ yetenekli muharebe ortamında görev kabiliyeti Gelişmiş akıllı silah sistemleri

Yeni nesil savaş uçaklarının tasarımı gelişen teknoloji ve modern savaş ihtiyaçlarına göre şekillenmektedir. Söz konusu teknolojilere; düşük görünürlük, gelişmiş sensörler ve hedefleme sistemleri, sensör füzyonu, yapay zekâ ve otonom destek sistemleri, elektronik harp yetenekleri ve dahili silah sistemleri örnek gösterilebilir. Uygulanan teknolojiler hem platformun daha etkin olmasını sağlamak hem de pilotun güvenliğini artırmak adına kritik öneme sahiptir.

Her ne kadar yeni nesil savaş uçakları teknolojik olarak gelişmiş donanımları üzerinde bulundursa da hava aracının harekât ortamında yeteneklerini etkin bir şekilde kullanıp, tehditleri bertaraf etmesi için gelişmiş bir silah sistemine ihtiyacı bulunmaktadır. Günümüzde başarılı bir hedef angajmanı gerçekleştirmek için, uçak ve mühimmatın, mühimmatın tüm yeteneklerini kullanabilecek şekilde birbirine entegre edilmesi gerekmektedir. Mühimmatın hazır hale getirilmesi ve doğru zamanda hedefe yönlendirilmesine yönelik gereksinimler dikkate alındığında mühimmatların uçağa entegrasyonu için çok sayıda farklı disiplini bünyesinde bulunduran bir organizasyonun teşkil edilmesi gerekmektedir [3].

Uçak tasarımında kullanılacak olan mühimmat konfigürasyonu ve taşıma gereksinimleri hem gövde hem de kanat tasarımı için büyük bir öneme sahiptir. Uçak içerisinde yani dahili taşımada bu unsurlar gövdenin boyutlandırılmasına ve yapısal yerleşimin tasarımına yön verirken, kanat altında yani harici taşımada kanat yüklerine ve hava akışı tasarımına yön vermektedir. Ayrıca mühimmatların doğru bir şekilde kontrol edilip, hedefe yönlendirilmesi için kullanılacak olan mühimmatların arayüz bilgileri güç ihtiyaçlarının belirlenmesinde, kablaaj tasarımında ve atış kontrol ve yük yönetim sistemi kabiliyetinin belirlenmesinde büyük bir öneme sahiptir [4]. Mekanik arayüz bilgileri (örn. kütle ve atalet bilgileri, bağlantı noktası bilgileri) mühimmatın taşınması ve bırakılması için

önemli girdiler sağlarken, uçuş kontrol sistemi tasarımı ve uçak mekanik yerleşimi gibi farklı alt sistemlerin tasarımına da yön vermektedir.

Mühimmat konfigürasyonları ihtiyaç makamı tarafından ortaya konularak sözleşme dokümanlarında tanımlanmaktadır. Süreç içerisinde gerçekleştirilen konsept tasarım, alternatif sistem tasarım ve ön tasarım gözden geçirme çalışmalarında istenen konfigürasyonlar olgunlaştırılarak sistem tasarımlarına girdi sağlamaktadır. Ek olarak standartlarda belirtilmiş gereksinimler ve ilerleyen süreçte entegre edilmesi muhtemel mühimmatların arayüzleri de sistem tasarımlarına girdi sağlayabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında yeni nesil savaş uçaklarında uygulanan silah sistemi tasarım yaklaşımları ile bu yaklaşımların önceki nesil savaş uçaklarında uygulanan çözümler ile farkları değerlendirilmiştir.

2. DAHİLİ SİLAH YUVASI TASARIM YAKLAŞIMI

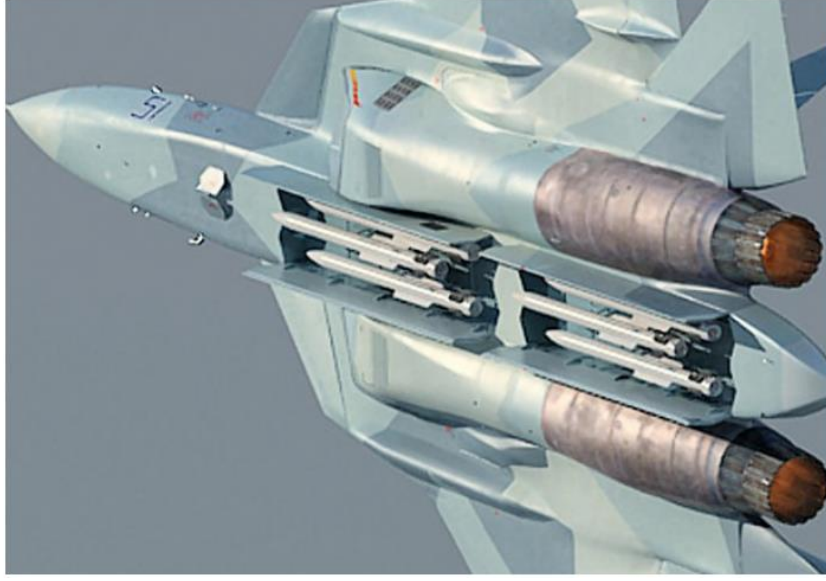
Beşinci nesil savaş uçaklarının gelişimi ile birlikte bu neslin en ayırt edici özelliklerinden birisi olan düşük görünürlük özelliği uçak üzerinde taşınacak yüklerin ve özellikle de silahların yerleşimi açısından tasarımda büyük değişikliklere yol açmıştır. Uçakların radar kesit alanının düşük tutulabilmesi için ana gövde dışında kalan bölümlerinde geometrik olarak en az çıkıntı yaratacak şekilde tasarlanması ve faydalı yüklerin de bu doğrultuda uçak dış geometrisini bozmayacak bir şekilde veya gövde içerisine yerleştirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. F-35 Dahili Silah Yuvası [5]

Gövde içerisinde mühimmat taşınması bir takım tasarım zorluklarını beraberinde getirmiştir. Beşinci nesil bir uçağın nihai silah konfigürasyonu ve hangi mühimmatları taşıyabileceği konusu dahili silah yuvası tasarımına ilişkin kararlardan ciddi ölçüde etkilenmektedir. Silah sistemi ve silahların yerleşimi açısından tasarımcılar arasında yan yana, arka arkaya, düşey ekseninde sıralanmış veya dönerli silah yerleşimi gibi alternatiflerin etkinliği ile ilgili birçok farklı görüş ortaya atılmıştır. Ancak bu tasarım yaklaşımlarının hangisi seçilirse seçilsin tasarlanacak sistemin uçağa entegrasyonu yapılmadan nihai sistemin değerlendirilebilmesi mümkün olmamaktadır.

Silah yuvasında silahların yerleşimine yönelik alternatifler arasında yapılan karşılaştırmalarda her yaklaşımın belli avantajlarının yansıra birtakım dezavantajları da oraya çıkmaktadır. Tandem yerleşim adı verilen, silahların uçağı uzunlamasına eksenini boyunca birbiri arkasında kalacak şekilde yerleştirilmesi yanal yönde yer kazandıracığı için özellikle çift motorlu uçaklarda bir avantaj sağlamaktadır (Şekil 2). Ancak bu yaklaşımda uçuş esnasında uçağın genel ağırlık merkezinde dramatik kaymalar ve dolayısıyla uçağın kontrol edilebilirlik özelliklerinde olumsuz sonuçlar yaratmaktadır. Silahların yan yana yerleştirilmesi yaklaşımda ise ağırlık merkezi değişimleri daha kontrol edilebilir olmakla birlikte motorlar ve hava alıklarının yerleşimi ile ilgili çakışmalar yaşanabilmekte, bu durum da taşınabilecek silahlar ile ilgili seçimde kısıtlamalara yol açmaktadır (Şekil 3). Genel olarak dönerli veya düşey ekseninde sıralanmış silah yerleşimlerinde taşınabilecek silah miktarında artış sağlanabilirken bu yaklaşımda da uçağın ana gövdesi içerisinde düşey doğrultuda işgal edilmesi gereken yerin arttığı görülmekte ve silahların ilave mekanizmalar yardımıyla atış pozisyonuna getirilmesi ihtiyacı nedeniyle ilave ekipman, dolayısıyla da tasarım karmaşıklığı ve ağırlık artışı kaçınılmaz olmaktadır. Ayrıca yüksek geometrili derin dahili silah yuvalarında genel olarak gözlemlenen yüksek akustik seviyelerini önlemek için gerekli olacak ekipmanlar da yapı üzerinde olumsuz etkiye sebep olacaktır [6].



