



**MODEL TABANLI SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ YAKLAŞIMI İLE İKİNCİL
GÜÇ SİSTEMİ GELİŞTİRME SÜRECİ**

Oğuzhan MEDET

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- 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 çalışmada 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.

Oğuzhan MEDET

03/01/2025

MODEL TABANLI SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ YAKLAŞIMI İLE İKİNCİL GÜÇ SİSTEMİ GELİŞTİRME SÜRECİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Oğuzhan MEDET

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2025

ÖZET

Günümüz hava araçlarında kullanılan alt sistemler, teknolojinin ilerlemesi ve hava aracı operasyonel isterlerinin artması ile birlikte oldukça karmaşık bir yapıdadır. Bu alt sistemlere duyulan ihtiyacı ve talep edilen isterleri anlayabilmek ve uygun bir sistem mimarisi belirlemek için sistematik bir geliştirme sürecinin takip edilmesi gerekmektedir. Bu noktada sistem mühendisliği disiplini kompleks ve karmaşık projelerde ihtiyaçların belirlenmesinden başlayarak, ilgili sistemin geliştirilmesi ve kalifikasyonunu da kapsayacak şekilde sistematik bir yaklaşım sunar. Buna ek olarak, sistem mühendisliği alanındaki son gelişmelerle birlikte Model Tabanlı Sistem Mühendisliği yaklaşımı da güncel projelerde uygulama alanı bulmaya başlamış ve sistem mühendisliği sürecinin dijital ortamda tüm izlenebilirlik ilişkileri ile yürütülmesi amaçlanmıştır. Bu tez çalışmasında, sistem mühendisliği süreci ve Model Tabanlı Sistem Mühendisliği yaklaşımı anlatılmış ve Model Tabanlı Sistem Mühendisliği yaklaşımı ve ARCADIA yöntemi ile bir hava aracı ikincil güç sisteminin geliştirme süreci Capella yazılım aracında uygulanmıştır. Sistemin paydaşları ve bu paydaşların operasyonel kabiliyetleri belirlenmiş, sistemin görevi ve bu görevleri yerine getirmesi için sahip olması gereken kabiliyetler ve fonksiyonlar tanımlanmış, bu fonksiyonlar kırılıp ilgili alt sistemlere atanmış ve bu fonksiyonları yerine getirebilecek alternatif ekipmanlar değerlendirilerek ikincil güç sistemi mimarisi oluşturulmuştur.

Bilim Kodu : 91443
Anahtar Kelimeler : İkincil Güç Sistemi, Sistem Mühendisliği, Model Tabanlı Sistem Mühendisliği
Sayfa Adedi : 111
Danışman : Prof. Dr. Mustafa Zeki YILMAZOĞLU

SECONDARY POWER SYSTEM DEVELOPMENT PROCESS WITH MODEL BASED SYSTEMS ENGINEERING APPROACH

(M. Sc. Thesis)

Oğuzhan MEDET

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2025

ABSTRACT

The subsystems used in today's air vehicles are highly complex due to technological advancements and the increasing operational requirements of these vehicles. To understand the need for these subsystems and the demanded requirements, and to determine an appropriate system architecture, a systematic development process shall be followed. At this point, the discipline of systems engineering offers a systematic approach to complex and intricate projects, starting from the identification of needs and extending to the development and qualification of the related system. Additionally, with recent advancements in the field of systems engineering, the Model-Based Systems Engineering (MBSE) approach has started to find application in contemporary projects, aiming to conduct the systems engineering process in a digital environment with full traceability relationships. In this thesis, the systems engineering process and the Model-Based Systems Engineering approach are explained, and the development process of an aircraft secondary power system is implemented using the Capella tool with the MBSE approach and the ARCADIA method. The stakeholders of the system and their operational capabilities were identified, the mission of the system and the capabilities and functions it shall possess to fulfill these missions were defined, these functions were decomposed and assigned to the relevant subsystems, and alternative equipment capable of performing these functions were evaluated to create the secondary power system architecture.

Science Code : 91443

Key Words : Secondary Power System, Systems Engineering, Model Based Systems Engineering

Page Number : 111

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa Zeki YILMAZOĞLU

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında ve tamamlanmasında bana destek olan herkese içten teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Öncelikle, bu süreç boyunca yanımda olan, beni sabırla destekleyen ve moral veren sevgili eşime sonsuz teşekkür ederim. Onun anlayışı ve desteği olmadan bu çalışmayı tamamlamak mümkün olmazdı.

Ayrıca, çalışma ortamı ve kaynaklar sağlayarak bu araştırmanın gerçekleşmesine olanak tanıyan TRMOTOR Güç Sistemleri'ne, bu alanda yaptığım çalışmalara destek veren ve rehberlik eden tüm yöneticilerime ve Sistem Mühendisliği çalışmalarını birlikte yürüttüğüm ekip arkadaşlarıma teşekkür etmek istiyorum. Şirketin bana sunduğu imkanlar ve destek, bu çalışmanın en önemli yapı taşlarından biriydi.

Son olarak, danışmanım Prof. Dr. Mustafa Zeki YILMAZOĞLU'na, bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösterdiği, her adımda yanımda olduğu ve beni bu süreçte geri bildirimleri ile yönlendirdiği için minnettarım.

Tezimin hazırlanmasında katkısı olan herkese tekrar teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ SÜRECİ	5
2.1. Planlama Aşaması	5
2.2. Paydaş İhtiyaçlarının ve İsterlerinin Tanımlanması	7
2.3. Sistem İsterlerinin Oluşturulması	8
2.4. Sistem Mimarisinin Oluşturulması.....	9
2.5. Tasarım Tanımlama Süreci	10
2.6. Uygulama Süreci	10
2.7. Entegrasyon Süreci.....	11
2.8. Geçiş Süreci	11
2.9. Geçerleme Süreci.....	12
2.10. Operasyon Süreci	12
2.11. Destek Süreci	12
2.12. Elden Çıkarma Süreci	12
2.13. Entegre Süreçler	12
2.13.1. Emniyet değerlendirmesi süreci	12

	Sayfa
2.13.2. Geliştirme teminat seviyesi atama süreci	14
2.13.3. İster yakalama süreci.....	15
2.13.4. İster geçerlemesi süreci	15
2.13.5. İster doğrulaması süreci	17
2.13.6. Konfigürasyon yönetimi süreci	18
2.13.7. Süreç teminatı süreci	19
2.13.8. Sertifikasyon ve otorite ile koordinasyon süreci	19
2.14. Hava Aracı Entegrasyonu	20
2.15. Proje Teknik Gözden Geçirmeleri ve Kontrol.....	21
3. MODEL TABANLI SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ YAKLAŞIMI	25
3.1. Model Tabanlı Sistem Mühendisliği'nin Tanımı	25
3.2. Model Tabanlı Sistem Mühendisliği'nin Yapıtaşları	26
3.2.1. Süreç	26
3.2.2. Metot.....	27
3.2.3. Araç.....	29
3.2.4. Çevre.....	30
3.3. Klasik Sistem Mühendisliği Süreci ile Model Tabanlı Sistem Mühendisliği'nin Karşılaştırılması.....	30
4. YÖNTEM.....	35
4.1. ARCADIA Metodu	35
4.1.1. Operasyonel analiz.....	36
4.1.2. Sistem analizi	40
4.1.3. Mantıksal mimari	45
4.1.4. Fiziksel mimari.....	49

	Sayfa
5. İKİNCİL GÜÇ SİSTEMİ GELİŞTİRME SÜRECİ UYGULAMASI....	55
5.1. Sistem Tanımı	55
5.2. Operasyonel Analiz	56
5.3. Sistem Analizi.....	64
5.4. Mantıksal Mimari	71
5.5. Fiziksel Mimari.....	85
5.6. Sistem Entegre Süreçleri	91
5.6.1. Sistem emniyet değerlendirmesi	91
5.6.2. Sistem isterleri yakalaması	93
5.6.3. Sistem isterleri geçerlemesi.....	93
5.6.4. Sistem isterleri doğrulaması	94
5.7. Hava Aracı Entegrasyonu	94
5.8. Model Geçerlemesi Yaklaşımı	96
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	111

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hata durumları şiddet sınıflandırmaları ve ilişkili geliştirme teminat seviyeleri	15
Çizelge 3.1. Klasik sistem mühendisliği yaklaşımı ve model tabanlı sistem mühendisliği yaklaşımı karşılaştırması.....	33
Çizelge 4.1. Operasyonel analiz adımları	37
Çizelge 4.2. Sistem analizi adımları	41
Çizelge 4.3. Mantıksal mimari adımları	46
Çizelge 4.4. Fiziksel mimari adımları.....	50
Çizelge 5.1. Uygulamada gerçekleştirilen operasyonel analiz adımları	57
Çizelge 5.2. Uygulamada gerçekleştirilen sistem analizi adımları	64
Çizelge 5.3. Uygulamada gerçekleştirilen mantıksal mimari adımları.....	71
Çizelge 5.4. Değerlendirilen alternatif ikincil güç sistemleri	74
Çizelge 5.5. İkincil güç sistemi alternatif ekipmanları	74
Çizelge 5.6. Performans kriterinin değerlendirilmesi	77
Çizelge 5.7. Fiziksel özellikler kriterinin değerlendirilmesi.....	79
Çizelge 5.8. Alternatif sistemlerin değerlendirilmesi	80
Çizelge 5.9. Uygulamada gerçekleştirilen fiziksel mimari adımları.....	85

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sistem mühendisliği V modeli [36].....	6
Şekil 2.2. Sistem geliştirme süreci ve sistem emniyeti süreci ilişkisi.....	14
Şekil 3.1. Klasik sistem mühendisliği yaklaşımı [41].....	30
Şekil 3.2. Model tabanlı sistem mühendisliği yaklaşımı [41].....	31
Şekil 3.3. Ömür devri maliyetleri [41].....	32
Şekil 4.1. ARCADIA sistem mühendisliği metodu [4]	36
Şekil 4.2. Operasyonel birim sembolü.....	37
Şekil 4.3. Operasyonel aktör sembolü	37
Şekil 4.4. Operasyonel kabiliyet sembolü.....	38
Şekil 4.5. Operasyonel aktivite sembolü.....	38
Şekil 4.6. Operasyonel etkileşim sembolü.....	38
Şekil 4.7. Operasyonel süreç sembolü	39
Şekil 4.8. Operasyonel senaryo sembolü	39
Şekil 4.9. Mod (solda) ve durum (sağda) sembolleri.....	39
Şekil 4.10. Operasyonel analiz seviyesinde sunulan konseptlerin diyagram gösterimi.....	40
Şekil 4.11. Sistem sembolü.....	41
Şekil 4.12. Aktör sembolü	42
Şekil 4.13. Görev sembolü.....	42
Şekil 4.14. Sistem kabiliyeti sembolü.....	42
Şekil 4.15. Fonksiyon sembolü.....	43
Şekil 4.16. Fonksiyonel etkileşim sembolü	43
Şekil 4.17. Komponent etkileşimi sembolü	43

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18. Fonksiyonel zincir sembolü.....	44
Şekil 4.19. Senaryo sembolü.....	44
Şekil 4.20. Sistem analizi seviyesinde sunulan konseptlerin diyagram gösterimi.....	45
Şekil 4.21. Mantıksal komponent sembolü.....	46
Şekil 4.22. Mantıksal aktör sembolü.....	47
Şekil 4.23. Mantıksal fonksiyon sembolü.....	47
Şekil 4.24. Mantıksal senaryo sembolü	48
Şekil 4.25. Mantıksal mimari seviyesinde sunulan konseptlerin diyagram gösterimi.....	49
Şekil 4.26. Davranış tipi fiziksel komponent sembolü	50
Şekil 4.27. Düğüm tipi fiziksel komponent sembolü.....	51
Şekil 4.28. Fiziksel aktör sembolü.....	51
Şekil 4.29. Fiziksel fonksiyon sembolü	51
Şekil 4.30. Fiziksel bağlantı sembolü	52
Şekil 4.31. Fiziksel mimari seviyesinde sunulan konseptlerin diyagram gösterimi	53
Şekil 5.1. Operasyonel birimler ve aktörler	58
Şekil 5.2. Operasyonel kabiliyetler	59
Şekil 5.3. Operasyonel aktiviteler	60
Şekil 5.4. Operasyonel aktiviteler arasındaki ilişkiler	61
Şekil 5.5. Operasyonel analiz diyagramı	63
Şekil 5.6. Bağlamsal sistem aktörleri.....	65
Şekil 5.7. Bağlamsal aktörler ve görevleri.....	65
Şekil 5.8. Görev ve kabiliyetler	66
Şekil 5.9. Fonksiyonel kırılım.....	67
Şekil 5.10. Fonksiyonel etkileşimler.....	68

Şekil	Sayfa
Şekil 5.11. Fonksiyonel sistem mimarisi	69
Şekil 5.12. Motor başlatma senaryosu fonksiyonel zinciri	70
Şekil 5.13. Sistemin gerçekleştirmesi gereken kabiliyetler	72
Şekil 5.14. Tasarım çözümünden bağımsız kırılan fonksiyonlar	73
Şekil 5.15. Alternatif sistem seçimi sonrası fonksiyonel kırılım	82
Şekil 5.16. Alt sistem mantıksal komponent kırılımları	83
Şekil 5.17. Mantıksal alt sistem mimarisi	84
Şekil 5.18. Ekipman fonksiyonları kırılımı	86
Şekil 5.19. Fiziksel kırılım	87
Şekil 5.20. İkincil güç sistemi fiziksel mimarisi	89
Şekil 5.21. İkincil güç sistemi fiziksel mimarisi - motor başlatma senaryosu	90
Şekil 5.22. A-10 ikincil güç sistemi fiziksel mimarisi [16]	98
Şekil 5.23. Pnömatik bağlantılı ikincil güç sistemi konsepti [35]	99
Şekil 5.24. B-1B ikincil güç sistemi fiziksel mimarisi [25]	100

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

kg

Kilogram

Kısaltmalar

Açıklamalar

AADL

Architectural Analysis and Design Language

ARCADIA

Architecture Analysis and Design Integrated Approach

EASA

European Aviation Safety Agency

EPBS

End Product Breakdown Structure

FEMMP

Framework for the Evaluation of MBSE
Methodologies for Practitioners

FTD

Fonksiyonel Tehlike Değerlendirmesi

INCOSE

International Council on Systems Engineering

MDDM

Model-Driven Development Methodology

MODAF

Ministry of Defence Architecture Framework

MTSM

Model Tabanlı Sistem Mühendisliği

OOSEM

Object-Oriented Systems Engineering Method

OPM

Object-Process Methodology

PPOOA

Process Pipelines in Object-Oriented Architectures

RePoSyD

Requirements Engineering, Project Management,
and System Design

RUP SE

Rational Unified Process for Systems Engineering

SM

Sistem Mühendisliği

SysML

Systems Modeling Language

UML

Unified Modeling Language

1. GİRİŞ

Sistem mühendisliği disiplini, kompleks ve karmaşık projelerde sözleşme öncesi ve sonrası gerekli planlama ve proje teknik yönetim faaliyetlerinin yürütülmesi, ihtiyaçların belirlenerek ister setinin oluşturulması ve yönetilmesi, isterlerden yola çıkarak sistem mimarisinin tasarlanması ve arayüzlerin yönetilmesi, isterlerin doğrulanması ve sistem kalifikasyonu gibi konularda kritik öneme sahiptir.

Sistemlerde komplekslik ve karmaşıklığın artması sonucu geliştirme sürecinde sistematik yöntemler uygulanması, sistem bileşenleri arasındaki bağlantıların ve izlenebilirlik ilişkilerinin belirli metotlarla takip edilmesi kaçınılmaz hal almıştır. Gelişen teknolojik altyapı ile birlikte klasik sistem mühendisliği uygulamalarında ister takibi ve yönetimi, mimari geliştirme gibi disiplinlerde yazılım araçları kullanımı yaygınlaşmıştır. Sistem mühendisliği ve ürün ömür devri yönetimi alanlarında ortaya çıkan yeni gelişmelerle birlikte son yıllarda Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM) yaklaşımı örnek projelerle denenmeye başlanmış ve ortaya çıkan sonuçlarla birlikte kompleks ve karmaşık projelerde de kullanıma alınmaya başlanmıştır.

Bu tez çalışması, klasik sistem mühendisliği ile model tabanlı sistem mühendisliği disiplinlerini, yaklaşımlarını ve ilgili süreçlerini karşılaştırmayı, ayrıca model tabanlı sistem mühendisliği yaklaşımını kullanarak bir hava aracı ikincil güç sistemi geliştirme sürecini uygulamayı amaçlamaktadır.

Bu tez çalışmasının kapsamı, giriş, klasik sistem mühendisliği sürecinin tanımlanması, model tabanlı sistem mühendisliği sürecinin tanımlanması, model tabanlı sistem mühendisliği yaklaşımı ile bir hava aracı ikincil güç sistemi geliştirme süreci uygulaması ve sonuç kısımlarını içermektedir.

Bu tez çalışması kapsamında literatürde klasik sistem mühendisliği ve MTSM yaklaşımları ile sistem geliştirme süreci, bu yaklaşımların teorik alt yapıları hakkında yapılan geçmiş çalışmalar ve havacılık endüstrisinde kullanılan alternatif ikincil güç sistemleri gözden geçirilmiştir.

Estefan (2007) MTSM metotları hakkında bir araştırmanın sonucunu sunmuş olup, bu çalışma kapsamında süreç, metot, yazılım aracı ve uygulama ortamı kavramlarının tanımlarını yapmış ve sistematik MTSM çalışmaları için bir örnek teşkil etmiştir. Sunulan metot, yazılım araçları ve uygulama dilleri arasında herhangi bir karşılaştırma yapılmamıştır.

Weilkiens ve diğerleri (2016) MTSM metotlarının değerlendirilmesi için Uygulayıcılar İçin MTSM Metodolojilerinin Değerlendirilmesi Çerçevesi (Framework for the Evaluation of MBSE Methodologies for Practitioners - FEMMP) çerçevesini tanımlamış, değerlendirme kriterlerini temel nitelikler, uygulanabilirlik, verimlilik, kullanılabilirlik/deneyim ve destek olarak sınıflandırmış ve SYSMOD+ ve MDDM metotları için bu çerçeveyi kullanarak değerlendirmelerini yapıp sonuçlarını paylaşmıştır.

Maio ve diğerleri (2021) FEMMP yaklaşımı ile Vitech Methodology (STRATA), Object-Process Methodology (OPM), RePoSyD ve ARCADIA metotlarını değerlendirerek sonuçlarını paylaşmıştır. Bu çalışmada FEMMP çerçevesinin yalnızca temel nitelikler ve bazı uygulanabilirlik sınıfındaki değerlendirme kriterleri baz alınmıştır.

Javid (2020) bu çalışmada farklı MTSM metot değerlendirme çerçevelerini tanımlamış, bu çerçevelerden FEMMP ile ARCADIA metodunu sistemlerin analiz ve tasarımı için ne kadar etkili olduğunu belirlemek için değerlendirmiş ve bu metot ile Capella yazılım ortamında jenerik bir buharlı motor için operasyonel analizden başlayarak fiziksel mimariye kadar bir modelleme çalışması yaparak ilgili diyagramları sunmuştur.

Ertarakçı (2020) bir insansız hava aracının alt sistemleri ve bu insansız hava aracına ait bazı temel görevleri MODAF rehberini baz alarak MagicDraw yazılımında modellemiştir.

Chen ve diğerleri (2018) bir havacılık motoru için MTSM yaklaşımının gereksinim yönetimi ve fonksiyonel kırılım üzerine uygulamasını Harmony metodu ve SysML dilini kullanarak yapmış ve bu bağlamda ilgili gereksinim, kullanım senaryosu diyagramlarını oluşturmuştur.

Alai (2019) adaptif hız sabitleyici sistem mimarisi geliştirme uygulamasını ARCADIA metodu ile Capella yazılım aracında ve OOSEM metodu ile No Magic Cameo Enterprise Architecture aracında gerçekleştirmiş olup bu iki metot ve araç arasında bir kıyaslama yapmıştır.

Jeyaraj (2019) MTSM'nin hava aracı geliştirme sürecinin konsept tasarım evresinde uygulanmasına yönelik uçuş kontrol sistemi vaka çalışmasını gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, uçuş kontrol sistemi içerisinde alternatif aktivasyon sistemi mimarileri sunulmuş olup bu alternatifler için ARCADIA metodu ile Capella yazılım aracında fonksiyonel, mantıksal ve fiziksel mimari şemaları oluşturulmuştur.

Dickson (1988) genel ikincil güç sistemi isterlerine, ikincil güç sistemlerinin sağladığı servislere göre sınıflandırılmasına, askeri havacılıkta kullanılan ikincil güç sistemleri çeşitlerine ve bu sistemlerin üreticilerine, ikincil güç sistemleri için tasarım kriterlerine ve ikincil güç sistemlerindeki kritik teknolojilere değinmiştir.

Ganev ve Koerner (2013) hava aracı Güç ve Termal Güç Yönetimi Sistemi ve getirdiği avantajları sunmuş, bu sistemin motor başlatma modu, acil durum güç üretimi modu gibi farklı çalışma modlarındaki mimarilerini vererek çalışma prensiplerini anlatmış ve sistemin ana bileşenlerinden bahsederek özellikle güç elektroniği ile ilgili bileşenler için geliştirme önerilerini belirtmişlerdir.

Rhoden (1984) temel ikincil güç sistemi bileşenlerini tanımlamış, ikincil güç sisteminin hava aracına sağladığı servislerden bahsederek ikincil güç sisteminin hava aracı operasyon ve bakım süreçlerine getirdiği katkılara değinmiş. İkincil güç sistemi alternatiflerini pnömatik, mekanik, elektrik, hidrolik ve hibrit olarak sınıflandırmış, tüm bu alternatiflerin mimarilerinde Yardımcı Güç Ünitesi'ni merkeze alan bir yaklaşımla ilerlemiştir.

MTSM kavramı, metodoloji, yazılım araçları ve diller üzerine yapılan literatür araştırmasının özeti olarak, Estefan'ın çalışması [1], temel kavramların anlaşılması için önem arz ederken, Weilkiens ve diğerlerinin FEMMP çerçevesi [33], daha derinlemesine bir değerlendirme ve kıyaslama imkanı sunmaktadır. Maio ve diğerlerinin çalışması [30], belirli kriterlerle sınırlı olsa da, çeşitli metotların karşılaştırılmasına katkıda bulunmuştur. Javid'in çalışması ise [32], teorik değerlendirmeleri pratik bir modelleme örneği ile destekleyerek, ARCADIA metodunun sistem analizi ve tasarımındaki etkinliğini göstermiştir.

MTSM modelleme uygulamaları üzerine yapılan literatür araştırmasının özeti olarak, Ertarakçı'nın çalışması [8] MODAF ve MagicDraw kombinasyonunun güçlü yönlerini ortaya koyarken, Chen [20] ve Jeyaraj'ın [9] çalışmaları MTSM ve ilgili araçların havacılık

projelerinde gereksinim yönetimi ve fonksiyonel analiz için uygun olduğunu göstermektedir. Alai'nin [7] çalışması ise ARCADIA ve OOSEM metodolojilerinin karşılaştırmalı analizini sunarak, sistem mimarisi geliştirme süreçlerinde hangi metodolojinin ve aracın daha etkili olabileceğini değerlendirmektedir.

İkincil güç sistemleri, bu sistemlerin temel özellikleri, çalışma prensipleri ve bileşenleri üzerine yapılan literatür araştırmasının özeti olarak, Dickson'ın çalışması [31], ikincil güç sistemlerinin temel gereksinimlerini ve kritik teknolojileri anlamak için bir temel sunarken, Ganev ve Koerner [34] Güç ve Termal Yönetim Sistemi ve çalışma modlarına odaklanarak bu alandaki bilgi birikimini genişletmektedir. Rhoden ise [35], ikincil güç sistemlerinin sınıflandırılması ve Yardımcı Güç Ünitesi'ni merkeze alarak bu sistemlerin alternatif mimarilerini değerlendirmesiyle önemli bir katkı sağlamaktadır.

Yapılan araştırmanın sonucunda literatürde temel olarak üç boşluk ve sorun görülmüştür. Bunlardan birincisi MTSM alanında özellikle son dönemlerde ortaya konulmuş metot, araç ve dillerle birlikte alternatiflerin çoğalmasına bağlı olarak bu alternatifler arasından sektör ve uygulanacak sistemin yapısı da düşünülerek sistematik bir seçim yapma ihtiyacının artması ve bilhassa Türkiye'de bu alanda çalışma örneklerinin bulunmaması, ikincisi havacılık güç sistemlerine ilişkin MTSM uygulama örneklerinin ticari veya açık kaynaklı bir MTSM yazılımında yaygın olmaması, üçüncüsü ise sistem mühendisliği rehber dokümanları ve standartlarında bahsedilen sistem geliştirme süreçlerinin diğer entegre süreçlerle etkileşimine dair yeteri kadar çalışma ve uygulama örneklerinin bulunmamasıdır.

Bu tez çalışmasında entegre süreçlerle etkileşimli, endüstriyel ve havacılık sistem geliştirme rehber ve standartlarına uygun bir sistem mühendisliği süreci tanımlanmış, MTSM ve MTSM'nin bileşenleri tanıtılmış, kuramsal bir askeri hava aracı için görev ve ihtiyaç duyulan kabiliyetlerden başlayarak ikincil güç sistemi alternatiflerinin belirlenmesi ve bu alternatifler arasından seçim yapılarak fiziksel mimarinin oluşturulmasına kadar bir Capella/ARCADIA uygulaması yapılmış ve literatüre bu alanlarda katkı sunulması hedeflenmiştir.

2. SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ SÜRECİ

2.1. Planlama Aşaması

Planlama sürecinin amacı, proje boyunca işletilecek efektif plan dokümanlarının oluşturulmasıdır. Bu planların kapsamı proje yönetim yaklaşımını, teknik süreçlerde yapılacak aktiviteleri, bu aktivitelerinin girdilerini ve çıktılarını, proje takvimini, proje başarımlarını içerir. Planlama aşaması ağırlıklı olarak projenin erken aşamalarında işletilmesine karşın yaşayan bir süreçtir ve plan dokümanları proje olgunluğuna bağlı olarak güncellenebilir veya ihtiyaca binaen yeni plan dokümanları oluşturulabilir.

Hava aracı ve hava aracı sistemleri geliştirme sürecinde oluşturulabilecek temel plan dokümanları aşağıda verilmiştir:

- Proje Yönetim Planı
- Sistem Mühendisliği Yönetim Planı
- Sistem Geliştirme Planı
- İster Yönetim Planı
- Doğrulama ve Geçerleme Planı
- Konfigürasyon Yönetim Planı
- Kalite Yönetim Planı
- Sistem Emniyeti Program Planı
- Test ve Değerlendirme Ana Planı
- Çevresel Etkiler Yönetim Planı

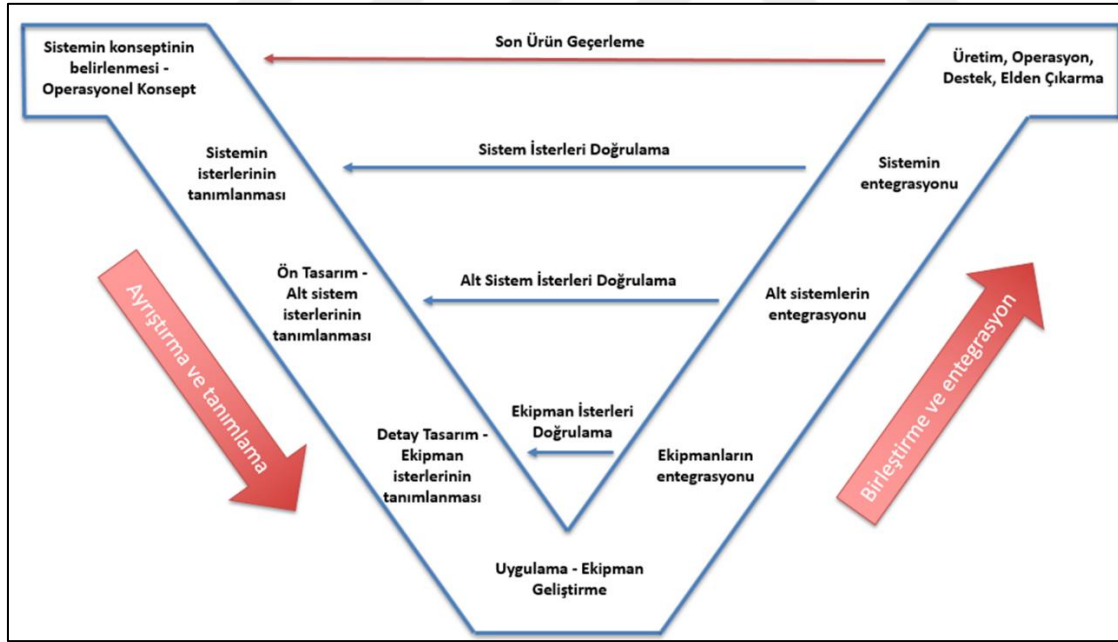
Bu planlar temel plan dokümanlarına örnek olarak verilmiş olup sözleşme isteklerine ve proje ihtiyaçlarına bağlı olarak bu liste güncellenebilir veya genişletilebilir.

Projelerde sistem mühendisliği süreci, yaygın uygulama olarak Sistem Mühendisliği Yönetim Planı'na göre yürütülür ve gerekli durumlarda sistem mühendisliği alt süreçleri için ayrı ayrı plan dokümanları da yazılabilir.

Planlama aşamasında Sistem Mühendisliği Yönetim Planı içerisinde ömür devri modeli

yaklaşımı da belirlenmelidir. Bu yaklaşımlardan yaygın olanları Royce tarafından geliştirilen su döngüsü modeli, Boehm tarafından geliştirilen spiral modeli, Forsberg ve Mooz tarafından geliştirilen V (Vee) modelidir [2]. Havacılık sistem geliştirme süreçlerinde günümüzde yaygın olarak kullanılan ve bu tez çalışmasında da referans alınan model V modelidir. Sistem mühendisliği V modeli, sistem geliştirme sürecini ve doğrulama faaliyetlerini görselleştiren bir modeldir. V modeli, adını şeklinin bir "V" harfine benzemesinden alır ve iki ana bölümden oluşur: sol tarafı sistemin ayrıştırma ve tanımlama aşamalarını, sağ tarafı ise entegrasyon ve doğrulama aşamalarını temsil eder.

V modeli, sistem geliştirme sürecinin baştan sona nasıl yönetileceğini ve her aşamada hangi faaliyetlerin yapılacağını net bir şekilde gösterir. Sistemin her seviyede doğru ve etkili bir şekilde tasarlanmasını ve entegre edilmesini sağlar. Ayrıca, doğrulama ve geçirme adımlarıyla sistemin her aşamada isteri karşıladığından emin olunur. Bu yaklaşım, sistem mühendisliğinde hata olasılığını azaltır ve nihai ürünün kalite ve performansını artırır.



Şekil 2.1. Sistem mühendisliği V modeli [36]

Bu tez çalışmasında sistem mühendisliği süreci; V modeli yaklaşımı, SAE ARP 4754A sistem geliştirme süreci ve ISO/IEC/IEEE 15288 sistem ömür devri süreçleri baz alınarak tanımlanmıştır.

2.2. Paydaş İhtiyaçlarının ve İsterlerinin Tanımlanması

Bu sürecin amacı, kullanıcı ve diğer paydaşlar (müşteri, bakım personeli, vb.) tarafından ilgili sistem özelinde ihtiyaç duyulan kabiliyetlerin sistematik bir şekilde paydaş ister setine dönüştürülmesidir.

Bu süreç içerisinde öncelikle sistemin tüm ömür devri düşünülerek paydaşların kimler olabileceği değerlendirilir, daha sonrasında da paydaşların ihtiyaçları tanımlanır. Paydaşların ihtiyaçları tanımlanırken sistemden beklenen görevler, görev profilleri, kullanım ortamı ve çevresel koşullar, kullanım bağlamı veya senaryoları ve bu ihtiyaçların rasyonelleri de dikkate alınmalıdır. Bu çalışma yapılırken paydaşlardan gelen birbiri arasında çelişkili veya sistemin karakteristiği ile çelişkili ihtiyaçlar olması durumunda ihtiyaçlar arasında önceliklendirme veya paydaşlar arasında uzlaşmaya varma gibi metotlar izlenmelidir. Paydaşların ihtiyaçları belirlenirken veya ihtiyaçlar arasında uzlaşma yapılması gerekli durumlarda çalışma gruplarının oluşturulup beyin fırtınası yapılması, ilgili paydaşlarla soru-cevap panellerinin yapılması, pazar araştırması ve benzer ürünlerin değerlendirilmesi, sistemin çalışma ortamının yerinde gözlemlenmesi, paydaşların oluşturduğu ilişkili teknik dokümantasyonun incelenmesi gibi teknikler kullanılabilir.

Bu çalışmalardan elde edilecek çıktılarla ilgili sistem için Operasyonel Konsept dokümanı oluşturulur. Operasyonel Konsept dokümanı, ilgili sistemin gerçek kullanım ortamında hangi kabiliyetleri ortaya koyacağını ve bu kabiliyetlerin rasyonelini açıklar. Kullanıcı odaklı bir doküman olduğundan bu kabiliyetlerin nasıl yerine getirileceğinden daha ziyade sistemin ana özelliklerine ve sağlayacağı kabiliyetlere değinir. Daha sonrasında da paydaşlarla yapılan çalışmalarda belirlenmiş ihtiyaçlar ve Operasyonel Konsept dokümanında belirtilen kabiliyetler Paydaş İsterleri Dokümanı'na veya Müşteri İsterleri Dokümanı'na dönüştürülür. Bu aktivite yapılırken ister yazım kuralları ve ister analiz yöntemleri de dikkate alınmalıdır. Bu kurallara ve analiz yöntemlerine ilerleyen başlıklarda detaylı bir şekilde değinilmiştir. Paydaş veya Müşteri İsterleri Dokümanı oluşturulduktan sonra bu dokümanlar ve içerik konfigürasyon ve gereksinim yönetimi stratejileri ve kurallarına bağlı olarak yönetilmelidir. Bu dokümanlar ve diğer ilişkili dokümanlar arasında çift taraflı izlenebilirlik ilişkileri kurulmalı, değişiklikler sistematik bir şekilde yönetilmeli ve belirlenmiş periyotlarla konfigürasyon anahat çizgileri çekilmelidir.

Buna ek olarak, paydaş veya müşteri isterleri dokümanite edildikten sonra proje isterlerine bağlı olarak projenin teknik ilerlemesini değerlendirebilmek amaçlı kritik performans ölçütleri tanımlaması yapılabilir.

Özetle bu sürecin temel çıktıları aşağıda sıralanmıştır:

- Tanımlanmış paydaşlar ve paydaşların ihtiyaçları,
- Operasyonel Konsept Dokümanı,
- Paydaş veya Müşteri İsterleri Dokümanı,
- Tanımlanmış kritik performans ölçütleri (etkinlik ölçütleri),
- İlgili çift taraflı izlenebilirlik ilişkileri.

