

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOĞİ YÖNETİMİ TEZLİ YÜKSEK  
LİSANS PROGRAMI**

**BİR İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİNİN MODEL TABANLI  
YAKLAŞIM İLE TASARIMI**

**HAZIRLAYAN**

**EKİNCAN ERTARAKÇI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANKARA - 2020**



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOĞİ YÖNETİMİ TEZLİ YÜKSEK  
LİSANS PROGRAMI**

**BİR İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİNİN MODEL TABANLI  
YAKLAŞIM İLE TASARIMI**

**HAZIRLAYAN**

**EKİNCAN ERTARAKÇI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEZ DANIŐMANI**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ BURÇİN ÇAKIR**

**ANKARA - 2020**

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Ekincan ERTARAKÇI tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: .../.../...

**Tez Adı:** Bir İnsansız Hava Aracı Sisteminin Model Tabanlı Yaklaşım ile Tasarımı

**Tez Jüri Üyeleri ( Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu )**

**İmza**

Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL (Başkan), Gazi Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Yusuf Tansel İÇ, Başkent Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Burçin ÇAKIR (Danışman), Başkent Üniversitesi

.....

**ONAY**

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... / .....

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrencinin Adı, Soyadı : Ekinan Ertarakçı

Öğrencinin Numarası : 21710332

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Tezli Yüksek Lisans

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Dr. Öğr. Üyesi Burçin ÇAKIR

Tez Başlığı : Bir İnsansız Hava Aracı Sisteminin Model Tabanlı Yaklaşım ile Tasarımı

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 72 sayfalık kısmına ilişkin 04/06/2020 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

Onay

... / ... / 20...

Dr. Öğr. Üyesi Burçin Çakır



*Aileme ve arkadaşlarıma...*

Ekincan ERTARAKÇI

Ankara – 2020

## TEŞEKKÜR

GerçekleőtirmiŐ bu tez çalışmasında yardımları ve katkılarıyla bana destek olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Burçin ÇAKIR'a ve anabilim dalı başkanı Doç. Dr. Yusuf Tansel İ'e;

Değerli fikirleri ile tez çalışmasının geliştirilmesine destek olan çalışma arkadaşlarıma;

Hayatımın her anında olduğu gibi tez çalışması sürecinde de desteklerini esirgemeyen sevgili aileme en derin duygularla teşekkür ederim.



## ÖZET

**Ekincan ERTARAKÇI**

### **BİR İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİNİN MODEL TABANLI YAKLAŞIM İLE TASARIMI**

**Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**2020**

Sistem mühendisliği karmaşık sistemlerin tasarlanabilmesi ve üretilebilmesi amacıyla bir mühendislik dalı olarak projelerde uygulanmaktadır. Geçmişte Doküman Tabanlı Sistem Mühendisliği (DTSM) yaklaşımı ile yönetilen sistem mühendisliği faaliyetleri, günümüz teknolojisi ile paralel olarak gelişen ve karmaşıklaşan sistemlerin yönetilmesinde yetersiz kalabilmektedir. Bu duruma bir çözüm olarak ortaya çıkan Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM), sistem mühendisliği faaliyetlerinin modeller ile yönetilerek olası eksikliklerin ve hataların erken tespit edilmesine ve karmaşıklığın önüne geçilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında kullanıcıların/müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek kalitede ürünler geliştirilebilmesi amacıyla MTSM kullanılarak bir metodoloji oluşturulmuştur. Bu metodoloji doğrultusunda bir İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemi ve bu İHA Sistemi'nin icra edeceği keşif ve gözetleme görevi modellenmiştir. Oluşturulmuş olan modeller ile operasyonel ihtiyaçlar tanımlanmış ve bu ihtiyaçlar gereksinim haline getirilerek sistem tasarımına yansıtılmıştır.

Çalışmanın sonunda yapılan boşluk analizi ile elde edilen veriler, oluşturulan MTSM metodolojisinin kullanıcı/müşteri ihtiyaçlarını tanımlama ve gereksinim analizi sürecinde DTSM'ye göre daha başarılı olduğunu göstermiştir.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Model Tabanlı Sistem Mühendisliği, Doküman Tabanlı Sistem Mühendisliği, MTSM, DTSM, MODAF



# **ABSTRACT**

**Ekincan ERTARAKÇI**

## **MODELLING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE SYSTEM WITH MODEL BASED APPROACH**

**Başkent University, Institute of Science and Engineering**

**Department of Industrial Engineering**

**2020**

Systems engineering is implemented as an engineering discipline in respect to the production and design of complex systems. Systems engineering operations, which adapted a document-based approach in the past can be insufficient when dealing with modern complex systems that developed harmonically with technological advances. As a solution, Model Based Systems Engineering (MBSE) applies models to systems engineering operations by detecting deficiencies and errors in an early phase and eventually averts complications.

This thesis adopts a methodology by using MBSE to produce quality products that are projected to satisfy the needs of users/customers. Therefore, an Unmanned Aerial Vehicle System (UAV) and its reconnaissance and surveillance mission are modeled. With the developed models, operational requirements were defined and transformed to requirements, therefore, reflected on the system design.

As a result, data from the gap analysis showed that MBSE approach is more successful compared to the Document Based Systems Engineering (DBSE) in terms of the requirement analysis process and defining, satisfying user/customer needs.

**KEYWORDS:** Model Based Systems Engineering, Document Based Systems Engineering, MBSE, DBSM, MODAF

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR .....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. Önceki Çalışmalar .....	3
2.2. Sistem Mühendisliği.....	4
2.2.1. Ürün yaşam döngüsü .....	7
2.2.2. Sistem mühendisliği süreçleri .....	9
2.3. MTSM .....	11
2.4. MODAF .....	15
2.5. İHA Sistemleri.....	20
2.5.1. Hava aracı sistemi.....	23
2.5.1.1. Güç sistemi.....	24
2.5.1.2. İtki sistemi.....	24
2.5.1.3. Uçuş kontrol ve navigasyon sistemi .....	25
2.5.1.4. Yapı.....	27
2.5.1.5. Faydalı yük .....	27
2.5.2. Yer istasyonu sistemi .....	28
2.5.3. İHA sistemlerinin kullanıldığı temel görevler.....	29

2.5.3.1. Keşif ve gözetleme görevi.....	29
2.5.3.2. Saldırı görevi.....	29
2.5.3.3. Muharebe irtibatı görevi .....	30
2.5.3.4. Elektronik Harp (EH) görevi .....	30
2.5.3.5. Muharebe arama kurtarma görevi.....	30
2.5.3.6. KBRN tarama görevi .....	30
2.5.3.7. Hedef-Yem görevleri.....	31
2.5.3.8. Taşıma görevleri.....	31
2.5.3.9. Çevresel görevler .....	31
<b>3. MODEL TABANLI YAKLAŞIM İLE MODELLEME .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1. Tez Çalışması Kapsamında Oluşturulan Metodoloji .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2. Kullanıcı/Müşteri Gereksinimleri.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3. MTSM Modelleme Aracı.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4. Keşif ve Gözetleme Görevinin Modellenmesi.....</b>	<b>38</b>
<b>3.5. İHA Sistemi'nin Modellenmesi .....</b>	<b>48</b>
<b>3.6. MTSM Kullanılarak Tanımlanan Gereksinimlerin Sürece Dahil Edilmesi</b>	<b>60</b>
<b>4. SONUÇ .....</b>	<b>71</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>73</b>