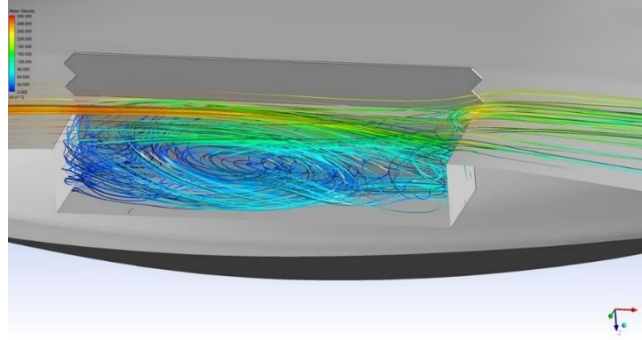
Şekil 2. Dahili Silah Yuvası Tandem Yerleşim Örneği [7]



Şekil 3. Dahili Silah Yuvası Yan Yana Yerleşim Örneği [8]

Dahili yuvada mühimmat taşıma konusunda karşılaşılan en büyük mühendislik problemlerinden birisi yuva kapakları açılmasıyla uçağın dışındaki yüksek hızlı akış ile yuva içerisindeki durgun ortam karşılaştığında görülen çok önemli iki olay meydana gelmektedir (Şekil 4). Bunlardan birincisi yuva çıkışında oluşan ve davranışının modellenmesi çok zor olan bir hava akışı bölgesidir. Diğeri ise dahili yuva içerisinde aerodinamik olarak tetiklenmiş dinamik titreşimlerdir. Bu iki olay birleştiğinde mühimmatın taşınması ve dahili yuvadan emniyetli bir biçimde atılması konusunda birçok probleme sebep olabilmektedir. Bu nedenle

atışlardan önce yeterli sayıda yer ve uçuş testleri yapılarak yuva içerisinde ve çıkışında gerekli ölçümler yapılarak istenmeyen etkilerin giderilmesi için tasarım değişiklikleri yapılmalıdır [9].



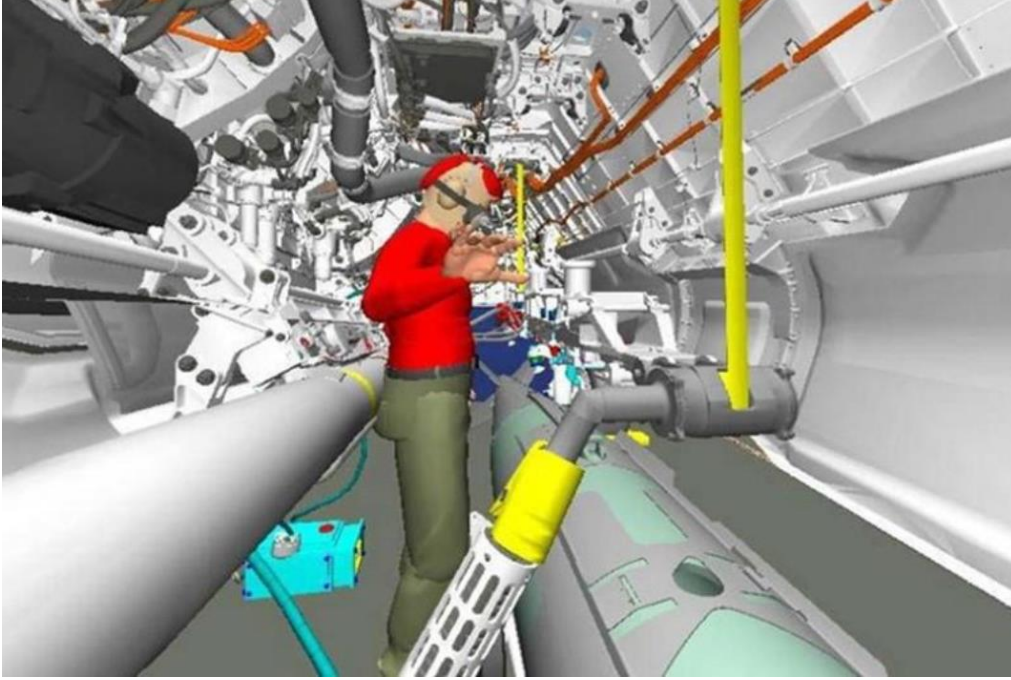
Şekil 4. Dahili Silah Yuvası İç ve Dış Bölge Hava Akışı Modelleme Gösterimi [10]

Silah sistemleri açısından tasarımda izlenecek yaklaşımlar arasında karşılaştırma yapılırken dikkate alınması gereken en önemli hususların başında dahili silah yuvasında ekipman ve parçaların yerleşiminin silah yükleme prosesini optimize edecek şekilde sıkışık bir şekilde yapılması zorunluluğu gelmektedir.

Uçakta konfigürasyona dahil edilecek silahların neler olacağı uçak tasarımcısı tarafından belirlenebilmesi halinde silah üreticileri tarafından sunulan katlanabilir kanatlı veya uçaktan atıldıktan sonra açılan kumanda yüzeylerine sahip silahların seçilebilmesi mümkün olacaktır. Bu durum yerleşim ve dahili yuva tasarımı açısından büyük kolaylık sağlayan bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Fakat günümüzde beşinci nesil uçakların tedarikini öngören büyük savunma projelerinde taşınacak silahların neler olması gerektiği büyük çoğunlukla kullanıcı tarafından yazılan gereksinimlerle belirlenmekte olduğundan bu tasarım güçlüğü de kolayca elimine edilememektedir.

Geçmiş yıllarda dahili yuvalarda mühimmat taşıyabilen savaş uçakları tasarlanırken dahili yuvaların sadece silahlar için kullanılacağı varsayımı ile hareket edilmiş ve diğer ekipmanların silah yuvası içerisinde konuşlandırılması gibi kısıtlayıcı bir tasarım girdisi söz konusu olmamıştır. Ancak beşinci nesil bir uçağın tasarımında uçağın boyutlarını büyütmeyle birlikte dahili ekipman yerleşimi en önemli gereksinimlerden biri olarak gündeme gelmiş ve yer kısıtları nedeniyle silah yuvasının diğer ekipmanlarla ortak kullanılması zarureti doğmuştur. Bu nedenle dahili silah yuvası tasarlanırken taşınacak silahların ön yerleşimi yapılmalı ve bu bölgede konuşlandırılacak diğer üniteler, silah yuvası kapak mekanizmaları, elektrik sistemine ait kablolar, akışkan sistemlerine ait borular ve diğer

aviyonik ekipmanlar silah yerleşimine ve aynı zamanda operasyon esnasında yükleme indirme işlemlerine engel olmayacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Dahili Silah Yuvası Personel Erişim Çalışması Örneği [4]

Silah sistemi tasarımı açısından dahili silah yuvası içerisinde yerleşimi etkileyen bir diğer faktör de taşınması planlanan farklı mühimmatların farklı boyutlarda, ağırlıklarda olması ve bağlantı yöntemlerinin aynı olmamasıdır. Tasarımda bütün bu farklılıkları göz önüne alarak tüm mühimmatların taşınmasını ve atılabilmesini sağlayan bir yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir. Bu maksatla dahili silah yuvası içerisinde farklı geometrik özelliklere sahip mühimmatların ortak taşıma ekipmanlarına bağlanabilmesi amacıyla değişik boyut ve geometriye sahip adaptör parçalar tasarlanmalıdır. Bu yaklaşım operasyonel açıdan ekipman envanterini artıracak olsa da en küçük dahili yuva hacmi ile en fazla çeşit mühimmatın atılabilmesine olanak sağlayacaktır.