2.3. Sistem İsterlerinin Oluşturulması

Sistem isterleri oluşturma sürecinin amacı daha önceden paydaşlarla birlikte tanımlanmış, sistemden beklenen kullanım, operasyon, idame-işletme odaklı kabiliyetleri teknik bakış açısını da göz önüne alarak geliştirme sürecine girdi olacak teknik isterlere dönüştürmektir.

Bu süreçle birlikte, geliştirici bakış açısıyla paydaşların ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına sistemin sahip olması gereken karakteristik özellikleri, performans ve fonksiyonel başta olmak üzere ölçülebilir ve geçerlenebilir teknik isterleri ortaya çıkarılır. Bu teknik ister seti, bir önceki süreçte oluşturulmuş Paydaş veya Müşteri İsterleri Dokümanı ile izlenebilirlik ilişkileri ile bağlanır. Bu süreçte ortaya çıkarılacak teknik isterlerin de özel durumlar veya kısıtlar haricinde tasarım çözümü içermemesi sağlanmalıdır. Oluşturulan teknik isterler, Sistem İsterleri Dokümanı içerisinde yönetilir. Sistem İsterleri Dokümanı ile Müşteri İsterleri Dokümanı, mimari elemanları, arayüzler, tasarım çözümleri, doğrulama yöntemleri veya testler, daha alt seviyedeki teknik isterler arasında uygun çift taraflı izlenebilirlik ilişkileri kurulmalıdır.

Daha sonrasında bu isterler hem tekil hem de ister seti olarak analiz edilir. Tekil analiz, set içerisindeki herhangi bir isterin anlaşılır, tutarlı, tam, tasarım çözümünden bağımsız, izlenebilir, doğrulanabilir, gerekli olup olmamasını kapsar. İster seti seviyesindeki analiz ise ister setinin olası tüm isterleri içerip içermediğini yani setin tam olup olmadığını, tüm paydaşlarının ihtiyaçlarının göz önüne alınıp alınmadığını, isterler arasında herhangi bir

çelişki olup olmaması gibi kontrolleri kapsar. Bu analizin detayları, İster Geçerlemesi bölümünde örnekler ile anlatılmıştır. Bu analizlerin yapılması ile paydaşlara isterlerinin geçerliliği ile ilgili geri bildirim verilir ve isterlerdeki eksiklerin karşılıklı olarak giderilmesi sağlanır.

Üzerinde el sıkışılmış, eksikleri giderilmiş ve geçerlenmiş isterler ile Sistem İsterleri Dokümanı son haline getirilir. Bu sürecin tamamlanması sistemin ömür devrinde Sistem İsterleri Gözden Geçirme Aşaması'na karşılık gelir ve başta Sistem İsterleri Dokümanı olmak üzere ilgili dokümanlara konfigürasyon anahat çizgileri çekilmelidir.

Özetle bu sürecin temel çıktıları aşağıda sıralanmıştır:

- Sistem İsterleri Dokümanı,
- Tanımlanmış kritik performans ölçütleri (performans ölçütleri),
- Müşteri İsterleri Dokümanı ve Sistem İsterleri Dokümanı arasında çift taraflı izlenebilirlik ilişkileri,
- Geçerleme Raporu,
- Sistemin tanımı, sistemin sınırları ve bu sınırlardaki arayüzleri, sistemin fonksiyonları,
- Doğrulama metotları.

2.4. Sistem Mimarisinin Oluşturulması

Crawley ve diğerlerine göre sistem mimarisi, sistemi oluşturan bileşenlerin ve bu bileşenler arasındaki ilişkilerin soyut gösterimi şeklinde tanımlanır [26]. ISO/IEC/IEEE 42010'a göre ise bu tanım sistemin çevresi ile olan ilişkileri ile de genişletilebilir [19].

Mimari tanımlama sürecinin amacı ise, sistem mimarisi alternatiflerini oluşturmak, bu alternatiflerden paydaşların ihtiyaçlarını ve sistem isterlerini karşılayan bir veya daha fazla seçim yapmak ve bu seçilen alternatif(ler)in tutarlı mimari gösterimlerini oluşturmaktır. Mimari alternatifleri, sistem ömür devrinde farklı farklı seviyelerde de uygulanabilir. Öte yandan temelde fonksiyonel, mantıksal, fiziksel olmak üzere farklı tipte mimariler ve bu mimari tipleri ile ilişkili çeşitli mimari gösterim diyagramları bulunmaktadır. Bu mimari tipleri ve gösterim diyagramları Model Tabanlı Sistem Mühendisliği Yaklaşımı bölümünde detaylandırılmıştır.

Mimari tanımlama sürecinin temel çıktılarının özeti aşağıdaki gibidir:

- Alternatif sistem mimarileri (fonksiyonel/mantıksal/fiziksel),
- Sistemin bağlamının, sınırlarının ve dış arayüzlerinin mimari üzerinde gösterimi,
- Mimari elemanları ve bu elemanların birbiriyle olan arayüzleri,
- Mimari seçimini etkileyen ihtiyaçların, isterlerin, fonksiyonların mimari elemanları ile izlenebilirlik ilişkileri,
- Seçilen mimarinin, tasarım çözümü veya tedarik etme aktiviteleri ile ilişkilendirilmesi ve yönetimi.

2.5. Tasarım Tanımlama Süreci

Tasarım tanımlama sürecinin amacı, mimarinin tanımlanması ile ortaya çıkmış sistem elemanlarının uygulama sürecine geçebilmesi için gerekli detay tasarım verilerinin üretilmesidir. Bu verilere örnek olarak teknik resimler, üretime aktarılacak veri paketleri, vb. verilebilir.

Tanımlanan mimariler ve mimarideki elemanlara tahsis edilmiş teknik isterler baz alınarak bu süreç yürütülür. Bir önceki süreçte efektif yani tasarımdan mümkün oldukça bağımsız bir mimari tanımlanmış ise tasarım uzayındaki alternatifler de değerlendirilerek tasarım çözümleri ortaya konulur. Alternatiflerin değerlendirilmesi esnasında rafta hazır olan ürünlerin kullanılması, daha önceden geliştirilmiş bir elemanın olduğu gibi veya modifiye edilerek kullanılması veya yeni geliştirilecek elemanlar tercih edilebilir. Bu süreçte tasarım mühendisleri, sistem mühendislerine göre daha aktif bir rol oynar.

2.6. Uygulama Süreci

Uygulama sürecinin amacı, bir sistem elemanının ortaya çıkarılması veya başka bir tabirle gerçeğe dönüştürülmesidir. Bu süreçte önceki aşamalarda oluşturulmuş teknik isterler, mimari ve tasarım çözümleri seçilen uygulama metoduna bağlı olarak fiziksel bir şekilde ortaya çıkarılır. Bu süreçte sıfırdan tasarım ve üretim, raftan hazır alım, var olan bir elemanı modifikasyonla veya olduğu gibi kullanma gibi metotlar mevcuttur. Bu metotlardan hangisi seçilirse seçilsin ortaya çıkan sistem elemanı kendisine tahsis edilmiş teknik isterler baz

alınarak doğrulanmalıdır ve kalite standartlarına uygunluğu teminat altına alınmalıdır. Bu süreçte de seçilen uygulama metoduna bağlı olarak üretim, tedarik veya sözleşme mühendisleri aktif rol oynarlar.

2.7. Entegrasyon Süreci

Entegrasyon sürecinin amacı, ortaya çıkarılmış sistem elemanları kümesini birbirleriyle ve dış ortamlarla sentezleyerek sistem isterlerini, mimariyi ve tasarımı karşılayan bir sistem oluşturmaktır.

Bu sürecin öncesinde entegrasyon takvimini, maliyetleri optimize etmek ve riskleri minimize etmek için bir entegrasyon ve montaj planlaması yapılmalıdır. Bu süreçle birlikte aynı zamanda entegre süreçlerde detaylarına değinilecek olan doğrulama süreci de işletilmelidir. Doğrulama sürecini başarı ile tamamlamış ve mimari geliştirme sürecinde arayüzleri tanımlanmış sistem elemanları, entegrasyon süreci ile birlikte sentezlenmelidir. Entegrasyon yapılırken aynı zamanda erişilebilirlik, bakım kolaylığı gibi hususlar da göz önüne alınmalıdır. Bu süreç iteratif ve tümevarım esaslı bir süreç olduğundan her aşamada iç ve dış arayüzlerin, sistem isterlerine uyumluluğun, belirlenen fonksiyonların sağlandığının kontrol edilmesi gerekmektedir.

Entegrasyon sürecinin ardından ise doğrulama, geçiş, geçerleme, operasyon, destek ve elden çıkarma süreçleri gelir. Doğrulama süreci bir sonraki bölümde entegre süreçler içerisinde tanımlanmıştır. Diğer süreçlerin amaçları ise ilerleyen başlıklarda verilmiştir.

2.8. Geçiş Süreci

Geçiş sürecinin amacı, doğrulanmış sistemin diğer ilgili tüm destekleyici sistemlerle birlikte operasyonel ortama alınması ve sistemin paydaş isterlerinde belirtilen tüm servisleri bu kullanım ortamında entegre olduğu diğer tüm sistemlerle uyumlu bir şekilde sağlayabildiğinin gösterilmesidir. Bu süreçte sistemin fiziksel arayüzleri ile birlikte kullanılacak platforma entegrasyonu da gerçekleştirilir.

2.9. Geçerleme Süreci

Geçerleme sürecinde, kullanım ortamına geçişi sağlanmış ve entegrasyonu tamamlanmış sistemin operasyonel ortamında kullanıldığında görev ve paydaş isterlerini sağladığı daha önceden paydaşlarca anlaşılmış geçerleme prosedürüne ve geçerleme yöntemlerine uygun teminat altına alınır. Doğru sistemin geliştirildiğinin gösteriminin yapıldığı aşamadır.

2.10. Operasyon Süreci

Operasyon süreci, geçerlenmiş sistemin operasyonel olarak görevlerde kullanıldığı aşamadır. Bu aşamada saha verileri de toplanarak sistemin davranışı izleme altında tutulur.

2.11. Destek Süreci

Destek süreci, operasyon sürecinin paralelinde yürütülür ve ana amacı sistemin idame işletmesini sağlamaktır. Davranışların izlenmesi, davranışlara bağlı olarak önleyici veya düzeltici aksiyonların alınmasını içerir. Uygulamada bu süreç sözleşme döneminde veya geliştirme sürecinin uygun bir zamanında paydaşlarca üzerinde mutabık kalınmış entegre ürün destek filozofisine ve sözleşmesine göre yürütülür. Bu süreç Güvenilirlik Merkezli Bakım, Durum Bazlı Bakım ve benzeri bir bakım stratejisine uygun yönetilir.

2.12. Elden Çıkarma Süreci

Elden çıkarma sürecinde ise sistemin kullanım sonuna gelmesi ile deaktive edilmesi, sökülmesi ve sökülen atık parçaların yönetimi yapılır.

2.13. Entegre Süreçler

2.13.1. Emniyet değerlendirme süreci

Emniyet değerlendirme süreci, platform veya üst sistemden kırılmış emniyet hedeflerine veya uçuşa elverişlilik/sertifikasyon isterlerine uyum göstermek amacıyla yapılır. Temel yaklaşım açısından da hata/kayıp bazlı veya tehlike/risk bazlı olmak üzere iki ana yaklaşım mevcuttur. Havacılık endüstrisinde yaygın olarak hata/kayıp bazlı emniyet değerlendirme

süreci yürütülür ve aşağıdaki analizler gerçekleştirilir. Tehlike/risk bazlı yaklaşım ise genellikle askeri projelerde ve/veya benzer ürün geliştirme süreçlerinde tehlike/risk veritabanlarının oluşturulabildiği projelerde kullanılır.

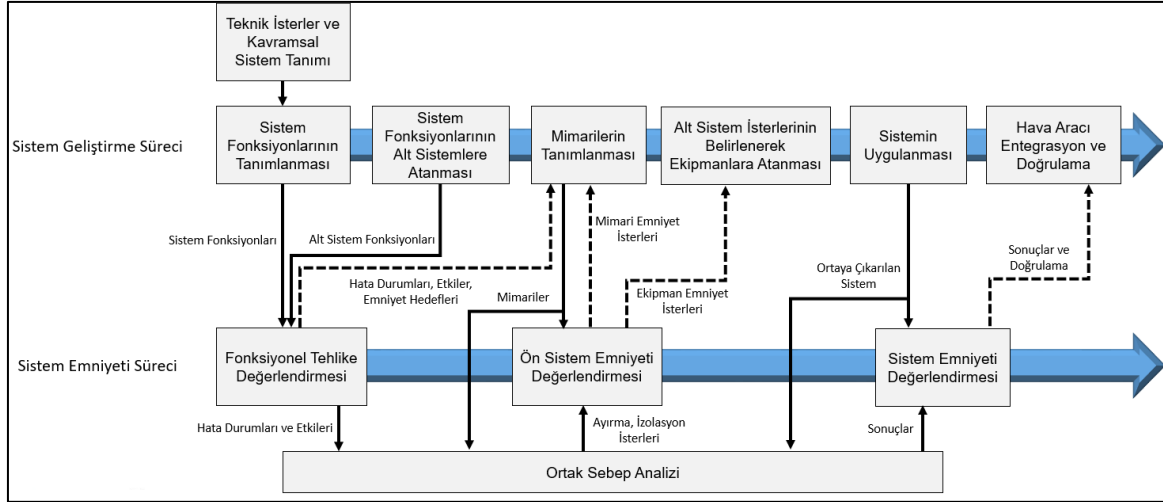
Fonksiyonel Tehlike Değerlendirmesi (FTD), sistem fonksiyonlarını inceleyerek potansiyel fonksiyonel hata durumlarını belirler ve bu hata durumlarının etkilerini şiddet seviyesine göre sınıflandırır. FTD geliştirme sürecinin başlarında oluşturulur ve yeni fonksiyonlar veya hata durumları belirlendiğinde güncellenir. Bu nedenle FTD, sistemin ömür devri boyunca güncellenen bir analizdir.

Ön Sistem Emniyeti Değerlendirmesi, sistem ve daha alt seviyeler için emniyet isterlerinin belirlenmesini ve ön görülen sistem veya alt sistem mimarisinin bu emniyet isterlerini karşılayıp karşılamadığını değerlendirmeyi amaçlar. Mimari olgunlaştıkça bu değerlendirme iteratif olarak güncellenir.

Sistem Emniyeti Değerlendirmesi, Ön Sistem Emniyeti Değerlendirmesi aşamasında belirlenmiş emniyet isterlerinin ortaya çıkarılmış sistem veya alt sistem tarafından karşılandığını doğrulamak ve belgelemek üzere gerçekleştirilir.

Ortak Sebep Analizi, alt sistemler veya ekipmanlar arasındaki fiziksel ve fonksiyonel ayrımı, izolasyonu ve bağımsızlık ihtiyacını tanımlayan isterleri belirler ve bu isterlerin karşılandığını doğrular.

Bu analizlerin ve emniyet sürecinin nasıl yürütüleceğini tariflemek adına Sistem Emniyeti Program Planı oluşturulur ve süreç bu plana göre yürütülür. Sistem emniyeti sürecinin, sistem geliştirme süreci ile çift taraflı ve sıkı bir ilişkisi vardır. Sistem geliştirme sürecinde ortaya çıkarılan sistem fonksiyonları, sistem mimarileri gibi çıktılar sistem emniyeti sürecine girdi olurken, sistem emniyeti sürecinde yapılan analizler ile sistem emniyeti isterleri, sistem mimarisine ilişkin yedekleme, fiziksel veya fonksiyonel ayrım/izolasyon, Geliştirme Teminat Seviyesi gibi girdiler ortaya çıkar. Bu iki süreç arasındaki temel ilişkiler aşağıdaki görselde belirtilmiştir:



Şekil 2.2. Sistem geliştirme süreci ve sistem emniyeti süreci ilişkisi

2.13.2. Geliştirme teminat seviyesi atama süreci

Geliştirme Teminat Seviyesi, sistem geliştirme süreci aktivitelerinin hava aracı emniyetini etkileyecek geliştirme hatalarını limitleyecek ölçüde disiplinli ve sistematik bir şekilde yapıldığını teminat altına almaya yarar.

Geliştirme Teminat Seviyesi, sistem geliştirme sürecinde ortaya konulan eforun bir ölçütüdür ve bu efor süreç boyunca veya kullanımda ortaya çıkabilecek hataların olasılıklarını en aza indirmek için harcanır.

Emniyet değerlendirmeleri sonucunda her bir fonksiyon için belirlenmiş hata durumlarının kritiklik seviyeleri değerlendirmesine, bağımlılık/bağımsızlık durumlarına göre atanacak seviye belirlenir. Kritiklik seviyesi arttıkça, daha yüksek Geliştirme Teminat Seviyesi atanır.

Geliştirme Teminat Seviyesi, fonksiyonel ve parça seviyesi olmak üzere ikiye ayrılır. Öncelikle Fonksiyonel Geliştirme Teminat Seviyesi belirlenir ve bu seviye fonksiyonu yerine getiren parçalar, bu parçaların birbirlerinden bağımsızlık durumları gibi hususlar da gözetilerek parça seviyesine kırılır. Parça seviyesine kırılmış Geliştirme Teminat Seviyeleri ise yazılım ve donanım geliştirme süreçlerinde girdi olarak kullanılır. Yazılım geliştirme süreci için DO-178C, donanım geliştirme süreci için DO-254 içerisinde geçen amaç maddeleri belirlenmiş Geliştirme Teminat Seviyesi'ne bağlı olarak uygulanır ve denetlenir. Geliştirme Teminat Seviyesi, hata oranı veya bakım aralığı süresi gibi metriklerle takip

edilemeyecek yazılım ve donanım ürünleri için geliştirme risklerini ve hatalarını en aza indirmeye yardımcı olur. Emniyet değerlendirmelerinde ortaya çıkabilecek hata durumları şiddet sınıflandırmaları ve bu sınıflandırmalara karşılık gelen Geliştirme Teminat Seviyeleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 2.1. Hata durumları şiddet sınıflandırmaları ve ilişkili geliştirme teminat seviyeleri

Hata Durumu Şiddet Sınıflandırması	Karşılık Gelen Geliştirme Teminat Seviyesi
Ölümcül	A
Tehlikeli	B
Önemli	C
Az Önemli	D
Emniyet Etkisi Yok	E

2.13.3. İster yakalama süreci

İster yakalama süreci, müşteri isterleri ve sistem isterleri belirlenmesi aşamasında ve bu isterler belirlendikten sonra mimarının ortaya çıkması ile ortaya çıkabilecek yeni isterleri, mimarının uygulanması için gereken yeni isterleri veya tasarım tanımlama süreci ile ortaya çıkabilecek detay teknik isterleri geliştirme sürecine dahil etmeyi kapsar. Buna ek olarak, yapılan diğer entegre süreç aktiviteleri ile de yeni sistem isterleri türetilir. Örneğin; Hava Türbinli Başlatma Motoru içeren bir ikincil güç sistemi mimarisi oluşturulması sonucunda, Hava Türbinli Başlatma Motoru için ilave sistem ve alt sistem teknik isterleri tanımlanmalıdır. Buna ek olarak, askeri ve endüstriyel standartlar, uçuşa elverişlilik regülasyonu gibi rehber dokümanlar kullanılarak sisteme özgü ister yakalama süreci de gerçekleştirilebilir.

2.13.4. İster geçerlemesi süreci

İster geçerlemesi sürecinin amacı tanımlanmış isterlerin müşteri, kullanıcı, sistem geliştiricisi gibi tüm proje paylaşımlarının ihtiyaçlarını yansıtacak şekilde doğru ve tam olduğunun teminat altına alınmasıdır. Özetle, ister geçerlemesi süreci doğru sistemin geliştiriliyor olduğunu garanti eder. Ömür devri sürecinde ister geçerlemesi, mimari ve tasarım aktiviteleri başlamadan önce tamamlanmalıdır. Ancak kompleks sistemler için bazı isterlerin geçerlenmesi sisteme dair analiz, modelleme, prototipleme veya sistemin üretilip gerçek operasyon ortamında test edilmesi ile mümkün olabilir. Bu sebeple, ister geçerlemesi

aktivitesi ömür devri sürecinde iteratif olarak gerçekleştirilebilir. İster geçerlemesi, temel olarak tekil isterler üzerinde doğruluk, ister seti üzerinde de tamlık analizi yapılarak gerçekleştirilebilir.

Doğruluk kontrolü

Doğruluk kontrolü tekil isterler üzerine yapılır ve ISO/IEC/IEEE 29148'e göre doğru bir isterin temel karakterleri aşağıdaki gibidir [14]:

- İsterin gerekli olması: Herhangi bir tekil ister temel bir kabiliyeti, beklenen bir fonksiyonu, sistemden beklenen bir özelliği, varsa bir kısıtı veya ulaşılması beklenen bir metriği tanımlar. Gerekli olarak belirtilmiş bir ister, çıkarıldığında sistemin paydaş ihtiyaçlarını karşılamasına engel olabilecek niteliktedir.
- İsterin tasarım çözümünden bağımsız olması: Herhangi bir tekil ister mimari geliştirme veya tasarım sürecine ihtiyaç duyulmayan bir kısıtlama getirmemelidir. İster ne yapılacağını tanımlamalı, nasıl veya hangi çözümle yapılacağını istisnai durumlar haricinde tanımlamamalıdır.
- İsterin anlaşılır olması: Herhangi bir tekil ister okunduğunda tek bir anlama gelecek bir dilde yazılmalıdır. İsterin dili açık ve anlaşılır olmalıdır, muğlaklık içermemelidir.
- İsterin tutarlı olması: Herhangi bir tekil ister set içerisindeki diğer isterlerle veya kendi içerisinde çelişmemelidir. Bu kontrol, tamlık kontrolü kapsamında da gerçekleştirilmektedir.
- İsterin kendi içerisinde tam olması: Herhangi bir tekil ister ölçülebilir, beklenen kabiliyeti ve özellikleri tanımlayıcı ve ilave bir ekleme gerektirmeyecek nitelikte olmalıdır.
- İsterin çoklu karakteristik içermemesi: Herhangi bir tekil ister metni, tek bir istere işaret etmeli ve birden fazla kabiliyet, fonksiyon veya özellik ihtiyacı içermemelidir.
- İsterin fiziksel olarak gerçekleştirilebilir olması: Herhangi bir tekil ister projenin bütçe, takvim, elde bulunan teknoloji hazırlık seviyesi göz önüne alındığında erişilebilir ve gerçekleştirilebilir olmalıdır.
- İsterin izlenebilir olması: Herhangi bir teknik ister üst veya alt seviyede isterlerle veya tasarım çalışması, getiri-götürü analizi, emniyet değerlendirmesi gibi kaynaklarla ilişkilendirilebilir olmalıdır.

- İsterin doğrulanabilir olması: Herhangi bir teknik ister, sistemin ilgili isteri sağladığını teminat altına alacak doğrulama yöntemleri ile ilişkilendirilebilir olmalıdır. Nasıl ve hangi şartlarda doğrulanabileceğine yönelik ölçülebilirliğe sahip olmalıdır.

Tamlık kontrolü

Tamlık kontrolü ister seti üzerine yapılır ve ISO/IEC/IEEE 29148'e göre tam bir ister setinin temel karakterleri aşağıdaki gibidir [14]:

- İster setinin tam olması: İster seti, olabilecek tüm ister tiplerini (operasyonel, fonksiyonel, fiziksel, arayüz, bakım, idame edilebilirlik, emniyet, regülasyon isterleri, vb.) kapsamlı ve sistemden beklenen kabiliyetleri ve özellikleri içermelidir. Sistemin kapsamını net bir şekilde tanımlamalıdır. İster seti Daha Sonra Belirlenecek veya Daha Sonra Onaylanacak gibi ifadeler içermemelidir.
- İster setinin tutarlı olması: İster seti kendi içerisinde tutarlı olmalı, birbirleriyle çelişkili veya mükerrer isterler içermemelidir.

2.13.5. İster doğrulaması süreci

Doğrulama sürecinin amacı, uygulamanın her seviyesinin belirtilen teknik isterleri karşılayıp karşılamadığını belirlemektir. Burada belirtilen seviyeler sistem, alt sistem, ekipman seviyesi gibi seviyeler olup bu seviyelerin her birisi için tümdengelim yaklaşımı ile oluşturulmuş ve geçerli kılınmış teknik isterlerin tümevarım yoluyla doğrulanması amaçlanır. Bu aşama sistemin doğru bir şekilde geliştirildiğinin gösteriminin yapıldığı aşamadır. Bu sürecin girdileri daha önceden geçerli kılınmış teknik isterler ve geliştirme süreciyle ortaya çıkarılmış sistem, alt sistem veya ekipmanlardır. Süreç, her bir teknik ister için uyum gösterim yöntemi atanması ile başlar ve her bir teknik ister için doğrulama kanıt dokümanlarının oluşturulup yönetilmesi ile sonuçlanır. Uyum gösterim yöntemleri projeden projeye farklılık gösterebilse de genel geçer uyum gösterim yöntemleri aşağıdaki gibidir:

- Uyum beyanı
- Tasarım gözden geçirmesi
- Analiz

- Emniyet değerlendirmesi
- Laboratuvar testi
- Yer testi
- Uçuş testi
- Muayene
- Simülasyon
- Ekipman kalifikasyonu

Her bir teknik ister için bu yöntemlerden bir veya birden fazlası atanabilir. Atanmış yöntemlere bağlı olarak tasarım raporu, teknik çizimler, emniyet değerlendirme raporları, test raporları, uygunluk belgeleri gibi kanıt dokümanları oluşturularak doğrulama süreci yürütülür.

2.13.6. Konfigürasyon yönetimi süreci

EIA-649C'ye göre Konfigürasyon Yönetimi, ürün konfigürasyon bilgisi ile ürün arasında tutarlılığı kurmak ve sürdürmek için uygun süreçleri, kaynakları ve denetimleri uygulayan teknik ve idari bir süreçtir [39]. Konfigürasyon Yönetimi Süreci aşağıdaki adımları içerir:

- Konfigürasyon Yönetimi Planı oluşturma
- Konfigürasyon tanımlama
- Anahat çizgileri oluşturma
- Değişiklik yönetimi ve problem raporlama
- Arşivleme

İyi kurgulanmış bir konfigürasyon yönetimi sisteminin yararlarından bazıları aşağıdaki gibidir:

- Bilginin güvenilir ve yetkili bir kaynaktan yönetilmesi
- Roller, fonksiyonlar arasındaki iş birliğinin artırılması
- Verim artışı
- Zaman tasarrufu
- Bilgi akışının iyileştirilmesi

- Ürün kontrolünün iyileştirilmesi
- Yalın, güvenilir ve dayanıklı işletme yapısı

2.13.7. Süreç teminatı süreci

Süreç Teminatı Süreci, geliştirme sürecinden bağımsız olarak aşağıda belirtilen amaçlar için işletilir:

- Sistem geliştirme süreci boyunca kullanılacak plan dokümanlarının oluşturulduğunu ve bu planların sürdürülebilir olduğunu teminat altına almak
- Geliştirme sürecinin bu planlara göre yürütüldüğünü teminat altına almak
- Geliştirme sürecinde bu planlara uyulduğuna dair denetimler yapıp kanıt dokümanları oluşturmak

Bu süreç genellikle bağımsız Kalite birimleri veya özelleştirilmiş Süreç Teminatı birimleri tarafından yürütülür ve denetim esasına dayalı olarak, oluşturulan çıktıların süreçlere uygunluğunu, süreçlerin birbirleri arasındaki ilişkileri, süreçlerin güncelleğini ve uygulanabilirliğini irdeler.

2.13.8. Sertifikasyon ve otorite ile koordinasyon süreci

Sertifikasyon sürecinin temel amacı, bir hava aracının ve hava aracına entegre edilmiş sistemlerin uçuşa elverişli olduğunu teminat altına almaktır. Bu süreç de genel kanının aksine sözleşme döneminde esasları belirlenmesi gereken ve projenin erken safhalarında geliştirme sürecine dahil edilmesi gereken bir süreç ve kültürdür.

İtki ve ikincil güç sistemlerinden motor, pervane ve Yardımcı Güç Ünitesi otorite tarafından sertifikaya edilebilen ürünler olduğu için diğer hava aracı sistemlerinden de bu kapsamda ayrışır. Yani, bu sistemlere ait sertifikasyon otoritelerinin oluşturduğu sertifikasyon spesifikasyonları bulunmaktadır. Özellikle konu bu ürünlerin sertifikasyonuna ait süreç olduğunda diğer hava aracı sistemlerine göre daha detaylı bir planlama ve koordinasyon yapmak gereklidir.

Askeri bir ürün geliştirme sürecinde müşteri ile sözleşme döneminde bu ürünler için ayrı bir

tip sertifikası talebi ve ihtiyacı olup olmadığı tartışılmalı ve eğer böyle bir talep varsa tip sertifikası edinme sürecinin mali ve takvimsel etkileri sözleşmeye yansıtılmalıdır. Daha sonrasında da sertifikasyon temelini hangi sertifikasyon spesifikasyonu baz alınarak oluşturulacağı ve otoritenin kim olacağı belirlenerek sözleşmeye yazılmalıdır. Sertifikasyon temeli oluşturulduktan sonra otoritenin de görüş ve onayları alınmalı ve tüm bu süreçler proje spesifik sertifikasyon planında tanımlanmalıdır.

Havacılık motor, pervane ve Yardımcı Güç Üniteleri'ni sertifiye etmek için CS-E, CS-P, CS-APU, DEF STAN 00-970 Part 11 gibi sivil ve askeri spesifikasyonlar yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.14. Hava Aracı Entegrasyonu

Hava araçları, birçok sistemin ve parçanın birlikte uyumlu çalışması ile fonksiyonlarını yerine getirebilir. Bu sebeple, hava aracı geliştirme sürecinde sistematik bir arayüz yönetimi çalışması yapılması gereklidir. Özellikle itki ve ikincil güç sistemlerinin hava aracıyla çok sayıda ve farklı tiplerde arayüzü bulunması kaynaklı bu süreç farklı disiplinlerden uzmanların da katılımı ile yürütülmelidir. Bir itki ve ikincil güç sistemi hava aracına entegre edilirken dikkat edilmesi gereken ana konular aşağıdaki gibidir:

- Bağlantı noktalarının belirlenmesi ve bağlantı noktası arayüzleri
- Hava alığı mekanik ve aerodinamik arayüzleri
- Egzoz mekanik ve aerodinamik arayüzleri
- Elektrik sistemi arayüzleri
- Yakıt sistemi arayüzleri
- Basınçlı hava ve mekanik güç iletimine dair arayüzler
- Kontrol sistemi arayüzleri
- Termal arayüzler
- Ağırlık ve ağırlık merkezi yönetimi
- Fiziksel zarf yönetimi

Bu konular geliştirme sürecinin en başından itibaren hava aracı üreticisi ile birlikte listelenip iteratif olarak ilerletilmelidir. Bu süreçte ortaya çıkabilecek hatalar veya uyumsuzluklar

entegre edilen sistemin çalışmamasına, beklenen seviyede performans sağlamamasına, hatalı çalışmasına veya etkileşimde olduğu diğer sistemlerde bu etkilerin oluşmasına sebebiyet verebilir. Ülkemizde mevcut durumda havacılık itki ve ikincil güç sistemleri geliştirme projelerinde bu gibi arayüzlerin yönetilmesi için genel yaklaşım, mevcut olan arayüz isterlerinin sözleşme esnasında Müşteri İsterleri Dokümanı içerisinde dokümante edilmesi ve karşılıklı tasarımların olgunlaşması sonucu yeni isterlerin de Müşteri İsterleri Dokümanı içerisine dahil edilmesi, bu arayüz isterlerine uygun tasarımların da hazırlanan Arayüz Kontrol Dokümanı içerisinde tanımlanması şeklindedir.

Bu yöntemin uygulamada Müşteri İsterleri Dokümanı'nı sıklıkla güncelleme ihtiyacı doğurması sebebiyle, sözleşme aşamasında müşteri veya paydaş isterlerinden arayüz isterlerini ayırıp Arayüz İsterleri Dokümanı oluşturmak ve Müşteri İsterleri Dokümanı'nı çok sık güncellemeden süreci yönetmek daha verimli olabilecek bir yöntemdir.

2.15. Proje Teknik Gözden Geçirmeleri ve Kontrol

Bu sürecin amacı, proje planlama sürecinde oluşturulmuş planların geliştirme süreci içerisinde uygulanıp uygulanmadığını veya yapılabilir olup olmadığını değerlendirmek, projenin güncel durumunu ve varsa ortaya çıkan riskleri gözden geçirmek, teknik açıdan ve süreçler açısından proje ve ürün performansını değerlendirmek ve belirlenen planlar, bütçe, takvim ile istenilen sistemin sağlanabilir olduğunu teminat altına almaktır.

Süreç, periyodik olarak düzenlenen ve daha önceden belirlenmiş kilometretaşlarında yapılan gözden geçirmeler ile yürütülür. Bu kilometretaşları kapsamına ilerleme ve başarımların yanı sıra eğer planlardan veya istenilen sistemden teknik anlamda sapmalar varsa bu sapmaların gözden geçirilmesi ve değerlendirilmesi de dahil edilir. Gerekli durumlarda müşterinin de onayı ile sapmaların giderilmesi için düzeltici işlem maddeleri alınır veya başlangıçta yapılan planlama üzerinde güncellemeler yapılabilir. Gözden geçirme sonucunda ilgili aşamanın başarıyla tamamlanması, ilgili aşamanın sapmalı ve açık işlem maddelerinin kapanması şartıyla tamamlanması, projenin belirli bir süre durdurulması veya projenin sonlandırılması kararları çıkabilir.

Projenin başında veya her kilometretaşı öncesinde gözden geçirilecek hususlar ve değerlendirme kriterleri belirlenmeli ve belirlenen bu kriterlere göre projenin durumu

değerlendirilmelidir. Kriter belirlemesi, müşteri veya diğer paydaşların girdileri de alınarak yapılmalıdır. İlgili kilometretaşının kriterlerine ek olarak, varsa bir önceki kilometretaşından kalan aksiyon maddelerinin durumları, ilgili kilometretaşında teslim edilmesi beklenen çıktıların durumları, proje risklerinin durumları, proje teknik performans ölçütlerinin son durumları gibi maddeler de gündeme dahil edilmelidir. Sistem mühendisleri, bu süreçte kriterlerin belirlenmesi, kilometretaşının gündeminin oluşturulması ve koordine edilmesi, kilometretaşına ait sonuç raporunun yazılması gibi iş kalemlerinde rol alır. Savunma sektöründe bu sürecin planlaması ve koordine edilmesinde ISO/IEC/IEEE 15288.2 önemli bir rehberdir ve bu rehber doküman içerisinde geçen kilometretaşları ve tanımları aşağıdaki gibidir. Bu rehber, genel bir doküman olup herhangi bir sisteme veya disipline göre yazılmadığı için ilgili sisteme ve projeye göre uygun bir şekilde uyarlanması gerekir. Aşağıda verilen kilometretaş tanımları iyi anlaşılmalı ve proje takvimi oluşturulurken kilometretaşlarının takvimde uygun noktalara yerleştirilmesi bu tanımlar ve bu tanımların tariflediği olgunluk seviyeleri baz alınarak yapılmalıdır:

Alternatif sistemler gözden geçirmesi

Alternatiflerin analiz edilmesi sonucu seçilen çözümün paydaş ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılayacak potansiyeli olduğunu, seçilen alternatifin teknik olgunluğunun, yapılabilişliğinin yeteri şekilde değerlendirildiğinin ve risklerin seçilen alternatif için yönetilebilir olduğunu teminat altına almak üzere yapılır.