## TABLULAR LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Önceki çalışmalar .....	3
Tablo 2.2. MTSM ile DTSM karşılaştırması [9,11] .....	13
Tablo 2.3. MODAF görünümüleri [13,14] .....	15
Tablo 3.1. Kullanıcı/Müşteri gereksinimleri .....	34
Tablo 3.2. Arayüz gereksinimleri .....	47
Tablo 3.3. Görev, seyir, iniş ve taksi fazlarındaki fonksiyonlar ve fonksiyonel gereksinimler .....	56
Tablo 3.4. Diğer fazlardaki fonksiyonlar ve fonksiyonel gereksinimler .....	57
Tablo 3.5. İHA Sistemi'nin keşif ve gözetleme görevindeki fonksiyonları ve fonksiyonel gereksinimleri .....	58
Tablo 3.6. MTSM kullanılarak tanımlanan gereksinimler .....	60
Tablo 3.7. MTSM analizi ile doğrulanan kullanıcı/müşteri gereksinimleri .....	62
Tablo 3.8. MTSM analizi ile doğrulanamayan kullanıcı/müşteri gereksinimleri.....	63
Tablo 3.9. Bir ihtiyaç olarak değerlendirilen diğer kullanıcı/müşteri gereksinimleri .....	64
Tablo 3.10. Kullanıcı/Müşteri gereksinim seti içerisinde yer almayan ancak MTSM analizi kullanılarak tespit edilen gereksinimler.....	66
Tablo 3.11. Kullanıcı/Müşteri gereksinimlerinin analizi.....	67

# ŞEKİLLER LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 2.1. Sistemler sistemi yapısı [3] .....	5
Şekil 2.2. Proje yönetimindeki kritik unsurlar [5] .....	6
Şekil 2.3. Ürün yaşam döngüsü [3] .....	7
Şekil 2.4. V şeması [3] .....	9
Şekil 2.5. Tasarımdaki değişikliklerin maliyete etkisi [7].....	10
Şekil 2.6. MTSM uygulanan projeler ile DTSM uygulanan projeler arasında ürün yaşam döngüsü maliyeti kıyaslaması [10] .....	11
Şekil 2.7. MTSM uygulanan projeler ile DTSM uygulanan projeler arasındaki yatırım ve getiri maliyeti kıyaslaması [10] .....	12
Şekil 2.8. DTSM kullanılan bir iş ortamı ile MTSM kullanılan bir iş ortamının karşılaştırılması.....	14
Şekil 2.9. İHA operasyonu paydaşları [17] .....	21
Şekil 2.10. İHA sistemi ve operasyon ağı [19].....	22
Şekil 2.11. İHA sistemi [17].....	23
Şekil 2.12. Hava aracı sistemi [17].....	23
Şekil 2.13. Uçuş kontrol ve navigasyon sistemi [19] .....	26
Şekil 3.1. Metodoloji .....	32
Şekil 3.2. MagicDraw modelleme aracının içerisinde yer alan MODAF şablonları.....	37
Şekil 3.3. MagicDraw araç çubuğu .....	37
Şekil 3.4. MagicDraw ile modellenen görünüm.....	38
Şekil 3.5. OV-1A üst seviye operasyonel konsept tasviri .....	39
Şekil 3.6. OV-2 yapı diyagramı.....	39
Şekil 3.7. OV-2 bağlantı diyagramı.....	40
Şekil 3.8. OV-5 operasyonel aktivite modeli görev öncesi hazırlık fazı.....	42
Şekil 3.9. OV-5 operasyonel aktivite modeli taksi-kalkış-seyir fazları.....	43
Şekil 3.10. OV-5 operasyonel aktivite modeli görev fazı .....	44
Şekil 3.11. OV-5 operasyonel aktivite modeli seyir-iniş-taksi fazları .....	45
Şekil 3.12. OV-5 operasyonel aktivite modeli görev çözümleme fazı .....	46
Şekil 3.13. OV-3 operasyonel arayüz matrisi.....	47
Şekil 3.14. SV-1 sistem sınıflandırması görünümü.....	49

Şekil 3.15. SV-2 sistem arayüz görünümü .....	50
Şekil 3.16. SV-4 sistem fonksiyonel akış modeli görev fazı.....	51
Şekil 3.17. SV-4 sistem fonksiyonel akış modeli seyir-iniş-taksi fazları.....	52
Şekil 3.18. SV-3 sistem arayüz matrisi (L0-L1 seviyesi).....	52
Şekil 3.19. SV-3 sistem arayüz matrisi (L2 seviyesi) .....	53
Şekil 3.20. SV-3 sistem arayüz matrisi (L3 seviyesi) .....	54
Şekil 3.21. SV-5 karşılaştırma matrisi.....	55



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

3D	3 Dimension
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
DBSE	Document Based Systems Engineering
DTSM	Doküman Tabanlı Sistem Mühendisliği
EH	Elektronik Harp
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
ID	Identification
IER	Information Exchange Requirement
IMU	Inertial Measurement Unit
İHA	İnsansız Hava Aracı
KBRN	Kimyasal Biyolojik Radyolojik ve Nükleer
km	Kilometre
MBSE	Model Based Systems Engineering
MODAF	Ministry of Defence Architecture Framework
MTSM	Model Tabanlı Sistem Mühendisliği
OV	Operational View
QFD	Quality Function Deployment
RF	Radyo Frekansı
SİHA	Silahlı İnsansız Hava Aracı
UAV	Unmanned Aerial Vehicle

# 1. GİRİŞ

Sistem mühendisliği birçok farklı mühendislik metodolojisini bünyesinde barındıran, karmaşık sistemlerin tasarlanabilmesi ve üretilebilmesini amaçlayan bir disiplindir. Sistem mühendisliği kavramının kökeni çok daha eskiye dayansa da bir mühendislik dalı olarak projelerde uygulanmaya İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra başlamıştır. İkinci Dünya Savaşı'nın bitimiyle Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ile Sovyetler Birliği arasında başlayan teknolojik yarış özellikle havacılık ve uzay alanında yeni ve çok daha karmaşık projelerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu iki büyük ülke arasındaki “uzaya ilk kim çıkacak?”, “aya ilk olarak hangi ülkenin vatandaşı ayak basacak?” yarışı Dünya tarihinin o döneme kadar görmüş olduğu en büyük havacılık ve uzay projelerinin başlatılması için bir fırsat yaratmıştır. Yine bu dönemde teknolojide yaşanan büyük gelişmeler yeni nesil hava araçlarının ve yeni nesil roket sistemlerinin geliştirilmesine öncülük etmiştir. İlk olarak Birinci Dünya Savaşı sırasında ABD tarafından geliştirilmiş olan İnsansız Hava Aracı (İHA) teknolojisi özellikle keşif ve gözetleme görevlerinde istihbarat elde etmek amacıyla oldukça sık kullanılmıştır. Başlangıçta İHA sistemleri idame edilmesi zor ve maliyeti yüksek olan sistemler olarak görülse de bu sistemlerin keşif ve gözetleme görevlerindeki başarısı ve operasyonlar üzerindeki önemli etkisi sonraki dönemlerde sıklıkla tercih edilmelerine neden olmuştur. Havacılık ve uzay alanındaki teknolojik gelişmelere paralel olarak İHA sistemleri de geliştirilerek bomba ve füze gibi ağır faydalı yükler taşıyabilir hale getirilmiştir. Bu teknolojik gelişmeler İHA sistemlerinin birçok farklı görevde kullanılabilmesine olanak sağlamıştır. Böylelikle en tehlikeli görevlerde dahi pilot kaybının önüne geçilebilme imkânı doğmuştur [1,2].

Tüm bu rekabet ortamı ve teknolojik gelişmeler ışığında ortaya çıkan büyük projelerin hayata geçirilmesinde sistem mühendisliği çok kritik bir rol oynamış, sistem mühendisliği kavramı bu dönem ile birlikte özellikle savunma sanayii ve uzay projelerinde uygulanmaya başlamıştır [1,2].

Tıpkı zaman içerisinde sistemlerin daha karmaşık bir hale gelmesi sebebiyle projelerin sistem mühendisliği ile yönetilmesi ihtiyacının doğması gibi Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM) de benzer bir ihtiyaç sonucunda ortaya çıkmıştır. Teknolojinin gelişimi birçok alt sistemden oluşan büyük ve karmaşık sistemlerin geliştirilebilmesine olanak sağlamış ve Doküman Tabanlı Sistem Mühendisliği (DTSM) bu yapıların idame edilmesinde yetersiz kalmıştır. Bu sebeple DTSM'den, birbirleri ile etkileşimleri olan modellerin kullanıldığı MTSM'ye geçiş süreci başlamıştır.