Dahili yuva içerisindeki sıkı yerleşim zorunluluğu, yerleşimi yapılacak olan mühimmatın yer personeli tarafından monte edilip sökülmesi ve en önemlisi de mühimmatın uçaktan atılması esnasında emniyetli ayrılmanın sağlanabilmesi açısından mühimmat ile dahili yuva içerisindeki yapılar ve ekipmanlar arasında sürekli olarak muhafaza edilmesi gereken güvenli bir bölge ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Mühimmatın monte edildiği bölgede, uçağın normal uçuş zarfı içerisinde maruz kalacağı manevra yükleri ve titreşimler nedeniyle çevreleyen yapı ve ekipmanlarla veya mühimmatın atışı esnasında dahili yuvadan ayrılırken çarpışma olasılığının ortadan kaldırılması amacıyla tasarım esnasında mühimmat çevresine

güvenli bir hacmin tanımlanması gerekmektedir. Bu hacim içerisinde hiçbir ekipmanın monte edilmesine ve herhangi bir yapısal parçanın bu hacimden geçmesine müsaade edilmeyecek şekilde yerleşim yapılmalıdır. Tasarım yaklaşımı olarak bu tür bir güvenli hacim bırakılması zorunlu olmakla birlikte, bu hacmin ne kadar olacağı konusu her tasarımın özelliklerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bırakılacak hacmin yeterliliği ancak bilgisayar ortamındaki güvenli ayrılma analizleri, rüzgâr tüneli testleri ve nihayetinde de yerde ve uçuşta atış testleri ile doğrulanabilmektedir. Ancak tasarım için bir başlangıç noktası teşkil edebilmesi açısından MIL-STD-1289D “Airborne Stores Ground Fit And Compatibility, Requirements” standardı gibi bir referansta sağlanan değerler ile yola çıkılabilmesi mümkündür. Ancak bu tür standartlarda verilen değerler genel durumlar dikkate alınarak belirlendiği için verilen güvenli bölge değerleri zaman zaman fazlasıyla güvenli tarafta kalabilmekte ve bu durum da dahili silah yuvasının gereğinden fazla büyümesine yol açabilmektedir. Bu nedenle tasarlanan sistemin özellikleri ile standartlarda sunulan değerler arasında belli bir dengeyi gözeterek şekilde bir tasarım yaklaşımının benimsenmesi en uygun sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

3. HARİCİ SİLAH TAŞIMA TASARIM YAKLAŞIMI

Beşinci nesil savaş uçaklarında harekât esnasında düşük görünürlük avantajının korunması açısından silah taşıma işinin dahili olarak yapılması esastır. Ancak radar tehdidinin düşük olduğu belli görevlerde kanat altındaki istasyonlardan faydalanarak daha fazla mühimmat ile göreve çıkılması veya harici yakıt tankları kullanılarak menzil artırılması gibi faydaları nedeniyle beşinci nesil uçaklarda da harici yük taşıma yeteneğinin sağlanması istenmektedir. Harici silah taşıma tasarım yaklaşımı belli birkaç farklılık dışında genel olarak geleneksel sistemlerdekine benzer şekilde olmaktadır. Harici yük istasyonları kanatların altında, kanat yapısındaki güçlendirilmiş noktalara bağlanan ve taşınacak yüke bağlı olarak farklılık gösterebilen pylon adı verilen ikincil yapılardır (Şekil 6). Mühimmatlar veya yakıt tankları, pylonlara monte edilen taşıma ve bırakma ekipmanları ile taşınmaktadır. Taşıma ve bırakma ekipmanları uçağın özelliklerine göre değişkenlik gösterebilse de geleneksel olarak yüksek tonajlı hava-yer mühimmatları veya yakıt tankları gibi en ağır yükler kanat altında uçak gövdesine en yakın istasyonlara takılırken hava-hava füzeleri gibi görece daha hafif yükler kanadın ucuna yakın istasyonlarda konumlandırılırlar. Kanat altında taşınacak yüklerin yerleşiminde ve pylon tasarımında, yükün uçuş esnasında taşınması gereken pozisyon analiz edilerek pylonlar buna göre tasarlanmalı ve üretilmelidir. Çoğu savaş uçağı uçuş esnasında

herhangi bir manevra yapmadığı yatay uçuş sırasında belli bir pozitif hücum açısı ile seyahat etmektedir. Kanat altında taşınan yüklerin yaratacağı aerodinamik sürüklemenin minimize edilmesi amacıyla harici yükler uçağa söz konusu hücum açısını sıfırlayacak veya sıfıra yaklaştıracak bir şekilde monte edilmelidir. Söz konusu açılı montaj ise pylonların uygun açı ile üretilmesi ile sağlanacaktır. Ayrıca bazı durumlarda uçak kanadından dolayı yüklerle gelebilecek aerodinamik etkinin azaltılması amacıyla yüklerin burnu gövdeye yakın olacak şekilde yanal bir açıyla da yerleştirilebilmektedir.



Şekil 6. F-35 Hava Yer Yük Pylon'u [11]

Beşinci nesil uçaklarda yukarıda bahsedilen geleneksel harici yük tasarım yaklaşımından farklı olarak, kanat altında taşınan yüklerin uçağın radar görünürlüğünü artıracak olması gerçeğine rağmen mümkün olduğunca düşük görünürlüğe hizmet edecek tarzdaki askı ekipmanları ve pylonların kullanılması hedeflenmektedir. Bu tip askı ekipmanları pylonlar tasarlanırken düşük görünürlük sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu tür bir yaklaşım birçok modern silahın veya diğer yüklerin kendi tasarımlarında yer alan düşük görünürlüğün de katkısıyla uçağın toplam radar kesitinin mümkün olduğu kadar düşük tutulmasında fayda sağlayacaktır.

Silah istasyonlarının yerlerinin belirlenmesinde ana kriterlerden birisi taşınacak silah ile kanat üzerindeki diğer yapılar, antenler, iniş takımları, flap ve eleron gibi kumanda yüzeyleri ile çakışmaların meydana gelmemesidir. Bu nedenle uçağa entegre edilmesi gereken silahlar ve diğer yükler tasarımın erken safhalarında kanat altı yerleşim analizine tabi tutulmalı ve bu yükler için de tıpkı dahili silah yuvasında olduğu gibi güvenli bölge tanımlanmalıdır. Sonraki aşamalarda uçak veya kanat tasarımında yapılacak değişiklikler veya eklenecek ekipmanlar da söz konusu güvenli bölge ile girişim yapmayacak şekilde tasarlanmalıdır (Şekil 7).



Şekil 7. F-35 Hava-Yer Yük Pylon'u Uçak Üstü Bağlantı Gösterimi [12]

Silah istasyonlarının kanat altında konumunun belirlenmesi için ele alınması gereken önemli bir husus da kanat, pylonlar, uçak gövdesi ve yükler arasındaki aerodinamik etkileşimdir. Hangi harici yükün nerede ve ne kadar taşınabileceğinin doğrulanabilmesi için çok detaylı statik stabilite, kontrol ve metrik yük testlerinin yapılması gereklidir. Farklı mühimmatların farklı uçaklardan ayrılma karakteristikleri ölçeklendirilmiş dinamik testlerle ve tutulu ayrılma testleri ile incelenir. Özellikle kanat altı pylonlarda ağır yükler taşınacak uçaklarda, yükün aerodinamik etkisi ve eylemsizliği nedeniyle oluşturacağı aeroelastik etkilerin ölçeklendirilmiş dinamik modellerle belirlenmesi gerekmektedir [13]. Bu nedenle farklı yükleme konfigürasyonları bir bütün olarak bilgisayar ortamında analiz edilmeli ve alınan sonuçlar öncelikle rüzgâr tüneli testlerinde, nihai olarak da uçuş testlerinde doğrulanmalıdır. Yapılan analizlerden elde edilen bulguların tasarıma erken safhalarda yansıtılması hem zaman kayıplarının hem de tasarımda büyük ölçekli geri dönüşlerin önüne geçilmesinde fayda sağlayacaktır.

4. TAŞIMA ve BIRAKMA EKİPMANI TASARIM YAKLAŞIMI

Taşıma ve bırakma ekipmanları bir savaş uçağında taşınacak her türlü mühimmatın veya yakıt tanklarının uçakla bağlantısını sağlayan, uçuş esnasında gelebilecek yüklere dayanabilecek şekilde sağlam üretilmiş olan ve istendiğinde bağlı olan yükü atabilme yeteneğine sahip mekanik ve elektriksel arayüz sağlayıcı ekipmanlardır. Adından da anlaşılacağı üzere bu

ekipmanın ana görevi bir yükü taşımak ve gerektiğinde güvenli bir şekilde uçaktan uzaklaştırılmasını sağlamaktır.