Sistem isterleri gözden geçirmesi

Üst seviye sistem isterlerinin kabul edilebilir riskler ile birlikte geliştirme aktivitelerini destekleyebilecek olgunlukta ve yeterlilikte olduğunu teminat altına almak üzere yapılır. Olgunluk ve yeterlilik değerlendirmesi, yapılan ister geçerlemesi analizlerine dayanır.

Sistem fonksiyonel gözden geçirmesi

Çalışılan sistemin kabul edilebilir riskler ve sistem isterlerinden türetilen yeni isterler ve fonksiyonel performans isterleri ile ön tasarım aşamasına ilerleyebileceğini, gözden geçirilen sistemin ve yeni türetilen isterlerin programın bütçesi, takvimi ve kapsamı ile uyumlu olduğunu teminat altına almak üzere yapılır. Sisteme dair tüm fonksiyonların

tanımlanması ve fonksiyonel anahat çizgisine dahil olacak çıktıların üretimini takiben gerçekleştirilir.

Ön tasarım gözden geçirmesi

Ön tasarımı tamamlanan sistemin yeterli olgunluğa eriştiğini, erişilen olgunlukta detay tasarım aktivitelerine başlanabileceğini ve sistemin performans isterlerinin programın bütçesi, takvimi ve diğer kısıtları da gözetecek şekilde karşılayabileceğini teminat altına almak üzere yapılır. Sistemin tasarım olgunluğu detay tasarıma geçmeye uygun olduğunda ve tahsis edilmiş anahat çizgisine dahil olacak çıktılar hazır olduğunda gerçekleştirilir.

Kritik tasarım gözden geçirmesi

Detay tasarımı tamamlanan sistemin üretim, sistem entegrasyonu, gösterim ve test gibi aşamalara ilerleyebileceğini ve sistemin performans isterlerinin programın bütçesi, takvimi ve diğer kısıtları da gözetecek şekilde karşılayabileceğini teminat altına almak üzere yapılır. Sistemin tasarımı tamamlandığında ve ilk ürün anahat çizgisine dahil olacak çıktılar hazır olduğunda gerçekleştirilir.

Teste hazırlık gözden geçirmesi

Testlere başlamadan önce test planlarının, test metotları ve prosedürlerinin, testlerin kapsamının, testlerde alınacak emniyet önlemlerinin gözden geçirilmesi ve test için yeterli kaynakların ayrıldığını teminat altına almak amacıyla yapılır.

Sistem doğrulama gözden geçirmesi

Testleri yapılan sistemin kendisine tahsis edilmiş isterleri karşıladığını ve sistemin kullanım ortamında son kullanıcının beklentisini karşılama potansiyeli olduğunu teminat altına almak üzere yapılır.

Bahsedilen bu gözden geçirmeler geliştirme ve doğrulama sürecinin temel gözden geçirmeleri olup Fonksiyonel Konfigürasyon Denetimi, Üretime Hazırlık Gözden Geçirmesi, Fiziksel Konfigürasyon Denetimi, Uçuşa Hazırlık Gözden Geçirmesi, Yazılım

İsterleri ve Mimarisi Gözden Geçirmesi gibi birtakım gözden geçirmeler de projenin planlamasına ve müşterinin talebine göre gerçekleştirilebilir.



3. MODEL TABANLI SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ YAKLAŞIMI

3.1. Model Tabanlı Sistem Mühendisliği'nin Tanımı

Model Tabanlı Sistem Mühendisliği'nin literatürde birçok tanımı vardır. Bu tanımlar içerisinde Uluslararası Sistem Mühendisliği Konseyi'nin 2007 yılında yaptığı ve 2020'li yılları işaret eden tanım, genel ve kapsayıcı bir tanım olarak öne çıkar [40]. Bu tanıma göre Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM), kavramsal tasarım aşamasından başlayan ve tüm ömür devri boyunca devam eden, sistem isterleri tanımlama ve yönetimi, mimari geliştirme, sistem analizleri, doğrulama ve geçерleme aktivitelerini destekleyen modelleme yönteminin formalize uygulamasıdır.

MTSM'yi efektif kullanmak ve daha iyi anlamak adına Estefan'ın yaptığı tanımları ve bu tanımların süreç içerisindeki kullanımı analiz etmek gerekir [1]. Estefan'a göre öncelikle metodoloji, süreç, metot ve kullanılan araç tanımlarının netleştirilmesi önemlidir. Metodoloji, bahsedilen süreç, metot, kullanılan araç ve çevre gibi ögelerin bir sentezi olarak tanımlanmış ve metodolojiyi oluşturan ögelerin tanımı aşağıdaki gibi verilmiştir:

Süreç (S)

Belirli bir hedefe ulaşmak için gerçekleştirilen mantıksal bir dizi görevdir. Bir süreç, her görevin "NASIL" gerçekleştirildiğini belirtmeden "NE" yapılacağını tanımlar.

Metot (M)

Bir görevi gerçekleştirmek için kullanılan tekniklerden oluşur, yani her görevin "NASIL" gerçekleştirileceğini tanımlar.

Araç (A)

Uygun şekilde ve yetkin kişiler tarafından belirli bir yöntemle uygulandığında görevin verimliliğini artırabilen bir enstrümandır. Bir aracın amacı, "NASIL"ları başarı ile gerçekleştirmeyi kolaylaştırmaktır.

Çevre (Ç)

Bir nesnenin, bireyin veya grupların eylemlerini etkileyen ortam, dış nesneler, koşullar veya faktörlerden oluşur.

Bu ögeler Estefan'ın yaklaşımına göre metodolojiyi oluşturur. MTSM yaklaşımı benimsenirken ve kullanılırken bu ögelerin her birisi için yaklaşımlar belirlenmeli ve tutarlı bir metodoloji ortaya konulmalıdır.

3.2. Model Tabanlı Sistem Mühendisliği'nin Yapıtaşları

3.2.1. Süreç

Daha önce tanımlı yapıldığı üzere süreç, “NE” yapıldığı sorusunu cevaplar. Literatürde farklı tiplerde süreç standartları mevcuttur. Bu standartlardan en yaygın olanları aşağıdaki gibidir:

- MIL-STD-499 Sistem Mühendisliği Yönetimi
- EIA-632 Sistem Mühendislik Süreçleri
- ISO/IEC/IEEE 15288 Sistem Ömür Devri Süreçleri
- IEEE 1220 Sistem Mühendisliği Sürecinin Uygulanması ve Yönetimi
- ISO/IEC/IEEE 12207 Yazılım Ömür Devri Süreçleri

Bu standartlardan MIL-STD-499 geçerliliğini yitirmiş ve iptal edilmiştir. Bunun yerine ISO/IEC/IEEE 15288'in savunma sektörü için uygulanabilir versiyonu olan ISO/IEC/IEEE 15288.1 kullanması önerilmiştir. ISO/IEC/IEEE 12207 ise yazılım geliştirme projelerine uygulanabilir. ISO/IEC/IEEE 15288, IEEE 1220, EIA-632 arasında bir değerlendirme yapıldığında da, EIA-632'nin konsept tasarım, geliştirme ve operasyona alma, IEEE 1220'nin ise yalnızca geliştirme süreci ile limitli olduğu görülmüştür. ISO/IEC/IEEE 15288'in ise detay derinliği üst seviyede kalmak üzere konsept tasarım sürecinden sistemin elden çıkarılmasına kadar olan tüm süreçleri içerdiği tespit edilmiştir. Detay derinliğinin düşük olmasından kaynaklı, geliştirme sürecini ve uygulama pratiklerini de dahil edebilmek adına havacılık sistem geliştirme sürecinde rehber olarak kullanılan SAE ARP 4754A ile birlikte kullanması değerlendirilmiştir.

Tüm bu bilgiler ışığında bu tez çalışması kapsamında kullanılması kararlaştırılan süreç, ISO/IEC/IEEE 15288 ve SAE ARP 4754A'nın birlikte kullanıldığı hibrit bir süreçtir.

3.2.2. Metot

“NASIL” sorusunun cevabını aramak için ise sektörde yaygın olarak kullanılan bazı metotlar aşağıdaki gibidir. Bu listede verilen metotlar Estefan tarafından yayımlanan 2008 yılına ait teknik raporda geçen metotlardır [1]:

- IBM Telelogic Harmony-SE
- INCOSE Object-Oriented Systems Engineering Method (OOSEM)
- IBM Rational Unified Process for Systems Engineering (RUP SE)
- Vitech Model-Based Systems Engineering Methodology
- JPL State Analysis
- Dori Object-Process Methodology (OPM)

Bu raporda yer verilmeyen veya raporun yayımlanmasından daha sonra oluşmuş metotlar ise aşağıdaki gibidir:

- Weikiens' Systems Modelling Process (SYSMOD)
- Fernandez Process Pipelines in Object-Oriented Architectures (PPOOA)
- An Ontology for State Analysis: Formalizing the Mapping to SysML
- Alstom ASAP Methodology
- Pattern-Based Systems Engineering
- Requirements Engineering, Project Management, and System Design (RePoSyD)
- Architecture Analysis and Design Integrated Approach (ARCADIA)
- MagicGrid
- Model-Driven Development Methodology (MDDM)

Literatürde, Uygulayıcılar İçin MTSM Metodolojilerinin Değerlendirilmesi Çerçevesi (Framework for the Evaluation of MBSE Methodologies for Practitioners - FEMMP) yaklaşımı ile bu metotlardan Vitech Model-Based Systems Engineering Methodology, Dori Object-Process Methodology (OPM), SYSMOD, RePoSyD, ARCADIA, MDDM, ASAP ve

OOSEM için metodoloji değerlendirmesi yapılmıştır [30] [33] [15]. Bu değerlendirmelere ek olarak ARCADIA metodu için Javid tarafından geniş kapsamlı FEMMP yaklaşımı ile değerlendirme de yapılmıştır [32]. Ancak bu kapsamlı çalışmada entegrasyon kriteri değerlendirilmemiş, bu kriterin Ponsard ve Ramon tarafından yapılan çalışmada değerlendirildiği tespit edilmiştir [15].

ARCADIA için yapılan bu değerlendirmeler incelediğinde bu metodun entegrasyon kriteri hariç diğer tüm kriterlerde tam uyum veya kabul edilebilir performans değerlendirmesi aldığı, ISO/IEC/IEEE 15288 teknik süreçleri ile uyumlu olduğu, kullandığı dilin sektörel mühendislik diliyle uyumlu olduğu, kendi içinde tutarlı olduğu, tekrar kullanılabilir model elemanları kütüphaneleri oluşturma özelliğinin olduğu görülmüştür. Entegrasyon konusunda ise limitli uygulanabilirliğe sahip olduğu değerlendirme yapılmıştır. Ancak, ARCADIA metodunun ve metodun kullanıldığı Capella aracının diğer süreç ve araçlarla entegrasyonuna ilişkin çalışmalar sürmekte ve konu bazlı eklentiler, diğer araçlarla köprü lisansları gibi çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmaların en önemlilerinden birisi de Capella aracının System Modeling Workbench adıyla Siemens Teamcenter Ürün Ömür Devri Yönetimi ortamına entegre edilmiş olmasıdır. Öte yandan Capella aracı açık kaynaklı ve literatürdeki materyallerle öğrenilmesi kolay bir araçtır. Gerekli durumlarda eğitim ve danışmanlık hizmetleri alınması da mümkündür. Tüm bu koşullar düşünüldüğünde, bu tez çalışmasında ARCADIA metodunun kullanması kararlaştırılmıştır.

Bu bölümde bahsedilen metotlarla birlikte yaygın olarak kullanılan modelleme dilleri de aşağıdaki gibidir:

- Systems Modeling Language (SysML)
- UML (Unified Modeling Language)
- ARCADIA
- EAST-ADL
- IDEF
- Object Process Methodology (OPM)
- FACE
- Architectural Analysis and Design Language (AADL)

ARCADIA metodunun seçimi ile birlikte ARCADIA modelleme dilinin bu tez çalışması kapsamında kullanılmasına karar verilmiştir. Bu diller içerisinde en yaygın olarak kullanılanlardan birisi olan SysML dili ile kıyaslandığında ARCADIA dilinin de benzer özellikler taşıdığı, benzer diyagram tiplerine sahip olduğu ve bazı modelleme yaklaşımı farklılıkları içerdiği görülmüştür.

3.2.3. Araç

MTSM bağlamında çalışmaların yürütüleceği ve NASIL sorularının cevaplarının oluşturulacağı ortam aracı temsil eder. Endüstri ve akademide bilinen ve aktif olarak kullanılan çok sayıda yazılım aracı mevcuttur. Bu araçların bir kısmı açık kaynak olarak sunulurken bir kısmı da yazılım geliştiricisi firmalar tarafından ticari olarak sağlanmaktadır. Bu araçlardan yaygın kullanılanların listesi aşağıdaki gibidir:

- Cameo Systems Modeler
- IBM Rhapsody
- Capella
- Enterprise Architect
- Papyrus
- GENESYS
- CATIA No Magic
- PTC Windchill Modeler
- ANSYS SCADE Architect
- CORE
- MapleMBSE
- Siemens Teamcenter System Modeling Workbench

ARCADIA metodu ve ARCADIA modelleme dilini kullanan ve açık kaynaklı bir yazılım olan Capella Versiyon 5.2, bu tez çalışması kapsamında araç olarak seçilmiştir.

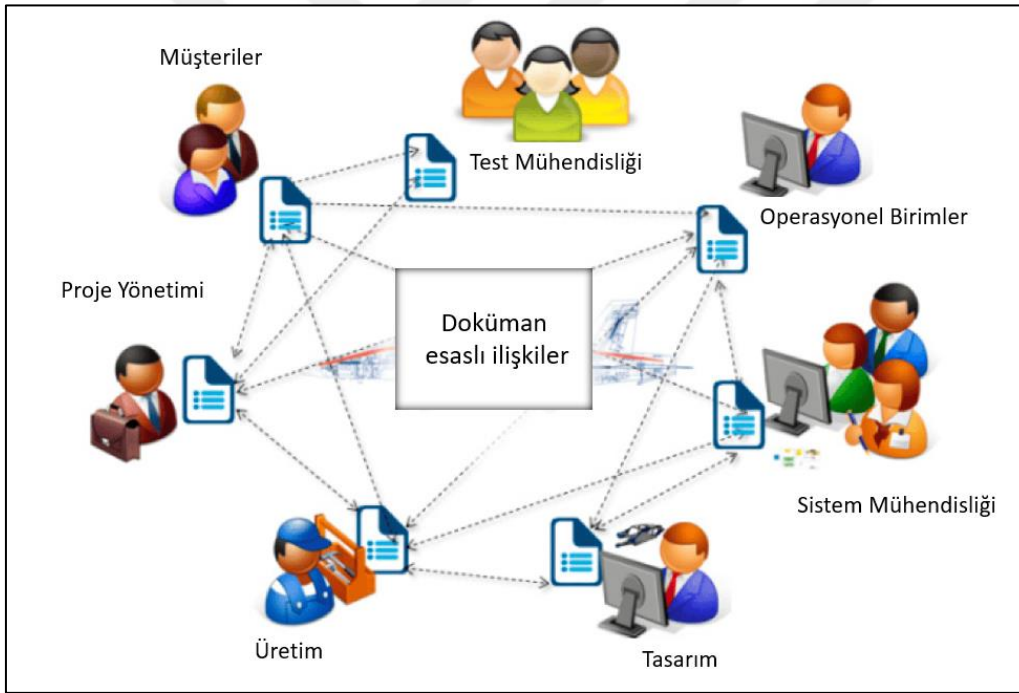
3.2.4. Çevre

Çevre, tüm bu aktivitelerin yapılacağı ortamı temsil eder. Bu tez çalışması kapsamındaki

tüm aktiviteler kişisel bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilecektir.

3.3. Klasik Sistem Mühendisliği Süreci ile Model Tabanlı Sistem Mühendisliği'nin Karşılaştırılması

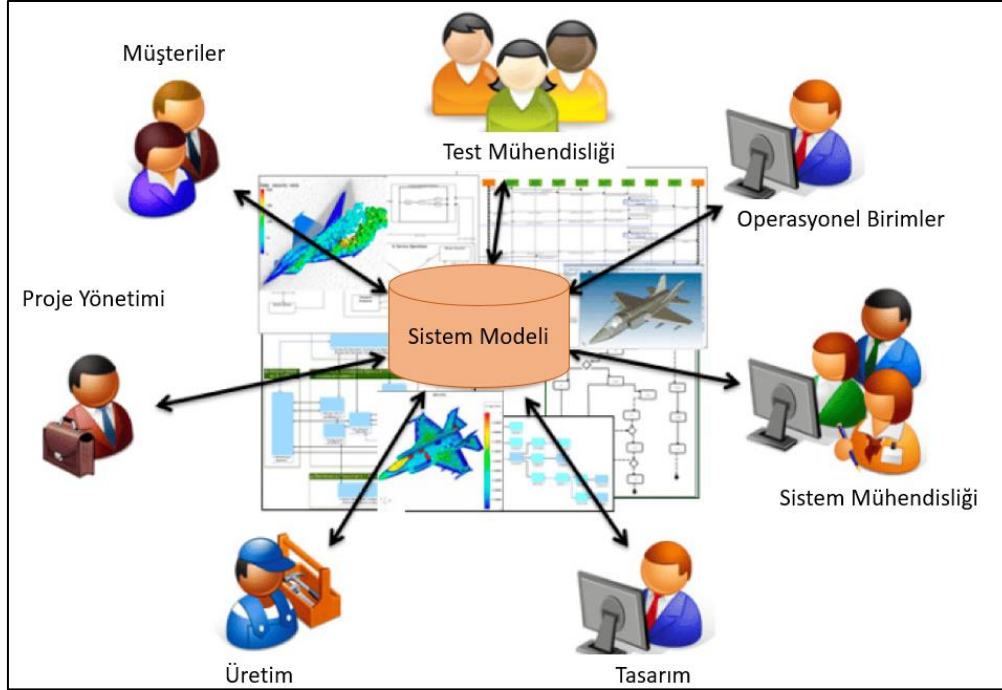
Klasik veya diğer bir ifadeyle doküman tabanlı sistem mühendisliği yaklaşımında dokümanlar sistem geliştirme sürecinin en önemli bilgi ve iletişim kaynağıdır. Sistem isterleri, arayüz ilişkileri, mimariler, tasarım çıktıları, test raporları, entegre süreç birimleri çıktıları gibi projeye ilişkin veri ve bilgiler genellikle dokümanlar aracılığıyla kaydedilir ve yönetilir. Bazı süreçlerde birbiriyle arayüzü olmayan dijital araçlar kullanılabilir. Süreç ve projenin yönetimi doküman tabanlı olduğu için dokümanların güncelliğini yitirmesi, birbirlerinden kopuk olması, birbiriyle çelişkili olması gibi riskleri de beraberinde getirir.



Şekil 3.1. Klasik sistem mühendisliği yaklaşımı [41]

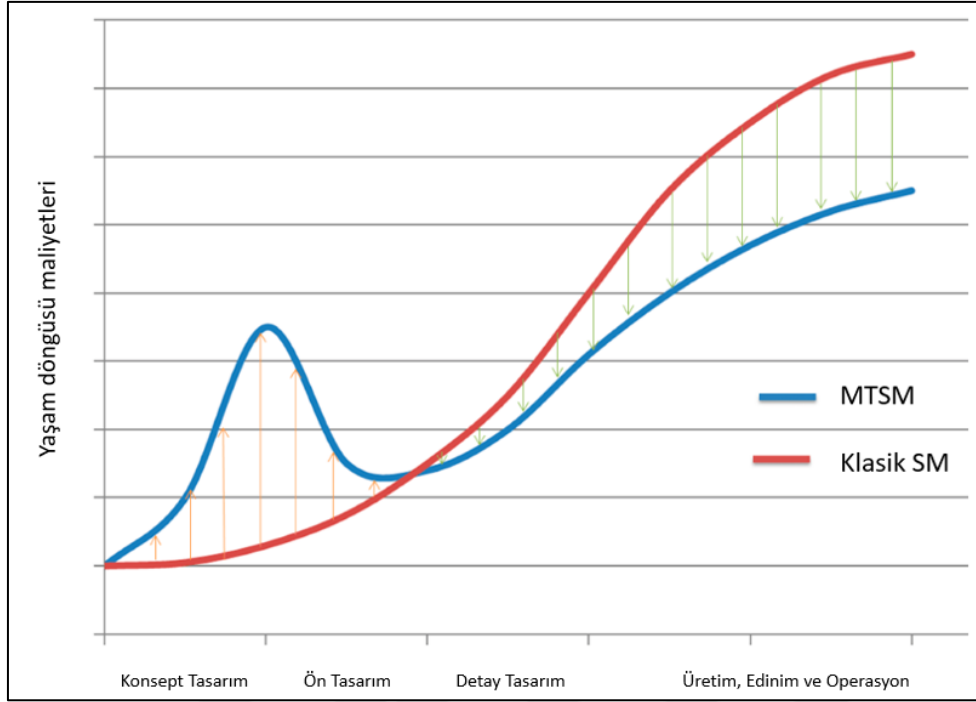
Model Tabanlı Sistem Mühendisliği yaklaşımında ise, sistem modeli geliştirme sürecinin kalbinde yer alır. Klasik Sistem Mühendisliği yaklaşımında dokümanlar vasıtasıyla aktarılan bilgiler, MTSM yaklaşımında modeller ile aktarılır. Farklı birimlerin ve disiplinlerin çıktıları ortak bir model üzerinde birbirleriyle ilişkili bir şekilde yönetilir. Bu yaklaşımda iletişim ve arayüzler de modeller üzerinden yönetilir. Katı modeller, termal modeller, akış modelleri, kontrol modelleri, sistem mühendisliği modelleri gibi farklı modeller ortak modele girdi

sağlar. Modeller anlık güncellenebildiği için ve bu güncellemeler ortak bir sunucuda görüntülenebildiği için güncel olmayan veriyle çalışma riski en aza indirilir, daha verimli izlenebilirlik ilişkileri kurulabilir, çelişkili bilgilerin üretilmesi olasılığı azaltılır ve değişiklik yönetimi daha hızlı gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.2. Model tabanlı sistem mühendisliği yaklaşımı [41]

Bu iki yaklaşımın maliyet açısından analiz edilmesi de araştırma konularından bir tanesidir. Bu analiz yapılırken de yalnızca sistem mühendisliği eforunun düşünülerek analiz yapılması yanıltıcı sonuçlar ortaya çıkarabilir. Madni ve Purohit'in yaptığı analize göre MTSM ile geleneksel veya klasik sistem mühendisliğinin ömür devri boyunca maliyet karşılaştırmaları aşağıdaki gibidir [41]. Bu karşılaştırma yapılırken ilk yatırım ve idame işletme gibi maliyet kalemleri de dikkate alınmıştır. Görüldüğü üzere MTSM maliyeti, yapılan ilk yatırım maliyetlerinin de etkisiyle projenin erken dönemlerinde klasik yaklaşıma göre daha yüksek olsa da projenin ilerleyen dönemlerinde MTSM'nin getirdiği avantajlardan ötürü klasik sistem mühendisliği maliyetinden daha aşağı seviyelerde kalmıştır. Daha önce de belirtildiği üzere, bu karşılaştırma yorumlanırken yalnızca sistem mühendisliği aktiviteleri veya eforu değil, MTSM'nin veya klasik sistem mühendisliğinin kullanıldığı bir geliştirme projesindeki toplam geliştirme, test ve üretim aktivitelerinin de kapsandığı göz önüne alınmalıdır.



Şekil 3.3. Ömür devri maliyetleri [41]

Tüm bu anlatılanlardan yola çıkılarak MTSM'nin klasik sistem mühendisliğini ortadan kaldırarak yerini alacağı veya bu iki yaklaşımın birbirlerinden bağımsız ve birbiri yerine geçebilen yaklaşımlar olduğu sonucuna varılmamalıdır. MTSM'nin daha önce verilen tanımında belirtildiği üzere, MTSM modelleme yaklaşımını dikkat alarak sistem mühendisliği aktivitelerini sistematik ve formalize bir biçimde gerçekleştirmeye olanak sağlar. Bu sebeple MTSM'nin amacının sistem mühendisliği süreçlerini, metotlarını ve aktivitelerini model merkezli bir yaklaşımla uygulamak, disiplinler arası arayüzleri sistematik bir biçimde yönetmek, izlenebilirlik konusunda verimi yükseltmek, değişiklik yönetimlerini daha hızlı ve verimli bir biçimde yapmak, projelerdeki hata sayılarını düşürmek veya erken tespitini yapmak, standart veya daha önceden geliştirilmiş modelleri de kullanarak proje takvimini kısaltmak olduğu söylenebilir. Bu iki yaklaşımın avantaj ve dezavantajlarını da özetleyen tablo aşağıdaki gibidir:

Çizelge 3.1. Klasik sistem mühendisliği yaklaşımı ve model tabanlı sistem mühendisliği yaklaşımı karşılaştırması

Klasik Sistem Mühendisliği Yaklaşımı	Model Tabanlı Sistem Mühendisliği Yaklaşımı
Avantajları	Avantajları
✓ İlk yatırım maliyeti düşüktür. ✓ Birçok sektör ve farklı büyüklüklerdeki projelerde doğrulanmış ve uygulanmış bir yaklaşımdır. ✓ Konu hakkında yetkin ve bilgili çok sayıda personel bulmak mümkündür. ✓ Bu yaklaşıma ilişkin endüstriyel ve askeri standartlar yaygındır.	✓ Çok sayıda ve dağınık dokümanlar yerine bilgi tek kaynaktan yönetilir. ✓ İzlenebilirlik ilişkileri kolay bir şekilde takip edilebilir. ✓ Arayüz yönetimi ve mimarilerdeki anlamsal ilişkiler ortak platformda yönetilir. ✓ Değişiklik yönetimi kolay bir şekilde yapılabilir ve etkilenen diğer veriler otomatik güncellenebilir. ✓ Hatalar veya tutarsızlıklar erken dönemde tespit edilip giderilebilir.
Dezavantajları	Dezavantajları
✗ Çok sayıda doküman üretilmesi gereklidir. ✗ Dokümanlar arasındaki ilişkiler ve tutarlılık elle kontrol edilir. ✗ Mimariler arasındaki arayüzler ve mimarilerin kendi içerisindeki anlamsal ilişkiler elle takip edilir. ✗ Fazla sayıda doküman üretildiği için bu aktiviteler vakit alıcıdır. ✗ Hatalar veya tutarsızlıklar tespit edilemeyebilir veya geç tespit edilebilir. ✗ Değişiklik yönetimi elle yapılır ve etkilenen tüm dokümanların tespit edilip elle düzeltilmesi gerekir.	✗ İlk yatırım maliyeti yüksektir (altyapı kurulumu, eğitim, yazılım araçlarının tedariki). ✗ MTSM uygulamaları küçük çaplı veya pilot projelerde görülmektedir. Büyük çaplı projelerdeki uygulama tecrübesi azdır. ✗ MTSM uygulama bilgisi ve teorik altyapısı olan yetkin personel sayısı azdır. ✗ Endüstri ve askeri standartlar henüz yaygın değildir. ✗ Farklı tipte modeller arasındaki arayüzleri yönetme zorluğu vardır. ✗ Modellerin doğrulanması gerekmektedir.

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere her iki yaklaşımın da kendi içerisinde avantaj ve dezavantajlı noktaları mevcuttur. Bu sebeple iki yaklaşım arasından mutlak suretle kullanılması gereken bir yaklaşım belirlenmesi gerektiği çıkarımında bulunulamaz. Projelerde hangi yaklaşım ile ilerleneceği şirketin süreçlerine, yapısına, organizasyonuna, kullandığı araçlara, şirketteki personelin yetkinliğine, projelerin bütçe ve takvimine, şirket yönetiminin bakışına gibi faktörlere bağlıdır. Bu sebeple hangi yöntemin kullanılacağı ve

kapsamının ne olacağı sistematik bir inceleme sonucunda belirlenmelidir. Örnek olarak, bu yaklaşımların taşıdığı dezavantajlara bakıldığında klasik sistem mühendisliği yaklaşımındaki dezavantajların daha çok limitasyon veya kısıtlılık kökenli olduğu yani yaklaşımın doğası gereği ancak belirli seviyede iyileştirilebilecek limitlere sahip olduğu, MTSM tarafındaki dezavantajların da ilk yatırım ve kurulum zorluğu, tecrübe ve standardizasyon eksikliği ve araçların getirdiği zorluklar olduğu göze çarpar. Bu da aslında MTSM'nin dezavantajlı olduğu noktaların mali destek, yetkin iş gücü, uygulama pratiği ve yönetim desteği ile aşılabileceğine yönelik bir göstergedir. Yapılacak sistematik inceleme ve değerlendirmede bu husus da dikkate alınmalıdır.



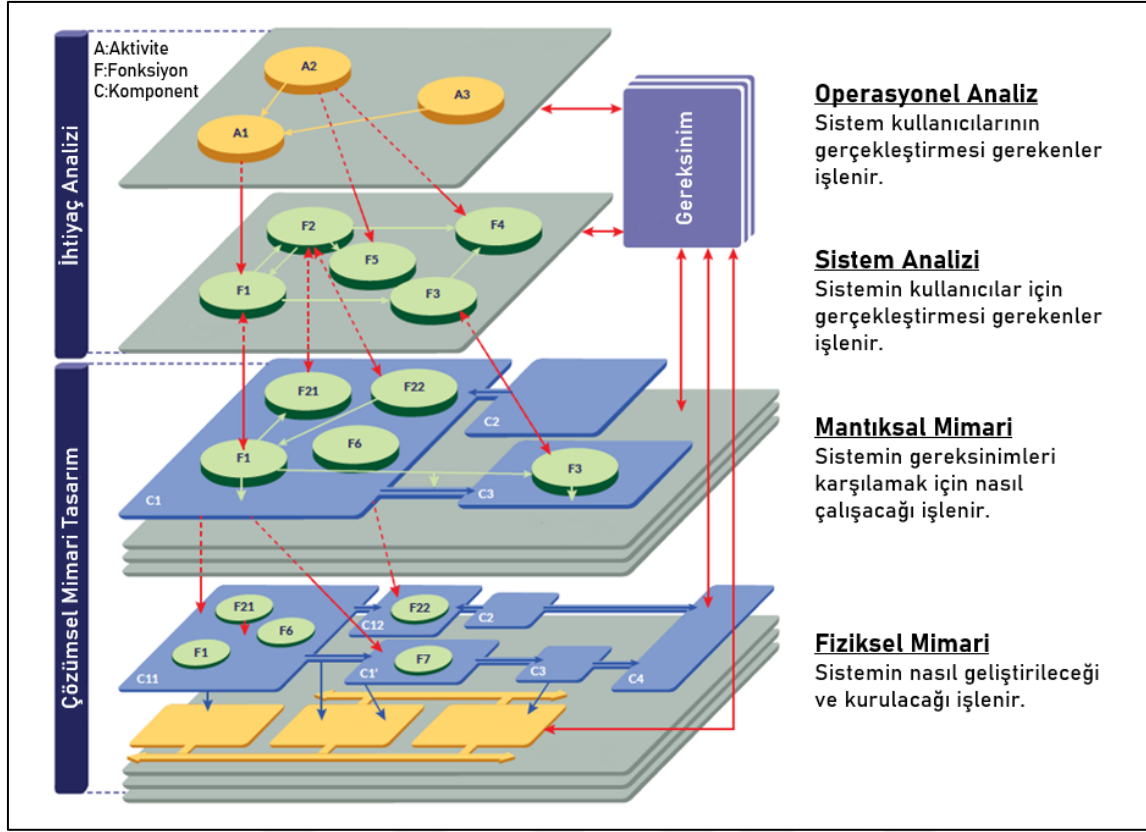
4. YÖNTEM

4.1. ARCADIA Metodu

İngilizce’de “Architecture Analysis and Design Integrated Approach (Mimari Analizi ve Tasarım Bütünleşik Yaklaşım)” ifadesinin kısaltması olan ARCADIA metodu, Thales firması tarafından 2005-2010 yılları arasında geliştirilmiş bir mimari geliştirme ve geçerleme metodudur.

ARCADIA, müşterinin operasyonel ihtiyaçlarını anlama sürecinden entegrasyon/doğrulama/geçerleme süreçlerine kadar tüm mühendislik faaliyetlerini kapsayan yenilikçi bir yaklaşıma sahiptir. Birden fazla mühendislik seviyesini (sistem/altsistem/ekipman) dikkate alır, disiplinler arası etkili işbirliğini teşvik eder, özel mühendislik disiplinlerini eş zamanlı mühendislik yaklaşımı ile entegre eder, sadece görsel değil mimari özellikleri de yansıtan modellere dayanır ve gerçek boyutlu projelerde uygulanabilirliğini başarıyla göstermiş olup, şu anda birçok büyük projede kullanılmaktadır.

ARCADIA metodunda iki ana konsept ve bu konseptlere ilişkin dört ayrı seviye vardır. Ana konseptler ihtiyaç uzayı ve çözüm uzayıdır. İhtiyaç uzayında ilişkili paydaşlar, paydaşların operasyonel ihtiyaçları, yerine getirilmesi beklenen operasyonel kabiliyetler, görevler, bu görevlere ilişkin kabiliyetler, fonksiyonlar ve teknik isterler tanımlanır. Çözüm uzayında ise bu teknik isterlere uygun mantıksal ve fiziksel mimarilerin geliştirilmesi amaçlanır. Bu ana konseptlerin içerisinde yer alan ARCADIA seviyeleri ise aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.1. ARCADIA sistem mühendisliği metodu [4]

4.1.1. Operasyonel analiz

Operasyonel Analiz, ARCADIA metodundaki ilk mimari seviyesidir ve sistem kullanıcılarının bu sistem ile ne gerçekleştirmek istediğini ve bu sistemden neye ihtiyaç duyduklarını tanımlar. Operasyonel Analiz seviyesi ARCADIA metodunda opsiyonel adımlardan biridir ve bu seviye gerekli durumlarda atlanabilir.

Sistem ile etkileşimde olacak aktörler, aktörlerin yerine getirmesi gereken aktiviteler ve bu aktörler ve aktivitelerin birbirleriyle ilişkisi bu seviyede belirlenir. Bu seviyede ilgilenilen sistem henüz bir modelleme ögesi olarak oluşturulmaz. Sistemin modelleme ögesi olarak ortaya çıkışı Sistem Analizi seviyesinde gerçekleşir.