Bu tez çalışmasında kullanıcının/müşterinin özellikle operasyonel ortamdaki ihtiyaçlarının netleştirilmesi ve bu ihtiyaçlar doğrultusunda ürünler geliştirilebilmesi amacıyla bir metodoloji oluşturulmuştur. Bu metodoloji kapsamında MTSM kullanılarak bir İHA Sistemi ve bu İHA Sistemi'nin icra edeceği keşif ve gözetleme görevi modellenmiştir. Hem sistemin hem de operasyonel görevin modellenmesiyle elde edilen iki katmanlı yapı kullanılarak sistem gereksinimleri tanımlanmış ve operasyonel ihtiyaçların tasarıma yansıtılması sağlanmıştır.

Çalışmanın Literatür Araştırması bölümüne MTSM ile alakalı önceden yapılmış çalışmaların derlenmesiyle başlanmıştır. Bu bölümde ayrıca sistem mühendisliği, MTSM, MODAF ve İHA sistemleri ile alakalı bilgiler verilmiştir. Uygulama bölümünde, oluşturulan metodoloji doğrultusunda modelleme faaliyetleri gerçekleştirilmiş ve bu faaliyetlerin çıktılarının sürece dahil edilmesi sağlanmıştır. Sonuç bölümünde ise yapılan tüm faaliyetlerin analizleri ve oluşturulan metodolojinin değerlendirmesi yer almaktadır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1. Önceki Çalışmalar

Teknolojinin son yıllardaki hızlı gelişimine paralel olarak sistemlerin karmaşıklaşması, ürün geliştirme projelerinin DTSM ile yönetilmesini zorlaştırmaktadır. Bu karmaşık yapılar sebebiyle birçok projede hatalar ve eksiklikler projelerin ilk safhalarında fark edilememekte; bu durum projelerde takvim, maliyet ve performans bakımından ciddi sorunlara yol açmaktadır. Kullanılan doküman tabanlı yapı sebebiyle önceki projelerden edinilen bilgi birikiminin sonraki projelere aktarılamaması ve kaybolması da ürün geliştirme sürecini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple MTSM çoğu proje için bir ihtiyaç, hatta bir zorunluluk haline gelmiştir

MTSM, ürün geliştirme sürecini etkileyen tüm bu problemlerin önüne geçerek kullanıcının/müşterinin beklentilerini karşılayabilecek kalitede ürünlerin geliştirilebilmesi için uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntem hem Türkiye’de hem de Dünya’da oldukça yeni ve popüler bir konudur. Tablo 2.1’de MTSM ile alakalı literatürde yer alan çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 2.1. Önceki çalışmalar

Yazar(lar)	Kapsam
Joe Gregory ve diğerleri (2019)	Bu çalışma Airbus şirketinde halihazırda uygulanmakta olan DTSM süreçleri sebebiyle karşılaşılan problemleri incelemek ve MTSM kullanımına uygun olan alanlarda MTSM yaklaşımına dayalı çözümler üretmek amacı ile bir metodoloji sunmaktadır.
Bjorn Cole ve diğerleri (2019)	Bu çalışmada MTSM yaklaşımı ile bir test ve değerlendirme sistemi kurulmuş ve kurulan bu sistem performans gereksinimleri için kullanılmıştır.
L. Lemazurier ve diğerleri (2017)	Bu çalışma oldukça karmaşık yapılar olan nükleer güç istasyonlarının tasarımında gereksinim analizinden fonksiyonel analize geçiş sürecinde kullanılabilir olan bir MTSM yaklaşımı içermektedir.

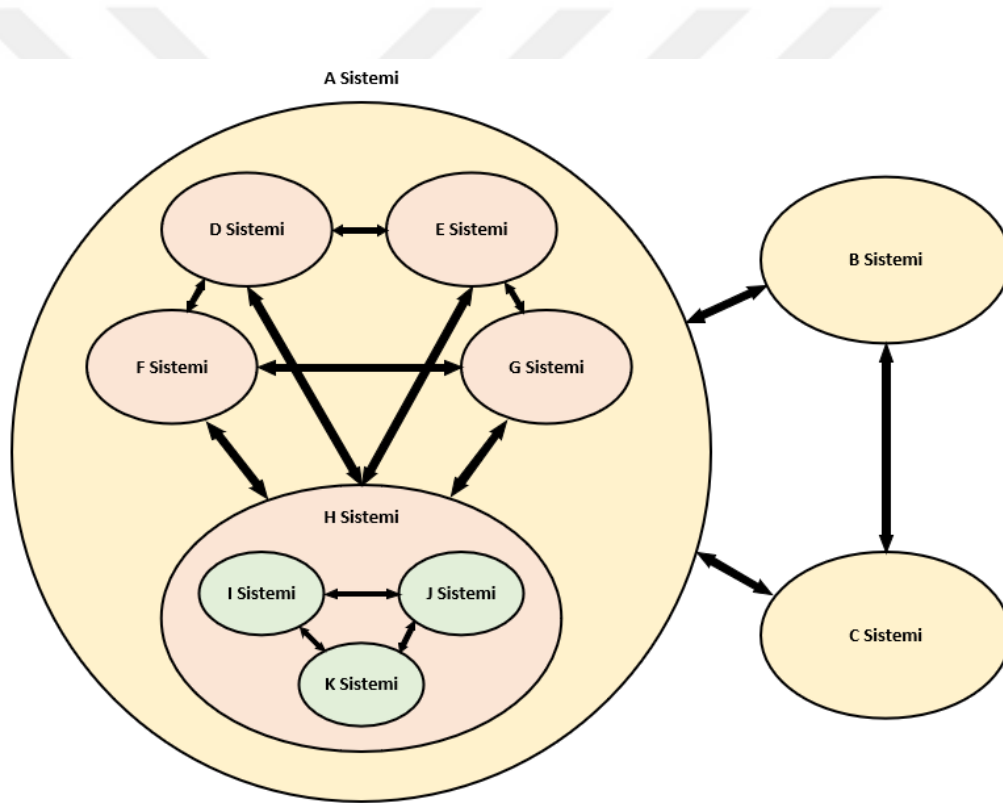
<b>Yazar(lar)</b>	<b>Kapsam</b>
Sébastien Bougain ve Detlef Gerhard (2017)	Bu çalışma mekatronik ürünlerin geliştirilmesinde çevresel faktörlerin de göz önünde bulundurulmasını sağlayan bir MTSM metodolojisi içermektedir.
Jonas Hallqvist ve Jonas Larsson (2016)	Bu çalışma havacılık sektöründe faaliyet gösteren bir firmada sistem mühendisliği süreçlerinin MTSM kullanılarak yürütülmesi için bir metodoloji sunmaktadır.
Rafael M. Perez (2014)	Bu çalışmada bir uzay aracı tasarımında MTSM yaklaşımı kullanılarak risklerin projenin ilk safhalarında saptanabilmesi ve tasarımın buna göre şekillendirilerek proje riskinin azaltılması amacıyla bir metodoloji sunulmaktadır.
Sara C. Spangelo ve diğerleri (2013)	Bu çalışmada CubeSAT olarak adlandırılan minyatür bir uydu ve icra edeceği görev modellenerek uygulanabilirliğinin ölçülebilmesi ve ağ parametreleri gibi teknik parametrelerin değerlendirilebilmesi sağlanmıştır.
Bitá Motamedian (2013)	Bu çalışma MTSM'nin farklı alanlarda ve farklı mühendis grupları arasında kullanımını incelemektedir.
Mike Russell (2012)	Bu çalışma tasarım ve test süreçlerinde MTSM yaklaşımının kullanıldığı bir metodoloji sunmaktadır.
Graham Bleakley ve diğerleri (2011)	Bu çalışma SysML yazılım dili ve MTSM yaklaşımı kullanılarak projelerin karar verme noktalarında en doğru seçimlerin yapılabilmesine yönelik bir metodoloji içermektedir.
Nadia A. Tepper (2010)	Bu çalışma savaş gemisi projeleri için mimarinin oluşturulmasında MTSM kullanımını incelemektedir.
Jeff A. Estefan (2008)	Bu çalışma endüstride en çok kullanılan MTSM metodolojilerini sunmaktadır.