Taşıma ve bırakma ekipmanlarının, taşınacak yükün ne olduğuna göre farklı çeşitleri bulunmaktadır. Bu kapsamda en genel sınıflandırma taşınacak yükün uçaktan ayrılış şekline göre yapılmaktadır. Örneğin hava-hava füzeleri kendi roket motorlarını ateşleyerek uçaktan ayrılırlar ve bu nedenle ayrılış öncesi bağlı buldukları taşıma ekipmanı ray şeklinde bir yapıya sahiptir. Öte yandan hava yer tipi mühimmatlar uçaktan kendi ağırlıklarının etkisi ile veya itilerek ayrılırlar ve kancalar vasıtası ile üst taraftan asılı şekilde taşınacak taşıma ekipmanları ile taşınırlar.

En yaygın kullanımda olan taşıma ve bırakma ekipmanlarından birisi hava-hava füzeleri için kullanılan ray lançerdir (Şekil 8). Bu ekipmanda füzenin üzerinde bulunan ve tutunmasını sağlayan mekanik parçaların içine geçebileceği ve lançer boyunca bir kızak görevi gören raylar bulunmaktadır. Füze, pilot tarafından ateşlendiğinde belli bir itki seviyesi gelene kadar lançerde tutulmakta olup, istenen itki elde edildiğinde ise bir anda serbest kalmaktadır. Lançerin rayı boyunca hareket eden füze nihayetinde lançerden ayrılarak hedefe doğru uzaklaşır (Şekil 9).



Şekil 8. Örnek Ray Lançer Ekipmanı [14]



Şekil 9. Ray Lançer Uçak Üstü Gösterimi [15]

Yaygın kullanılan bir diğer taşıma ve bırakma ekipmanı çeşidi ise hava yer mühimmatları, harici yakıt tankları ve birçok harici yükün taşınması amacıyla kullanılan Ejection Release Unit veya Bomb Rack Unit olarak adlandırılan, yaygın Türkçe kullanımı ile Salan ekipmanıdır (Şekil 10, Şekil 11). En çok kullanılan salanlar taşıyacakları ağırlığa göre 1000 lb ve 5000 lb olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Salanların çalışma prensibine göre de farklı çeşitleri bulunmaktadır. Bazı salanlar taşıdıkları yükü bir mekanizma vasıtası ile yüksek bir güç ile iterken bazı salanlar ise yükü yer çekiminin etkisine bırakarak yükün kendi ağırlığı ile ayrılması prensibine göre çalışmaktadır. Yerçekimi tipi salanlar çoğunlukla güvenli ayrılma risklerinin daha düşük olduğu, yavaş hızlarda hareket eden hava araçlarında kullanılabilmektedirler. Günümüzde yüksek hızlarda mühimmat atma gereksinimleri bulunan savaş uçaklarında bu tür salan kullanımı mümkün olamamaktadır. Savaş uçaklarında salanlar sadece mühimmatların taşınması ve atılmasında değil aynı zamanda harici yakıt tankları veya ikincil taşıma ve bırakma ekipmanlarının da taşınmasında kullanılabilmektedirler. İkincil taşıma ve bırakma ekipmanı kapsamına giren ekipmanlar çoklu bomba taşıyıcılar ve direk olarak uçak yapısına bağlanmayan ray lançerler gibi kendisi de taşıma ve bırakma ekipmanı olan ünitelerdir.



Şekil 10. Örnek Salan Ekipmanı [16]



Şekil 11. Salan Ekipmanı Test Sistemi Üstü Gösterimi [17]

Mühimmatlar salanlar üzerinde bulunan kancalara asılı olarak taşınmakta olup, atış anında bu kancaların açılması ve salan içerisinde ön ve arka konumda bulunan pistonların mühimmatı düşey eksende aşağı itmesi ile mühimmatın bırakılma işlemi gerçekleşmektedir. Geçmiş yıllarda üretilmiş olan salanlarda itme gücü piroteknik yöntemlerle sağlanmakta iken günümüzde birçok beşinci nesil platformda bu itme gücü pnömatrik basınç kaynağı kullanılarak sağlanmaktadır. Piroteknik yöntemde salan tasarımına bağılı olarak bir veya iki adet ateşleme kartuşu bulunmaktadır. Pilot tarafından atış yapıldığında kartuşlar içerisindeki barutun yanması sonucu ortaya çıkan basınçlı gaz söz konusu pistonları iterek mühimmatın atılmasını sağlamaktadır. Pnömatik sistemlerde ise aynı itme gücü yüksek basınçlı bir hava akümülatöründe bulunan havanın pistonlara sevk edilmesi ile elde edilmektedir. Beşinci nesil uçaklarda silah sistemi tasarımı yapılırken gerçekleştirilen fayda zarar analizleri sonucunda piroteknik salanların tasarım basitliğı açısından daha iyi olduğı ancak kimyasal reaksiyona dayalı bir sistem olması nedeniyle istikrarlı yanma performansı ve itme gücü üretme konusunda eksikleri bulunduğı, kartuşların patlayıcı ve dolayısıyla zaman aşımli malzemeler olmasından dolayı idame işletmede hem bakım maliyeti hem de nakliye ve depolama konusunda ilave yük getirdiğı görülmüştür. Pnömatik salanlar ise daha kompleks tasarım gerektirirken maliyet anlamında büyük tasarruf imkânı sunmaktadırlar [18].

Beşinci nesil uçakların taşıma ve bırakma ekipmanı tasarımında ortaya çıkan ana farklılık yine dahili silah yuvasından atılacak mühimmatlar için kullanılacak taşıma ve bırakma ekipmanlarının tasarım yaklaşımında görülmektedir. Dahili silah yuvasından mühimmatın istenen hızda itilerek uçaktan uzaklaştırılması güvenli ayrılma açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle salanların itme mesafesini uzun kılabacak ve aynı zamanda yer kısıtları sebebiyle dahili yuvada az yer işgal edecek tasarım yaklaşımlarının benimsenmesi gerekmektedir. Bu nedenle uçağı özel tasarım yapılması kaçınılmaz hale gelmektedir. Salan üzerindeki pistonların taşıma esnasında en az yer kaplayacak şekilde üretilmesi teleskopik piston kullanımını zorunlu kılmaktadır. Ancak bunun getireceğı rijitlik kayıpları mühimmatın dahili yuvadan aşağı itilirken etraftaki diğeri ekipmanlar ve uçak yapı ile girişimine neden olabileceğı dikkatten kaçırılmamalı, tasarımın erken safhalarında bu kapsamda gerekli analizler yapılarak güvenli çıkışı sağlayacak tedbirler alınmalıdır. Özellikle salan tasarımına eklenecek detay parçalar ile mühimmatın yanal yönde hareketini kısıtlayıcı önlemler alınması gerekmektedir. Harici taşıma açısından ise geleneksel tasarım yaklaşımlarının genel anlamda yeterli olacağı değerlendirilmektedir. Ek olarak, beşinci nesil bir uçakta düşük görünürlük



Şekil 13. F-35 Top Sistemi Pod Yerleşimi [4]

Top Sistemleri geçmiş yıllarda uçakların muharebe yeteneğine büyük katkılar sağlamış, harekât alanlarında gerek yer hedeflerine gerekse hava hedeflerine karşı etkili bir silah olarak kullanılmışlardır. Günümüzde özellikle beşinci nesil uçaklarda radar teknolojisinin gelişimi ve çok sayıda sensörden alınan bilgilerin füzyonu sayesinde hedeflerin tespit edilebileceği mesafelerin artmış olması, akıllı mühimmatlarla ve görüş ötesi hava-hava füzeleri ile hedeflere uzak mesafelerden taarruz gerçekleştirilebilmesi ve düşük görünürlük özellikleri sayesinde karşı tarafa görünmeden belirli bir mesafeye kadar yaklaşarak ilk atışın yapılabilmesi avantajları ile angajman mesafesi artık top sistemlerinin etkili menzillerinin oldukça dışında kalmaktadır [19]. Dolayısıyla silah sistemi içerisinde geçmişteki önemini nispeten yitirmiştir. Ancak kullanıcı tarafından halen belli durumlarda görüş içi hava-hava veya belirli yakın hava desteği gibi görevlerde hava-yer hedeflerine karşı kullanılmak üzere talep edilmektedir.