Operasyonel Analiz seviyesinde gerçekleştirilen aktiviteler ve oluşturulan diyagram tipleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 4.1. Operasyonel analiz adımları

Aşama	Gerçekleştirilen Aktivite	Çıktı Diyagramı
1	Kullanıcı operasyonel isterlerinin oluşturulması ve paydaş isterlerinin anlaşılması	-
2	Operasyonel birimlerin ve aktörlerin tanımlanması	OEBD
3	Gerçekleştirilmek veya sahip olunmak istenen operasyonel kabiliyet veya operasyonel kabiliyetlerin tanımlanması	OCB
4	Operasyonel aktivitelerin ve aktiviteler arasındaki ilişkilerin tanımlanması	OABD OAIB
5	Operasyonel aktivitelerin operasyonel birimlere ve aktörlere atanması	OAB
6	Operasyonel süreçlerin ve senaryoların tanımlanması	OPD OAS OES
7	Operasyonel modlar ve durumların tanımlanması	MSM

Operasyonel Analiz seviyesinde sunulan konseptler ve tanımlar:

Operasyonel birim

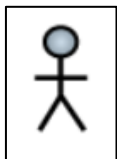
Gerçek dünyaya ait olan ve ilgilenilen sistem ile ve sistemin kullanıcıları ile ilişkide olan birimlerdir. Örneğin; atmosfer, regülasyonlar, vb.



Şekil 4.2. Operasyonel birim sembolü

Operasyonel aktör

Daha alt seviyelere kırılmayan, özelleşmiş operasyonel birimdir. Genelde insan, operasyonel aktör olarak tanımlanır. Örneğin; pilot, bakım personeli, vb.



Şekil 4.3. Operasyonel aktör sembolü

Operasyonel kabiliyet

Bir organizasyonun verilmesi beklenen hizmetleri sağlama kapasitesidir. Örneğin; hava aracının ikincil güç isterlerinin karşılanması, yolcuları istedikleri yere taşıyacak araçların üretilmesi, vb.



Şekil 4.4. Operasyonel kabiliyet sembolü

Operasyonel aktivite

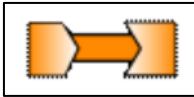
Bir operasyonel birimin tanımlanmış hedefe ulaşabilmesi amacıyla gerçekleştirmesi gereken işlemlerdir. Örneğin; ikincil güç sisteminin geliştirilmesi, hava aracının test edilmesi, vb.



Şekil 4.5. Operasyonel aktivite sembolü

Operasyonel etkileşim

Operasyonel aktiviteler arasındaki bilgi, madde, enerji gibi alışverişlerdir. Örneğin; veri akışı, bilgi paylaşımı, vb.



Şekil 4.6. Operasyonel etkileşim sembolü

Operasyonel süreç

Operasyonel kabiliyetin ortaya çıkmasını sağlayan bir dizi aktivite ve bu aktivitelerin etkileşimleridir. Örneğin; hava aracının ikincil güç isterlerinin karşılanması için geliştirme,

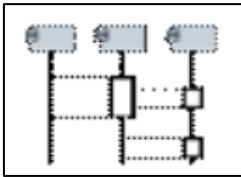
üretim ve test aktivitelerinin gerçekleştirilmesi, vb.



Şekil 4.7. Operasyonel süreç sembolü

Operasyonel senaryo

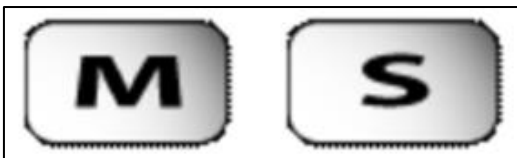
Operasyonel birimlerin ve/veya operasyonel aktivitelerin operasyon kabiliyetin gerçekleştirilmesi bağlamındaki davranışlarıdır. Genellikle sıralama diyagramı olarak gösterilirler. Örneğin; hava aracının ikincil güç isterlerinin karşılanması için tamamlanması gereken aktivitelerin ve/veya bu süreçte rol alan operasyonel birimlerin davranışları, vb.



Şekil 4.8. Operasyonel senaryo sembolü

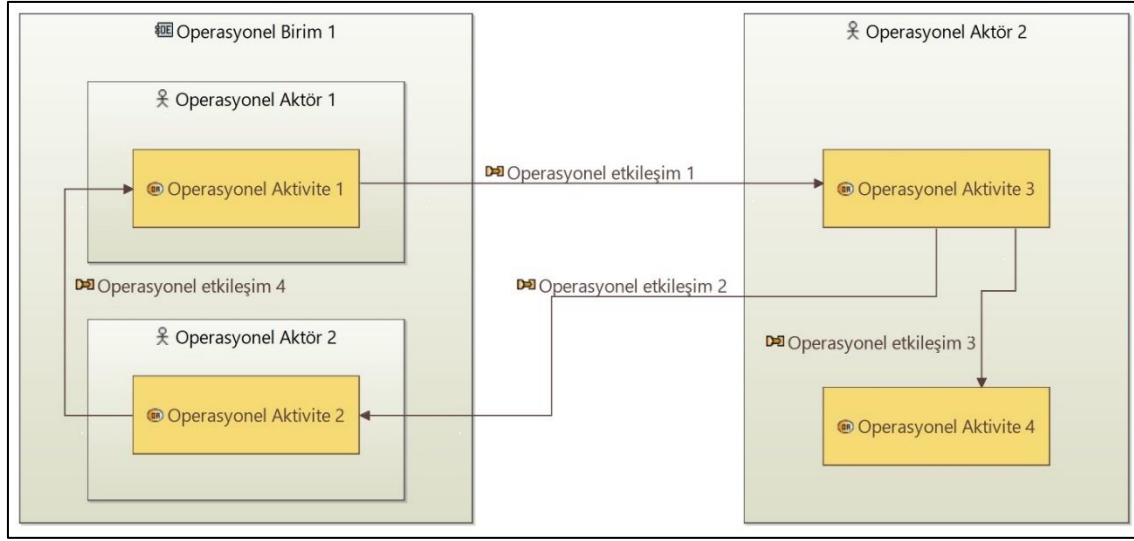
Modlar ve durumlar

Genel tanım olarak mod, bir seçime bağlıdır. Örneğin; pilotun seçimi, vb. Ancak durum, sisteme ne olduğunun sonucudur. Bu iki tanımın ARCADIA bağlamında net bir farkı olmamakla birlikte, birbiri yerine kullanımı yaygındır.



Şekil 4.9. Mod (solda) ve durum (sağda) sembolleri

Operasyonel Analiz seviyesinde sunulan temel konseptlerin diyagram gösterimi ise aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.10. Operasyonel analiz seviyesinde sunulan konseptlerin diyagram gösterimi

Operasyonel Analiz seviyesinde sunulan ana diyagram tipleri ise aşağıdaki gibidir:

- Operasyonel Birim Kırılım Diyagramı [OEBD]
- Operasyonel Kabiliyetler Diyagramı [OCB]
- Operasyonel Aktivite Kırılım Diyagramı [OABD]
- Operasyonel Aktivite Etkileşim Diyagramı [OAIB]
- Operasyonel Aktivite Senaryo Diyagramı [OAS]
- Operasyonel Mimari Diyagramı [OAB]
- Operasyonel Rol Diyagramı [ORB]
- Operasyonel Birim Senaryo Diyagramı [OES]

4.1.2. Sistem analizi

Sistem Analizi, ARCADIA metodunda Operasyonel Analiz seviyesinden sonra gelir ve sistemin kullanıcıların ihtiyaçlarının karşılaması için neler yapması gerektiği bu aşamada tanımlanır. Bu tanımlama da sistem kabiliyetlerinin ve fonksiyonlarının belirlenmesi ile yapılır. Buna ek olarak sistemin dış arayüzleri de modellenmeye başlanır.

Operasyonel Analiz kısmında farklı paydaşların ve kullanıcıların ne beklediğine sistem çözümünden bağımsız olarak odaklanılır. Sistem Analizi seviyesinde ise ilgilenilecek sistem artık bir modelleme ögesi olarak ortaya çıkar. İlgilenilecek sistem bu aşamada kara kutu

olarak modellenir.

Sistem Analizi seviyesinde gerçekleştirilen aktiviteler ve oluşturulan diyagram tipleri aşağıdaki gibidir:

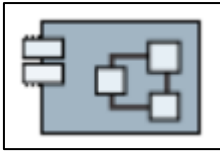
Çizelge 4.2. Sistem analizi adımları

Aşama	Gerçekleştirilen Aktivite	Çıktı Diyagramı
1	Operasyonel isterlerden ve paydaş isterlerinden sistem isterlerinin türetilmesi	-
2	Operasyonel Analiz seviyesinden operasyonel birimlerin ve aktörlerin aktarılması	CSA
3	Sistem görevlerinin ve sistem kabiliyetlerinin tanımlanması	MCB
4	Sistem fonksiyonlarının ve fonksiyonel etkileşimlerin tanımlanması	SFBD SDFB
5	Sistem fonksiyonlarının ilgili sistemlere ve aktörlere atanması	SAB
6	Fonksiyonel zincirlerin tanımlanması	SFCD
7	Fonksiyonel senaryoların ve birim senaryolarının tanımlanması	FS ES
8	Sistem modlarının ve durumlarının tanımlanması	MSM

Sistem Analizi seviyesinde sunulan konseptler ve tanımlar:

Sistem

Kullanıcıların ihtiyaçlarına yanıt vermek üzere bir araya gelmiş ve bir birim olarak işlev gösteren öge grubudur. Örneğin; ikincil güç sistemi, yakıt sistemi, vb. Sistem, dış aktörle etkileşim sağlamak için komponent bağlantı noktalarına sahiptir.



Şekil 4.11. Sistem sembolü

Aktör

Sistem dışında bulunan (insan veya insan olmayan) ve sistemle etkileşimde bulunan

varlıklardır. Örneğin; pilot, bakım personeli, vb.



Şekil 4.12. Aktör sembolü

Görev

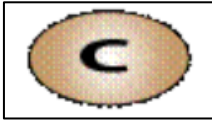
Sistemin amacının ne olduğudur. Bir görev bir veya birden fazla sistem kabiliyeti kullanılarak yerine getirilir. Örneğin; hava aracına ikincil güç sistemi çözümü sağlanması, vb.



Şekil 4.13. Görev sembolü

Sistem kabiliyeti

Bir sistemin operasyonel bir hedefi gerçekleştirmesine izin veren hizmet sunma kapasitesidir. Örneğin; motorun güç sağlaması, araç içi yolcu konforunun sağlanması, vb.



Şekil 4.14. Sistem kabiliyeti sembolü

Fonksiyon

Sistem veya bir aktör tarafından sağlanan hizmet veya davranıştır. Örneğin; güç üretmek amacıyla kompresörün giren havayı basınçlandırması, araba motorundan alınan gücün tekerleklere aktarılması, vb. Fonksiyon, diğer fonksiyonlarla etkileşim sağlamak için

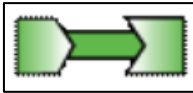
fonksiyon bağlantı noktalarına sahiptir. Ayrıca bir fonksiyon birden çok alt fonksiyona da kırılabilir.



Şekil 4.15. Fonksiyon sembolü

Fonksiyonel etkileşim

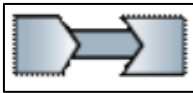
İki fonksiyon arasındaki bilgi, madde, enerji gibi tek yönlü alışverişlerdir. İki fonksiyon bağlantı noktasının birbirine bağlanması ile gerçekleşir. Örneğin; veri akışı, ısı aktarımı, yakıt beslemesi, vb.



Şekil 4.16. Fonksiyonel etkileşim sembolü

Komponent etkileşimi

Sistem ile bir dış aktör arasındaki bağlantıdır. Bu bağlantı fonksiyonel etkileşimlerin yapılabilmesine olanak sağlar. Örneğin; motor ile hava aracı yakıt sistemi fonksiyonları arasında fonksiyonel etkileşim olması için hava aracı ile motor arasında bu fonksiyonu ileten komponent etkileşimi bulunması, vb.



Şekil 4.17. Komponent etkileşimi sembolü

Fonksiyonel zincir

Sistem kabiliyetinin ortaya çıkmasını sağlayan fonksiyonlar ve fonksiyonlar etkileşimleri içeren başlangıç ve bitişe sahip zincirlerdir. Örneğin; motorun güç sağlaması için çevrimin

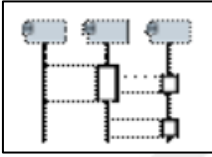
tamamlanması, vb.



Şekil 4.18. Fonksiyonel zincir sembolü

Senaryo

Sistem ve aktörlerin sistem kabiliyetinin gerçekleştirilmesi bağlamındaki etkileşimlerini tanımlayan dinamik olaydır. Genellikle sıralama diyagramı olarak gösterilirler. Örneğin; motorun güç sağlaması için yerine getirilmesi gereken fonksiyonların ve/veya bu süreçte rol alan sistem ve aktörlerin davranışları, vb.

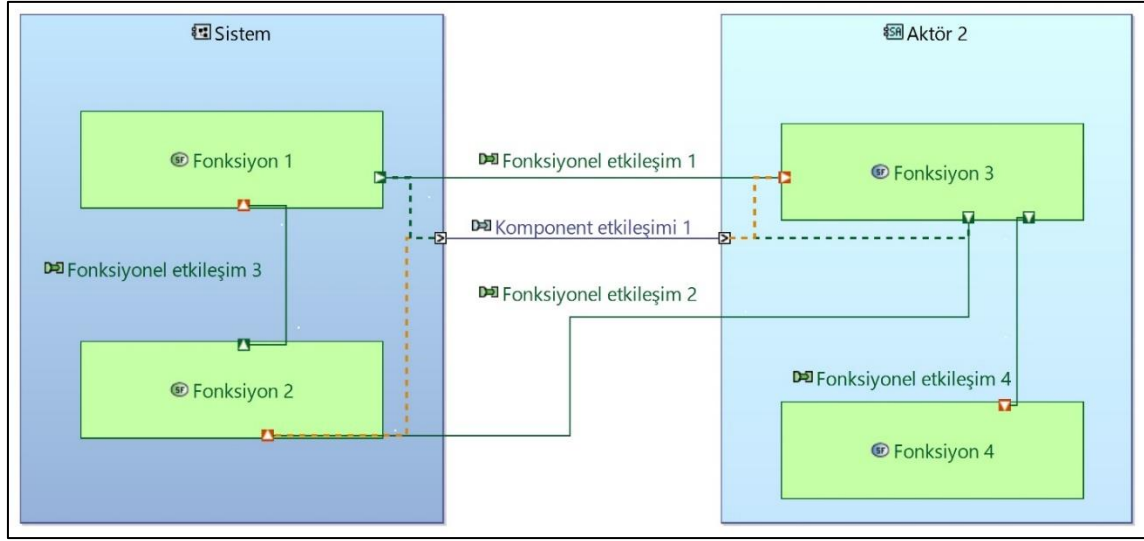


Şekil 4.19. Senaryo sembolü

Modlar ve durumlar

Genel tanım olarak mod, bir seçime bağlıdır. Örneğin; pilotun seçimi, vb. Ancak durum, sisteme ne olduğunun sonucudur. Bu iki tanımın ARCADIA bağlamında net bir farkı olmamakla birlikte, birbirini yerine kullanımı yaygındır. Mod ve durum sembolleri Şekil 4.9'da verilmiştir.

Sistem Analizi seviyesinde sunulan temel konseptlerin diyagram gösterimi ise aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.20. Sistem analizi seviyesinde sunulan konseptlerin diyagram gösterimi

Sistem Analizi seviyesinde sunulan ana diyagram tipleri ise aşağıdaki gibidir:

- Bağlamsal Sistem Aktörleri Diyagramı [CSA]
- Fonksiyonel Kırılım Diyagramı [SFBD]
- Fonksiyonel Veri Akışı Diyagramı [SDFB]
- Fonksiyonel Senaryo Diyagramı [FS]
- Sistem Mimarisi Diyagramı [SAB]
- Etkileşim Senaryosu Diyagramı [ES]
- Mod ve Durumlar Diyagramı [MSM]
- Görev ve Kabiliyet Diyagramı [MCB]
- Sistem Fonksiyonel Zincir Diyagramı [SFCD]

4.1.3. Mantıksal mimari

Mantıksal Mimari seviyesinde ilgilenilen sisteme ait mantıksal komponentler oluşturulur. Bu aşamada sistemin kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirmesi için nasıl çalışması gerektiği modellenir. Sistem Analizi kısmında oluşturulmuş fonksiyonlardan alt seviye fonksiyonlar kırılır ve oluşturulan mantıksal komponentlere atanır.

Mantıksal Mimari seviyesinde gerçekleştirilen aktiviteler ve oluşturulan diyagram tipleri aşağıdaki gibidir:

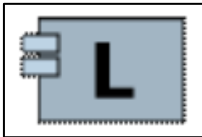
Çizelge 4.3. Mantıksal mimari adımları

Aşama	Gerçekleştirilen Aktivite	Çıktı Diyagramı
1	Sistem isterlerinden alt sistem isterlerinin türetilmesi	-
2	Sistem Analizi seviyesinden gerçekleştirilecek sistem kabiliyetlerinin aktarılması	CRB
3	Sistem seviyesi fonksiyonlardan alt sistemlere ilişkin mantıksal fonksiyonların kırılması	LFBD
4	Alt sistem fonksiyonlarının etkileşimlerinin tanımlanması	LDFB
5	Alt sistemlere ilişkin mantıksal komponentlerin kırılması	LCBD
6	Kırılmış alt sistem fonksiyonlarının ilişkili alt sistem komponentlerine atanması	LAB
7	Fonksiyonel senaryoların ve fonksiyonel zincirlerin tanımlanması	LFCD FS ES
8	Mantıksal komponent modlarının ve durumlarının tanımlanması	MSM

Mantıksal Mimari seviyesinde sunulan konseptler ve tanımlar:

Mantıksal komponent

Sistem içerisinde yer alan yapısal öğelerdir. Mantıksal komponent, diğer mantıksal komponentler ve dış aktörler ile etkileşime girebilmek adına mantıksal bağlantı noktalarına sahiplerdir. Mantıksal komponentler alt seviyelere kırılabilir ve bir veya birden fazla fonksiyona sahip olabilir. Örneğin; güç aktarma alt sistemi, ikincil güç üretimi alt sistemi, vb.



Şekil 4.21. Mantıksal komponent sembolü

Mantıksal aktör

Sistem dışında bulunan (insan veya insan olmayan) ve sistemle etkileşimde bulunan varlıklardır. Örneğin; pilot, bakım personeli, vb.



Şekil 4.22. Mantıksal aktör sembolü

Mantıksal fonksiyon

Mantıksal komponent veya bir mantıksal aktör tarafından sağlanan hizmet veya davranıştır. Örneğin; Yardımcı Güç Ünitesi'nin hava aracının ihtiyacı olan ikincil elektrik gücünü üretmesi, Hava Türbinli Başlatma Motoru'nun ana motoru başlatması, vb. Mantıksal fonksiyon, diğer fonksiyonlarla etkileşim sağlamak için fonksiyon bağlantı noktalarına sahiptir. Ayrıca bir mantıksal fonksiyon birden çok alt fonksiyona da kırılabilir.



Şekil 4.23. Mantıksal fonksiyon sembolü

Fonksiyonel etkileşim

İki mantıksal fonksiyon arasındaki bilgi, madde, enerji gibi tek yönlü alışverişlerdir. İki fonksiyon bağlantı noktasının birbirine bağlanması ile gerçekleşir. Örneğin; veri akışı, ısı aktarımı, yakıt beslemesi, vb. Fonksiyonel etkileşim sembolü, Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

Komponent etkileşimi

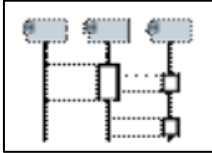
Mantıksal komponentler ile bir dış aktör arasındaki bağlantıdır. Bu bağlantı fonksiyonel etkileşimlerin yapılabilmesine olanak sağlar. Örneğin; motor ile hava aracı yakıt sistemi fonksiyonları arasında fonksiyonel etkileşim olması için hava aracı ile motor arasında bu fonksiyonu ileten komponent etkileşimi bulunması, vb. Komponent etkileşimi sembolü, Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

Fonksiyonel zincir

Sistem kabiliyetinin ortaya çıkmasını sağlayan fonksiyonlar ve fonksiyonlar etkileşimleri içeren başlangıç ve bitişe sahip zincirlerdir. Örneğin; motorun güç sağlaması için çevrimin tamamlanması, vb. Fonksiyonel zincir sembolü, Şekil 4.18’de gösterilmiştir.

Mantıksal senaryo

Mantıksal komponent ve mantıksal aktörlerin sistem kabiliyetinin gerçekleştirilmesi bağlamındaki etkileşimlerini tanımlayan dinamik olaydır. Genellikle sıralama diyagramı olarak gösterilirler. Örneğin; motorun güç sağlaması için yerine getirilmesi gereken fonksiyonların ve/veya bu süreçte rol alan sistem ve aktörlerin davranışları, vb.

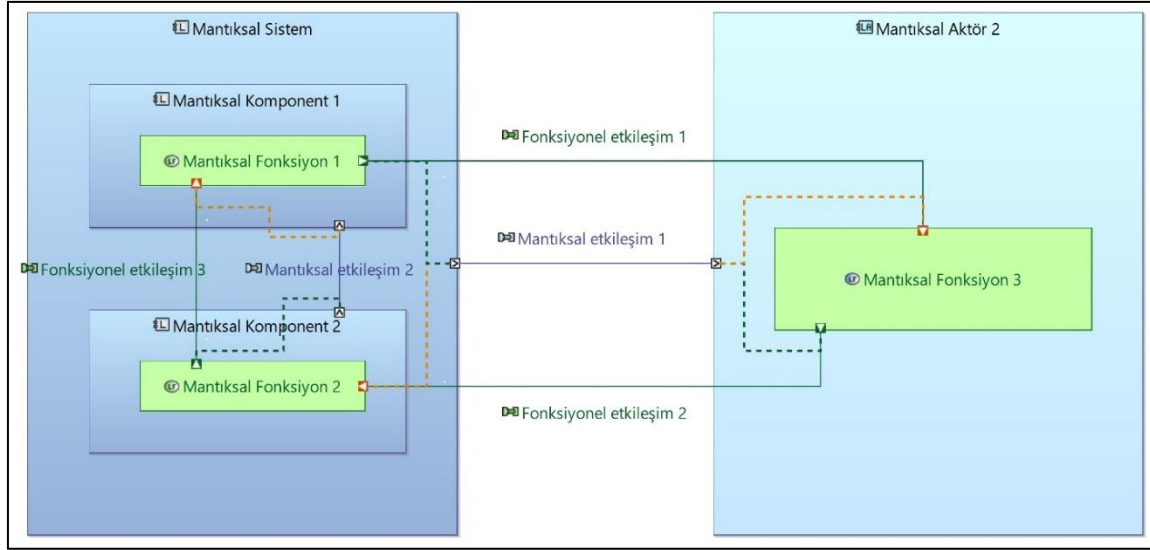


Şekil 4.24. Mantıksal senaryo sembolü

Modlar ve durumlar:

Genel tanım olarak mod, bir seçime bağlıdır. Örneğin; pilotun seçimi, vb. Ancak durum, sisteme ne olduğunun sonucudur. Bu iki tanımın ARCADIA bağlamında net bir farkı olmamakla birlikte, birbiri yerine kullanımı yaygındır. Mod ve durum sembolleri, Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Mantıksal Mimari seviyesinde sunulan temel konseptlerin diyagram gösterimi ise aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.25. Mantıksal mimari seviyesinde sunulan konseptlerin diyagram gösterimi

Mantıksal Mimari seviyesinde sunulan ana diyagram tipleri ise aşağıdaki gibidir:

- Kabiliyet Gerçekleştirme Diyagramı [CRB]
- Fonksiyonel Kırılım Diyagramı [LFBD]
- Fonksiyonel Veri Akışı Diyagramı [LDFB]
- Fonksiyonel Senaryo Diyagramı [FS]
- Mantıksal Komponent Kırılım Diyagramı [LCBD]
- Mantıksal Mimari Diyagramı [LAB]
- Etkileşim Senaryosu Diyagramı [ES]
- Mod ve Durumlar Diyagramı [MSM]
- Mantıksal Fonksiyon Zincir Diyagramı [LFCD]

4.1.4. Fiziksel mimari

Fiziksel Mimari seviyesinde nihai mimari tanımlanır ve sistemin nasıl gerçekleştirileceği veya uygulanacağı modellenir. Ekipman seviyesinde fonksiyonlar ve teknik seçimler bu seviyede tanımlanır. Mantıksal Mimari seviyesinde ise alt sistemleri temsil eden mantıksal komponentler tasarım çözümünden ve teknolojik seçimlerden bağımsız olarak oluşturulur. Fiziksel Mimari ve Mantıksal Mimari seviyeleri arasındaki temel fark da budur.

Fiziksel Mimari seviyesinde gerçekleştirilen aktiviteler ve oluşturulan diyagram tipleri

aşağıdaki gibidir:

Çizelge 4.4. Fiziksel mimari adımları

Aşama	Gerçekleştirilen Aktivite	Çıktı Diyagramı
1	Alt sistem isterlerinden ekipman isterlerinin türetilmesi	-
2	Mantıksal Mimari seviyesinden gerçekleştirilecek sistem kabiliyetlerinin aktarılması	CRB
3	Alt sistem seviyesi fonksiyonlardan ekipmanlara ilişkin fiziksel fonksiyonların kırılması	PFBD
4	Ekipman fonksiyonlarının etkileşimlerinin tanımlanması	PDFB
5	Ekipmanlara ilişkin fiziksel komponentlerin kırılması	PCBD
6	Kırılmış ekipman fonksiyonlarının ilişkili fiziksel komponentlere atanması	PAB
7	Fonksiyonel senaryoların ve fonksiyonel zincirlerin tanımlanması	PFCD FS ES
8	Mantıksal komponent modlarının ve durumlarının tanımlanması	MSM

Fiziksel Mimari seviyesinde sunulan konseptler ve tanımlar:

Davranış tipi fiziksel komponent

Kendisine fiziksel bir fonksiyon atanmış ve sistemin davranışının kendisine atanmış kısmını gerçekleştiren fiziksel komponenttir. Örneğin; motor kontrolü fonksiyonunu icra eden elektronik kontrol ünitesi, vb. Bir davranış tipi fiziksel komponent, yalnızca bir düğüm tipi fiziksel komponente atanabilir.



Şekil 4.26. Davranış tipi fiziksel komponent sembolü

Düğüm veya uygulama tipi fiziksel komponent

Bir veya birden fazla davranış tipi fiziksel komponentinin kendisine atanmış fiziksel

fonksiyonu yerine getirmesi için gerekli kaynakları sağlayan fiziksel komponenttir. Örneğin; motor kontrolü fonksiyonunu icra eden elektronik kontrol ünitesi ve diğer bileşenleri içine alan ve dış aktörlerle etkileşime geçip bu bileşenler için veri, elektrik gücü gibi kaynakları sağlayan kontrol sistemi, vb.



Şekil 4.27. Düğüm tipi fiziksel komponent sembolü

Fiziksel aktör

Sistem dışında bulunan (insan veya insan olmayan) ve sistemle etkileşimde bulunan varlıklardır. Örneğin; pilot, bakım personeli, vb.



Şekil 4.28. Fiziksel aktör sembolü

Fiziksel fonksiyon

Fiziksel komponent veya bir fiziksel aktör tarafından sağlanan hizmet veya davranıştır. Örneğin; yakıt pompasının giren yakıtın basıncını artırması, elektronik kontrol ünitesinin motoru kontrol etmesi, vb. Fiziksel fonksiyon, diğer fonksiyonlarla etkileşim sağlamak için fonksiyon bağlantı noktalarına sahiptir.



Şekil 4.29. Fiziksel fonksiyon sembolü

Fonksiyonel etkileşim

İki fiziksel fonksiyon arasındaki bilgi, madde, enerji gibi tek yönlü alışverişlerdir. İki fonksiyon bağlantı noktasının birbirine bağlanması ile gerçekleşir. Örneğin; veri akışı, ısı aktarımı, yakıt beslemesi, vb. Fonksiyonel etkileşim sembolü, Şekil 4.16’da gösterilmiştir.

Fiziksel bağlantı

Fiziksel bağlantılar, düğüm tipi fiziksel komponentler arasında bağlantı kuran iletişim/taşıma araçlarıdır. Davranış tipi fiziksel komponentler arasında bulunan komponent etkileşimleri de fiziksel bağlantılara atanabilir.

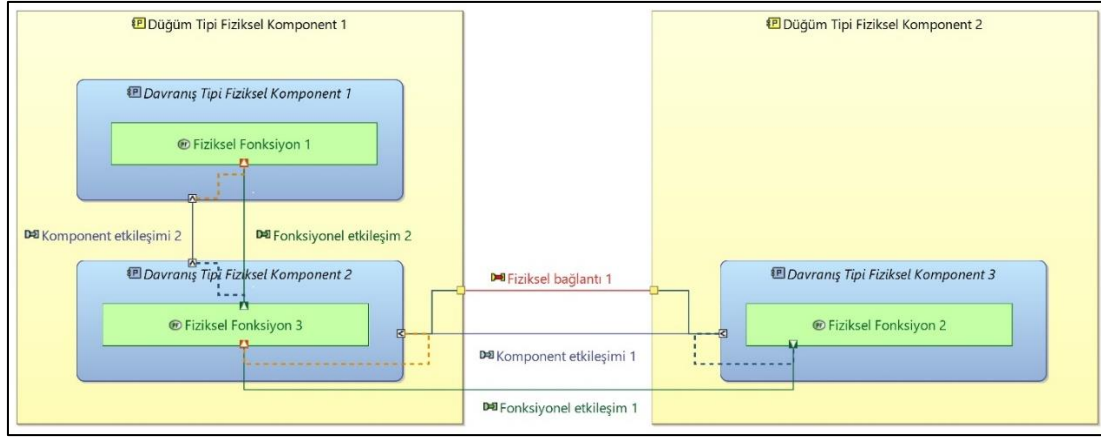


Şekil 4.30 Fiziksel bağlantı sembolü

Modlar ve durumlar

Genel tanım olarak mod, bir seçime bağlıdır. Örneğin; pilotun seçimi, vb. Ancak durum, sisteme ne olduğunun sonucudur. Bu iki tanımın ARCADIA bağlamında net bir farkı olmamakla birlikte, birbiri yerine kullanımı yaygındır. Mod ve durum sembolleri, Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Fiziksel Mimari seviyesinde sunulan temel konseptlerin diyagram gösterimi ise aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.31. Fiziksel mimari seviyesinde sunulan konseptlerin diyagram gösterimi

Fiziksel Mimari seviyesinde sunulan ana diyagram tipleri ise aşağıdaki gibidir:

- Kabiliyet Gerçekleştirme Diyagramı [CRB]
- Fonksiyonel Kırılım Diyagramı [PFBD]
- Fonksiyonel Veri Akışı Diyagramı [PDFB]
- Fonksiyonel Senaryo Diyagramı [FS]
- Fiziksel Komponent Kırılım Diyagramı [PCBD]
- Fiziksel Mimari Diyagramı [PAB]
- Etkileşim Senaryosu Diyagramı [ES]
- Mod ve Durumlar Diyagramı [MSM]
- Fiziksel Fonksiyon Zincir Diyagramı [PFCD]

Fiziksel Mimari seviyesinden sonra ARCADIA metodunda opsiyonel olarak sunulan Son Ürün Kırılım Yapısı (End Product Breakdown Structure - EPBS) seviyesi gelir. Bu seviyede amaç, Fiziksel Mimari aşamasında ortaya çıkarılan komponentlerin sağlaması gereken istekleri ve kısıtları belirlemektir. Alt yüklenicilerden tedarik edilecek komponentlerin istekleri bu aşamada tanımlanır.



5. İKİNCİL GÜÇ SİSTEMİ GELİŞTİRME SÜRECİ UYGULAMASI

5.1. Sistem Tanımı

SAE ARP 906B ve SAE AIR 1603'e göre ikincil güç sistemi ekipmanları, ana motorlardan ayrı olarak basınçlı tahliye havası üretimi, şaft gücü üretimi, güç üretimi (elektrik, hidrolik, vb.), güç aktarımı sağlayan ekipmanlardır [42][43]. Genel olarak, hava aracı üzerinde ana tahrikten bağımsız olan güç üretimini ve güç aktarımını sağlarlar.

Bu ekipmanlar, basınçlı tahliye havası üretim sistemleri, motor tahrikli dişli kutuları, motor başlatma sistemleri, güç aktarma sistemleri, yardımcı güç üniteleri, acil durum güç sistemlerini ve benzer türevlerini içerir.

Askeri havacılık teknolojisinin gelişimi ile kullanımı yaygınlaşan ikincil güç sistemi ekipmanları aşağıdaki avantajları da beraberinde getirmektedir:

- İkincil güç sistemi ekipmanlarının motor bölmesi dışına yerleştirilebilmesi sebebiyle motor bölmesinin kesit alanlarında küçültme imkanı oluşmuş, bu da hava aracı performansına olumlu katkı sunmuştur.
- Kıvılcım veya yangın riski oluşturabilecek jeneratör ve hidrolik pompa gibi ekipmanların motor tahrikli dişli kutuları vasıtasıyla motor bölmesi dışına taşınması hava aracının beka kabiliyetini artırmıştır.
- Hava aracı aksesuarlarının (jeneratör, hidrolik pompa, vb.) motor tahrikli hava aracı dişli kutularına entegre edilmesi sayesinde motor söküm/takımı yapılırken bu aksesuarlara ait kablaj, borulama komponentleri, vb. üzerinde işlem yapılması ihtiyacının ortadan kalkması ile motor söküm/takım süreleri iyileşmiştir.

İkincil güç sistemi tanımı ve askeri hava araçlarına yönelik ihtiyaçlar göz önüne alınırsa bir hava aracı ikincil güç sisteminden beklenen temel görev, sisteme de ismini vermesinden yola çıkılarak hava aracının ikincil güç ihtiyaçlarının karşılanması olup bu görevden kırılan sistem kabiliyetleri aşağıdaki ana başlıklarda sıralanabilir:

- Hava aracının normal veya anormal koşullarda ihtiyacı olan ve ana tahrik sisteminden bağımsız yardımcı güç üretiminin yapılması
- Ana motor başlatma işleminin gerçekleştirilmesi
- Gerekli güç aktarımlarının yapılması

Bu üç kabiliyet ikincil güç sisteminin temel kabiliyetleri olup, bu kabiliyetleri gerçekleştirmek için sistemin sahip olması gereken fonksiyonlar bu kabiliyetlerden kırılarak belirlenmelidir. Kabiliyetler ve fonksiyonların belirlenmesinin ardından üst seviye fonksiyonel sistem isterleri oluşturulup, sistem konfigürasyonu alternatifleri ortaya konulmalıdır. Yapılacak getiri-götürü analizleri ile alternatif konfigürasyonlar arasından seçim yapıp, seçilen konfigürasyona ait detaylı ister seti oluşturulmalıdır. Daha sonraki aşamada ise bu isterleri sağlayabilecek tasarım çözümleri geliştirilip bu tasarım çözümleri ile ister seti arasında izlenebilirlik ilişkileri kurarak tasarım çözümü doğrulaması yapılmalıdır. Sonraki aşamalarda bir kavramsal askeri hava aracı ikincil güç sistemi için bu adımların uygulaması, ikinci ve üçüncü bölümlerde anlatılan sistem mühendisliği süreci adımları ve MTSM yaklaşımı izlenerek yapılmıştır.