## 2.2. Sistem Mühendisliği

Sistemler bir ihtiyacı karşılamak amacıyla donanım, yazılım, ekipman, tesis ve personel gibi birçok farklı ögenin bir araya getirilmesi ile oluşturulan, belirli fonksiyonlara sahip olan yapılardır. Sistem mühendisliği ise başarılı sistemleri gerçekleştirmeyi amaçlayan disiplinlerarası bir yaklaşımdır [3].

Sistemler teknolojinin zaman içerisindeki gelişimi ile giderek daha karmaşık yapılara dönüşmüştür. Öyle ki, günümüzde birden fazla sistem ve alt sistemin bir araya gelmesi ile meydana gelen sistemler sistemi yapıları bir çok farklı alanda kullanılmaktadır [3].

Şekil 2.1’de örnek bir sistemler sistemi yapısı gösterilmektedir. Bu yapıda A, B ve C sistemleri birbirleri ile arayüzlere sahip olan ana sistemler olarak yer almaktadır. Yani aynı operasyonel ortam içerisinde birlikte çalışmaktadırlar. A sisteminin altında ise D, E, F, G ve H alt sistemleri yer almaktadır. Benzer şekilde bu sistemler de birbirleriyle arayüze sahiptir ve birlikte çalışmaktadır. Yapının en alt seviyesinde ise H sistemini oluşturan I, J ve K alt sistemleri yer almaktadır. Görüldüğü gibi A, B ve C sistemlerinden oluşan büyük sistemler sistemi yapısı başka birçok sistem ve alt sistemin birlikte uyum içerisinde çalışması ile meydana gelmektedir.



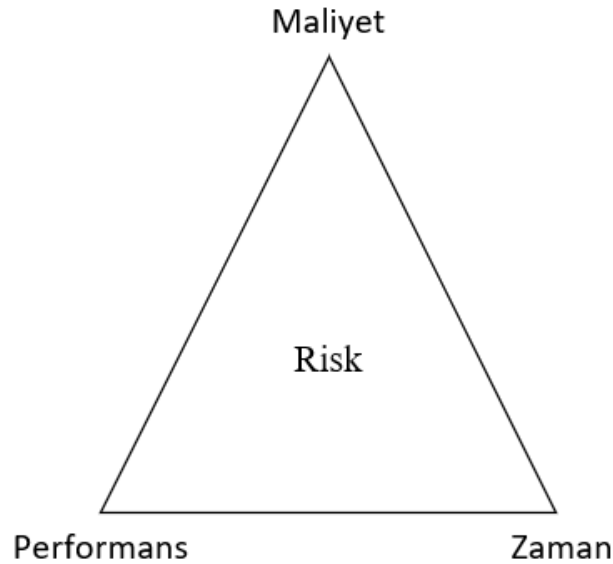
Şekil 2.1. Sistemler sistemi yapısı [3]

Havalimanı sistemleri bu tür büyük ve karmaşık sistemler için güzel bir örnektir. Bir havalimanı sistemi hava aracı sistemi dışında bagaj sistemi, bilet satış sistemi ve bakım-onarım sistemi gibi birçok sistemin birlikte uyum içerisinde çalışması ile hizmet

verebilmektedir. Bu sebeple havalimanı sistemini oluşturan sistemlerden herhangi birinde yaşanacak bir sıkıntı diğer sistemleri veya tüm sistemler sistemi yapısını etkileyebilecektir.

Bu tip karmaşık sistemlerin tasarlanabilmesi ve üretilebilmesi, idame ettirilebilmesi kadar zor bir süreçtir. Sistem mühendisliği bu karmaşıklığın önüne geçerek kullanıcıların/müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayacak kalitede sistemler üretilebilmesini ve idame ettirilebilmesini amaçlamaktadır. Sistem mühendisliğinin disiplinlerarası bir yapıda oluşu, sistemlerin bu disiplinlere ait farklı bakış açıları ile incelenebilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede her bir problem için farklı disiplinlerin ortaya koyduğu optimum çözümlere ulaşılabilir [4].

Kullanıcıların/müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek kalitede sistemler üretilebilmesi amacıyla projeler Şekil 2.2’de gösterilen zaman, maliyet, performans ve risk unsurları göz önünde bulundurularak yönetilmektedir. Zaman, maliyet, performans ve risk unsurları arasındaki denge proje için kritik öneme sahiptir ve bu unsurlar birbirlerini etkilediğinden aralarında bir denge kurmak uğraş gerektiren bir işittir. Örneğin maliyetin azaltılması performansı düşürebilecek veya mevcut riskleri arttırabilecektir. Benzer şekilde performansın arttırılması veya risklerin azaltılması ise maliyeti arttırabilecektir [5].



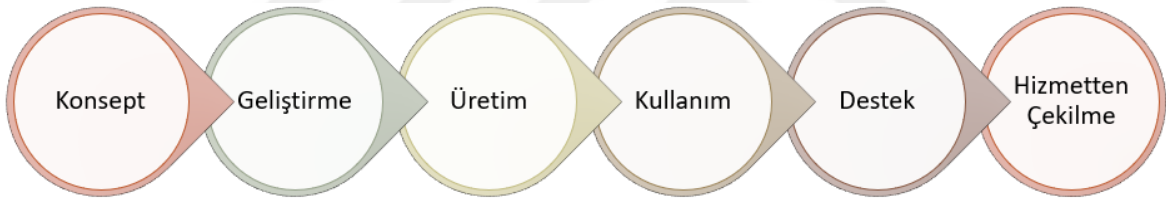
Şekil 2.2. Proje yönetimindeki kritik unsurlar [5]

Belirtilen bu unsurlar içerisinde zaman da oldukça kritik bir unsurdur. Takvimdeki gecikmeler sürece maliyet olarak yansıtacağından zamanı da mali bir kavram olarak düşünmek yanlış olmayacaktır.

Özetle, sistem mühendisliği kullanıcının/müşterinin ihtiyaçlarını karşılayabilecek kalitede bir ürünü kabul edilebilir bir zaman içerisinde ve kabul edilebilir mali şartlar altında kullanıcıya sunabilmek için zaman, performans, maliyet ve risk unsurları arasında en uygun dengeyi kurmakta ve projenin bu doğrultuda yönetilmesini sağlamaktadır [3,6,7].

### 2.2.1. Ürün yaşam döngüsü

Ürün yaşam döngüsü aşamaları Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Bir ürünün yaşam döngüsü konsept aşamasıyla başlamakta; geliştirme, üretim, kullanım ve destek aşamaları ile devam etmektedir. Ürünün hizmetten çekilmesi ise ürün yaşam döngüsünün son aşamasıdır [3].



Şekil 2.3. Ürün yaşam döngüsü [3]

Konsept aşaması ürün yaşam döngüsünün ilk aşamasıdır. Bu aşamada kullanıcı ihtiyaçları tanımlanmakta ve alternatif sistem çözümleri araştırılarak kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayacak en uygun sistem çözümleri belirlenmektedir. Şekil 2.3'te gösterilmekte olan ürün yaşam döngüsünün tüm aşamaları birbirine bağlıdır ve birbirini etkilemektedir. Konsept aşamasının ürün yaşam döngüsünün ilk aşaması olması sebebiyle bu aşamada ortaya çıkabilecek sorunlar sonraki aşamalarda projeyi takvim ve maliyet açısından sıkıntıya sokabilecek ciddi sonuçlar doğurabilmektedir [3,4,8].

Konsept aşamasında belirlenen sistem çözümleri geliştirme aşamasında en üst sistem seviyesinden en alt sistem seviyesine kadar çalışılarak kullanıcının/müşterinin ihtiyaçlarını karşılayacak en uygun sistem çözümünün bulunması amaçlanmaktadır. İdeal durumda

kullanıcı/müşteri, ihtiyaçlarını karşılayacak doğru sistemin belirlenmesi amacıyla hem konsept hem de geliştirme aşamalarında aktif olarak yer almakta ve çalışmalara yön vermektedir. Aksi durumda konsept ve geliştirme aşamaları uzayabilmekte ve projeyi maliyet ve takvim olarak etkileyebilmektedir [3,4,8].