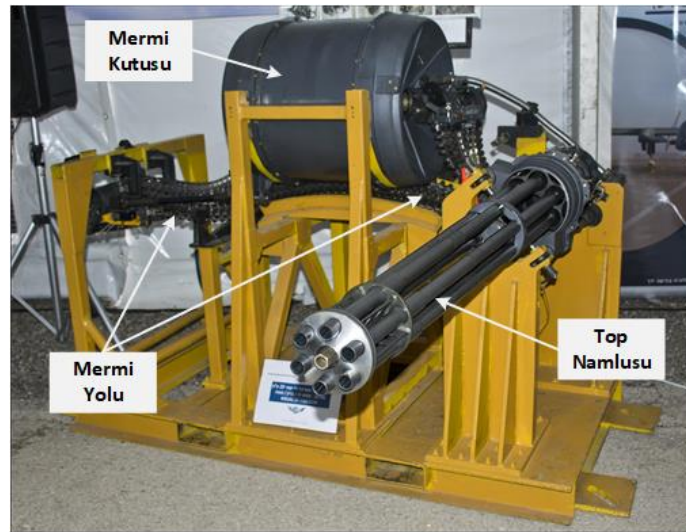
Beşinci nesil uçaklarda entegre edilecek top sisteminin geleneksel sistemlerle arasındaki en belirgin farklılık uçağın düşük görünürlük özelliğini muhafaza edecek şekilde tasarlanması gereksinimidir. Bu amaçla top sistemine ait ekipmanlar ve özellikle namlu kısımlarının uçağın ana gövdesi içerisinde gizlenmesi ve sadece top atışı esnasında açığa çıkarılmasını öngören bir tasarım yaklaşımı izlenmesi gerekmektedir. Bu maksatla gövdeye yapışık bir şekilde tasarlanan bir kapak namluyu veya namluları gizli tutmaktadır. Pilot tarafından atış komutunun gönderilmesi ile birlikte kapak açılarak atış gerçekleştirilmekte, komutun kesilmesinin ardından ise kapak tekrardan kapanmaktadır.

Diğer sistemlerde olduğu gibi top sisteminin de yerleşiminin uçak tasarımının ilk safhalarında netleştirilmesi gerekmektedir. Çünkü top sistemi çalışması esnasında gerek namlunun ön tarafından herhangi bir sistemin bulunmamasının elzem olması gerekse çalışma esnasında uçağa aktardığı geri tepme nedeniyle sebep olduğu titreşim etkisi nedeniyle diğer sistemlerin sağlığı açısından özel dikkat gösterilmesi gereken bir sistemdir. Uçağın harekât

yetenekleri ile ilgili olarak kullanıcı tarafından bildirilen isterler dikkate alınarak hangi top sisteminin entegre edileceğine dair kararın verilmesi sonrasında ilgili top sisteminin yerleşiminin yapılacağı bölge belirlenerek, diğer sistemlerde olduğu gibi, bir güvenli hacim oluşturulmalıdır. Uçak tasarımının ilerleyen aşamalarında bu bölgeye başka bir sistem veya ekipmanın yerleştirilmemesi uygun olacaktır.

Uçak yapısına top sistemi tarafından iletilecek geri tepme etkisinin bir kısmının sönmülmesi için özel olarak üretilmiş ekipmanların kullanılması kaçınılmazdır. Uçak yapısalı üzerinde top sisteminin ağırlığı ve manevralar esnasında yapıya aktaracağı yük göz önüne alınarak güçlendirilmiş noktalardan söz konusu geri tepme sönmüleyicileri kullanılarak montajı gerçekleştirilmelidir. Top sisteminin atış hattı ile uçak nişangah hattı arasındaki eksenel kaçıklıklar montaj esnasında kayıt altına alınmalı ve atış kontrol sistemi tasarımında bu kaçıklıkların kompanse edilmesine yönelik hesaplamalar yapılmalıdır. Bu şekilde hedefe atış yapılırken hedefin konumu düzeltilerek pilot yönlendirilebilmektedir.

Uçak içerisinde mermilerin yerleştirileceği ekipmana mermi kutusu, buradan top sistemine taşındığı sisteme ise mermi yolu adı verilmektedir. (Şekil 14) Beşinci nesil uçaklarda mermi kutusu ve mermi yolu tasarımında en az hacim içerisinde en fazla merminin depolanabileceği ve aynı zamanda atılan mermilerden kalan kovanların düzgün bir şekilde aynı kutu içerisine geri toplanabileceği kapalı çevrim bir sistemin tasarlanması şarttır. Bu sayede hem yer tasarrufu sağlanarak uçağın boyutlandırılması olumsuz etkilenmeyecek hem de mermi kovanları uçak içerisinde bir hacim içerisinde serbest kalmayacak ve daha emniyetli bir tasarım sunulmuş olacaktır.



Şekil 14. Top Sistemi Alt Bileşen Gösterimi [20]

Top sistemi entegrasyonunda dikkate alınması gereken bir diğer konu ise atış esnasında mermilerin ateşlenmesi ile ortaya çıkacak olan barut gazı ve ısının tahliyesidir. Bu amaçla top sisteminin konuşlandırıldığı bölgeye ilişkin gerekli termal analizler yapılarak ne kadarlık bir havalandırma ihtiyacı olacağının belirlenmesi gerekmektedir. Havalandırma ihtiyacına cevap verecek şekilde gerekli tahliye kapakları uçak yapısalı üzerinde tasarlanarak ilgili kapakların top sistemi ile senkron bir şekilde çalışması sağlanmalıdır.

Top sisteminde kullanılacak olan mermilerin görev öncesi uçağa yüklenebilmesi için bazı özel teçhizatlar kullanılmaktadır. Bu teçhizatlar uçak yerde iken uygun bir yükleme arayüzü vasıtası ile uçağa bağlanarak mermilerin mermi kutusuna aktarılması sağlanmaktadır. Bu aktarım için ihtiyaç duyulacak mermi yükleme kapakları da top sisteminin ve mermi kutusunun uçak üzerindeki yerleşimine uygun olacak ve yer personelinin kolay çalışmasına imkân sağlayacak konumlar göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

6. ATIŞ KONTROL ve YÜK YÖNETİM SİSTEMİ TASARIM YAKLAŞIMI

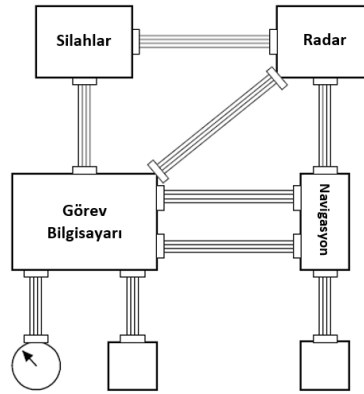
Mühimmatların atışa hazırlanması, güvenli bir şekilde uçaktan bırakılması ve sonrasında hedefe yönlendirilmesi için birçok alt sistemin birbiri ile uyumlu olacak şekilde çalışması gerekmektedir. Emniyet ve sertifikasyon gereksinimleri değerlendirildiğinde hem personelin hem de uçağın güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde atış ve yük yönetim kontrolünün gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple söz konusu gereksinimleri sağlamak adına uçaklarda Atış Kontrol ve Yük Yönetim Sistemi (Fire Control and Store Management System) bulunmaktadır. Atış Kontrol ve Yük Yönetim Sistemi, uçak üzerinde yüklü olan mühimmatların sisteme girişinin yapılmasından, taşıma ve bırakma ekipmanlarının kontrolünden, mühimmatların doğru bir şekilde atışa hazırlanması için gerekli veri akışının sağlanmasından, atış için ihtiyaç duyulan hesapların yapılmasından ve mühimmatın istenildiği anda uçaktan bırakılmasından sorumludur. Bu bölümde Atış Kontrol ve Yük Yönetim Sistemi tasarımı için ihtiyaç duyulan gereksinimler ve bu gereksinimleri sağlamak için uygulanan çözüm yöntemlerinin değerlendirilmesi yapılacaktır.