Alternatif sistemleri anlayabilmek adına F-15, F-16, F-18, F-22, F-35, T-50A gibi hava araçlarında kullanılan ikincil güç sistemleri incelenmiştir. F-15 ve F-16; motor başlatma için Jet Yakıtlı Başlatma Motoru (Jet Fuel Starter), F-16; acil durum elektrik güç üretimi için Acil Durum Ünitesi (Emergency Power Unit) kullanmaktadır. F-18 ve T-50A; konvansiyonel Yardımcı Güç Ünitesi (Auxiliary Power Unit) ve Hava Türbinli Başlatma Motoru (Air Turbine Starter) ikilisini kullanmaktadır. F-22; Yardımcı Güç Ünitesi ve Hava Türbinli Başlatma Motoru kullanmakta olup Yardımcı Güç Ünitesi'ni başlatmak için farklı olarak Türbin Güç Modülü (Turbine Power Module) sistemini kullanılmıştır. F-35'te ise Hava Türbinli Başlatma Motoru ve Hava Aracı Aksesuar Dişlisi (Airframe Mounted Accessory Drive) olmayıp Yardımcı Güç Ünitesi ve Çevresel Kontrol Sistemi (Environmental Control System) fonksiyonlarını yerine getiren Entegre Güç Paketi (Integrated Power Package) kullanılmakta ve ana motor Başlatma Motoru/Jeneratör ile başlatılmaktadır.

5.2. Operasyonel Analiz

Bu uygulamada gerçekleştirilen Operasyonel Analiz adımları ve bu adımlarda oluşturulan çıktılar aşağıdaki gibidir:

Çizelge 5.1. Uygulamada gerçekleştirilen operasyonel analiz adımları

Aşama	Gerçekleştirilen Aktivite	Çıktı Diyagramı
1	Kullanıcı operasyonel isterlerinin oluşturulması ve paydaş isterlerinin anlaşılması	-
2	Operasyonel birimlerin ve aktörlerin tanımlanması	OEBD
3	Gerçekleştirilmek veya sahip olunmak istenen operasyonel kabiliyetlerin tanımlanması	OCB
4	Operasyonel aktivitelerin ve aktiviteler arasındaki ilişkilerin tanımlanması	OABD OAIB
5	Operasyonel aktivitelerin operasyonel birimlere ve aktörlere atanması	OAB

Aşama 1 - Kullanıcı operasyonel isterlerinin oluşturulması ve paydaş isterlerinin anlaşılması

Kullanıcı, operasyon esnasında hem yerde hem havada ana motorların başlatılabilmesi, acil veya gerekli durumlarda ikincil güç ihtiyaçlarının (elektrik, hidrolik, vb.) karşılanabilmesi, soğutma/havalandırma işlemlerinin yapılabilmesi, güvenilirlik ve hayatta kalma kabiliyetini artırarak yedeklilik katmanını oluşturulabilmesi, yer operasyonlarının yapılabilmesi ve hava aracının her türlü meydana indiğinde kendini idame ettirebilmesi gibi operasyonel isterlere sahiptir ve bu isterleri karşılayabilecek bir çözüm geliştirilmelidir.

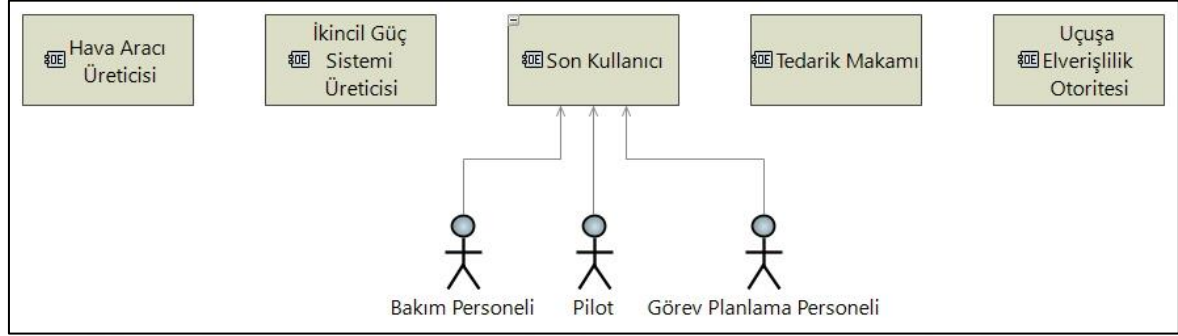
Aşama 2 - Operasyonel birimlerin ve aktörlerin tanımlanması

Operasyonel birimler ve aktörler, ilgili sisteme ilgi duyan veya ilgili sistemin paydaşı olan öğelerdir. İkincil Güç Sistemi bağlamında düşünüldüğünde tanımlanabilecek potansiyel operasyonel birimler aşağıdaki gibi belirlenmiş ve [OEBD] diyagramında gösterilmiştir:

- Hava Aracı Üreticisi
- İkincil Güç Sistemi Üreticisi
- Son Kullanıcı
- Tedarik Makamı
- Uçuşa Elverişlilik Otoritesi

Operasyonel aktörler ise Son Kullanıcı operasyonel birimi altında aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Görev Planlama Personeli
- Pilot
- Bakım Personeli



Şekil 5.1. Operasyonel birimler ve aktörler

Aşama 3 - Operasyonel kabiliyetlerin tanımlanması

Bir önceki adımda belirlenen her bir operasyonel birim için operasyonel kabiliyetler aşağıdaki gibi tanımlanmış ve [OCB] diyagramında gösterilmiştir:

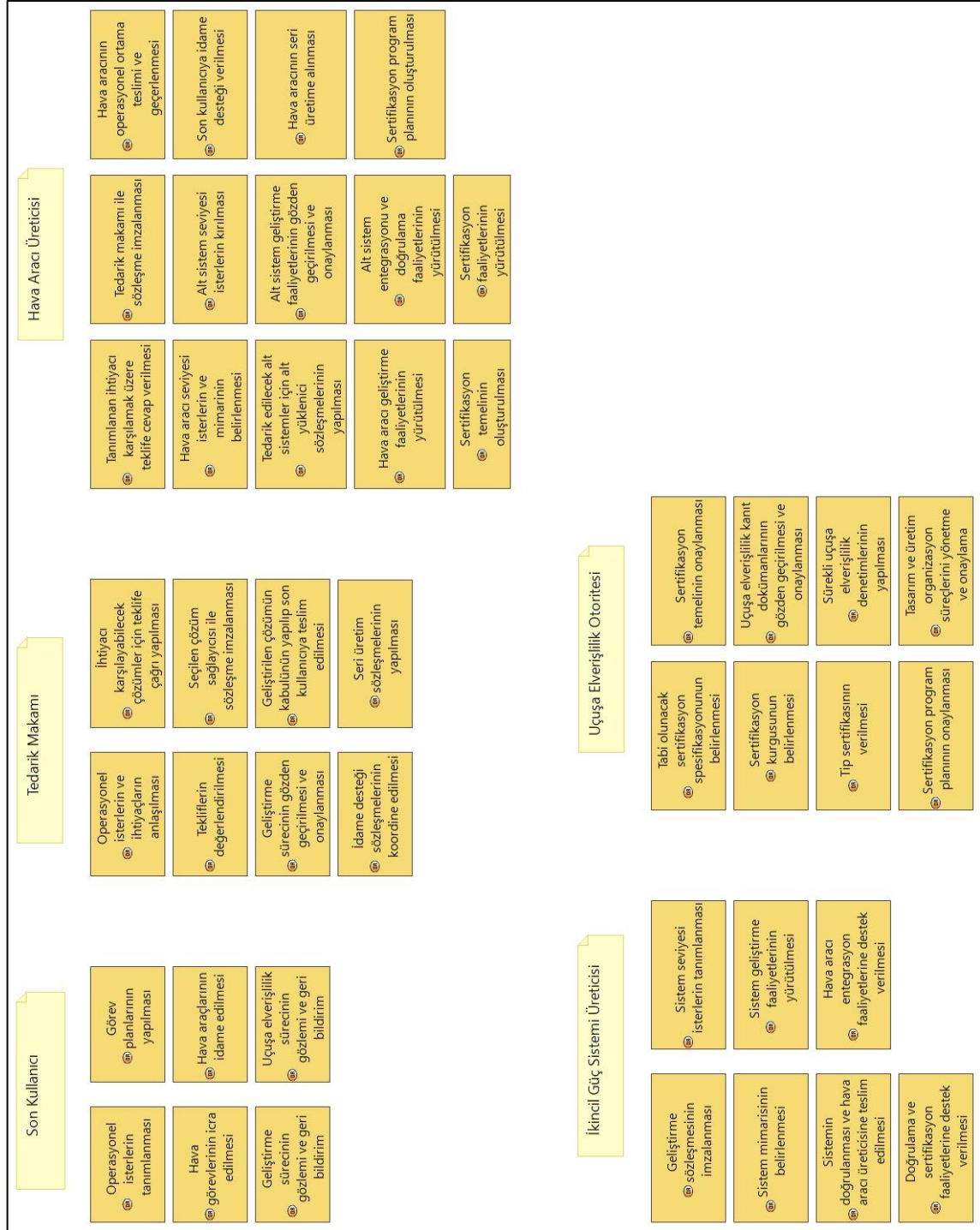
- Son Kullanıcı: Belirlenen hava görevlerinin gerçekleştirilmesi
- Tedarik Makamı: Son kullanıcının ihtiyacını karşılayan sistemin tedarik edilmesi
- Hava Aracı Üreticisi: Tanımlanan ihtiyaçlara uygun hava aracının geliştirilmesi
- İkincil Güç Sistemi Üreticisi: Hava aracının ikincil güç ihtiyacını karşılayan sistemlerin geliştirilmesi
- Uçuşa Elverişlilik Otoritesi: Hava aracı ve ürünlerin uçuşa elverişli olduğunun onaylanması



Şekil 5.2. Operasyonel kabiliyetler

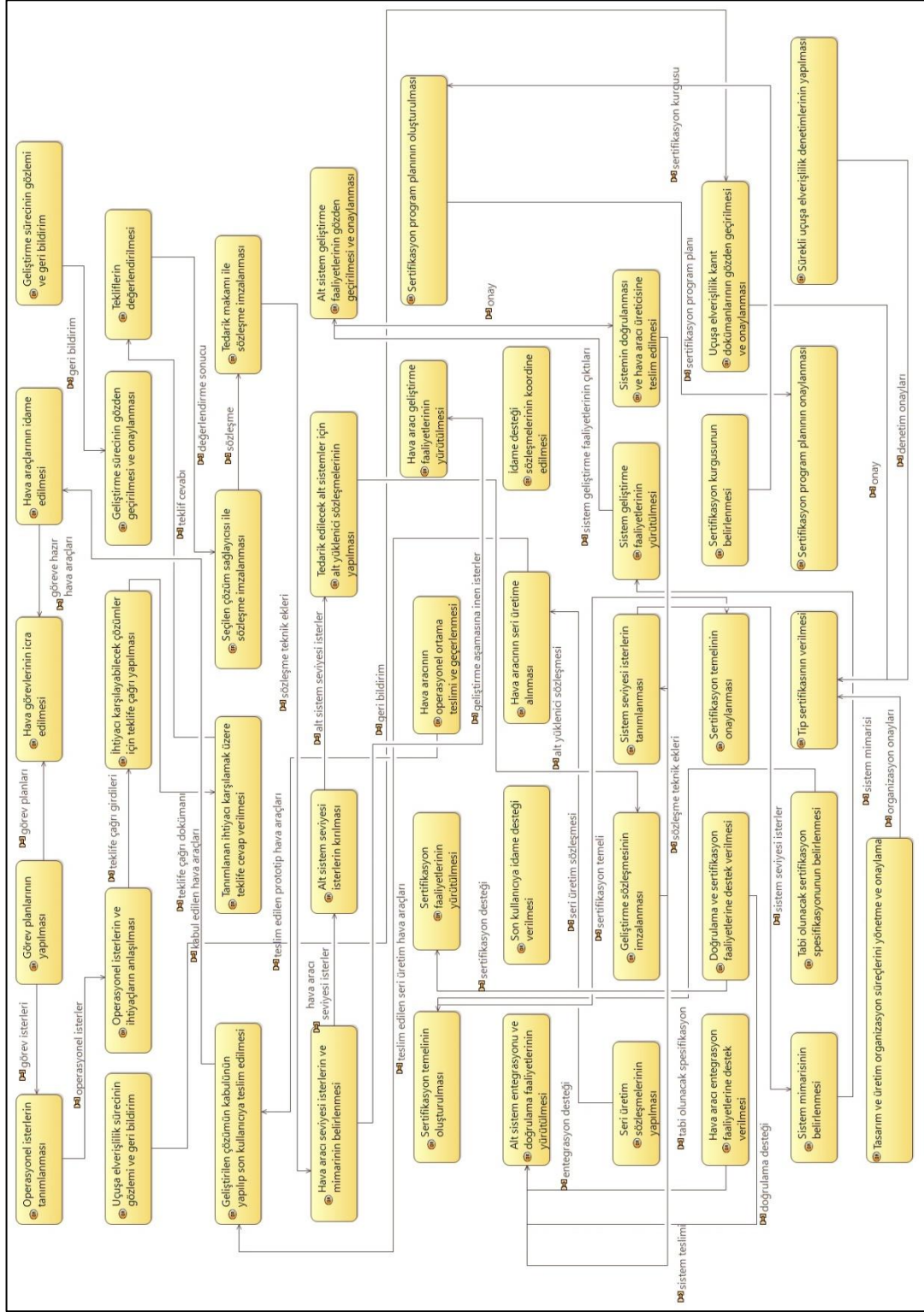
Aşama 4 - Operasyonel aktivitelerin ve aktiviteler arasındaki ilişkilerin tanımlanması

Belirlenmiş operasyonel kabiliyetlerden kırılmış operasyonel aktiviteler de aşağıdaki gibi [OABD] diyagramında gösterilmiştir. Bu aktiviteler her bir operasyonel birimin temel ve genel geçer aktiviteleri olup ihtiyaca ve talebe göre detaylandırılabilir veya farklı bir şekilde ifade edilebilir:



Şekil 5.3. Operasyonel aktiviteler

Aktiviteler arası temel ilişkiler de [OAIB] diyagramında gösterilmiştir:

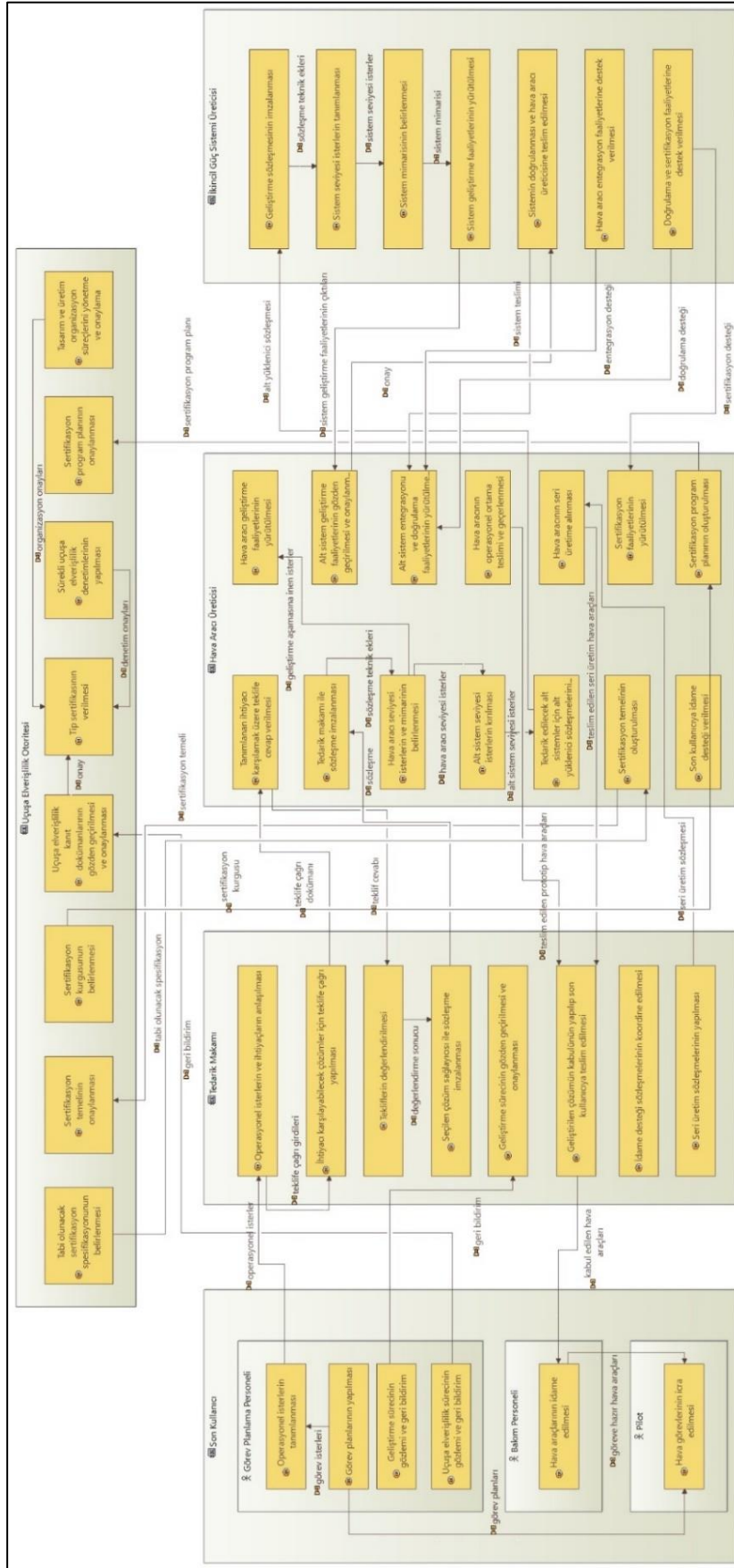


Şekil 5.4. Operasyonel aktiviteler arasındaki ilişkiler

Aşama 5 - Operasyonel aktivitelerin operasyonel birimlere ve aktörlere atanması

Operasyonel aktiviteler ve bu aktiviteler arasındaki ilişkiler tanımlandıktan sonra bu aktiviteler ilişkilerle birlikte 2. aşamada belirlenen operasyonel aktörlere atanmış ve Operasyonel Analiz Diyagramı [OAB] üzerinde gösterilmiştir:





Şekil 5.5. Operasyonel analiz diyagramı

ARCADIA metodunda Operasyonel Analiz seviyesinde amaç; paydaşları tanımlamak, paydaşların operasyonel ihtiyaçlarını ifade etmek ve paydaşların yapması gerekenleri belirlemektir. Yukarıda bahsedilen aşamalarda türetilen veriler ve oluşturulan diyagramlar ile bu amaçlar karşılanmış ve Operasyonel Analiz seviyesi tamamlanmıştır.

5.3. Sistem Analizi

Bu uygulamada gerçekleştirilen Sistem Analizi adımları ve bu adımlarda oluşturulan çıktılar aşağıdaki gibidir:

Çizelge 5.2. Uygulamada gerçekleştirilen sistem analizi adımları

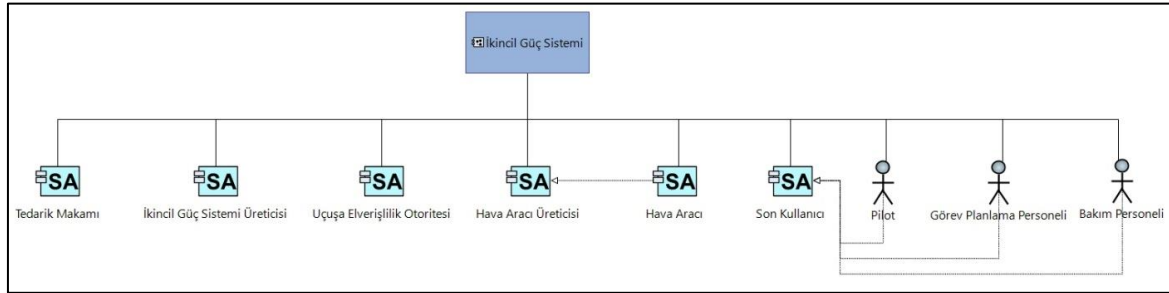
Aşama	Gerçekleştirilen Aktivite	Çıktı Diyagramı
1	Operasyonel isterlerden ve paydaş isterlerinden sistem isterlerinin türetilmesi	-
2	Operasyonel Analiz seviyesinden operasyonel birimlerin ve aktörlerin aktarılması	CSA
3	Sistem görevlerinin ve sistem kabiliyetlerinin tanımlanması	MCB
4	Sistem fonksiyonlarının ve fonksiyonel etkileşimlerin tanımlanması	SFBD SDFB
5	Sistem fonksiyonlarının ilgili sistemlere ve aktörlere atanması	SAB
6	Fonksiyonel zincirlerin tanımlanması	SAB

Aşama 1 - Operasyonel isterlerden ve paydaş isterlerinden sistem isterinin türetilmesi

Operasyonel Analiz esnasında belirlenen operasyonel isterlerden yola çıkarak İkincil Güç Sistemi'nden uçuşa elverişlilik bakımından emniyetli olması, hava aracının normal veya anormal koşullarda ihtiyacı olan ve ana tahrik sisteminden bağımsız ikincil güç üretiminin yapılması, ana motor başlatma işleminin gerçekleştirilmesi, gerekli güç aktarımlarının yapılması, bu sistemin hava aracı arayüzleri ile uyumlu olması, idame edilebilirlik veya bakım yapılabilirlik açısından elverişli olması, sistemin sahaya alındıktan sonra desteklenebilir olması, sistemin test edilebilir olması, maliyet etkin olması, entegre edildiği platform üzerinde maruz kalacağı çevresel etkilere dayanıklı olması/operasyon yapabilmesi gibi sistem isterleri türetilir.

Aşama 2 - Operasyonel analiz seviyesinden operasyonel birimlerin ve aktörlerin aktarılması

Bu aşamada Operasyonel Analiz seviyesinde oluşturulmuş operasyonel birimler ve aktörler Sistem Analizi kısmına aktarılmıştır. Operasyonel birimler bu aşamada sistem aktörlerine dönüştürülmüş ve Hava Aracı da Hava Aracı Üreticisi ile ilişkili olan bir aktör olarak türetilmiştir. İkincil Güç Sistemi ise ilgilenilen ana sistem olarak ilk defa bu Bağlamsal Sistem Aktörleri Diyagramı [CSA] ile birlikte gösterilmeye başlanmıştır.



Şekil 5.6. Bağlamsal sistem aktörleri

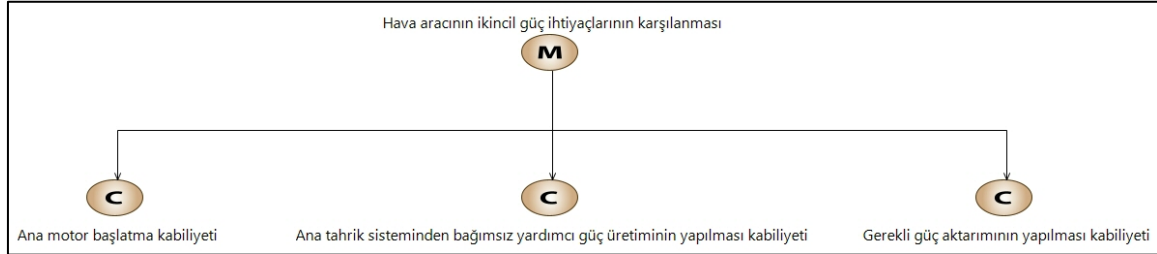
Aşama 3 - Sistem görevlerinin ve sistem kabiliyetlerinin tanımlanması

Bir önceki aşamada tanımlanmış bağlamsal sistem aktörlerine atanmış görevler [MB] diyagramında gösterilmiştir:



Şekil 5.7. Bağlamsal aktörler ve görevleri

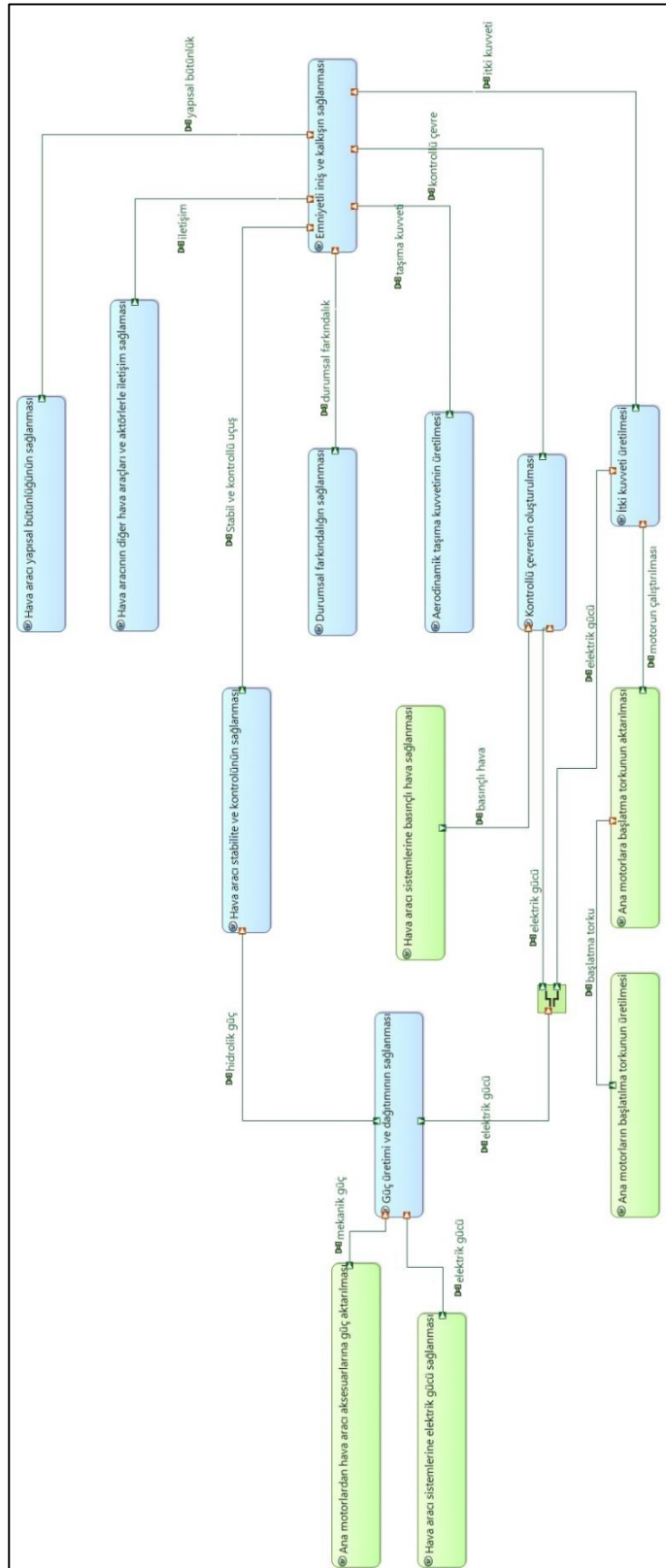
İkincil Güç Sistemi Üreticisi üzerinden ilgilenilen ana sistem olan İkincil Güç Sistemi'ne akan görev ve bu görevden operasyonel isterler ve temel sistem isterleri de düşünülerek kırılan kabiliyetler [MCB] diyagramında gösterilmiştir:



Şekil 5.8. Görev ve kabiliyetler

Aşama 4 - Sistem fonksiyonlarının ve fonksiyonel etkileşimlerin tanımlanması

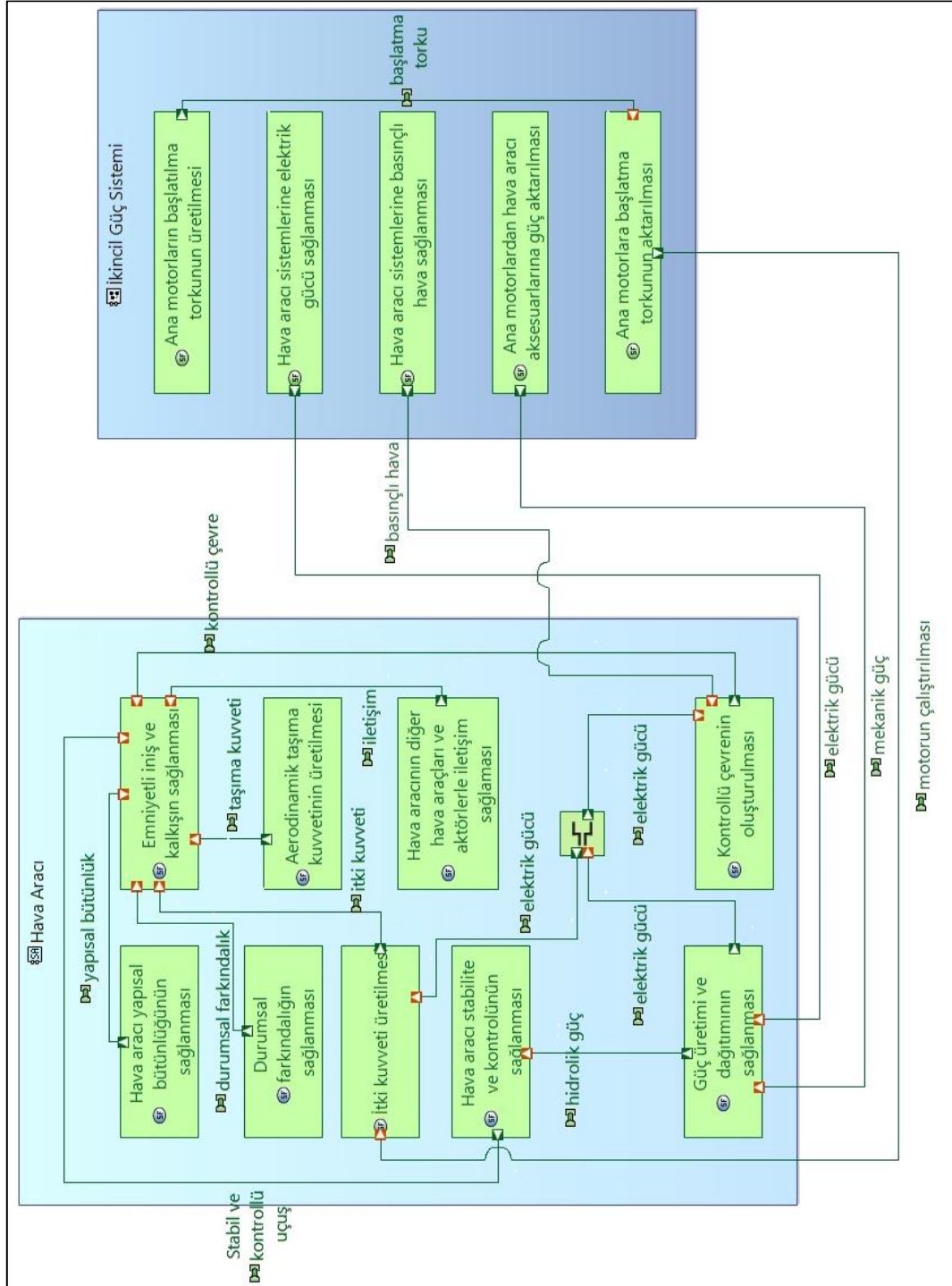
Görevlerden kırılmış kabiliyetleri yerine getirebilmek adına sistemin sahip olması gereken fonksiyonlar tanımlanmıştır ve [SFBD] diyagramında gösterilmiştir. Bu diyagramda İkincil Güç Sistemi'nin hava aracı üzerindeki operasyonuna odaklanılmış ve operasyon durumundaki etkileşimleri gösterebilmek adına Hava Aracı Üreticisi'ne atanmış ana görevden yola çıkarak SAE AIR 6110 referans alınıp hava aracı fonksiyonları da oluşturulmuştur [11]. Analizin bu aşamasından sonra farklı senaryolar için kırılımlar yapıp o senaryoya özgü diyagramlar da oluşturulabilir. Örneğin; uçuşa elverişlilik onayı senaryosu için Uçuşa Elverişlilik Otoritesi'ne atanmış ana görev baz alınarak kabiliyetler ve fonksiyonlar kırılabilir ve ilişkili aktörlere bu senaryoya özgü yeni fonksiyonlar da kırılarak bu senaryo için de ayrı bir fonksiyonel kırılım ve ilgili diyagramlar oluşturulabilir. Bu tez çalışması kapsamında analiz, İkincil Güç Sistemi'nin hava aracı üzerindeki operasyonu senaryosu üzerinden ilerletilmiş ve bu senaryoya uygun aktör ve fonksiyonel kırılım ile devam edilmiştir.