Üretim aşamasında seçilmiş olan sistem çözümünün üretimine başlanmaktadır. Bu üretim yalnızca fiziksel bir sistemin üretimini değil, aynı zamanda yazılım ve kod üretimini de içermektedir. Bu aşamada tasarım ile ilgili problemleri çözmek, üretim maliyetini düşürmek ya da sistemi iyileştirmek gibi sebeplerle sistemde bazı değişiklikler yapılabilmektedir. Ancak bu tür değişiklikler projeler açısından istenilen durumlar değildir. Tasarımda yapılabilecek değişiklikler sistem gereksinimlerini de değiştireceğinden projeyi maliyet veya takvim açısından etkileyebilecektir. Üretim aşamasında sistemin üretilmesinin ardından inceleme, test ve doğrulama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir [3,4,8].

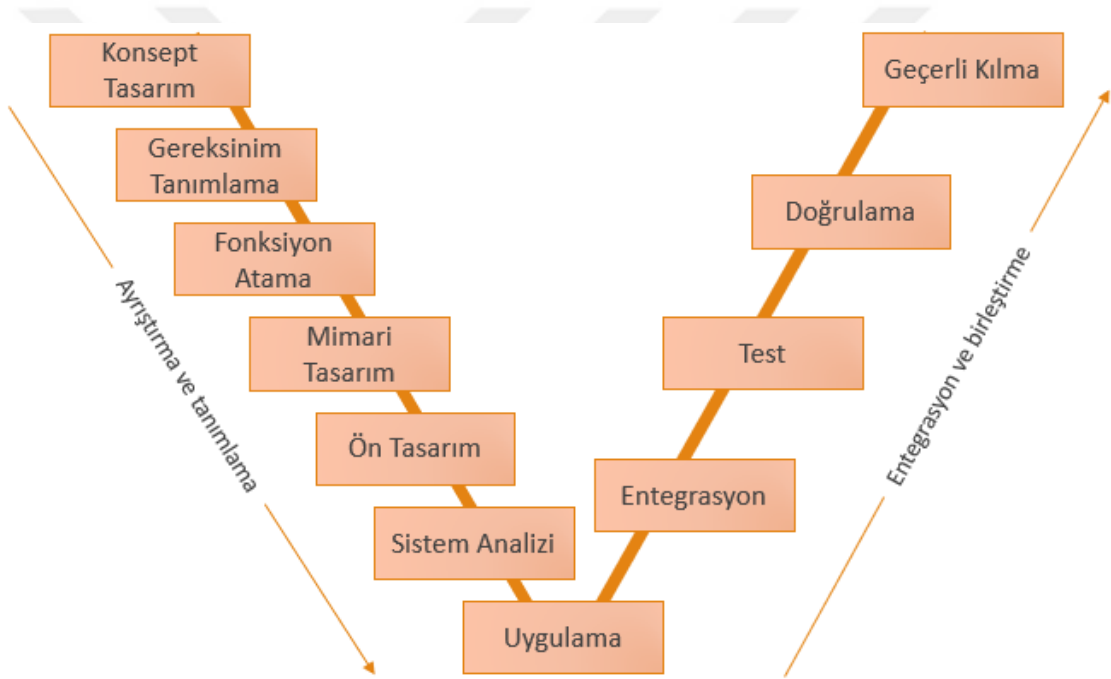
Kullanım aşaması sistem kullanıma hazır olarak kullanıcıya teslim edildiği anda başlamaktadır. Eğer üretilen sistem büyük bir sistemin parçası olarak başka sistemlerle arayüze sahipse, yani bir sistemler sistemi yapısı içerisinde yer alıyorsa, üretilen sistemin kullanıma hazır olma durumu diğer sistemlerle olan uyumunu ve büyük sistemin bir parçası olarak uygun şekilde çalışabilmesini de kapsamaktadır. Örneğin bir İHA sistemi düşünüldüğünde bu İHA sisteminin kullanımı yalnızca sistemin ve bu sisteme ait alt sistemlerin uyum içinde çalışmasını kapsamamaktadır. İHA sistemi belirli bir operasyonel ortamda başka sistemlerle birlikte çalışmakta, operasyonel görevler tüm bu sistemlerin birlikte çalışması ile icra edilmektedir. Yani burada söz konusu olan durum İHA sisteminin kullanılacağı operasyonel ortam içerisinde diğer tüm sistemlerle uyum içerisinde çalışabilmesi, büyük resmin bir parçası olabilmesidir [3,4,8].

Destek aşaması sistemin kullanıma başlanması ile hizmetten çekilmesi arasındaki tüm dönemi kapsamaktadır. Bakım, lojistik, modernizasyon ve geliştirme gibi kalemler destek aşaması içerisinde yer almaktadır [3,4,8].

Hizmetten çekilme aşaması sistem ve sistemle alakalı tüm hizmet ve faaliyetlerinin durdurulduğu, ürün yaşam döngüsünün sonlandırıldığı aşamadır. Hizmetten çekilme aşaması ürün yaşam döngüsünün en başında, yani konsept aşamasında planlanan bir aşamadır ve tüm bu süreç sistem mühendisliği tarafından konsept aşamasında gereksinimlere dökülmektedir. Sistem mühendisliğinin hizmetten çekilme aşamasındaki ana görevi hizmetten çekilme faaliyetlerinin konsept aşamasında tanımlanan gereksinimlere uygun olacak şekilde icra edilmesini sağlamaktır [3,4,8].

## 2.2.2. Sistem mühendisliği süreçleri

Şekil 2.4'te gösterilmekte olan V Şeması konsept aşamasından üretim aşamasının sonuna kadar olan süreci ayrıntılı olarak açıklamaktadır. V şemasının sol tarafında ayrıştırma ve tanımlama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Problemin ve ihtiyaçların tanımlanması ile başlayan ayrıştırma ve tanımlama faaliyetleri ön tasarım ve sistem analizi ile sona ermektedir. V şemasının sağ tarafında ise entegrasyon ve birleştirme faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Entegrasyon ve birleştirme faaliyetlerinde en alt seviye olan bileşen seviyesinden başlanarak tüm sistemin entegrasyonu gerçekleştirilmektedir. Sürecin sonunda tüm sistemin entegrasyonu tamamlandığında ise sistemin test, doğrulama ve geçerli kılma faaliyetleri başlatılmaktadır [3].

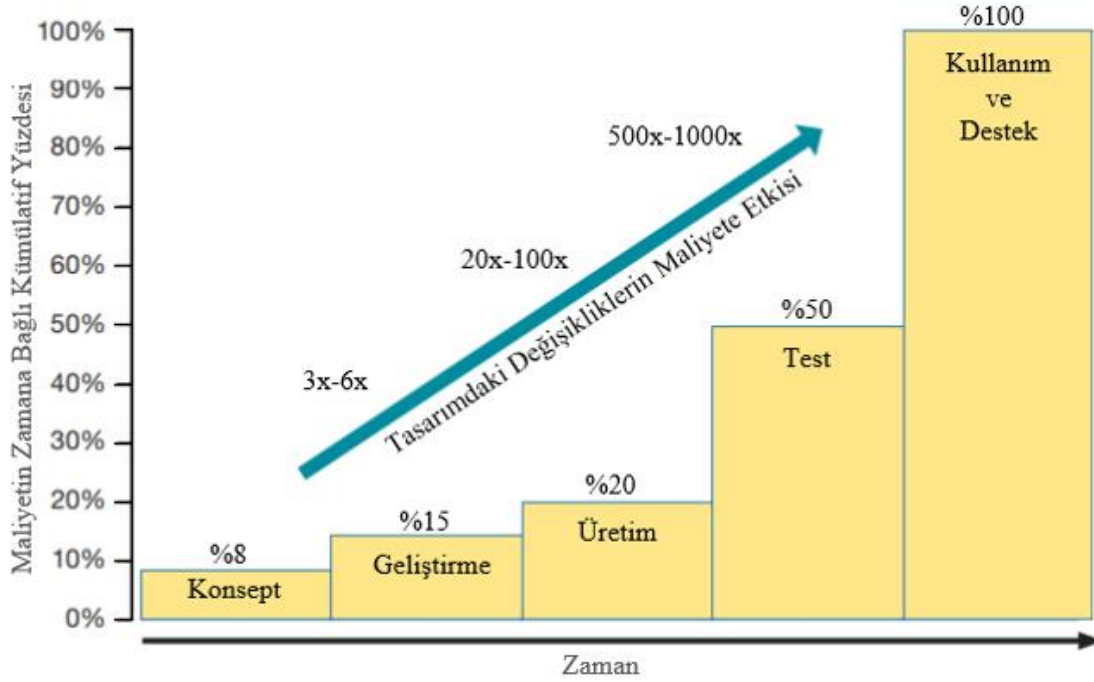


Şekil 2.4. V şeması [3]