Doğru bir Atış Kontrol ve Yük Yönetim Sistemi tasarımında dikkat edilmesi gereken öncelikli ve en önemli gereksinim güvenliktir. Herhangi bir hata durumunda sistemin güvenli konuma (Fail-Safe) geçecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ek olarak, ihtiyaç duyulduğunda sistemin kullanılabilir olması da gerekmektedir. Bu iki temel gereksinim (güvenlik ve kullanılabilirlik) her ne kadar birbiri ile çelişiyor olsa da Atış Kontrol ve Yük Yönetim Sistemi tasarımında değerlendirilmesi gereken önemli hususlardır. Arayüz ve

gerçekleştirilecek fonksiyonların tanımlanmasının ardından platform üzerinde uygulanacak olan aviyonik mimarinin belirlenmesi ile tasarıma başlamak gerekmektedir [3].

Aviyonik tasarımında teknolojik imkanlar ve gelişmeler dahilinde farklı tasarım çözüm yaklaşımları kullanılmıştır. Her ne kadar ortaya çıkan çözümler maliyet artışına sebep olsa da performans artışları, güvenilir çözümlerin ortaya konuluyor olması, boyut, ağırlık ve güç tüketiminde sağlanan azalmalar ilgili teknolojilerin tercih edilmesinde önemli bir rol oynamıştır. 1960’lı yıllardan günümüze kadar gelişim göstermiş temel aviyonik mimari çözümleri; Dağıtık Analog Mimari, Dağıtık Dijital Mimari, Federe Dijital Mimari ve Entegre Modüler Mimari olarak verilmiştir [21].

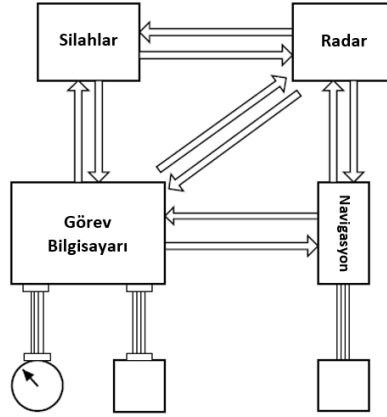
Dağıtık Analog Mimari’de, kaynak ve alıcılar birbirine noktadan noktaya (peer-to-peer) bağlıdır. Sistemde merkezi bir kontrol ekipmanı bulunabilirken, alt sistemlere özel atanmış kontrol ve görüntüleme ekipmanları da kullanılabilir. Bu çözümde platform üzerinde yüksek miktarda kablo kullanılmakta olup, sonuç olarak fazla kablolara sebep olmaktadır. Sistem üzerinde değişiklik yapılma ihtiyacı olması durumunda mimaride büyük değişikliklerin yapılması gerekmektedir [21]. Örnek bir Dağıtık Analog Mimari Şekil 15’te gösterilmiştir.



Şekil 15. Dağıtık Analog Mimari Örneği [21]

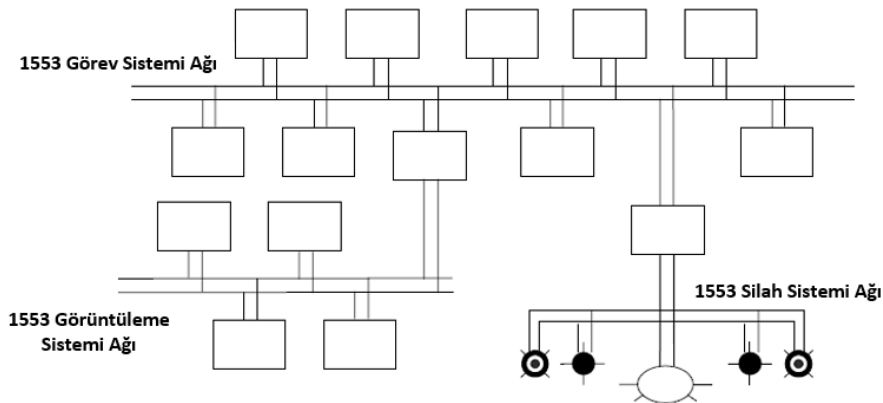
Dijital haberleşme arayüzleri ile kontrol ekipmanlarının teknolojik gelişimi ve bu sistemlerin uçaklarda kullanılabilir olmasıyla birlikte aviyonik mimaride dijitalleşme süreci başlamıştır. Dağıtık Dijital Mimari’de fark yaratan en büyük değişiklik dijital haberleşme arayüzlerinin (örn. Tornado 64 kbit/s) kullanılması ile birçok farklı alt sistemin birbirleriyle haberleşebilir hale gelmiş olmasıdır [21]. Bu çözüm, kaynak ve alıcılar arasındaki kablolara azaltarak platform ağırlığının düşürülmesinde önemli bir rol oynamıştır. Ek olarak, kullanılan

arayüzlerin standartlaşmasıyla birlikte sistem üzerindeki değişikliklerin kolay bir şekilde ele alınması sağlanmıştır. Örnek bir Dağıtık Dijital Mimari örneği Şekil 16’da verilmiştir.



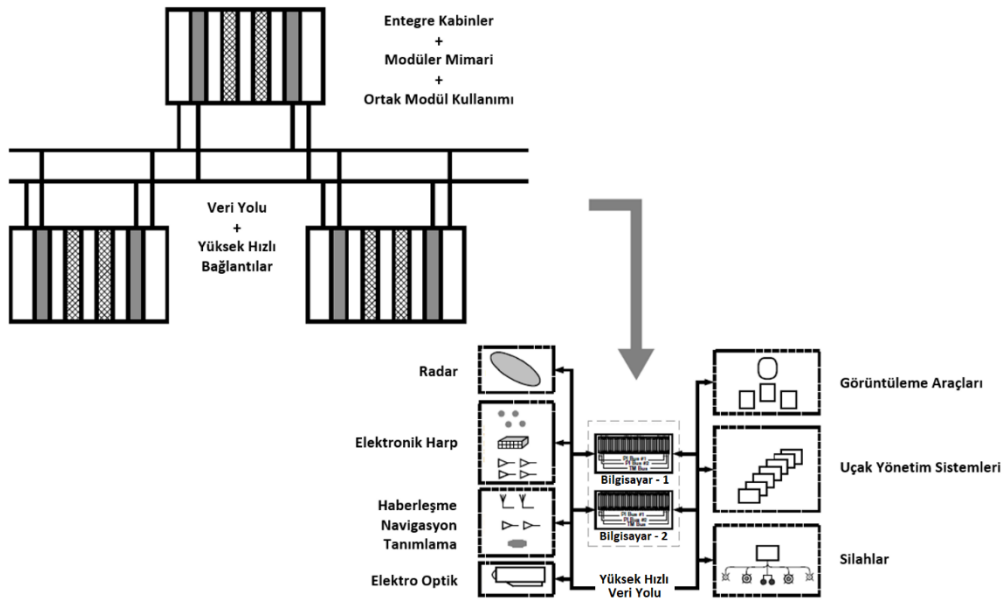
Şekil 16. Dağıtık Dijital Mimari Örneği [21]

MIL-STD-1553 “Interface Standard for Digital Time Division Command/Response Multiplex Data Bus” askeri dijital haberleşme arayüzünün kullanılabilir hale gelmesi ile birlikte kaynak ve alıcılar arasında yüksek hızlı (1 Mbit/s) iletişim sağlanabilmektedir. Ayrıca teknolojik gelişmeler ile daha hızlı hesap yapan kontrolcüler üretilmeye başlanmıştır. Söz konusu gelişmelerin uygulanması ile Federe Dijital Mimari’ler ortaya çıkmıştır. Bu mimaride fark yaratan en büyük değişiklik platform üzerinde bulunan alt sistemlerin kendi kontrolcülerini kullanmaya başlayarak diğer sistemlerden bağımsız hale gelmesidir [21]. Bu şekilde farklı alt sistemler kendine ait ekipman, donanım ve yazılım kullanmaya başlamış ve böylece sistemler arası hata izolasyonu sağlanmıştır. Sistemler arası farklılaşma ise farklı tipte donanımların tasarlanmasına ve bu ürünlerin lojistik olarak idame edilmesinde zorluklara sebep olmuştur. Örnek bir Federe Dijital Mimari örneği Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. Federe Dijital Mimari Örneği [21]