Şekil 5.10. Fonksiyonel etkileşimler

Aşama 5 - Sistem fonksiyonlarının ilgili sistemlere ve aktörlere atanması

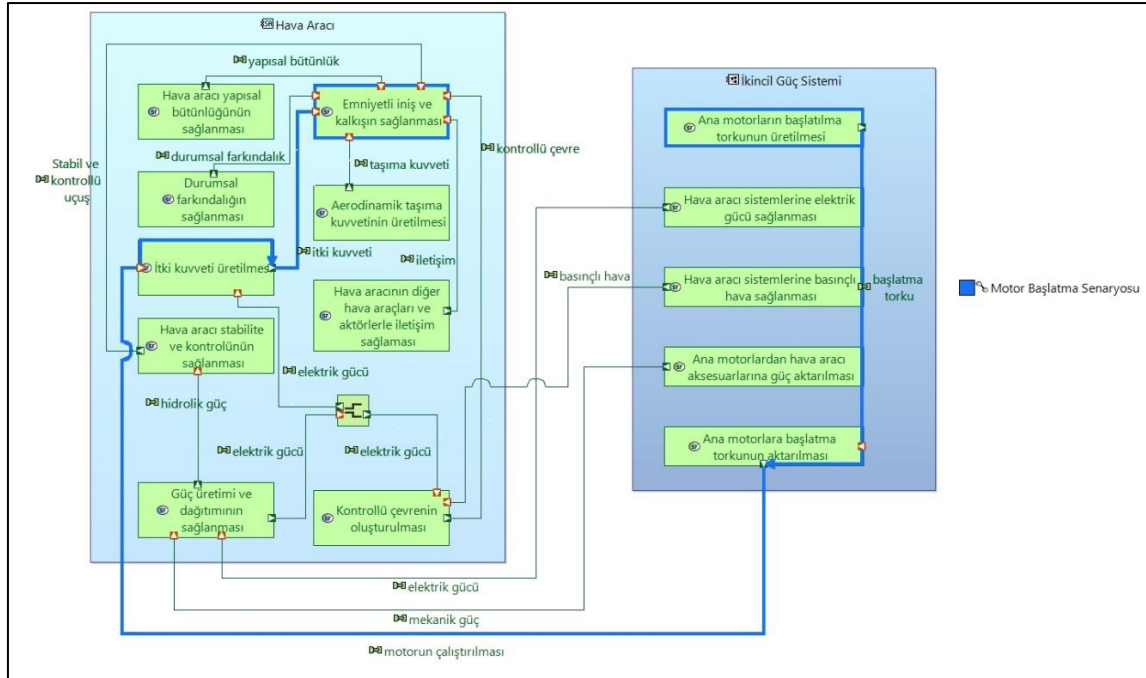
Bir önceki aşamada kırılmış ve aralarındaki etkileşimler tanımlanmış fonksiyonlar ilgilenilen ana sistem olan İkincil Güç Sistemi ve Hava Aracı aktörüne atanarak İkincil Güç Sistemi operasyonu senaryosu için fonksiyonel sistem mimarisi [SAB] oluşturulmuştur:



Şekil 5.11. Fonksiyonel sistem mimarisi

Aşama 6 - Fonksiyonel zincirlerin tanımlanması

İlgili Capella diyagramları üzerinde bazı süreçleri ve veri akış yollarını gösterebilmek adına fonksiyonel zincirler tanımlanabilmektedir. Bu çalışma kapsamında İkincil Güç Sistemi vasıtasıyla ana motorun başlatılmasını ve hava aracının üretilen itki kuvveti ile operasyonunu gösteren örnek bir fonksiyonel zincir, bir önceki aşamada türetilen Fonksiyonel Sistem Mimari [SAB] üzerinde oluşturulmuştur. Fonksiyonlar etrafındaki kalın, koyu mavi çerçeveler zincirin başını ve sonunu temsil ederken; kalın, koyu mavi çizgiler zincire dahil olan etkileşimleri göstermektedir:



Şekil 5.12. Motor başlatma senaryosu fonksiyonel zinciri

ARCADIA metodunun Sistem Analizi seviyesinde temel amaç; sistemin kendisi dışında kalan aktörlerle olan sınırını çizmek, sistemin paydaşlar için ne yapması gerektiğini tanımlamak, fonksiyon etkileşimleri ve fonksiyonel mimariyi oluşturmaktır. Yukarıda bahsedilen aşamalarda türetilen veriler ve oluşturulan diyagramlar ile bu amaçlar karşılanmış ve Sistem Analizi aşaması tamamlanmıştır. Bu aşamada ilgilenilen ana sistem İkincil Güç Sistemi kara kutu modelindedir. Kara kutu modelinde sistemin iç işleyişine bakılmaksızın sadece girdi ve çıktılarına odaklanılır. Bir sonraki aşamada sistemin iç işleyişine ve tasarım alternatiflerine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

5.4. Mantıksal Mimari

Bu uygulamada gerçekleştirilen Mantıksal Mimari adımları ve bu adımlarda oluşturulan çıktılar aşağıdaki gibidir:

Çizelge 5.3. Uygulamada gerçekleştirilen mantıksal mimari adımları

Aşama	Gerçekleştirilen Aktivite	Çıktı Diyagramı
1	Sistem isterlerinden alt sistem isterlerinin türetilmesi	-
2	Sistem Analizi seviyesinden gerçekleştirilecek sistem kabiliyetlerinin aktarılması	CRB
3	Sistem seviyesi fonksiyonlardan alt sistemlere ilişkin mantıksal fonksiyonların kırılması	LFBD
4	Alt sistem fonksiyonlarının etkileşimlerinin tanımlanması	LDFB
5	Alt sistemlere ilişkin mantıksal komponentlerin kırılması	LCBD
6	Kırılmış alt sistem fonksiyonlarının ilişkili alt sistem komponentlerine atanması	LAB

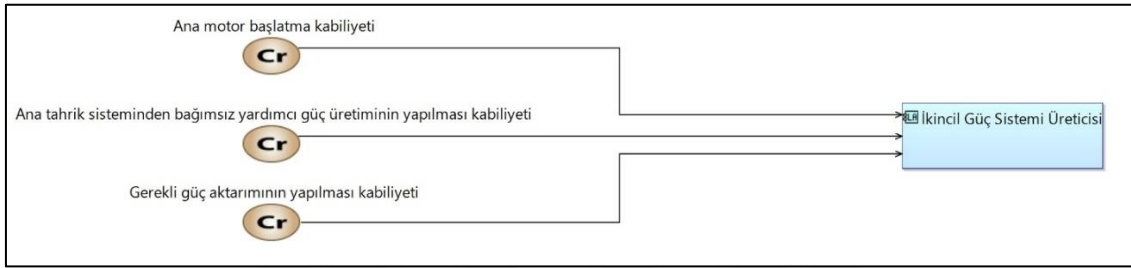
Aşama 1 - Sistem isterlerinden alt sistem isterlerinin türetilmesi

Sistem Analizi aşamasında sistem isterlerinin nasıl ve hangi kapsamda oluşturulabileceğine dair bir yaklaşım sunulmuştu. Mantıksal Mimari aşamasında ise alt sistemler ve bu alt sistemlere ilişkin mantıksal komponentlerin belirlenmesi ile bu alt sistemlere ait teknik isterlerin tanımlanması gereklidir. Bu isterler, sistem isterlerinden tahsis edilen isterler, sistem isterlerinden kırılarak indirilen isterler veya ilgili alt sistemin geliştirilmesi/tedarik sürecine indirilmek üzere yakalanan veya türetilen isterler olabilir. Bu isterlerin

belirlenebilmesi için Mantıksal Mimari'nin bir sonraki aşamalarında fonksiyonel kırılım ve bu fonksiyonların alt sistemlere atanması çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Aşama 2 - Sistem Analizi seviyesinden gerçekleştirilecek sistem kabiliyetlerinin aktarılması

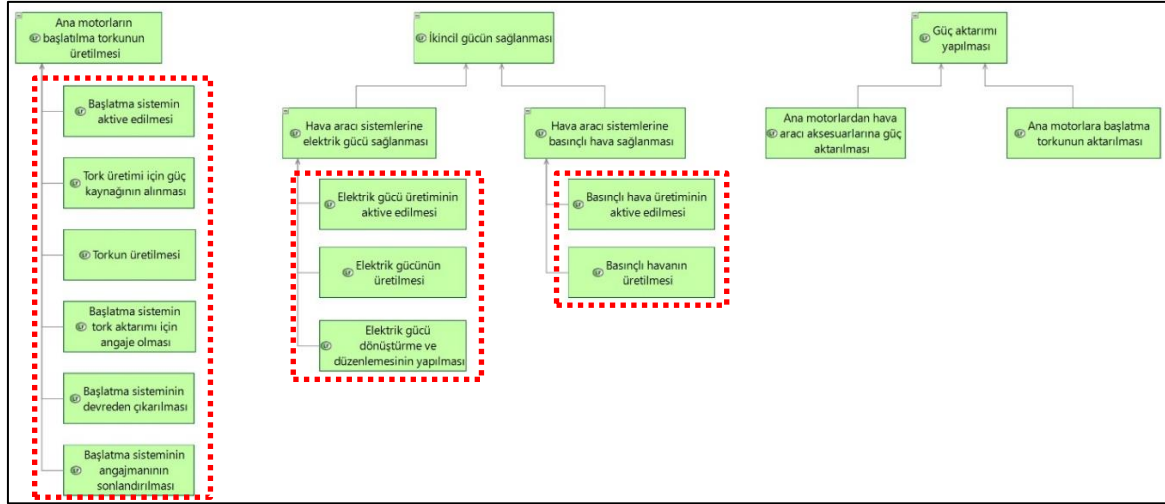
Sistem Analizi seviyesinde oluşturulmuş ve İkincil Güç Sistemi'nin gerçekleştirmesi gereken sistem kabiliyetleri Mantıksal Mimari aşamasına aktarılarak [CRB] diyagramında gösterilmiştir:



Şekil 5.13. Sistemin gerçekleştirmesi gereken kabiliyetler

Aşama 3 - Sistem seviyesi fonksiyonlardan alt sistemlere ilişkin mantıksal fonksiyonların kırılması

Sistem Analizi seviyesinde oluşturulmuş sistem fonksiyonları Mantıksal Mimari aşamasına aktarılmış ve alt sistemlere ilişkin mantıksal fonksiyonların kırılmasına [LFBD] diyagramında başlanmıştır. İlk etapta, Şekil 5.14'te gösterildiği üzere kırmızı çerçeve içerisindeki alt sistem fonksiyonları kırılmıştır:



Şekil 5.14. Tasarım çözümünden bağımsız kırılan fonksiyonlar

Kırılmış bu fonksiyonlar tasarım çözümlerinden bağımsız fonksiyonlardır. Bu aşamadan sonra fonksiyon kırılımı işlemine devam edebilmek adına alternatif sistemler belirlenmeli ve bu sistemler arasında getiri götürü analizi yapılmalıdır. Bu bölümün girişinde yapılan sistem tanımları da göz önüne alınarak geçmişte geliştirilmiş veya yeni geliştirilmiş/geliştirilmekte olan modern hava araçlarında kullanılan/kullanılabilecek alternatif ikincil güç sistemleri ve bu sistemlerden beklenen ana fonksiyonları yerine getirebilecek ekipmanlar aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir:

Çizelge 5.4. Değerlendirilen alternatif ikincil güç sistemleri

	Alternatif Sistem - 1	Alternatif Sistem - 2	Alternatif Sistem - 3
Ana motorların başlatma torkunun üretilmesi	Hava Türbinli Başlatma Motoru	Jet Yakıtlı Başlatma Motoru	Başlatma Motoru/Jeneratör
Hava aracı sistemlerine elektrik gücü sağlanması	Yardımcı Güç Ünitesi	Acil Durum Ünitesi	Entegre Güç Paketi
Hava aracı sistemlerine basınçlı hava sağlanması	Yardımcı Güç Ünitesi	Yer Destek Ekipmanı (harici)	Entegre Güç Paketi
Ana motorlardan hava aracı aksesuarlarına güç aktarılması	Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı	Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı	Motor Aksesuar Dişlisi ve Başlatma Motoru/Jeneratör

Çizelge 5.4. (devam) Değerlendirilen alternatif ikincil güç sistemleri

Ana motorlara başlatma torkunun aktarılması	Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı	Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı	Motor Aksesuar Dişlisi
---	---	---	------------------------

Ancak havacılık endüstrisinde belirtilen alternatif sistemler dışında kullanılan sistemler veya teorik olarak ikincil güç sistemlerinde kullanılan ekipmanların kombinasyonu veya modifiye edilmesi ile oluşturulabilecek sistemler de mevcuttur.

Çizelge 5.5. İkincil güç sistemi alternatif ekipmanları

Ana motorların başlatma torkunun üretilmesi	Hava Türbinli Başlatma Motoru, Jet Yakıtlı Başlatma Motoru, Başlatma Motoru/Jeneratör, Hidrolik Başlatma Motoru, Kartuş Başlatma Sistemi, Elektrikli Başlatma Motoru
İkincil Güç Üretimi	Yardımcı Güç Ünitesi, Acil Durum Ünitesi, Entegre Güç Paketi, Ram Hava Türbini, Batarya, Hidrolik Akümülatör, Basınçlı Hava Tankı
Güç Aktarımı	Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı, Motor Aksesuar Dişlisi, motordan çekilen basınçlı hava ile sürülen aksesuar dişlisi, motordan çekilen basınçlı havanın yakılarak enerjilendirilmesi ile döndürülen bir türbin ile sürülen aksesuar dişlisi

Örnek olarak, alternatif sistemler arasında belirtilmemesine rağmen ana motorların başlatılması için Başlatma Motoru/Jeneratör, ikincil güç üretimi için Yardımcı Güç Ünitesi ve güç aktarımı için Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı kombinasyonu ile farklı bir alternatif sistem mimarisi de oluşturulabilir. Bu mimaride ana motorların başlatılması için Başlatma Motoru/Jeneratör, Yardımcı Güç Ünitesi veya hava aracı bataryalarından enerjilendirilebilir. Ana motorlar başlatıldıktan sonra ise Jeneratör moduna geçerek hava aracının ve ana motorun elektrik gücü ihtiyacını karşılayabilir. Yardımcı Güç Ünitesi ise ihtiyaç duyulan ikincil güç üretimini basınçlı hava ve elektrik gücü olarak sağlayabilir. Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ise, hidrolik pompalar ve gerekli ise ilave bir jeneratörü Güç Transfer Şaftı vasıtasıyla sürebilir. Bu alternatif mimari, Çizelge 5.4.'te belirtilen Alternatif Sistem - 1 ve Alternatif Sistem - 3 arasında bir sistemdir. Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı kaldırılıp mekanik pompalar yerine elektrikli pompalar seçilerek bu mimari mekanik güç aktarımına ihtiyaç duymadan Alternatif Sistem - 3'e daha da yakınlştırılabilir.

Bu tez çalışmasında değerlendirilen alternatif sistemler, sivil ve askeri havacılıkta yaygın olarak kullanılan veya güncel hareket ortamında sayıca fazla kullanılan/kullanılması planlanan platformlar düşünülerek seçilmiştir.

Aşama 3.1 - Alternatiflerin değerlendirilmesi

Karar verme teorileri çalışmaları incelendiğinde literatürde Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process), Pugh Matrisi (Pugh Matrix), Çok Kriterli Fayda Teorisi (Multi Attribute Utility Theory), Tek Kriterli Fayda Teorisi (Single Attribute Utility Theory) gibi farklı metotlar görülmektedir. Her bir metodun daha başarılı sonuçlar verdiği farklı senaryolar veya farklı kullanım amaçları vardır. Bu metotlar arasından seçim yaparken; değerlendirme sürecinde harcanacak efor, eldeki mevcut veri hacmi ve beklenen çözünürlük gibi kriterler de dikkate alınmalıdır.

Bu tez çalışması kapsamında kullanım kolaylığı, eldeki mevcut nicel veri azlığı ve yüksek çözünürlükte seçim beklentisi olmaması sebepleriyle alternatif sistemlerin değerlendirilmesi için Pugh Matrisi seçilmiştir. Pugh Matrisi metodu, Profesör Stuart Pugh tarafından geliştirilmiş kullanımı kolay, özellikle konsept tasarım aşamasında tercih edilebilecek bir çok kriterli karar verme metodudur. Genellikle alternatif sayısının fazla olduğu durumlarda alternatifler arasında ön eleme yapmak için kullanılır, bu metodun kullanımı sonucunda alternatifler arasından kesin karar vermek zorunlu değildir [37].

Pugh Matrisi uygulanırken izlenen adımlar aşağıdaki gibidir:

- Alternatiflerin değerlendirileceği kriter listesinin belirlenmesi
- Alternatifler arasından bir tanesinin referans olarak seçilmesi ve diğer alternatiflerin bu referansa göre değerlendirilerek her bir kriter bakımından daha güçlü yönde ise +, aynı ise S, zayıf yönde ise - olarak puanlandırılması
- Her bir kriter için atanmış puanların toplanarak değerlendirme yapılması

Alternatiflerin değerlendirilmesi için belirlenen kriterler:

- Performans

- Motor Başlatma Süresi
- Güç Üretim Kapasitesi
- Güç Aktarım Verimliliği
- Fiziksel Özellikler
- Ağırlık ve Boyut
- Montaj ve Entegrasyon
- Tedarik Edilebilirlik

Bu üç alternatif sistem performans bakımından motor başlatma süresi, güç üretim kapasitesi, güç aktarım verimliliği gibi alt kriterlerle değerlendirilebilir. Alternatif Sistem - 1’de ana motorun başlatılabilmesi için önce Yardımcı Güç Ünitesi çalıştırılmalı ve yüke hazır duruma gelmelidir. Daha sonra motor başlatma komutu verilmesi ile Yardımcı Güç Ünitesi tarafından üretilen basınçlı hava boru hatları ve hat üzerindeki ilgili vanalardan da geçerek Hava Türbinli Başlatma Motoru’na gelir. Bu başlatma motoru, Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı aracılığı ile ana motora başlatma torkunu sağlar. Alternatif Sistem - 2’de Hava Aracı Aksesuar Dişlisi’ne entegre Jet Yakıtlı Başlatma Motoru, Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı aracılığı ile ana motora başlatma torkunu sağlar. Bu sebeple, Jet Yakıtlı Başlatma Motoru yüksek anlık güç ve tork üretmek üzere tasarlanmıştır. Alternatif Sistem - 3’te ise Entegre Güç Paketi, kendi ana şaftına entegre bir Başlatma Motoru/Jeneratör vasıtasıyla ürettiği gücü ana motorun dişli kutusu üzerindeki Başlatma Motoru/Jeneratör’e iletir ve ana motor başlatma bu şekilde sağlanır. Süre bakımından kıyaslamak adına ana motor başlatma sürecinde her bir alternatifin gerektirdiği adım sayısı ve bu adımların bilinen tahmini süreleri düşünüldüğünde Alternatif Sistem - 1’in referans alternatif seçildiği durumda Alternatif Sistem - 2 ve Alternatif Sistem - 3, + olarak puanlanmıştır.

Güç Üretim Kapasitesi bakımından kıyaslama yapıldığında ise teorik olarak hava aracının ihtiyacı olan güç miktarına uygun geliştirme yapıldığı varsayılan durumda elektrik gücü için üretim kapasitesi üç alternatif için de benzer düşünülebilir. Basınçlı hava üretimi bakımından değerlendirme yapıldığında ise Alternatif Sistem - 2, diğer alternatiflerden farklı olarak harici Yer Destek Ekipmanı’na ihtiyaç duyar. Bu da hava aracının operasyonelliği açısından bir dezavantaj oluşturur. Öte yandan Alternatif Sistem - 2’de kullanılan Acil Durum Ünitesi, diğer alternatiflerde bulunan Yardımcı Güç Ünitesi ve Entegre Güç Paketi’nden farklı olarak süre limitli çalışır. Bu süre, bilinen hava araçlarında yaklaşık 10 dakikadır. Ek olarak güç

üretim kapasitesi, hava aracının operasyon zarfında ikincil gücün üretilebileceği zarf bakımından da değerlendirilebilir. Alternatif Sistem - 1, Yardımcı Güç Ünitesi'nin çalışabilmesi için irtifa limitine sahipken Alternatif Sistem - 2'deki Acil Durum Güç Ünitesi ve Alternatif Sistem - 3'teki Entegre Güç Paketi daha geniş bir zarfta operasyon imkanı sunar. Bu koşullar göz önüne alındığında Alternatif Sistem - 1'in referans alternatif seçildiği durumda Alternatif Sistem - 2, - ve Alternatif Sistem - 3, + olarak puanlanmıştır.

Güç Aktarım Verimliliği düşünüldüğünde ise Alternatif Sistem - 1 ve Alternatif Sistem - 2 daha çok mekanik bağlantılar vasıtasıyla güç aktarımı yaparken Alternatif Sistem - 3 elektriksel bir mimariye dayanır. Bu sebeple güç aktarım verimliliği açısından Alternatif Sistem - 1'in referans alternatif seçildiği durumda Alternatif Sistem - 2, S ve Alternatif Sistem - 3, + olarak puanlanmıştır. Bu üç alt kriter için yapılan değerlendirme Pugh Matrisi ile değerlendirildiğinde Alternatif Sistem - 3, diğer iki alternatiften önde görülmüştür. Bu sebeple Performans kriteri için Alternatif Sistem - 1'in referans alternatif seçildiği durumda Alternatif Sistem - 2, S ve Alternatif Sistem - 3, + olarak puanlanmıştır.

Çizelge 5.6. Performans kriterinin değerlendirilmesi

Alt Kriterler	Alternatif Sistem - 1	Alternatif Sistem - 2	Alternatif Sistem - 3
Motor Başlatma Süresi	S	+	+
Güç Üretim Kapasitesi	S	-	+
Güç Aktarım Verimliliği	S	S	+
$\Sigma +$	0	1	3
ΣS	3	1	0
$\Sigma -$	0	1	0
Σ Genel	0	0	3

Bu üç alternatif sistem fiziksel özellikler bakımından ağırlık, boyut, montaj ve entegrasyon gibi alt kriterlerle değerlendirilebilir. Bu değerlendirme yapılırken öncelikle her bir alternatif sistem için temel üç ana fonksiyonu yerine getiren ekipmanları her bir kriter bazında kendi aralarında kıyaslanabilir.

Ağırlık kriteri motor başlatma fonksiyonu için düşünüldüğünde Hava Türbinli Başlatma Moturu, Jet Yakıtlı Başlatma Motoru ve Başlatma Motoru/Jeneratör kıyaslandığında Hava

Türbinli Başlatma Motoru en hafif, Jet Yakıtlı Başlatma Motoru en ağır alternatiftir. İkincil güç üretimi fonksiyonu düşünüldüğünde ise Acil Durum Ünitesi, Yardımcı Güç Ünitesi ve Entegre Güç Paketi'ne göre daha hafiftir. Güç aktarımı fonksiyonu için ise Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı kullanılmadığı için Alternatif - 3 daha hafiftir.

Özetle, motor başlatma fonksiyonu için Alternatif Sistem - 1, ikincil güç üretimi fonksiyonu için Alternatif Sistem - 2, güç aktarımı fonksiyonu için ise Alternatif Sistem - 3 öne çıkmaktadır. Her bir fonksiyon özelinde farklı bir alternatif sistem öne çıktığı için kıyaslama yapılabilmesi adına mertebe cinsinden de kıyaslama yapılmalıdır.

Havacılık endüstrisinde kullanılan tipik spesifikasyonlar motor başlatma fonksiyonunu yerine getiren ekipmanlar için incelendiğinde;

Hava Türbinli Başlatma Motoru: 10-25 kg

Jet Yakıtlı Başlatma Motoru: 60-70 kg

Başlatma Motoru/Jeneratör: 45-60 kg

olarak ortaya çıkar. Benzer karşılaştırma diğer iki ana fonksiyonu için yapılarak her bir alternatifin tahmini ağırlık değerleri hesaplanabilir:

Alternatif Sistem - 1: Hava Türbinli Başlatma Motoru (10-25 kg) + Yardımcı Güç Ünitesi (70-90 kg) + Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı (40-45 kg) = 120 - 160 kg

Alternatif Sistem - 2: Jet Yakıtlı Başlatma Motoru (60-70 kg) + Acil Durum Ünitesi (50-60 kg) + Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı (40-45 kg) = 150 - 175 kg

Alternatif Sistem - 3: Başlatma Motoru/Jeneratör (45-60 kg) + Entegre Güç Paketi (100-150 kg) = 145 - 210 kg

Bu hesap sonucunda Ağırlık kriteri için Alternatif Sistem - 1'in referans alternatif seçildiği durumda Alternatif Sistem - 2, - ve Alternatif Sistem - 3, - olarak puanlanmıştır.

Boyut anlamında bir kıyaslama yapılırsa da Alternatif Sistem - 1'in referans alternatif seçildiği durumda Alternatif Sistem - 2, S ve Alternatif Sistem - 3, S olarak puanlanmıştır. Bu kriter bazında Alternatif Sistem - 3'ün toplam hacmi, Entegre Güç Paketi'nin boyutları sebebiyle diğer alternatiflerden daha fazla olarak değerlendirilebilir. Ancak bu alternatifin kullanılması ile hava aracında farklı sistemlerde ağırlık ve boyut kazançları da olmaktadır. Bu kazanç boyut puanlamasında dikkate alınmıştır.

Bu alternatifler montaj ve entegrasyon bakımından düşünülürse, Alternatif Sistem - 1'de kullanılan Yardımcı Güç Ünitesi ve Hava Türbinli Başlatma Motoru standart bir montaj ve entegrasyon yapısına sahiptir. Alternatif Sistem - 2'de kullanılan Jet Yakıtlı Başlatma Motoru, Hava Aracı Aksesuar Dişlisi'ne entegre olduğu için bu bölge diğer ekipmanlarla birlikte sıkışık ve erişimi zor bir yapıya sahiptir. Öte yandan kullanılan Acil Durum Ünitesi de hidrazin tankı entegrasyonu açısından risklere sahiptir. Alternatif Sistem - 3'te ise ekipman sayısı daha az ve daha kompakt olduğu için montaj ve entegrasyon anlamında avantajlar taşır ve toplam hava aracı ağırlık ve boyutunu azaltacak özellikler sunar. Bu sebeple Montaj ve Entegrasyon kriteri için Alternatif Sistem - 1'in referans alternatif seçildiği durumda Alternatif Sistem - 2, - ve Alternatif Sistem - 3, + olarak puanlanmıştır.

Çizelge 5.7. Fiziksel özellikler kriterinin değerlendirilmesi

Alt Kriterler	Alternatif Sistem - 1	Alternatif Sistem - 2	Alternatif Sistem - 3
Ağırlık	S	-	-
Boyut	S	S	S
Montaj ve Entegrasyon	S	-	+
$\Sigma +$	0	0	1
ΣS	3	1	S
$\Sigma -$	0	2	1
$\Sigma Genel$	0	-2	0

Bu üç alt kriter için yapılan değerlendirme Pugh Matrisi ile değerlendirildiğinde Alternatif Sistem - 1 ve Alternatif Sistem - 3, Alternatif Sistem - 2'den önde görülmüştür. Bu sebeple Fiziksel Özellikler kriteri için Alternatif Sistem - 1'in referans alternatif seçildiği durumda Alternatif Sistem - 2, - ve Alternatif Sistem - 3, S olarak puanlanmıştır.

Bu üç alternatif sistem, tedarik edilebilirlik bakımından da kıyaslanabilir. Alternatif Sistem - 1, diğer alternatiflere göre askeri ve sivil havacılıkta daha yaygın kullanılan, yerli ve

yabancı tedarikçi seçenekleri olan bir alternatiftir. Alternatif Sistem - 2'nin kullanımı belirli hava araçları ile sınırlıdır ve buradaki ana sistemler belirli tedarikçiler tarafından geliştirilmiştir ve güncel hava araçlarında artık kullanılmamaktadır. Alternatif Sistem - 3 ise spesifik bir hava aracı için birden fazla sistemin entegre edilmesi ile geliştirilmiş, kompakt ve özgün bir çözümdür. Bu bakımdan tedarik edilmesi zor bir alternatiftir. Geliştirme opsiyonu değerlendirildiğinde ise ülkemizde birden fazla tedarikçinin kabiliyetlerinin bir araya getirilmesini ve kompleks bir ürün geliştirilmesini gerektirebilir. Bu sebeple tedarik edilebilirlik kriteri için Alternatif Sistem - 1'in referans alternatif seçildiği durumda Alternatif Sistem - 2, - ve Alternatif Sistem - 3, - olarak puanlanmıştır.

Böylece bu üç ana kriter için alternatif sistemler değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuç ortaya çıkar:

Çizelge 5.8. Alternatif sistemlerin değerlendirilmesi

Kriterler	Alternatif Sistem - 1	Alternatif Sistem - 2	Alternatif Sistem - 3
Performans	S	S	+
Fiziksel Özellikler	S	-	S
Tedarik Edilebilirlik	S	-	-
$\Sigma +$	0	0	1
ΣS	3	1	1
$\Sigma -$	0	2	-1
$\Sigma Genel$	0	-2	0

Sonuçlardan da görüldüğü üzere Alternatif Sistem - 1 ve Alternatif Sistem - 3 aynı puana sahipken Alternatif Sistem - 2 bu iki alternatifin gerisinde kalmaktadır. Bu sonuçtan aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

- Pugh matrisinin tanımı ve kullanımından bahsedilirken alternatifler arasından ön eleme için daha uygun olduğu ve bu değerlendirmenin sonunda kesin bir seçim yapılmasının zorunlu olmadığından bahsedilmişti. Buna uygun olarak, yapılabilecek birinci çıkarım bu alternatifler arasından Alternatif Sistem - 2'nin uygun olmadığı ve diğer iki alternatif arasında daha detaylı inceleme yapılması gerekliliğidir.
- İkinci çıkarım olarak, bu alternatifler değerlendirilirken üç ana kriter seçilmiş ve bu kriter üzerinden kıyaslama yapılmıştır. Alternatiflerin seçilmesi için tekrarlanan veya

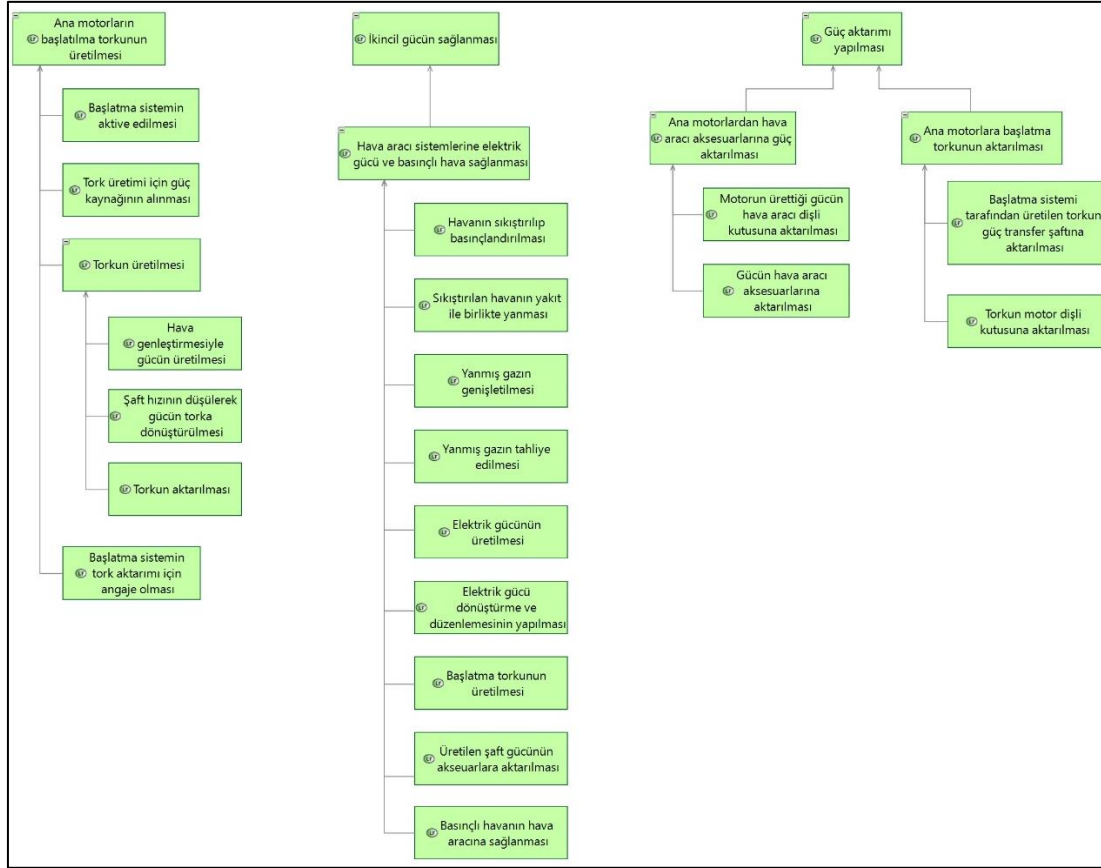
tekrarlanmayan maliyetler, emniyet ve güvenilirlik, üretim kapasitesi ve teslimat süreleri, emisyon ve gürültü seviyeleri gibi ilave veya farklı kriterler de seçilebilir ve değerlendirme uzayı genişletilebilir.

- Üçüncü çıkarım, bu alternatiflerin değerlendirmesi ve puanlama yapılırken yazarın geçmiş bilgisi ve yaptığı araştırmaların sonuçları baz alınmıştır. Değerlendirme yapan kişi sayısının artırılması ve farklı puanlamaların dikkate alınması da sonuçta etkili olabilir.
- Dördüncü çıkarım ise, alternatiflerin değerlendirilmesi esnasında kullanılan kriterler ve bu alt kriterlerin değerlendirmedeki ağırlıklarının da hesaba dahil edilmesi ile bu sonucun etkilenebileceğidir.

Bu çıkarımlar baz alındığında Pugh matrisinin alternatifler arasında hızlı ve kolay bir ön eleme yapmak için elverişli olduğu ancak endüstriyel uygulamalarda kararlar alınırken sonraki adımlarda hassasiyeti yüksek, katılımcı sayısının çeşitlendirildiği ve kriterler arasında da paydaşların beklentilerine göre ağırlık atamalarının yapıldığı farklı metotlar kullanılması gerekmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında ise yapılan analizin sonucunda Alternatif Sistem - 2 elenmiş, Alternatif Sistem - 1 ve Alternatif Sistem - 3 arasında da yaygın kullanım alanı, tedarik ve geliştirme esnekliği düşünülerek Alternatif Sistem - 1 ile devam etme kararı alınmıştır. Alternatif Sistem - 1 kullanıldığı durumda bu sisteme ait ekipmanlar farklı alt yüklenicilerden yetkinliklerine göre tedarik edilerek maliyet etkin, performans ve arayüz bakımından hava aracına daha uygun kombinasyonlar oluşturulabilir veya tüm bileşenler aynı alt yükleniciye verilerek alt yüklenici yönetimi kolaylaştırılabilir. Gerekli durumlarda da hazır alınan bileşenler farklı alt yükleniciler tarafından yerleştirilebilir veya daha gelişmiş çözümlerle değiştirilebilir.

Bu aşamanın başında fonksiyon kırılımlarının yapılabilmesi için getiri götürü analizinin yapılmasından bahsedilmişti. Bu analizin yapılması ile Alternatif Sistem - 1 seçimi gözetilerek yapılan fonksiyon kırılımları aşağıdaki gibidir:



Şekil 5.15. Alternatif sistem seçimi sonrası fonksiyonel kırılım

Şekil 5.14.'te gösterilen tasarım çözümünden bağımsız fonksiyonel kırılım, seçilen sistem de referans alınarak güncellenmiş ve detaylı fonksiyonlar da oluşturulmuştur. Motor başlatma torkunun üretilmesi fonksiyonu, seçilen sistemdeki Hava Türbinli Başlatma Motoru'nun çalışma mantığı da düşünülerek pnömatik enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi prensibine dayalı detaylandırılmıştır. Benzer şekilde, ikincil güç üretimi fonksiyonu da Yardımcı Güç Ünitesi'nin de dayandığı Brayton çevrimi esas alınarak alta kırılmıştır. Son olarak, güç aktarma fonksiyonu da mekanik aktarım mantığı ile detaylandırılmıştır.

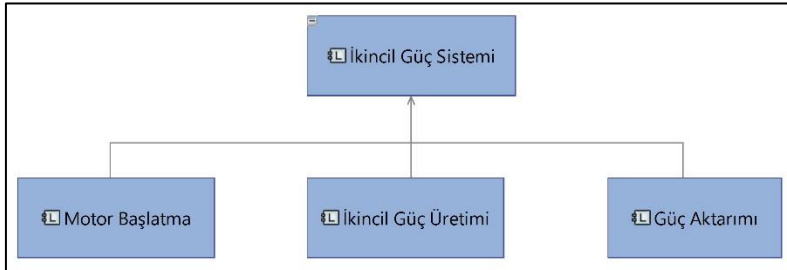
Bu kırılım çalışmasından da çıkarım yapılabileceği üzere, mimari geliştirme faaliyetlerinde üst seviye alternatif değerlendirme çalışmalarının Mantıksal Mimari aşamasında yapılması büyük öneme sahiptir. Bu çalışmaların yapılması ile fonksiyonel kırılımlar seçilen alternatifte uygun yapılmalı ve mimari o yönde şekillendirilmelidir. Buna ek olarak, sistem geliştiricileri veya tedarikçileri ile potansiyel çözümler ve uygulanabilirlik yönünden de değerlendirmeler yapıp mimari bu girdilerle detaylandırılmalıdır.