Tespit edilen bir problem ya da ihtiyaçların değişmesi gibi çeşitli sebeplerle ürün yaşam döngüsünün herhangi bir aşamasında tasarımda değişikliğe gitmek mümkündür. Ancak tasarımda yapılacak değişiklikler maliyeti ve takvimi olumsuz olarak etkileyebilecektir. Şekil 2.5'de yer alan grafik ürün yaşam döngüsündeki aşamalara göre tasarımdaki değişikliklerin maliyete etkisini ve maliyetin zamana bağlı kümülatif yüzdesini göstermektedir. Burada görüldüğü üzere projenin ilk aşamalarında tasarımda değişikliğe



gitmek ile sonraki aşamalarında tasarımda değişikliğe gitmek arasında ciddi bir maliyet farkı vardır. Üretim aşamasına geçilmeden önce, yani konsept ve geliştirme aşamaları sırasında tasarımda yapılacak değişiklikler maliyete 3-6 birim şeklinde yansımaktayken üretim aşamasına geçilmesi ile birlikte bu oran 20-100 birim, üretim aşamasından sonra ise 500-1000 birim aralığına sıçramaktadır [7].



Şekil 2.5. Tasarımdaki değişikliklerin maliyete etkisi [7]

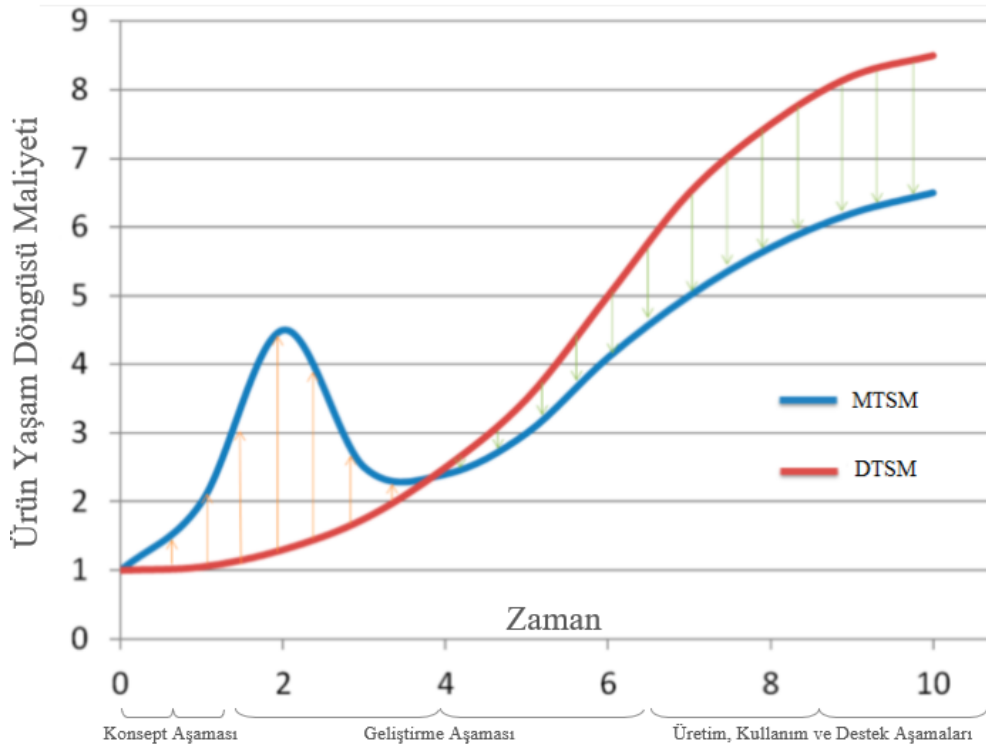
Görüldüğü gibi bir ürün geliştirme projesinde problemlerin mümkün olduğunca erken tespit edilebilmesi ve mümkün olduğunca erken çözülebilmesi takvim ve maliyet açısından oldukça önemlidir. DTSM ile yönetilen projelerde problemlerin ilk aşamalarda tespit edilmesi her zaman mümkün olmadığından MTSM bu anlamda tasarımcı ve kullanıcı/müşteri için önemli bir avantaj sunmaktadır.

### 2.3. MTSM

MTSM, konsept aşamasında başlayan ve sonraki ürün yaşam döngüsü aşamalarında devam eden sistem gereksinimlerini oluşturma, tasarım, analiz, doğrulama ve geçerli kılma faaliyetlerini desteklemek amacıyla modellerin kullanıldığı bir yöntemdir [9].

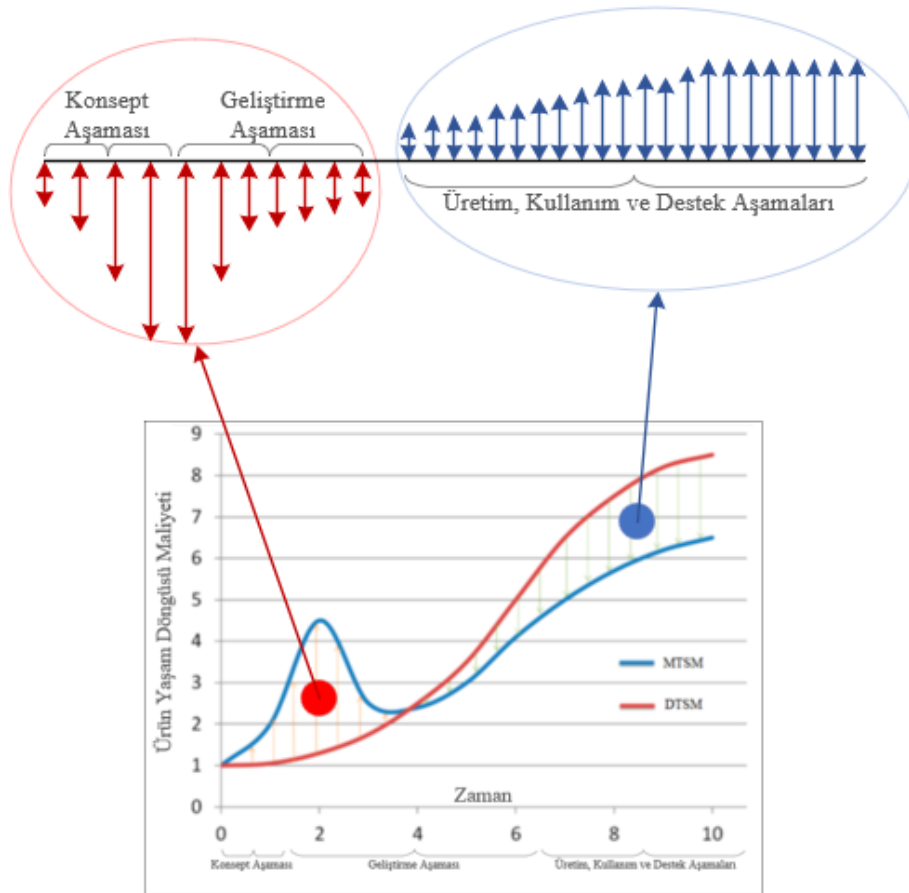
MTSM’de modeller yardımıyla sistem mühendisliği faaliyetleri DTSM’ye kıyasla çok daha az hata ile gerçekleştirilebilmekte ve olası hatalar çok daha erken tespit edilebilmektedir. Bu durum projelere maliyet ve takvim anlamında büyük fayda sağlamaktadır.