Teknolojik gelişmeler ve bu teknolojilerin uçaklara entegre edilmesi ile farklı sistemler tarafından gerçekleştirilen fonksiyonlar merkezi ve modüler bir sistem üzerinde toplanarak modern bir yaklaşım olan Entegre Modüler Mimari ortaya çıkmıştır [21]. Bu mimarinin temel kazancı federe mimarilerin sağlamış olduğu hata izolasyonu ile merkezi mimarinin sağlamış olduğu hafiflik ve maliyet avantajlarını birleştirerek hava aracı tasarımını kolaylaştırmaktır. Bu çözümde farklı kritiklik seviyelerine sahip yazılımlar tek bir kontrolcü üzerinde yedekli olarak çalışabilmektedir. Yani, kritik seviye bir yazılımın herhangi bir sebepten dolayı işlevsiz hale gelmesi durumunda farklı bir yazılım bölümü üzerinde yazılımın yeniden başlatılması ile gerçekleştirilen fonksiyonun sürekliliği sağlanabilmektedir. Örnek bir Entegre Modüler Mimari örneği Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. Entegre Modüler Mimari Örneği [21]

Yukarıda verilmiş olan çözümler genel aviyonik mimari yaklaşımlarına yönelik bilgi vermekte olup, hava aracında uygulanacak çözüme göre Atış Kontrol ve Yük Yönetim Sistemi tasarımı gerçekleştirilmelidir. Beşinci nesil savaş uçaklarında güncel teknolojilerin yer almakta olduğu Entegre Modüler Mimari’ler kullanılmaya başlanmıştır. Bu şekilde günümüz teknolojilerine uygun yazılım ve donanım geliştirme çözümleri kullanılarak, ilerleyen dönemde yeni sistemlerin platforma kolay ve hızlı entegrasyonuna yönelik esnek bir yapı ortaya konmaktadır. Uçak üzeri sistemlerin birbirleri ile olan arayüzlerinin belirlenmesinin ardından, Atış Kontrol ve Yük Yönetim Sistemi’nin kontrol edeceği mühimmat ve ekipmanlar ile arayüzlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Mühimmatların farklı hava araçları tarafından kullanılabilmesi için platform-mühimmat arasındaki arayüzlerin ortaklaşma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Platformların farklı mühimmatlar ile çalışabilirliğini sağlamak için MIL-STD-1760 “Aircraft/Store Electrical Interconnection System” askeri standardı ortaya konarak elektriksel, sayısal ve fiziksel arayüzlere yönelik gereksinimler tanımlanmıştır. Bu standart hem platform hem de mühimmat tarafındaki arayüzlere yönelik bilgiler içerdiği için standarda uygun geliştirilmiş sistemlerin birbirleri ile entegrasyonları kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

MIL-STD-1760 standardı ile iki sistem arasında bulunan elektriksel bağlantıların tipleri (örn. güç, sayısal, ayrık), sayıları ve kullanılacak konnektör bilgileri belirlenmiştir. Ek olarak, sayısal haberleşme üzerinden gidecek olan mesajların kullanımına yönelik bir kılavuz oluşturulmuştur. Bu şekilde, platform ve mühimmat arasındaki uyum sağlanarak, bu sistemlerin birbirleri ile olan entegrasyonunda esneklik sağlanmıştır. İki sistem arasındaki arayüzlere ek olarak standartta mühimmatların güvenli bir şekilde taşınması ve bırakılmasına yönelik bilgilerde bulunmakta olup, kaza riski oluşturabilecek durumlara karşı hangi önlemlerin alınması gerektiği ile ilgili de çözüm önerileri verilmektedir.

Geleneksel silah entegrasyon yaklaşımına göre platform üzerinde bulunan yazılımın (OFP: Operational Flight Program) entegre edilecek olan mühimmatın sayısal arayüz bilgilerine göre modifiye edilmesi gerekmektedir. Güncellenmiş olan yazılımın platformda kullanılabilir hale gelmesi için test ve kalifikasyon gibi zaman ve maliyet bakımından masraflı süreçlere tabi tutulması gerekmektedir. Platform üzerinde yapılacak güncellemeler birçok alt sistemden gelen değişikliklerin toplanması ile ele alındığı için yazılım güncelleme süreci uzun zaman periyotlarında yürütülmektedir.

Söz konusu süreçleri kısaltmak, platform üstü yazılım değişikliklerini düşük seviyede tutmak ve maliyet etkin bir çözüm ortaya koymak için hızlı entegrasyon konseptleri ortaya konmuştur. Bu konseptlere Amerika Birleşik Devletleri’nin kendi kullanımı için oluşturup, diğer ülkelerle paylaşımı askeri ihraç lisansı ile kısıtladığı Evrensel Silahlanma Arayüzü (UAI: Universal Armament Interface) ve NATO’nun üzerinde çalışmakta olduğu Mantıksal Yük Arayüz Yapısı (LSIF: Logical Store Interface Framework) örnek verilebilir. Söz konusu yaklaşımlar ile ilgili çalışmalar halen devam ettiği için konseptlerin detaylarına yönelik bilgilere ulaşılamamaktadır. İlgili çalışmaların tamamlanıp askeri standart haline gelmesi, Atış Kontrol ve Yük Yönetim Sistemi ve mühimmatların ilgili standartta verilmiş bilgilere göre tasarlanması ile platform-mühimmat arasındaki entegrasyon geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve verimli bir şekilde ele alınabilecektir.

7. SONUÇ ve DEĞERLENDİRMELER

Çalışma kapsamında yeni nesil savaş uçaklarında uygulanan silah sistemi tasarım yaklaşımları incelenmiştir. Yapılan değerlendirmede söz konusu tasarım yaklaşımlarında uygulanması önerilen çözümler ile bu çözümlerin temel özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Önerilen çözümlerin eski nesil uçaklarda uygulanmış yöntemlere göre farkları ortaya konarak tasarım yaklaşımlarının kıyaslaması yapılmıştır. Eski nesil savaş uçaklarının sahip oldukları teknolojiler ve silah sistemi yeteneklerinin güncel harekât ihtiyaçlarını sağlamak konusunda yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Söz konusu ihtiyaçları karşılamak adına gelişen teknoloji ve modern tasarım çözümlerinin yeni nesil savaş uçaklarına uygulanması ile savaş ortamındaki üstünlüğün sağlanabileceği değerlendirilmiştir.

Beşinci nesil savaş uçaklarının en belirgin ayırt edici özelliği olan düşük görünürlüğü sağlamak için uçak üzerinde taşınacak olan mühimmatların uçak gövdesi içerisinde dahili silah yuvalarında taşınması gerekmektedir. Söz konusu silah yerleşimini mümkün kılabilmek için uygulanabilecek yan yana, arka arkaya, düşey ekseninde sıralanmış ve dönerli silah yerleşim çözüm alternatiflerinin teknik özellikleri ve bu yaklaşımların birbirlerine göre üstünlükleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yerleşim yöntemi belirlenirken mühimmat yükleme ve mühimmatın uçaktan güvenli ayrılması için dikkat edilmesi gereken hacimlerin belirlenmesine yönelik yaklaşımlardan bahsedilmiştir. Sonuç olarak, her ne kadar dahili silah yuvası tasarımında farklı tasarım yaklaşımları ve bu tasarım yaklaşımlarının birbirlerine göre üstünlükleri bulunsa da seçilecek olan yöntemin uçak tasarım kısıtlarına göre belirlenmesi gerektiği görülmüştür.

Beşinci nesil savaş uçaklarında düşük görünürlük avantajının korunması için mühimmatların dahili silah yuvalarında taşınması tercih edilse de radar tehditlerinin düşük olduğu görevlerde daha fazla sayıda mühimmat taşımak veya harici yakıt tankı kullanarak menzil artırımı yapmak adına harici yük taşıma isteklerinin tasarıma dahil edildiği görülmüştür. Söz konusu ekipmanların yerleşimini mümkün kılmak için tasarım ve yerleşimde dikkat edilmesi gereken hususlar incelenmiştir. Beşinci nesil uçakların sahip olduğu görünürlük avantajını kaybetmemek için harici yük taşımada düşük görünürlüğe sahip ekipmanların kullanılması gerektiği değerlendirilmiştir.