Aşama 4 - Alt sistem fonksiyonlarının etkileşimlerinin tanımlanması

Sistem Analizi seviyesinde sistem ve aktör fonksiyonları belirlendikten sonra bu fonksiyonlar arasındaki etkileşimler tanımlanmış ve bu etkileşimler [SDFB] diyagramında gösterilmişti. Benzer bir adım Mantıksal Mimari seviyesinde de uygulanarak [LDFB] diyagramı oluşturulabilir. ARCADIA metodunda farklı bir yaklaşım olarak, fonksiyonel etkileşimlerin fonksiyonlar ilgili komponentlere atandıktan sonra tanımlanması da mümkündür. Bu yaklaşım herhangi bir veri kaybına neden olmamakla birlikte eğer istenirse [LDFB] diyagramı bu etkileşimler [LAB] diyagramı üzerinde tanımlandıktan sonra Capella üzerinde otomatik olarak oluşturulabilir. Modelleme yaparken kullanım kolaylığına göre bu iki yaklaşımdan herhangi birisi seçilebilir. Mantıksal Mimari aşamasında bu yaklaşımla ilenilmiş ve fonksiyonel etkileşimler Aşama 6'da fonksiyonların ilgili komponentlere atanmasının ardından [LAB] diyagramı üzerinde tanımlanmıştır.

Aşama 5 - Alt sistemlere ilişkin mantıksal komponentlerin kırılması

Sistem Analizi seviyesinde ilgilenilen sistem tasarım çözümünden bağımsız olarak İkincil Güç Sistemi olarak tanımlanmıştı ve kara kutu yaklaşımı ile modelleme yapılmıştı. Mantıksal Mimari seviyesinde ise bu sistem, üç mantıksal alt komponente kırılmıştır ve bu kırılım seçilen sistemin de çalışma prensibine uygun olarak hazırlanıp [LCBD] diyagramında gösterilmiştir:

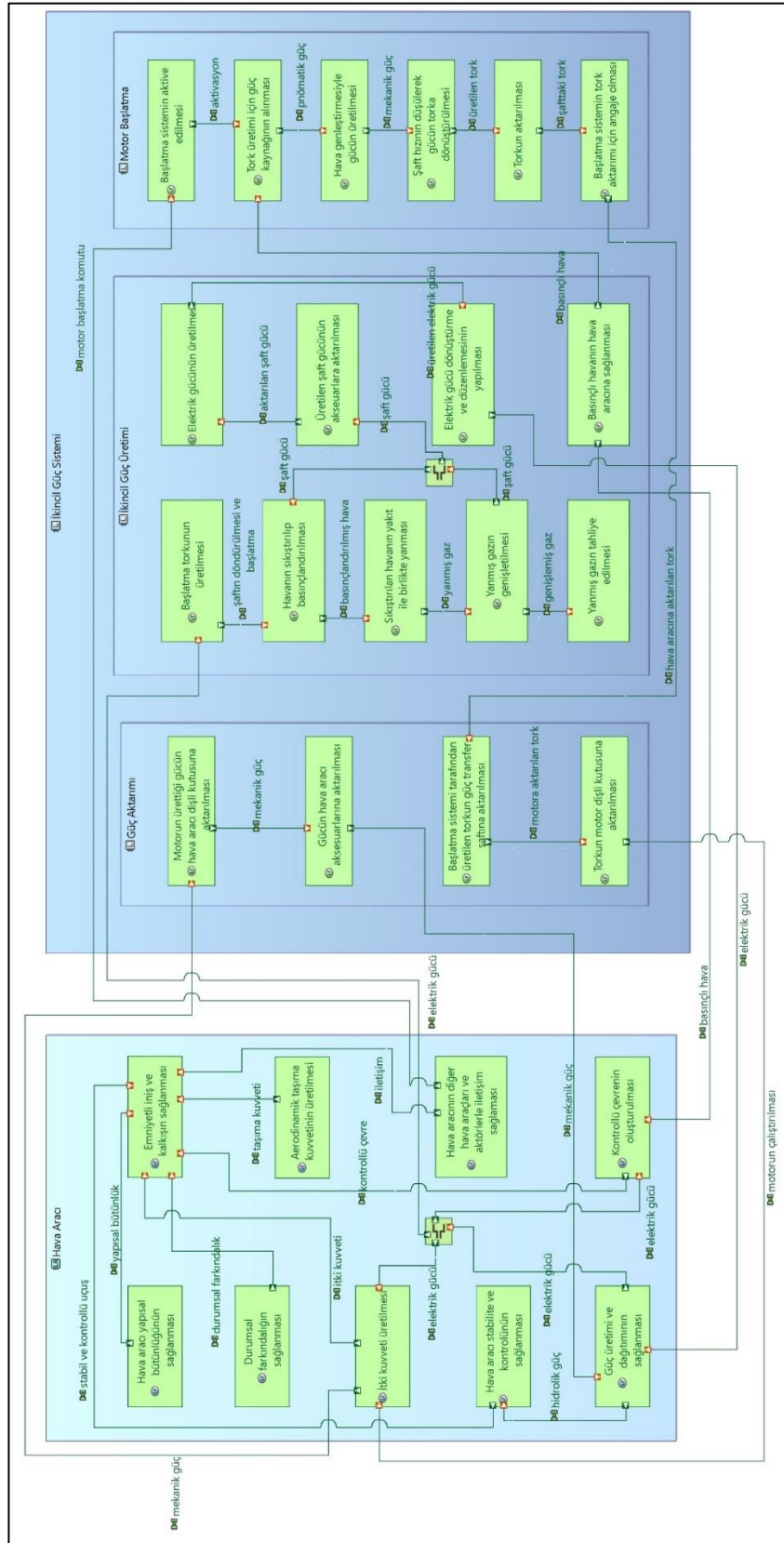


Şekil 5.16. Alt sistem mantıksal komponent kırılımları

Aşama 6 - Kırılmış alt sistem fonksiyonlarının ilişkili alt sistem komponentlerine atanması

Mantıksal Mimari seviyesinin son aşamasında ise alt sistem seviyesine kırılmış fonksiyonlar tanımlanan alt sistem mantıksal komponentlerine atanmış ve bu fonksiyonlar arasındaki

etkileşimler oluşturulmuştur. Bunun sonucunda ise [LAB] diyagramı üretilmiştir:



Şekil 5.17. Mantıksal alt sistem mimarisi

ARCADIA metodunun Mantıksal Mimari seviyesinde temel amaç, sistemin bir önceki seviyede tanımlanan beklentileri ve ihtiyaçları karşılayabilmek için nasıl çalışacağını modellemektir. Bir önceki seviyede ilgilenilen sistem kara kutu yaklaşımı ile modellenmiş, bu seviyede ise ilgilenilen sistemin çalışma mantığı, üst seviye sistem mimari alternatifleri ve seçilen alternatife uygun mantıksal modelin oluşturulması hedeflenmiştir. Alt sistemler belirlenerek daha alt seviyelere kırılmış fonksiyonlar bu alt sistemlere atanmış ve detaylı fonksiyonel etkileşimler oluşturulmuştur. Yukarıda bahsedilen aşamalarda türetilen veriler ve oluşturulan diyagramlar ile bu amaçlar karşılanmış ve Mantıksal Mimari seviyesi tamamlanmıştır.

5.5. Fiziksel Mimari

Bu uygulamada gerçekleştirilen Fiziksel Mimari adımları ve bu adımlarda oluşturulan çıktılar aşağıdaki gibidir:

Çizelge 5.9. Uygulamada gerçekleştirilen fiziksel mimari adımları

Aşama	Gerçekleştirilen Aktivite	Çıktı Diyagramı
1	Alt sistem isterlerinden ekipman isterlerinin türetilmesi	-
2	Alt sistem seviyesi fonksiyonlardan ekipmanlara ilişkin fiziksel fonksiyonların kırılması	PFBD
3	Ekipman fonksiyonlarının etkileşimlerinin tanımlanması	PDFB
4	Ekipmanlara ilişkin fiziksel komponentlerin kırılması	PCBD
5	Kırılmış ekipman fonksiyonlarının ilişkili fiziksel komponentlere atanması	PAB
6	Fonksiyonel zincirlerin tanımlanması	PAB

Aşama 1 - Alt sistem isterlerinden ekipman isterlerinin türetilmesi

Sistem Analizi seviyesinde sistem isterlerinin, Mantıksal Mimari seviyesinde ise alt sistem isterlerinin oluşturulması hedeflenir. Fiziksel Mimari seviyesine gelindiğinde ise fiziksel komponentlerin ortaya çıkması ile birlikte ekipman isterleri oluşturulur. Bu isterler sistem ve alt sistem isterlerinden kırılabileceği gibi bir önceki seviyeye benzer şekilde türetilmiş veya yakalanan isterler de ekipman ister setlerine dahil edilebilir. Fiziksel Mimari

diyagramlarında gösterilen her bir fiziksel komponent için bu isterleri içeren ekipman şartnameleri oluşturulur.

Aşama 2 - Alt sistem seviyesi fonksiyonlardan ekipmanlara ilişkin fiziksel fonksiyonların kırılması

Mantıksal Mimari seviyesinde sistem fonksiyonlarından kırılan alt sistem fonksiyonları Fiziksel Mimari seviyesine aktarılmış, bu fonksiyonların ekipman seviyesine kırılması ve ihtiyaç duyulan yeni fonksiyonların eklenmesi ile fonksiyonel kırılım [PFBD] diyagramında detaylandırılmıştır.



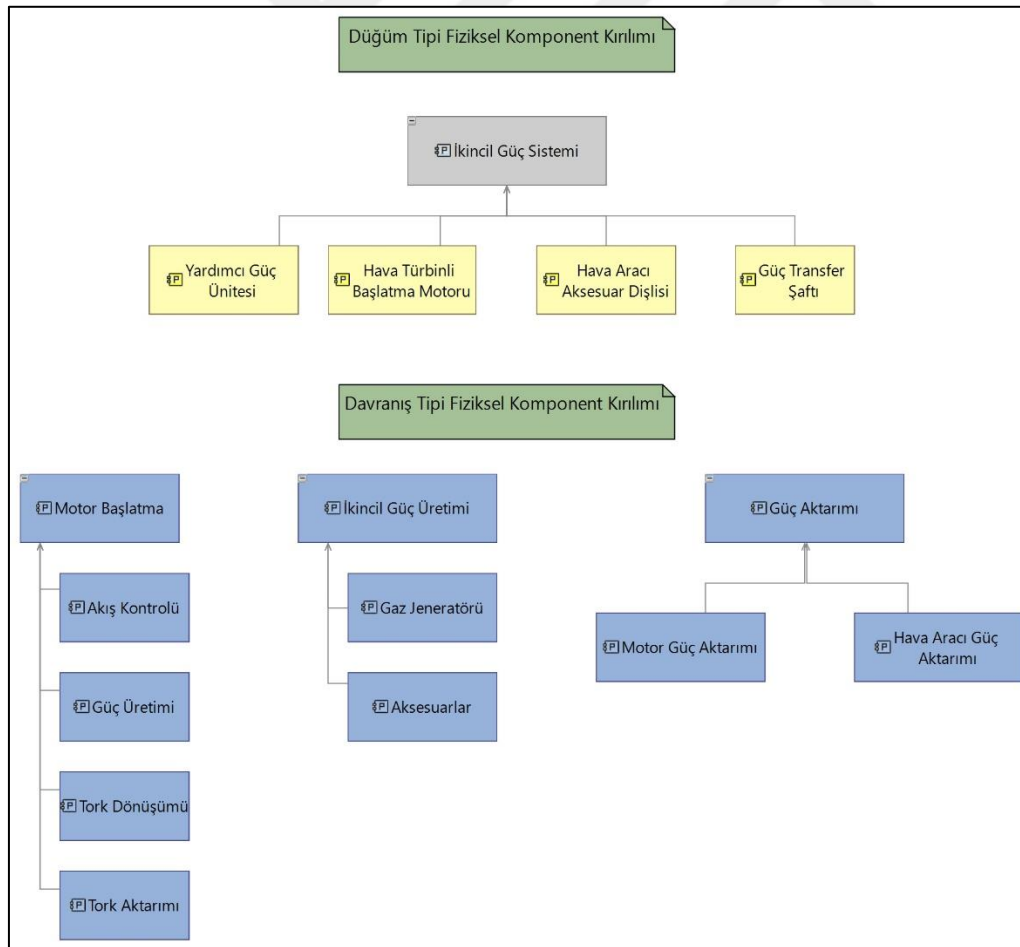
Şekil 5.18. Ekipman fonksiyonları kırılımı

Aşama 3 - Ekipman fonksiyonlarının etkileşimlerinin tanımlanması

Mantıksal Mimari seviyesindeki yaklaşıma benzer olarak ilerlenmiş ve fonksiyonel etkileşimler Aşama 5’de fonksiyonların ilgili komponentlere atanmasının ardından [PAB] diyagramı üzerinde tanımlanmıştır.

Aşama 4 - Ekipmanlara ilişkin fiziksel komponentlerin kırılması

Sistem Analizi seviyesinde kara kutu olarak modellenen sistem, Mantıksal Mimari seviyesinde üç ana mantıksal komponente yani alt sistemlere kırılmıştı. Fiziksel Mimari seviyesinde ise ekipmanlara dair fiziksel komponentlerin kırılımı [PCBD] diyagramında yapılmıştır. Kırılım yapılırken düğüm tipi fiziksel komponentler ve davranış tipi fiziksel komponentler ayrı ayrı ele alınmıştır.



Şekil 5.19. Fiziksel kırılım

Düğüm tipi fiziksel komponentler kırılırken bir önceki seviyede yapılan alternatif sistem değerlendirmesinin sonucuna uygun olarak İkincil Güç Sistemi'ni oluşturan ana fiziksel ekipmanlar Yardımcı Güç Ünitesi, Hava Türbinli Başlatma Motoru, Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı olarak tanımlanmıştır.

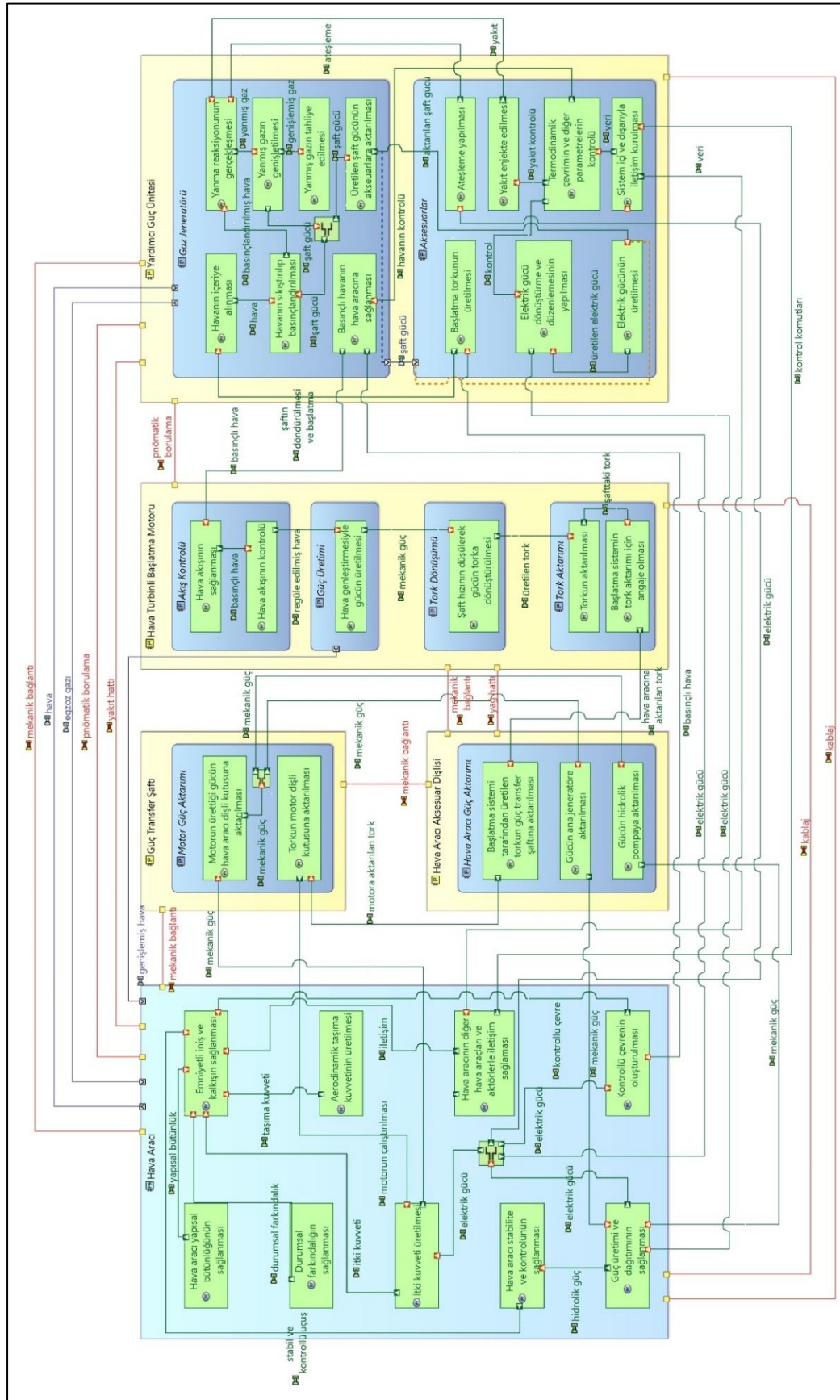
Davranış tipi fiziksel komponentler ise icra edecekleri fonksiyonlar ve bağlı olacakları düğüm tipi fiziksel komponentlere uygun gruplanarak daha alt bileşenlere kırılmıştır.

Aşama 5 - Kırılmış ekipman fonksiyonlarının ilişkili fiziksel komponentlere atanması

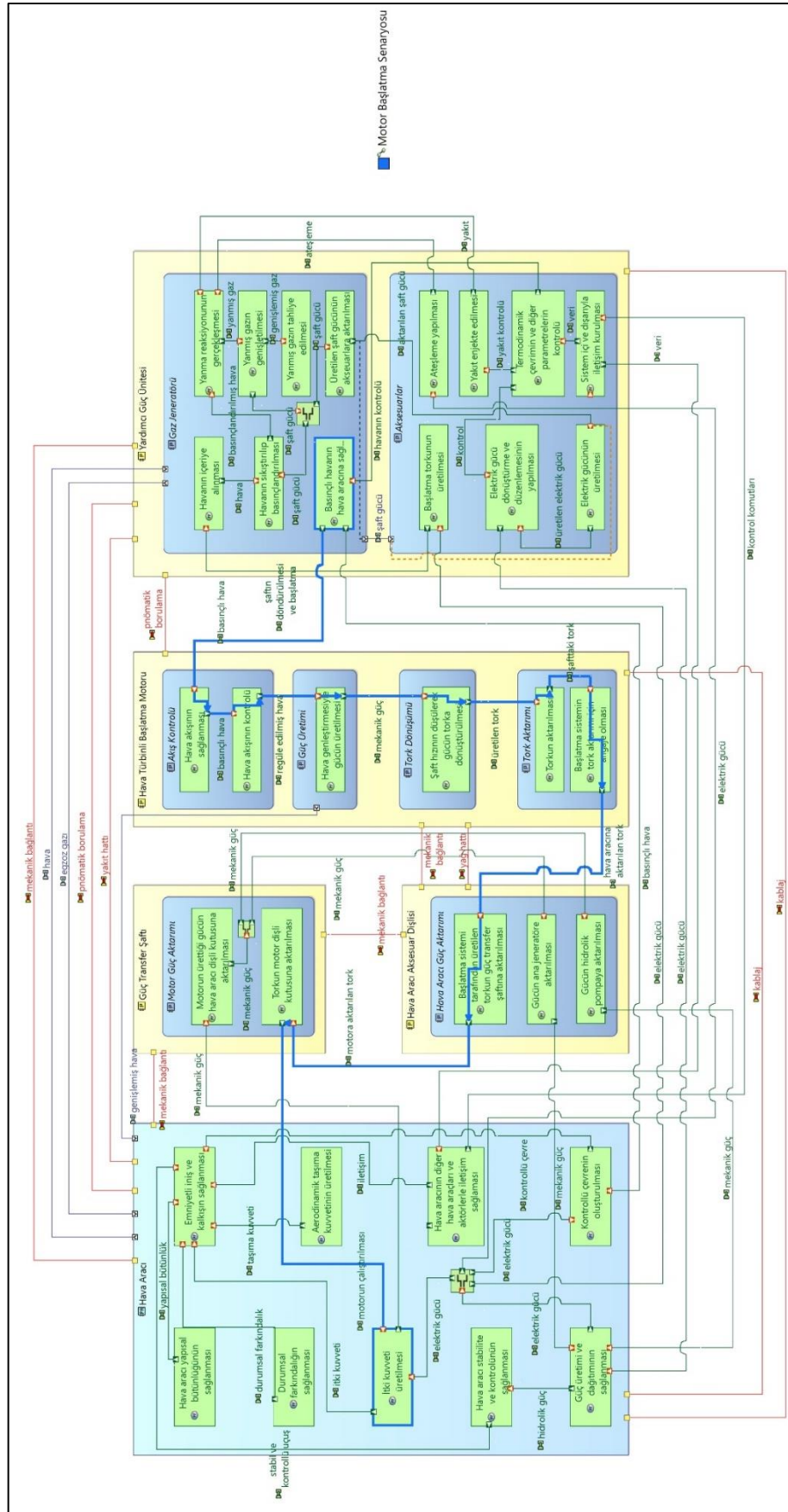
Fonksiyonların ekipman seviyesinde detaylandırılması ve fiziksel komponentlerin tanımlanmasının ardından fiziksel mimari şeması [PAB] diyagramında oluşturulmuştur. Bu tez çalışmasının kapsamı ikincil güç sisteminin hava aracı üzerindeki operasyonu timeline dayandığı için sistemin dışında kalan aktörlerden Hava Aracı diyagrama eklenmiş ve bir önceki aşamalarda tanımlanan fiziksel komponentler diyagrama yerleştirilmiştir. Devamında ise bu fiziksel komponentlerin yerine getireceği fonksiyonlar ilgili komponentlere atanmıştır. Fonksiyonların atanması ile fonksiyonel etkileşimler, komponent etkileşimleri ve fiziksel etkileşimler de bu diyagram üzerinde tamamlanarak İkincil Güç Sistemi fiziksel mimarisi Şekil 5.20'deki gibi oluşturulmuştur.

Aşama 6 - Fonksiyonel zincirlerin tanımlanması

Fiziksel mimarinin [PAB] diyagramı üzerinde oluşturulmasından sonra motor başlatma senaryosu için fonksiyonel zincir Şekil 5.21'deki gibi oluşturulmuştur. Sistem Analizi seviyesinde [SAB] üzerinde oluşturulan aynı senaryo kara kutu detayında iken bu seviyede senaryo detaylanmıştır. Yardımcı Güç Ünitesi'nden alınan basınçlı hava Hava Türbinli Başlatma Motoru'na iletilmiş ve burada mekanik enerji dönüşümü ile birlikte tork üretilmiştir. Hava Aracı Aksesuar Dişlisi üzerinde üretilen bu tork Güç Transfer Şaftı vasıtasıyla ana motora iletilerek motor başlatma senaryosu yerine getirilmiştir.



Şekil 5.20. İkincil güç sistemi fiziksel mimarisi



Şekil 5.21. İkincil güç sistemi fiziksel mimarisi - motor başlatma senaryosu

ARCADIA metodunun Fiziksel Mimari seviyesinde temel amaç, Mantıksal Mimari seviyede tanımlanmış mantıksal komponentlerin atanabileceği fiziksel komponentleri tanımlamak ve sistemi oluşturan ekipmanları belirleyerek nihai mimariyi ortaya koymaktır. Mantıksal Mimari seviyesinde tanımlanan komponentler teknolojik hususlar ve uygulama seçeneklerinden bağımsız olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlama yapılırken üst seviye alternatif sistem değerlendirmesi yapıp sistem mimarisinin yol haritası belirlenmiştir. Bu seviyede ise uygulama seçenekleri ve teknolojik hususlar da değerlendirilerek ekipman bazlı fiziksel mimari ortaya çıkarılmıştır. Daha alt seviyelere kırılmış veya yeni eklenmiş fonksiyonlar, tanımlanan ekipmanlara atanmış ve detaylı fonksiyonel etkileşimler oluşturulmuştur. Yukarıda bahsedilen aşamalarda türetilen veriler ve oluşturulan diyagramlar ile bu amaçlar karşılanmış ve Fiziksel Mimari seviyesi tamamlanmıştır.

5.6. Sistem Entegre Süreçleri

5.6.1. Sistem emniyet değerlendirmesi

İkincil Güç Sistemi mimarisi geliştirme sürecinde belirli adımlarda sistem emniyet değerlendirmeleri yapıp sistemin operasyonundan kaynaklı sistemin kendi üzerinde, entegre edildiği platform üzerinde veya etkileşimde olduğu çevre üzerinde oluşabilecek etkilerin incelenip erken fazlarda önleyici veya hafifletici aksiyonların alınması kritik bir öneme sahiptir. İkincil Güç Sistemi'nin acil durumlarda kullanım fonksiyonu olmasından ve yüksek hızda dönen parçalara sahip olmasından kaynaklı detaylı emniyet değerlendirmeleri yapılmalıdır.

Bu kapsamda öncelikle sistemin tanımlanmış her bir fonksiyonu ele alınarak bu fonksiyonların kaybı, kısmi kaybı, istemsiz çalışması ve hatalı çalışması gibi hata durumlarından uygulanabilir olanları ve bu hata durumlarının sisteme, platforma ve etkileşimde bulunduğu çevreye etkileri ve bu etkilerin şiddet sınıflandırmaları tüm paydaşların katılımı ile FTD çalışmasıyla belirlenmelidir.

Bu etkiler ve etkilerin şiddeti belirlenirken ilgili paydaşların görüşleri alınmalı, sıralı etki değerlendirmeleri yapılmalı, varsa geçmiş proje tecrübelerinden faydalanmalı veya rehber dokümanlar referans alınmalıdır. Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı (European Aviation Safety Agency - EASA)'nın yayınladığı CS-APU incelendiğinde bir Yardımcı Güç Ünitesi

için Tehlikeli olarak değerlendirilebilecek etkiler aşağıdaki gibidir:

- Yüksek enerjili parçaların ekipman içerisinde tutulamaması
- Sağlanan basınçlı havanın eşik değerin üzerinde ve mürettebatı etkisiz hale getirecek kadar toksik partiküller içermesi
- Kontrol edilemeyen yangın
- Yüksek hızda dönen parçaların eksenel doğrultuda egzozdan fırlaması

Buna ek olarak ana motorlar için yazılmış CS-E de incelenerek aşağıdaki etkilerden uygulanabilir olanlar da Tehlike sınıfında incelenebilirler:

- Motorun kapatılamaması
- Motorun bağlantı noktalarından ayrılması

Bu inceleme ve sınıflandırmalar yapılırken varsa sertifikasyon otoritesi ve hava aracı üreticisinin de değerlendirmeleri dahil edilmektedir. Bu sistem hava aracına entegre olarak operasyonunu icra ettiği için hava aracı tasarımı veya entegrasyon konseptinden kaynaklı bazı hata durumlarının şiddeti daha da artabilir veya daha da hafifleyebilir. Bu sebeple entegre edilecek platform ve platformun tasarımı da dikkate alınmalıdır.

Daha sonrasında Ölümcül, Tehlikeli ve bazı kritik Majör sınıfındaki etkiler için hata ağaçları oluşturulmalı ve bu hatalara sebep olabilecek kök nedenler tespit edilmelidir. Bu nedenlerin her birine olasılık hedefleri atanmalı ve bu hedefleri sağlayabilecek mimari çözümleri yerine getirilmelidir. Bu hedefleri sağlamak için mimaride daha güvenilir ekipmanlar seçilebilir veya yedekleme yoluna da gidilebilir. Buna ek olarak mimari üzerinde ayırma, ayrıştırma gibi nitel isterler de oluşturulabilir.

Bu etkilere sebep olan ekipmanlar ana yapısal parçalar veya kompleks yazılım ve/veya donanım içeren ekipmanlarsa daha spesifik süreçler yürütülmelidir. Ana yapısal parçalar için mühendislik, üretim ve servis planları yazılarak bu süreçlerle tasarım süreci yürütülmeli, kompleks donanım ve/veya yazılım içeren ekipmanlarda ise Geliştirme Teminat Seviyesi atanarak donanım ve/veya yazılım sertifikasyonu süreci işletilmelidir.

İkincil Güç Sistemi mimarisi düşünüldüğünde disk gibi elemanlar ana yapısal parça süreciyle, Elektronik Kontrol Ünitesi gibi bileşenler ise kompleks donanım ve/veya yazılım süreciyle yönetilebilirler.

Uygulamada bu analizler geleneksel dokümantasyon yaklaşımı ile veya dijital ortamda yönetilebilirler. Bu tez çalışmasında kullanılan Capella yazılım aracına entegre çalışabilen veya arayüzü olan sistem emniyet değerlendirme araçları ticari olarak kullanımda mevcuttur.

5.6.2. Sistem isterleri yakalaması

Bu tez çalışması kapsamında İkincil Güç Sistemi mimarisi Operasyonel Analiz, Sistem Analizi, Mantıksal Mimari ve Fiziksel Mimari seviyeleri işletilerek yapılmıştır. Operasyonel Analiz seviyesinde operasyonel ihtiyaçların ve paydaş isterlerinin, Sistem Analizi seviyesinde sistem isterlerinin, Mantıksal Mimari seviyesinde alt sistem isterlerinin ve Fiziksel Mimari seviyesinde ekipman isterlerinin oluşturulması hedeflenmektedir. Bu sebeple ARCADIA metodunun her bir seviyesinde ilgili ister setine ister yakalama faaliyeti yapılabilir. İster yakalama faaliyeti, mimari geliştirme süreciyle iteratif olarak yürütülmelidir. Örneğin, sistem isterleri oluşturulduktan sonra mimari geliştirme aktiviteleri devam ederken mimari tasarımından kaynaklı ortaya yeni özellikler veya arayüzler ortaya çıkabilir ve bunlar isterlere geri beslenebilir. İster yakalaması yapılırken askeri ve sivil standartlar, ilgili regülasyonlar veya geçmiş/benzer projelerde edinilmiş dersler dikkate alınabilir.

5.6.3. Sistem isterleri geçerlemesi

Doğruluk kontrolü

ARCADIA metodu uygulanırken her bir seviyede ortaya çıkan isterler için geçerleme aktiviteleri yapılmalı ve bir sonraki seviyeye aktarılan isterler geçerlenmiş isterler olmalıdır. Bu sebeple sistem seviyesi, alt sistem seviyesi veya ekipman seviyesi isterler ilgili seviyelerde geliştirme faaliyetlerini yürütecek paydaşlarla birlikte bazı kontrollerden geçirilmeli ve isterlerde tespit edilen sorunlar giderilmelidir. Bölüm 2.13.4'te verilen doğruluk kontrolü yaklaşımı İkincil Güç Sistemi mimarisi geliştirme sürecinde her bir seviyede oluşturulan isterlere uygulanabilir bir yaklaşımdır.

Tamlık kontrolü

Benzer şekilde her bir seviyede oluşturulmuş ister setleri tamlık açısından da irdelenmeli ve mimari tasarımından da beslenerek Bölüm 2.13.4’te verilen kriterlerle değerlendirme yapılmalıdır. Tamlık kontrolü yapılmadan ilerlendiği durumlarda proje paydaşlarının beklentilerini karşılamaması veya geliştirme ekiplerinin birbirleriyle çelişen isterlerle tasarım yapması gibi riskler ortaya çıkar.

5.6.4. Sistem isterleri doğrulaması

İkincil Güç Sistemi ve bağlı olan alt sistemler/ekipmanlar için oluşturulan ister setleri, her bir seviyede yapılan geliştirme faaliyetlerinde kullanılır ve ilgili ekipman, alt sistem veya sistemin bu isterlere uygun geliştirildiğinin teminat altına alınması için doğrulama süreci yürütülür. Bu isterler tasarım gözden geçirmesi, analiz, test gibi metotlardan herhangi biri veya birkaçı ile doğrulanabilir. Seçilen uyum gösterim metoduna bağlı olarak, her bir isterin doğrulanması için tasarım dokümanı, analiz raporu, test raporu gibi uyum gösterim kanıtları oluşturulur.

5.7. Hava Aracı Entegrasyonu

İkincil Güç Sistemi bileşenlerinin hava aracı ile fiziksel ve fonksiyonel birçok arayüzü bulunmaktadır ve mimari geliştirme sürecinde ortaya çıkan diyagramlarda bu arayüzler her seviyede gösterilmiştir.

Hava aracı arayüzlerinin çeşitliliği ve karmaşıklığı sebebiyle hava aracı ve ikincil güç sistemi geliştirme süreçlerinin erken fazlarında bu arayüzler iteratif olarak çalışılmaya başlanmalıdır.

Üretilen fiziksel mimaride ortaya çıkan arayüzler ve çalışılması gereken temel konular şu şekildedir:

Konum ve Mekanik Bağlantı

İkincil Güç Sistemi bileşenlerinin bulunacağı lokasyonlar, bağlantı noktaları, bu bağlantı

noktalarının tipleri, bağlantı noktalarına gelebilecek kombine yükler, titreşim, bağlama konsepti, ekipmanların ağırlıkları ve ağırlık merkezleri, erişilebilirlik ve bakım yapılabilirlik gibi konular çalışılmalıdır. Buna ek olarak İkincil Güç Sistemi bileşenlerinin birbirleri arasında mekanik bağlantılar da arayüz çalışmaları kapsamında ele alınmalıdır. Öte yandan, İkincil Güç Sistemi ekipmanlarının bulunduğu bölgelerde yakıt, yağ hatları ve ateşleme kaynakları da bulunduğu için genellikle yangın bölgesi olarak sınıflandırılırlar. Bu sebepten ilgili emniyet isterlerinin tasarım sürecinde dikkate alınması kritik öneme sahiptir.

Hava

Yardımcı Güç Ünitesi için farklı uçuş ve yer durumlarında atmosferden hava aracı vasıtasıyla içeri alınan havanın debi, basınç, sıcaklık gibi temel parametreleri, alınan havanın basınç ve sıcaklık dağılımı bakımından homojenliği ve ilgili limitler; Hava Türbinli Başlatma Motoru için ise benzer olarak çeşitli durumlarda borulama hattı yoluyla alınan basınçlı havanın özellikleri ve performansa etkileri gibi konular çalışılmalıdır. Buna ek olarak, İkincil Güç Sistemi bileşenlerinin bulundukları bölgeler için soğutma ve havalandırma konseptlerinin oluşturulması ve bu bileşenlerden de alınan ısı yayılımı, yüzey sıcaklık dağılımı ve yüzey malzemesi özellikleri gibi girdiler ile iletim, taşınım ve yayılım yoluyla oluşabilecek ısı transferinin ve bölge içerisindeki hava akış profillerinin detaylı analiz edilmesi gerekmektedir.