Şekil 2.6’da gösterilmekte olan grafik MTSM uygulanan projeler ile DTSM uygulanan projeler arasındaki maliyet kıyaslamasını içermektedir. Grafiğe göre, MTSM uygulanan projelerde ürün yaşam döngüsünün konsept ve geliştirme aşamalarındaki maliyet DTSM uygulanan projelere göre daha fazladır. Ancak ürün yaşam döngüsünün sonraki aşamalarında MTSM’nin maliyet açısından çok daha avantajlı olduğu görülmektedir [10].



Şekil 2.6. MTSM uygulanan projeler ile DTSM uygulanan projeler arasında ürün yaşam döngüsü maliyeti kıyaslaması [10]

Bu durum Şekil 2.7’de verilmekte olan detaylı grafikte daha net olarak görülebilmektedir. Burada MTSM ile DTSM arasındaki maliyet kıyaslaması kırmızı ve mavi renk kodlu oklar ile ifade edilmiştir. Konsept ve geliştirme aşamalarında eksen çizgisinin altında yer alan kırmızı oklar, bu aşamalarda MTSM’nin daha maliyetli bir yöntem olduğunu ifade etmektedir. Özellikle konsept aşamasının sonlarında ve geliştirme aşamasının başlangıcında MTSM ile DTSM arasında ciddi bir maliyet farkı göze çarpmaktadır. Bu durumun temel sebebi ürün yaşam döngüsünün ilk aşamalarında sürecin tanımlanması, altyapının kurulması, personelin eğitilmesi, konfigürasyon yönetimi ve modelleme aracı gibi kalemler için yapılan harcamalardır. Ancak bu harcamaları bir yatırım olarak düşünmek yanlış olmayacaktır. Zira bu yatırımın dönüşü üretim, kullanım ve destek aşamalarında grafiğe yansımaktadır. Bu aşamalarda eksen çizgisinin üzerinde yer alan mavi oklar MTSM’nin DTSM’ye göre daha az maliyetli bir yöntem olduğunu ifade etmektedir [10].



Şekil 2.7. MTSM uygulanan projeler ile DTSM uygulanan projeler arasındaki yatırım ve getiri maliyeti kıyaslaması [10]

Grafiklerde MTSM'nin proje maliyeti üzerindeki olumlu etkisi vurgulanmaktadır. Ayrıca, MTSM mali faydaların yanı sıra kullanıcılara DTSM'nin yetersiz kaldığı durumlar için de çözümler sunmaktadır. Bu tarz durumlarda MTSM bir seçimden ziyade ihtiyaç olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu ihtiyaca yol açan sebepler aşağıdaki gibi özetlenebilir [9,11]:

- DTSM'nin karmaşık sistemlerin yönetiminde yetersiz kalması,
- DTSM'nin çok sayıda alt sistem ve bileşenden oluşan sistemlerin test edilebilmesinde yetersiz kalması
- DTSM uygulanan farklı projelerden elde edilen bilgi birikiminin ortak bir proje ortamı olmaması nedeniyle, yani dijital bir ortamın mevcut olmaması sebebiyle, yeni projelere yansıtılamaması ve kaybolması,
- DTSM uygulanan projelerde projenin risklerinin doğru saptanamaması ve doğru yönetilememesi.

Challenger Uzay Mekiği Projesi, DTSM uygulanan projelerde projenin risklerinin doğru saptanamaması ve yönetilememesinin en büyük ve en acı örneği olarak değerlendirilebilir. Bu projede risklerin doğru şekilde saptanamaması ve risklere karşı gerekli önlemlerin alınmaması Challenger Uzay Mekiği'nin patlamasına ve mekiğin içerisindeki yedi astronotun yanarak can vermesine sebep olmuştur [12].

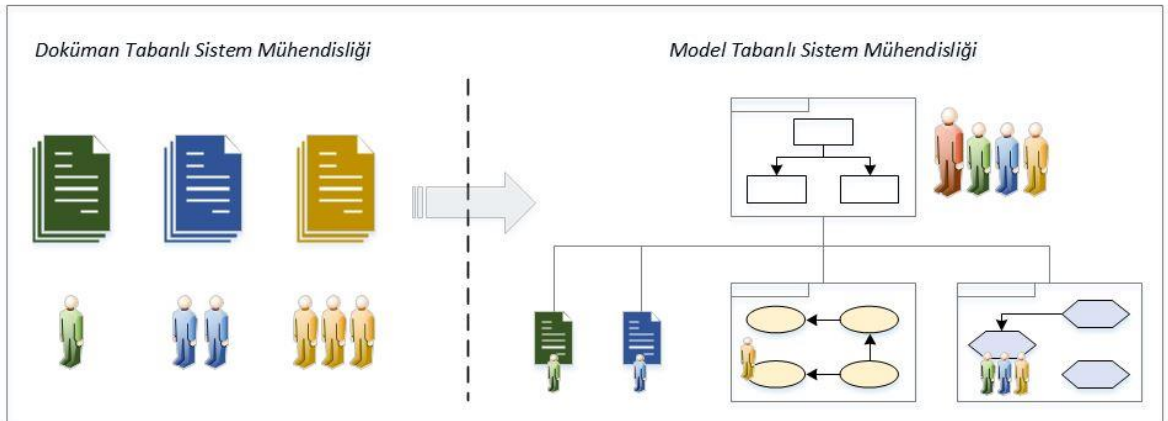
DTSM ile MTSM arasındaki temel farklar Tablo 2.2'de özetlenmektedir. Burada ifade edilen sebepler DTSM ile sistem mühendisliği süreçlerinin uygulanmasını güçleştirmekte, riskleri arttırarak projeleri takvim ve maliyet açısından tehlikeye sokmaktadır.

Tablo 2.2. MTSM ile DTSM karşılaştırması [9,11]

<b>MTSM</b>	<b>DTSM</b>
Dokümanlar modellerden elde edilmektedir.	Dokümanlar fiziksel olarak derlenmektedir.
Modeller birbirleriyle bağlantılıdır.	Doküman içerisinde model bulunmamaktadır.
Görsel ve metinsel içerik mevcuttur.	Yalnızca metinsel içerik mevcuttur.
Projenin verileri yetkilendirilmiş herkesin erişebileceği tek bir dijital ortamda saklanmaktadır.	Projenin verileri birbirinden bağımsız, farklı ortamlarda saklanmaktadır.

<b>MTSM</b>	<b>DTSM</b>
Tasarımda yapılan bir değişiklikten etkilenen diğer sistem veya sistemler otomatik olarak tespit edilmekte ve düzenlenmektedir.	Tasarımda yapılan bir değişiklikten etkilenen diğer sistem veya sistemlerin düzenlenmesi manuel olarak yapılmak zorundadır.
Altyükleniciler ve müşteriler kolayca ürün geliştirme sürecine dahil edilebilmektedir.	Altyükleniciler ve müşteriler ürün geliştirme sürecine sınırlı olarak dahil edilebilmektedir.
Farklı seviyelerdeki gereksinim ve fonksiyonlar arasında izlenebilirlik kolaylıkla sağlanabilmektedir.	Dokümantasyon sebebiyle projelerin karmaşıklık seviyesi arttıkça izlenebilirlik zorlaşmaktadır.
Projenin ilk safhalarında dahi gereksinimler analiz edilebilmektedir.	Metinsel yapı sebebiyle gereksinimler analiz edilememektedir.