Dahili ve harici taşıma yapılırken kullanılan taşıma ve bırakma ekipmanlarının neler olduğu ve bu ekipmanların birbirlerine göre farkları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Özellikle dahili silah yuvasında kullanılacak taşıma ve bırakma ekipmanlarının en az yer kaplayacak ve kullanılacağı platformun mekanik yapısına özel olacak şekilde tasarlanması

gerektiği değerlendirilmiştir. Dahili silah yuvasından mühimmat atışı yapılırken mühimmatın hızlı bir şekilde uçaktan uzaklaştırılabilmesi için güvenli ayrılma analizlerinin taşıma ve bırakma ekipmanlarının tasarım süreci ile paralel yürütülmesinin olası ihtiyaçların erken safhada fark edilerek, gerekli düzeltmelerin tasarıma uygulanması adına kritik öneme sahip olduğu değerlendirilmiştir.

Teknolojik gelişmelerin yeni nesil savaş uçaklarına uygulanması ile birlikte önceki nesillerde daha yüksek harekât avantajı sağlayan top sistemleri yeni nesil savaş uçaklarının gelişmiş sensörlere sahip olması, akıllı mühimmatların kullanımı ve düşük görünürlük özelliğinden dolayı top atışının angajman mesafesi bakımından etkin menzillerinin dışında kalarak avantajını kaybetmiştir. Fakat özellikle kullanıcıların geçmiş alışkanlıkları bakımından yakın hava desteği gibi bazı görevlerde kullanmak üzere yeni nesil savaş uçaklarında da top sisteminin bulunmasını tercih ettikleri görülmektedir. Beşinci nesil savaş uçaklarında top sisteminde bulunan namlu ve tahliye yolları gibi uçak dışına açılan bölümlerin uçağın ana yapısı içerisine gizlenerek, platformun görünürlük avantajının korunması gerekmektedir. Bu bakımdan diğer sistemlerde olduğu gibi top sisteminin tasarım ve yerleşim çalışmaları da uçak tasarım kısıtlarına göre ilerletilmesi gerekmektedir.

Silah sisteminin kontrolünü sağlayarak başarılı bir angajman gerçekleştirmek için ihtiyaçları karşılayan etkin bir Atış Kontrol ve Yük Yönetim Sistemi tasarlanması gerekmektedir. Teknolojik gelişmeler ve bu gelişmelerin hava araçlarına uygulanması ile farklı yaklaşımlara sahip aviyonik tasarım çözümleri ortaya konmuştur. Söz konusu aviyonik mimarilerinin teknik özellikleri ve bu çözümlerin birbirlerine göre üstünlükleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Her ne kadar aviyonik mimarilerin birbirlerine göre avantajları bulunsa da beşinci nesil savaş uçaklarında modern teknolojilerin tercih edildiği Entegre Modüler Mimari’ler kullanılmaktadır. Bu şekilde ilerleyen dönemde gelebilecek yeni sistemlerin kolay ve hızlı entegrasyonuna yönelik esnek bir yapının oluşturulması tercih edilmektedir. Ayrıca güncel teknolojilerle uyumlu yazılım ve donanım tasarım ortamlarının kullanılması ile hızlı çözümler ortaya konulabilmekte, özellikle geliştirme süreçleri kısaltılarak maliyet etkin entegrasyon konseptleri oluşturulabilmektedir.

Sonuç olarak, artan harekât ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve savaş ortamında hava üstünlüğü sağlamak için farklı kabiliyet ve özelliklere sahip savaş uçakları nesiller boyunca geliştirilmiştir. Özellikle teknoloji alanındaki gelişmeler ve bu gelişmelerin hava araçlarına uygulanması ile farklı yeteneklere sahip platformların tasarlanmasına olanak sağlanmıştır. Söz konusu hava araçlarının modern silah sistemleri ile donatılması için fonksiyonların doğru bir

şekilde belirlenmesi ve bu fonksiyonların etkin bir şekilde kullanılabilmesi için uçak tasarımının başlangıcından itibaren dikkate alınması gereken tasarım yaklaşım çözümlerinin detayları ortaya konmuştur. Önerilen tasarım çözümlerinin yeni nesil savaş uçakları silah sistemi tasarımında değerlendirmeye alınması ve uygulanması ile etkin operasyon gücüne sahip savaş uçaklarının tasarlanması sağlanacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

KAYNAKLAR

- [1] Wikipedia. (2024, Haz. 8). *Askerî uçak* [Online]. Available: https://tr.wikipedia.org/wiki/Askerî_uçak
- [2] G. Martinic, “Jet fighter aircraft - five 'generations' later, and still counting..”, *Naval Engineers*, Apr. 2015.
- [3] K. A. Rigby, *Aircraft Systems Integration of Air-Launched Weapons*. John Wiley&Sons, Ltd., 2013.
- [4] J. W. Hamstra, *The F-35 Lightning II: From Concept to Cockpit*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2019.
- [5] E. Helfrich. (2023, Mar. 24). *F-35 Closer To Carrying Six AIM-120 Missiles Internally* [Online]. Available: <https://www.twz.com/adapter-for-f-35-internal-carriage-of-six-aim-120-missiles-is-progressing>
- [6] R. E. Dix and R.C. Bauer, *Experimental and Theoretical Study of Cavity Acoustics*. Arnold Engineering Development Complex, 2000.
- [7] D. Bacci, “Transonic Aero-Acoustics of Weapon Bays”, PhD. dissertation, Dept. Centre for Defence Eng., Cranfield Univ., Shrivenham, Swindon, 2017.
- [8] T. Rogoway. (2019, Ara. 1). *China’s J-20 Stealth Fighter Stuns By Brandishing Full Load Of Missiles At Zhuhai Air Show* [Online]. Available: <https://www.twz.com/24841/chinas-j-20-stealth-fighter-stuns-by-brandishing-full-load-of-missiles-at-zhuhai-air-show>

- [9] Z. Probst, “Design and Flight Test Of A Weapons-Cavity Acoustics And Store Separation Test Bed”, MSc. dissertation, Dept. Aeronautical Eng., Air Univ., Alabama, AL, 2016.
- [10] D. Bacci, A.J. Saddington and D. Bray, “The Effect of Angle of Attack on the Aeroacoustic Environment Within The Weapon Bay of a Generic UCAV”, *Aerospace Science and Technology*, vol. 93, 105315, Oct 2019.
- [11] Marvineng. (2024). *F-35 Air-to-Ground Pylon* [Online]. Available: https://marvineng.com/product_category/complex-systems/
- [12] Marvineng. (2024). *F-35 AAE Management & Sustainment* [Online]. Available: <https://marvineng.com/story/f-35-ame/>
- [13] S.B. Moore, “Wind-Tunnel Systems and Techniques for Aircraft/Stores Compatibility Studies”, *J. Aircraft*, vol. 8, no 12, Dec 1971.
- [14] Marvineng. (2024). *LAU-128 Missile Rail Launcher* [Online]. Available: https://marvineng.com/product_category/launch-systems/
- [15] Defenceturk. (2020, Ağu. 29). *ABD, Japonya'ya AIM-120C-8 satışına onay verdi* [Online]. Available: <https://www.defenceturk.net/abd-japonyaya-aim-120c-8-satisina-onay-verdi>
- [16] Marvineng. (2024). *BRU-32B/A Ejector Release Unit* [Online]. Available: https://marvineng.com/product_category/ejector-racks/
- [17] R. Phillips. Force Base. (2008, Jun. 17). *STEM facility conducts F-35 lanyard risk reduction test* [Online]. Available: <https://www.eglin.af.mil/News/Article-Display/Article/393053/stem-facility-conducts-f-35-lanyard-risk-reduction-test/>
- [18] D. M. Hayward, A. K. Duff and C. Wagner, “F-35 Weapons Design Integration,” in *Conf. Aviation Technology, Integration, and Operations*, Atlanta, GA, 2018, pp. 1-22.
- [19] M. Janošek and A. Svoboda, “Performance of Aircraft Cannons in Terms of Their Employment in Air Combat”, *Advances in Military Technology*, vol. 2, no 2, pp. 33-44, Mar 2022.
- [20] Wikipedia. (2024, Eyl. 12). *M61 Vulcan* [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/M61_Vulcan
- [21] I. Moir and A. G. Seabridge, *Military Avionics Systems*. John Wiley&Sons, Ltd. 2006.