Egzoz

Yardımcı Güç Ünitesi ve Hava Türbinli Başlatma Motoru'ndan tahliye edilen egzoz gazının hız, sıcaklık, basınç, hava aracından atmosfere tahliye edildiği bölge, egzoz gazının çıktığı doğrultuya bağlı olarak üçüncü partilere, hava aracına veya diğer ekipmanlara olası etkileri, gürültü etkileri, egzoz hattı kaynaklı oluşabilecek ters basınç ve Yardımcı Güç Ünitesi veya Hava Türbinli Başlatma Motoru performansına etkisi gibi konular çalışılmalıdır.

Yakıt

Yardımcı Güç Ünitesi'nin ihtiyacı olan yakıtın tipi, yakıtın debi, sıcaklık, basınç gibi özellikleri, yakıtta bulunabilecek buhar oranı, yakıt bağlantı noktasının lokasyonu ve fiziksel arayüzü gibi konular ele alınmalıdır.

Elektrik/Elektronik

İkincil Güç Sistemi bileşenlerinin ihtiyacı olan elektrik gücünün karakteristiği, Yardımcı Güç Ünitesi'nden hava aracına sağlanacak elektrik gücünün karakteristiği, iletilecek/alınacak sinyallerin tipleri ve özellikleri, tasarlanacak kablajın özellikleri, eletromanyetik uyumluluk gibi konular çalışılmalıdır.

Bahsedilen bu entegrasyon çalışmaları, yapılması gereken temel arayüz tasarımı çalışmalarını belirtmekte olup, ekipmanların ve hava aracının tasarım özelliklerine göre daha ayrıntılı çalışmaların da yapılması gerekmektedir. Tanımlanan bu arayüz tasarım aktivitelerine ek olarak, İkincil Güç Sistemi geliştiricisinin veya ekipman tedarikçilerinin bu bağlamda emniyet, güvenilirlik, idame edilebilirlik, desteklenebilirlik, test edilebilirlik, çevresel kalifikasyon gibi konularda da hava aracı seviyesi yapılan değerlendirme ve analizlere girdi sağlaması veya gerekli durumlarda bu analizleri kendi bileşenleri için yapması entegrasyon, uyumlu çalışabilirlik, operasyonel isterleri karşılama ve uçuşa uygunluk açısından da büyük öneme sahiptir.

5.8. Model Geçerlemesi Yaklaşımı

Model geçerlemesi veya validasyonu, model tabanlı tasarım sürecinde kritik öneme sahip bir adımdır. MTSM ile oluşturulmuş sistem mühendisliği modelleri, matematiksel, fiziksel, özel mühendislik, vb. alanlardaki modellerin oluşturulmasına da direkt veya dolaylı yoldan katkı yaptığı için geliştirme sürecinde hataların ve tutarsızlıkların önüne geçmek adına model validasyonu yapılmalıdır.

Capella yazılım aracında model validasyonu aşağıdaki tekniklerle yapılabilir:

Model validasyonu özelliği

Capella yazılım aracı içerisinde modelin tamamı için, bir seviye veya bir diyagram için model validasyonu özelliği kullanılabilir. Capella'nın sunduğu bu özellik modeli ve içerisindeki verileri tasarım, kalite, bütünlük, geçişler ve yapısal uyum gibi kriterlerle değerlendirir. Tasarım kriteri kendi içerisinde tutarlılık, kapsayıcılık, tamlık, iyi biçimlenmişlik gibi alt kriterlere ayrılır. Bu kriterlerle genel MTSM ve ARCADIA

modelleme kurallarına uyumluluk kontrol edilir. Sonuçlar kritik hata mesajları, hata mesajları, uyarı/ikaz mesajları ve bilgi mesajları diye kategorilendirilerek sunulur. Uyarı/ikaz mesajları ve bilgi mesajları daha çok seviyeler arası geçişlerdeki sorunlar, isimlendirme hataları gibi daha az kritik sorunlar için ortaya çıkarken; kritik hata mesajları ve hata mesajları, temel modelleme kurallarına aykırı durumlarda tespit edilirler.

Simülasyon ve test

Özellikle sistem dinamik davranışının veya mod ve durum geçişlerinin önemli olduğu sistem modelleri için simülasyon ve test faaliyetleri model validasyonu için kullanılabilir. Duhil ve diğerleri, Capella’da oluşturulmuş modellerin MATLAB/Simulink ortamında geçerlenmesi için bir yaklaşım ve uygulama örneği sunmuşlardır [38].

Kıyaslama, öğrenilmiş dersler ve veri kütüphanesi

Geçmiş proje tecrübeleri, şirket veri tabanları veya benzer sistem mimarisi ile kıyaslama gibi teknikler, özellikle türetilen fonksiyonların, oluşturulan mimari bileşenlerin ve bileşenler arasındaki etkileşimlerin validasyonu için kullanılabilir. Capella yazılım aracı içerisinde model veya model bileşenleri için kütüphaneler oluşturmak da mümkündür. Geçmiş tecrübelerden öğrenilmiş derslerle oluşturulan kütüphane verileri validasyon aşamasında dikkate alınabilmektedir.

Paydaş veya uzman gözden geçirmesi

Sistem mühendisliği modelleri için sistemi tedarik edecek müşteri, bu modeli tasarım veya özel mühendislik analizlerinde kullanacak şirket içi paydaşlar, alt yükleniciler ve ekipman tedarikçileri modelin paydaşları olabilmektedir. Bu gözden geçirmelerde her bir paydaş, modelde kendisi ile arayüzü olan veya kendisini ilgilendiren kısımlara kendi perspektiflerinden geri bildirimler sağlayabilirler. Uzman gözden geçirmesi de, model oluşturma ve/veya modellenen sistemin karakteristikleri hakkında derin bilgi ve tecrübe sahibi kişi veya komiteler tarafından yapılabilir. Uzman gözden geçirmesi, gerekli durumlarda danışmanlar veya sektör uzmanları ile de yapılabilir.

Bu tez çalışması kapsamında, model validasyonu için Capella içerisindeki model

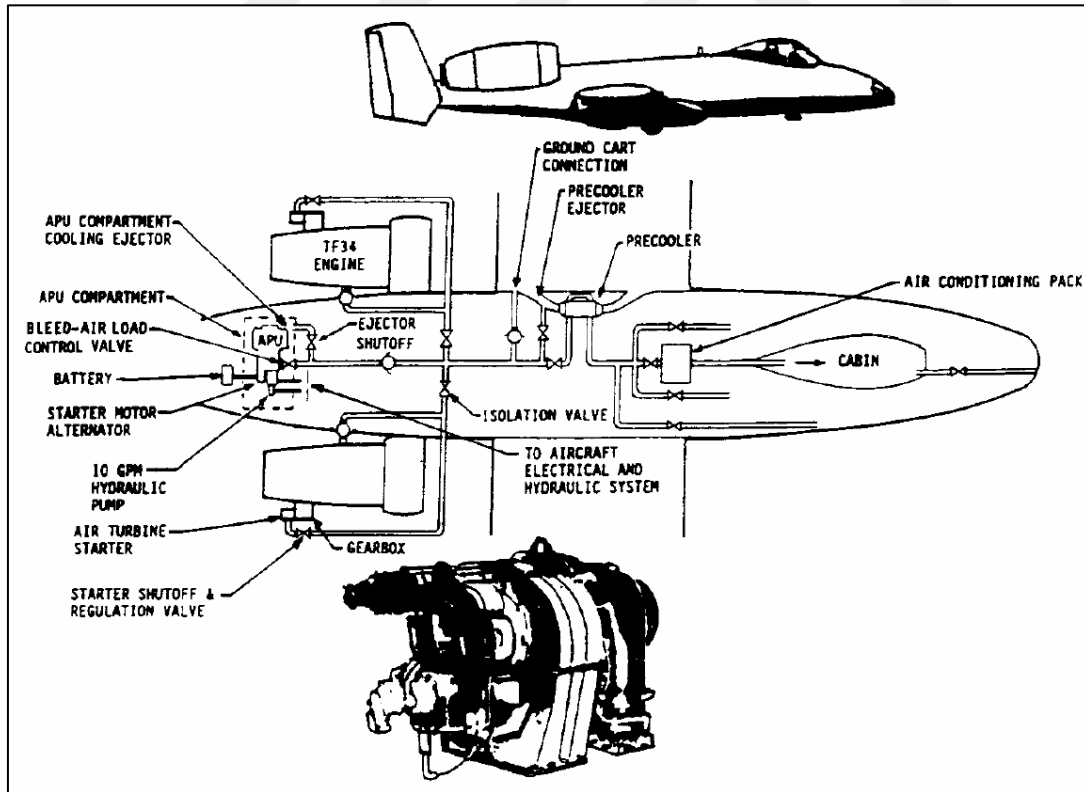
validasyonu özelliği ve kıyaslama teknikleri kullanılmıştır.

Model validasyonu sonucu

Capella içerisindeki model validasyonu özelliği tüm model için uygulandığında herhangi bir kritik hata veya hata mesajı alınmamış, çalışmanın kısıtlarından ve kapsamından kaynaklı uyarı ve bilgi mesajları alınmıştır.

Kıyaslama sonucu

Oluşturulan fiziksel mimari, SAE AIR 4151 içerisinde geçen A-10 uçağı İkincil Güç Sistemi mimarisi [16], Rhoden'in çalışmasında gösterilen pnömatrik bağlantılı İkincil Güç Sistemi mimarisi [35] ve SAE AIR 744C'de geçen B-1B uçağı İkincil Güç Sistemi mimarisi ile karşılaştırılmıştır [25].



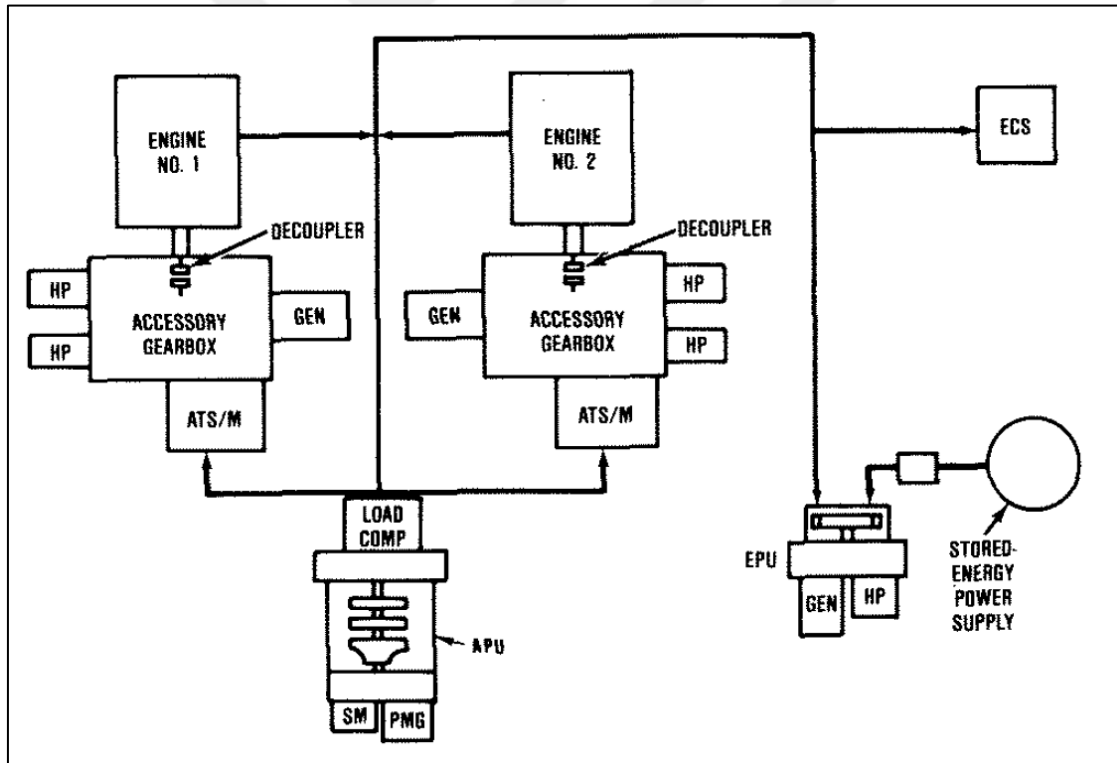
Şekil 5.22. A-10 ikincil güç sistemi fiziksel mimarisi [16]

Çift motorlu A-10 uçağı için geliştirilmiş İkincil Güç Sistemi'nin mimarisi incelendiğinde,

bu tez çalışması kapsamında oluşturulan İkincil Güç Sistemi mimarisine benzer olarak Yardımcı Güç Ünitesi ve Hava Türbinli Başlatma Motoru'na sahip olduğu görülmektedir. Elektrik gücü üretimi ve basınçlı hava sağlama fonksiyonları da benzer şekilde iki mimaride de yer almaktadır. Aynı şekilde ana motor başlatma için pnömatik bağlantı ile çalışan bir Hava Türbinli Başlatma Motoru tercih edilmiştir.

Bu tez çalışmasında oluşturulan mimari çözümünden farklı olarak güç aktarımı için Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı bulunmamakta olup Hava Türbinli Başlatma Motoru'nun direkt olarak motor dişli kutusuna entegre edildiği görülmektedir.

Yardımcı Güç Ünitesi, bu tez çalışmasında bahsedilen fonksiyonlara ek olarak üzerindeki mekanik tahrikli hidrolik pompa ile hava aracına hidrolik güç de sağlamaktadır.

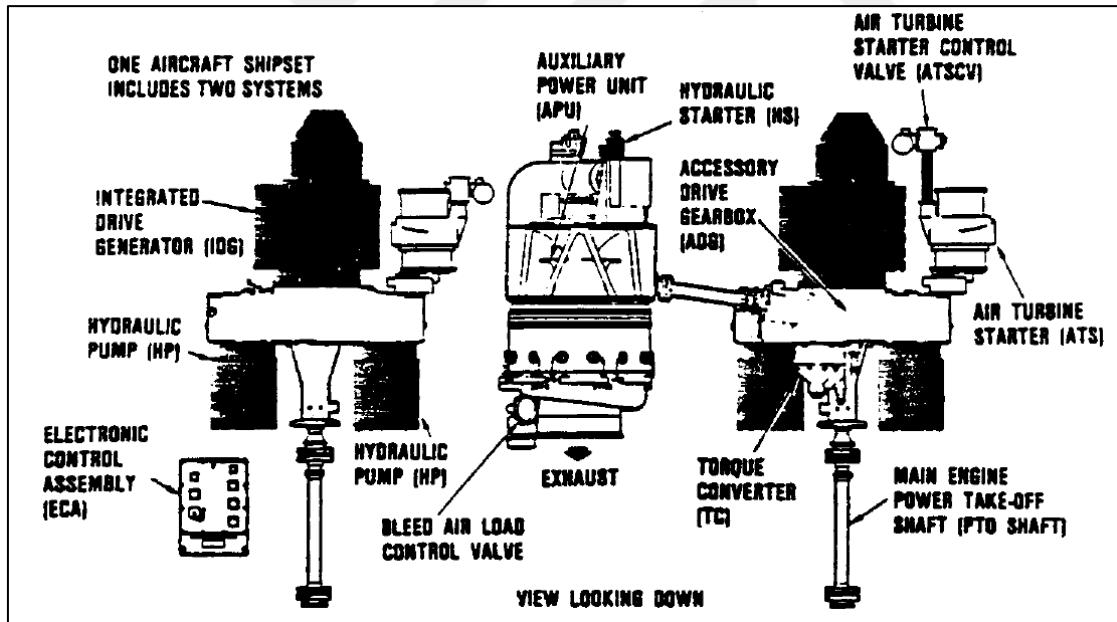


Şekil 5.23. Pnömatik bağlantılı ikincil güç sistemi konsepti [35]

Çift motorlu bir uçak için geliştirilmiş Pnömatik Bağlantılı İkincil Güç Sistemi Konsepti incelendiğinde, bu tez çalışması kapsamında oluşturulan İkincil Güç Sistemi mimarisine benzer olarak Yardımcı Güç Ünitesi, Hava Aracı Aksesuar Dişlisi, Güç Transfer Şaftı ve Hava Türbinli Başlatma Motoru'na sahip olduğu görülmektedir. Elektrik gücü üretimi ve

basınçlı hava sağlama fonksiyonları da benzer şekilde iki mimaride de yer almaktadır. Aynı şekilde ana motor başlatma için pnömatik bağlantı ile çalışan bir Hava Türbinli Başlatma Motoru tercih edilmiştir.

Bu tez çalışmasında oluşturulan mimari çözümünden farklı olarak acil durumlar için hızlı devreye girebilecek bir Acil Durum Güç Ünitesi de bu konseptte tercih edilmiştir. Bu ünite gerekli durumlarda depo edilmiş bir enerji kaynağı ile kısa sürede başlatılıp hava aracının ihtiyacı olan elektrik ve hidrolik gücü sağlayabilmektedir. Bir diğer farklılık da Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ve Güç Transfer Şaftı bağlantısında görülmektedir. Bu konseptte bu iki bileşen arasında bir kavrama mekanizması yerleştirilmiş olup istenildiğinde bu iki bileşen arasındaki mekanik bağlantı kesilerek aksesuar dişlisi üzerine entegre edilmiş hava aracı aksesuarlarının yer kontrolleri Hava Türbinli Başlatma Motoru'ndan aktarılan güç ile yapılabilmektedir.



Şekil 5.24. B-1B ikincil güç sistemi fiziksel mimarisi [25]

Dört motorlu B-1B uçağı için geliştirilmiş İkincil Güç Sistemi'nin mimarisi incelendiğinde, bu tez çalışması kapsamında oluşturulan İkincil Güç Sistemi mimarisine benzer olarak Yardımcı Güç Ünitesi, Hava Aracı Aksesuar Dişlisi, Güç Transfer Şaftı ve Hava Türbinli Başlatma Motoru'na sahip olduğu görülmektedir. Basınçlı hava sağlama fonksiyonları da benzer şekilde iki mimaride de yer almaktadır. Aynı şekilde ana motor başlatma için

pnömatik bağlantı ile çalışan bir Hava Türbinli Başlatma Motoru tercih edilmiştir.

Bu tez çalışmasında oluşturulan mimari çözümünden ve hava platformlarında genel olarak tercih edilen İkincil Güç Sistemi mimarilerinden farklı olarak, bu sistem iki adet Yardımcı Güç Ünitesi içermektedir. Bir diğer temel fark olarak, Şekil 5.24'te de görüldüğü üzere Yardımcı Güç Ünitesi'nin sağ taraftaki Hava Aracı Aksesuar Dişlisi ile birleşip ayrılabilen yapıda bir mekanik bağlantısı vardır. Bu mekanik bağlantı sayesinde yer kontrollerinde aksesuar dişlisi ekipmanlara mekanik tahrik uygulanabilmektedir. Yardımcı Güç Ünitesi üzerinde elektrik ve/veya hidrolik güç üretimi için ilave bir aksesuar bulunmamakta olup Yardımcı Güç Ünitesi bir hidrolik motor tarafından başlatılmaktadır.

Bu üç örnek mimari konsepti, oluşturulan İkincil Güç Sistemi mimarisi ile karşılaştırıldığında ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- İkincil Güç Sistemi mimarileri, hava aracının ihtiyaçları, sahip olunan teknoloji seviyeleri ve diğer kısıtlar gözetilerek mekanik, pnömatik, elektrik, vb. bağlantı prensiplerine dayanan temelde benzer görevleri farklı tahrik mekanizmaları ile gerçekleştirme esaslı yapılardır.
- İkincil Güç Sistemleri temelde bir veya birden fazla güç üreten kaynak ve buna ek olarak da enerji dönüşümleri ve/veya aktarımları yapan bileşenlerden oluşmaktadır.
- Oluşturulan İkincil Güç Sistemi mimarisinin, havacılıkta kullanılmakta olan sistemlerle tutarlı olduğu tespit edilmiştir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, genel geçer rehber dokümanlara ve havacılık standartlarına uygun bir sistem mühendisliği süreci tanımlanmış, MTSM yaklaşımı ve temel bileşenlerinden, uygulamada yaygın kullanılan metot ve araçlardan bahsedilmiş, MTSM'nin klasik sistem mühendisliği yaklaşımı ile kıyaslaması yapılmıştır.

Daha sonrasında ARCADIA metodu ve Capella yazılım aracının özelliklerine değinilmiş ve uygulamada kullanılacak metot adım adım sunulmuştur. Devamında ise İkincil Güç Sistemi'nin tanımı yapılmış, hava aracı için öneminden ve görevlerinden bahsedilerek Operasyonel Analiz seviyesinde görev ve kabiliyetlerin, paydaşların, her bir paydaşın yerine getirmesi gereken operasyonel aktivitelerin tanımlanmasından başlayıp Sistem Analizi ve Mantıksal Mimari seviyelerinde de ilgili fonksiyon ve bileşen tanımlama, kırılım, alternatif sistem değerlendirme ve etkileşimlerin kurulması ile devam edilerek son seviyede Fiziksel Mimari oluşturulmuş ve genel manada İkincil Güç Sistemi bileşenleri, yerine getirdikleri fonksiyonlar, iç ve dış etkileşimler tüm dengelim yaklaşımı ile sistematik bir yaklaşımla tanımlanmıştır. Mimari tanımlandıktan sonra bu mimariye özgü işletilebilecek entegre süreçlerden örneklerle bahsedilmiştir ve özellikle hava aracına entegrasyon konusuna vurgu yapılmıştır.

Son olarak da modelin validasyonuna yönelik teknikler sunulmuş olup, kıyaslama tekniği ile oluşturulan sistem mimarisi benzer görev ve fonksiyonları yerine getirmek üzere tasarlanmış mimariler ile mukayese edilerek benzerlikler ve farklar irdelenmiştir.

Bu bilimsel çalışma kapsamında; okuyucunun sistem mühendisliği, MTSM yaklaşımı, ikincil güç sistemleri ve uygulamada kullanım alanı konularında farkındalık kazanması, endüstride veya akademide kullanılan güncel MTSM metotları, araçları ve dilleri üzerine bir derleme sunulması, kullanılacak MTSM metodun seçimi için bir değerlendirme metodunun sunulması, gelecek kullanıcılar için ARCADIA metodu ve Capella aracı için her bir seviyenin ve bu seviyelerdeki temel bileşenlerin, diyagram tiplerinin ve yapılacak modelleme adımlarının tariflenmesi, bir hava aracı için İkincil Güç Sistemi'nin öneminin ve görevinin belirtilerek alternatif olabilecek eski ve modern sistemlerin tanıtılması ve Capella aracında uygulamanın aşama aşama yapılarak bir kullanım örneği oluşturulması

amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir:

- MTSM, konsept tasarım ve mimari geliştirme aktivitelerinde uygulanabilir ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.
- MTSM araçlarından Capella sunduğu anlamsal tarayıcı (semantic browser) özelliği ile izlenebilirlik ilişkilerinin takip edilebilmesini, modelin kapsamının daha iyi anlaşılabilmesini, bir bileşenin tüm ilişkilerini ve hiyerarşik bağlantılarını tespit edebilmeyi sağlar. Bu özellik, MTSM araçlarında üretilen içeriğin genelde klasik sistem mühendisliği yaklaşımında Microsoft Visio gibi diyagram oluşturma araçlarında üretilen içerikle en temel farkını oluşturur.
- ARCADIA metodundaki dört seviyeden ilk iki seviye problemin ve ihtiyacın tanımlandığı, son iki seviye de çözümün oluşturduğu seviyelerdir. Operasyonel Analiz ve Sistem Analizi seviyelerinde kara kutu mantığı ile modelleme yapılırken, Mantıksal Mimari ve Fiziksel Mimari seviyelerinde iç işleyişler ve tasarım çözümleri de dahil edilmiştir.

Bu tez çalışmasının sınırlılıkları ve bulguların ileriye dönük potansiyel uygulamaları aşağıdaki gibidir:

- Operasyonel Analiz yapıldıktan sonra Sistem Analizi ve devamındaki süreçlerde sistemin hava aracı üzerindeki operasyonunu yansıtan kullanım durumuna odaklanılmış, tüm fonksiyonel kısımlar ve diyagramlar bu doğrultuda oluşturulmuştur. Gelecekte yapılabilecek çalışmalar kapsamında tedarik süreçleri, sertifikasyon ve doğrulama süreçleri, son kullanıcı görev icrası gibi diğer kullanım durumları için Operasyonel Analiz sonrasında ayrıca fonksiyonel kısımlar ve diyagramlar oluşturulabilir.
- Oluşturulan diyagramlar ve üretilen içerik genel geçer görevleri, kabiliyetleri, operasyonel aktiviteleri, fonksiyonları, paydaşları, arayüzleri, alt sistemler/ekipmanları kapsamaktadır ve kurgusal bir senaryo düşünülerek modelleme yapılmıştır. Bu sebeple, gerçek bir senaryo için gelecekte yapılabilecek çalışmalarda o senaryoya özgü yeni görevler, kabiliyetler, fonksiyonlar, paydaşlar veya diğer model elemanları kullanılabilir.

ve bu tez çalışmasında kullanılanlar güncellenebilir veya çalışmanın derinliği artırılabilir.

- Bu tez çalışması kapsamında, İkincil Güç Sistemi mimarisi oluşturulurken ARCADIA metodunun içerisindeki tüm diyagram tipleri kullanılmamış, konsepti oluşturabilecek temel diyagram tipleri üretilmiştir. Gelecek çalışmalarda ihtiyaca göre, senaryo diyagramları, mod ve durum diyagramları gibi ilave diyagramlar da oluşturulabilir.
- Capella yazılım aracının sunduğu eklentiler kullanılarak ister oluşturma ve ilgili model bileşenlerine bağlama, arayüz matrisi oluşturma, temel niceliksel parametreleri takip etme, emniyet analizlerini icra etme, dokümantasyon türetme gibi bazı entegre süreç aktiviteleri gelecek çalışmalar kapsamında bu modele entegre bir biçimde yürütülebilir.
- Bir diğer potansiyel gelecek çalışma olarak bu tez çalışması kapsamında yapılan İkincil Güç Sistemi geliştirme uygulaması, Capella/ARCADIA dışında farklı bir dil ile çalışan başka bir yazılım aracı ile de uygulanıp örneklerle metod ve araç mukayesesi yapılabilir. Ek olarak Capella/ARCADIA ile bu uygulama örneğinin dışında farklı bir alandan (yazılım/donanım geliştirme, medikal uygulamalar, raylı sistem uygulamaları, enerji sistemleri uygulamaları gibi) veya farklı bir sistem mühendisliği yaklaşımı ile başka bir uygulama yapılıp, bu metodun farklı alan ve yaklaşımlardaki başarımı irdelenebilir.
- Oluşturulan sistem mimarisinde uçuşta karşılaşılabilecek acil durumlarda Yardımcı Güç Ünitesi tarafından üretilen basınçlı havanın ve elektrik gücünün kullanılması planlanmıştır. Ancak Yardımcı Güç Ünitesi'nin acil bir durumda başlatılabilmesi bu senaryoda pilotun durumsal farkındalığı ve hava aracının bulunduğu irtifa ve hıza da bağlı olarak yaklaşık 1-2 dakika sürebilmektedir. Bu süreçte oluşabilecek boşluktan ötürü, sisteme bir Acil Durum Güç Ünitesi veya termal batarya gibi hızlı devreye girecek bir çözüm eklenmesi veya Yardımcı Güç Ünitesi'nin daha hızlı başlayabilmesi için bazı hava aracı platformlarında olduğu gibi depo edilmiş bir enerji kaynağı ile Yardımcı Güç Ünitesi başlatma işleminin hızlandırılması hava aracında bu durumun kritikliği de dikkate alınarak ileriye dönük bir iyileştirme çalışması olarak değerlendirilebilir.



KAYNAKLAR

1. Estefan, J. A. (2007). Survey of model-based systems engineering (MBSE) methodologies. *INCOSE MBSE Focus Group*, 25(8), 1-12.
2. International Council on Systems Engineering. (2015). *INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*. (Fourth Edition). New York: John Wiley & Sons.
3. Roques, P. (2018). *Systems Architecture Modeling with the Arcadia Method: A Practical Guide to Capella*. (First Edition). Oxford: Elsevier.
4. Voirin, J. L. (2018). *Model-based System and Architecture Engineering with the Arcadia Method*. (First Edition). Oxford: Elsevier.
5. ISO/IEC/IEEE. (2015). *ISO/IEC/IEEE 15288:2015 – Systems and software engineering – System life cycle processes*. (First Edition). Geneva: International Organization for Standardization.
6. SAE International. (2010). *ARP 4754A: Guidelines for development of civil aircraft and systems*. (Revision A). Warrendale, PA: SAE International.
7. Alai, S. P. (2019). *Evaluating Arcadia-Capella vs OOSEM-SysML for System Architecture Development*. Master Thesis, Purdue University Graduate School, Indiana.
8. Ertarakçı, E. (2020). *Bir İnsansız Hava Aracı Sisteminin Model Tabanlı Yaklaşım İle Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
9. Jeyaraj, A. K. (2019). *A Model-Based Systems Engineering Approach for Efficient System Architecture Representation in Conceptual Design: A Case Study for Flight Control Systems*. Master Thesis, Concordia University School of Graduate Studies, Montreal.
10. London, B. (2012). *A Model-Based Systems Engineering Framework for Concept Development*. Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology System Design and Management Program, Cambridge.
11. SAE International. (2011). *AIR 6110: Contiguous aircraft/system development process example*. (First Edition). Warrendale, PA: SAE International.
12. SAE International. (1996). *ARP 4761: Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment*. (First Edition). Warrendale, PA: SAE International.
13. Wasson, C. S. (2016). *System Engineering Analysis, Design, and Development*. (Second Edition). Hoboken: John Wiley & Sons.

14. ISO/IEC/IEEE. (2011). *ISO/IEC/IEEE 29148:2011 – Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering*. (First Edition). Geneva: International Organization for Standardization.
15. Ponsard, C., Ramon, V. (2022, July 11-13). *Applying and Extending FEMMP to Select an Adequate MBSE Methodology*. 17th International Conference on Software Technologies (ICSOF 2022), Lisbon.
16. SAE International. (2004). *AIR 4151: Introduction to starting systems*. (First Edition). Warrendale, PA: SAE International.
17. Bayramoğlu, A. (2022). *Industrial Adoption of Model-Based Systems Engineering: An Investigation Within the Defence Industry*. Master Thesis, The Graduate School of Informatics of The Middle East Technical University, Ankara.
18. Tüfekçioğlu, A. (2018). *İnsansız Hava Araçlarındaki Servo Eyleyiciler İçin Güvenilirlik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
19. ISO/IEC/IEEE. (2011). *ISO/IEC/IEEE 42010:2011 – Systems and software engineering – Architecture description*. (First Edition). Geneva: International Organization for Standardization.
20. Chen, Z., Wang, Y., Zhang, Y., Li, T. (2018, October 16-18). *MBSE Approach to Aero-Engine Turbine System Design and Requirements Management*. 2018 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2018), Chengdu.
21. Saraç, T. (2019). *Model Tabanlı Geliştirme Teknolojisinin Hava Aracı Yazılımlarında Kullanımı ve Sertifikasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
22. Hirshorn, S. R. (2016). *Expanded Guidance for NASA Systems Engineering. Volume 1: Systems Engineering Practices*. (First Edition). Washington: National Aeronautics and Space Administration.
23. Voirin, J.-L., Bonnet, S., Exterior, D., Normand, V. (2016, July 18-21). *Simplifying (and enriching) SysML to perform functional analysis and model instances*. 26th Annual INCOSE International Symposium (IS 2016), Edinburgh.
24. Özbaş, H. A. (2022). *Sistem Mühendisliği Yaklaşımı ile Elektronik Donanım Entegrasyonu ve Yapısal Analizleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
25. SAE International. (2015). *AIR 744C: Aerospace Auxiliary Power Sources*. (Revision C). Warrendale, PA: SAE International.
26. Crawley, E., Cameron, B., Selva, D. (2015). *System Architecture: Strategy and Product Development for Complex Systems*. (First Edition). Essex: Pearson Education Limited.

27. Young, R. R. (2004). *The Requirements Engineering Handbook*. (First Edition). Norwood: Artech House.
28. Jones, B., Ryan, M. (2011, August 2-5). *The Use of ISO/IEC 15288 to Understand the Principal Responsibilities for Project Delivery*. 8th Annual Project Management Australia Conference (PMoz), Sydney.
29. İnternet: Architecture and Systems Engineering: Models and Methods to Manage Complex Systems (2024). Web:<https://learn-xpro.mit.edu/systems-engineering> Son Erişim Tarihi: 16.08.2024.
30. Maio, M. D., Weilkiens, T., Hussein, O., Aboushama, M., Javid, I., Beyerlein, S., Grötsch, M. (2021, September 13 - October 13). *Evaluating MBSE Methodologies Using the FEMMP Framework*. IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE), Vienna.
31. Dickson, D. S. (1988). Secondary Power Systems Production Base Analysis Study. *General Research Corporation Report*. Fairborn.
32. Javid, I. (2020). *Evaluating ARCADIA using the FEMMP Framework*. Bachelor Thesis, University of Applied Sciences Ingolstadt Faculty of Engineering and Management, Ingolstadt.
33. Weilkiens, T., Scheithauer, A., Maio, M. D., Klusmann, N. (2016, October 3-5). *Evaluating and Comparing MBSE Methodologies for Practitioners*. IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE), Edinburgh.
34. Ganev, E., Koerner, M. (2013, September 24-26). *Power and Thermal Management for Future Aircraft*. SAE 2013 AeroTech Congress & Exhibition, Montreal.
35. Rhoden, J. A. (1984). Modern Technology Secondary Power Systems for Next Generation Military Aircraft. *SAE Transactions*, 93, 686–691.
36. Forsberg, K., Mooz, H. (1991, October 21-23). *The Relationship of System Engineering to the Project Cycle*. The Joint Conference Sponsored by: National Council On Systems Engineering (NCOSE) and American Society for Engineering Management (ASEM), Chattanooga.
37. Nagy, G. (1994, February 28 - March 3). *A Review of the “Pugh” Methodology for Design Concept Selection*. International Congress & Exposition, Detroit.
38. Duhil, C., Babau, J. P., Lepicier, E., Voirin, J. L., Navas, J. (2020, February 25-27). *Chaining Model Transformations for System Model Verification : Application to Verify Capella Model with Simulink*. 8th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development, Valletta.
39. SAE International. (2019). *EIA-649C: Configuration Management Standard*. (Revision C). Warrendale, PA: SAE International.

40. INCOSE. (2007). *Systems engineering vision 2020*. (First Edition). San Diego, CA: International Council on Systems Engineering.
41. Madni, A. M., Purohit, S. (2019). Economic analysis of model-based systems engineering. *Systems*, 7(1), 12.
42. SAE International. (1993). *AIR1603: Auxiliary Power System Considerations for Advanced Military Aircraft*. (First Edition). Warrendale, PA: SAE International.
43. SAE International. (2001). *ARP906B: Glossary, Aircraft Engine Starting and Auxiliary Power Systems*. (Revision B). Warrendale, PA: SAE International.





Gazili olmak ayrıcalıktır