Şekil 2.8’de doküman tabanlı yapıyla çalışılan bir iş ortamı ile model tabanlı yapıyla çalışılan bir iş ortamı karşılaştırılmaktadır. Doküman tabanlı yapı ile çalışılan ortamda farklı geliştirme araçları kullanılmakta ve birbirleri ile bağlantılı olmayan çıktılar üretilmektedir. Model tabanlı yapı ile çalışılan ortamda ise ortak bir dijital alanda çalışılmaktadır ve üretilen tüm çıktılar bu dijital alandan elde edilmektedir. Bu sayede üretilen çıktılar arasında kolaylıkla bağlantı kurulabilmekte ve izlenebilirlik sağlanabilmektedir.



Şekil 2.8. DTSM kullanılan bir iş ortamı ile MTSM kullanılan bir iş ortamının karşılaştırılması

## 2.4. MODAF

MODAF, savunma amaçlı planlama ve modelleme aktivitelerini desteklemek ve bir standart oluşturmak amacıyla İngiltere Savunma Bakanlığı tarafından yayınlanan bir rehberdir. Uluslararası alanda kabul görmüş olan bu rehber özellikle savunma projelerinde sıklıkla tercih edilmektedir [13,14].

MODAF kullanıcılara yedi farklı kategori altında farklı özelliklerde modellerden ve tablolardan oluşan görünüm sunmaktadır. Modellerin ve tabloların kullanımı tüm bu karmaşık konseptlerin çok daha açık ve anlaşılır bir hale getirilebilmesine olanak tanımakta ve tasarımı kolaylaştırmaktadır. MODAF içerisinde yer alan yedi kategori aşağıda listelenmektedir [13,14]:

- Stratejik Görünümler (Strategic Views)
- Operasyonel Görünümler (Operational Views)
- Bakım ve Onarım Görünümleri (Service Oriented Views)
- Sistem Görünümleri (Systems Views)
- Edinim Görünümleri (Acquisition Views)
- Teknik Görünümler (Technical Views)
- Tüm Görünümler (All Views)

MODAF rehberliğinde bir MTSM metodolojisi oluşturulabilmesi için ilk olarak projenin türü, yapısı, boyutu, karmaşıklığı ve projenin paydaşları gibi proje için önemli olan unsurlar değerlendirilmektedir. Bu unsurlar dikkate alınarak oluşturulacak olan metodoloji, projenin gereksinimleri doğrultusunda yalnızca ihtiyaç duyulacak olan MODAF görünümünü içermelidir. Bir metodoloji belirlenmeden MODAF içerisinde yer alan tüm görünümün kullanılması projeler için ciddi bir zaman ve iş gücü kaybı olacağından doğru metodolojinin belirlenerek ihtiyaç duyulan görünümün kullanılması önemlidir. MODAF içerisinde yer alan görünüm ve bu görünümün tanımları Tablo 2.3'te yer almaktadır.

Tablo 2.3. MODAF görünümü [13,14]

<b>Kategori</b>	<b>Görünüm</b>	<b>Tanım</b>
Stratejik Görünüm	StV-1	Şirketin ürün ile ilgili kabiliyet gelişim stratejisini içeren görünümdür.

<b>Kategori</b>	<b>Görünüm</b>	<b>Tanım</b>
Stratejik Görünüm	StV-2	Ürünün sahip olacağı kabiliyetlerin hiyerarşik sınıflandırmasını içeren görünümdür.
Stratejik Görünüm	StV-3	Ürünün sahip olacağı kabiliyetlerin entegrasyon planını içeren görünümdür.
Stratejik Görünüm	StV-4	Ürünün sahip olacağı kabiliyetlere etkisi olabilecek etkenlerin tanımlandığı görünümdür. Bu etkenlere göre kabiliyet yönetimi yine bu görünüm üzerinden yapılmaktadır.
Stratejik Görünüm	StV-5	Ürünün tüm yaşam döngüsü için kabiliyet planını içeren görünümdür. Buradaki süreç tüm yaşam döngüsü olduğundan ürünü kullanacak olan organizasyon da bu plana dahil edilmektedir.
Stratejik Görünüm	StV-6	Ürünün kullanılacağı görevlerin belirlenen kabiliyetlerle karşılaştırıldığı görünümdür.
Operasyonel Görünüm	OV-1a	Genel bir anlayış elde etmek amacı ile geliştirilecek olan ürünü; ürünün kullanılacağı ortamda, ürünün birlikte kullanılacağı diğer sistemler ile birlikte grafiksel olarak gösteren bir tasvirdir.
Operasyonel Görünüm	OV-1b	OV-1a görünümünde sunulan tasvirin desteklenebilmesi amacıyla bu görünümde bulunan unsurların tanımlandığı görünümdür.
Operasyonel Görünüm	OV-1c	Operasyonel performans parametrelerini içeren görünümdür.
Operasyonel Görünüm	OV-2	OV-1a görünümünde tasvir edilen operasyonel ortam içerisinde yer alan sistemler arasındaki arayüzleri içeren görünümdür.
Operasyonel Görünüm	OV-3	Birlikte çalışabilirlik (interoperability) gereksinimlerinin tanımlandığı görünümdür.
Operasyonel Görünüm	OV-4	Şirketin organizasyon yapısının tanımlandığı görünümdür. OV-4 görünümü ihtiyaca göre şirket içi organizasyon yapısını yansıtabileceği gibi şirket, altyükleniciler ve diğer

<b>Kategori</b>	<b>Görünüm</b>	<b>Tanım</b>
		iş ortaklarını içeren tüm ürün geliştirme organizasyonu yapısını da yansıtabilmektedir.
Operasyonel Görünüm	OV-5	Geliştirilmekte olan ürüne ait operasyonel aktivitelerin ve diğer sistemlerle olan operasyonel arayüzlerin bir akış diyagramı olarak tanımlandığı görünümdür.
Operasyonel Görünüm	OV-6a	Operasyonel kısıtların, prosedürlerin ve geliştirilecek olan sistemin icra edeceği görevlerle alakalı prensiplerin tanımlandığı görünümdür.
Operasyonel Görünüm	OV-6b	Geliştirilecek olan sistemin operasyonel ortamdaki davranış analizlerini içeren görünümdür.
Operasyonel Görünüm	OV-6c	OV-5 görünümünde yer alan akış diyagramının zaman parametreleri eklenerek desteklendiği görünümdür.
Operasyonel Görünüm	OV-7	OV-3 görünümünde tanımlanan birlikte çalışabilirlik gereksinimleriyle ilgili parametreleri ve birlikte çalışabilirlik gereksinimlerinin birbirleri ile olan ilişkilerini içeren görünümdür.
Bakım ve Onarım Görünümü	SOV-1	Bakım ve onarım ile alakalı hiyerarşik yapının yer aldığı görünümdür. Sistemi oluşturan bileşenlerin bakım ve onarım ihtiyacından başlanarak tüm sistemin bakım ve onarım ihtiyacına kadar tüm yapı bu görünümün altında tanımlanmaktadır.
Bakım ve Onarım Görünümü	SOV-2	SOV-1 görünümünde tanımlanan hiyerarşik yapıda yer alan bileşenler arasındaki arayüzlerin tanımlandığı görünümdür.
Bakım ve Onarım Görünümü	SOV-3	SOV-1 görünümünde tanımlanan yapı ile bakım ve onarım kabiliyetlerinin karşılaştırıldığı bir matrisi içeren görünümdür.
Bakım ve Onarım Görünümü	SOV-4a	Bakım ve onarım ile alakalı prosedürleri ve sınırlamaları içeren görünümdür.



<b>Kategori</b>	<b>Görünüm</b>	<b>Tanım</b>
Bakım ve Onarım Görünümü	SOV-4b	Bakım ve onarım ile alakalı muhtemel durum modellerinin yer aldığı görünümüdür.
Bakım ve Onarım Görünümü	SOV-4c	Bakım veya onarım aktivitelerinin harici birimlerle olan arayüzünü bir akış diyagramı ile tanımlayan görünümüdür.
Bakım ve Onarım Görünümü	SOV-5	Bakım veya onarım aktivitelerinin tüm sürecinin ve bu süreç boyunca gerçekleştirilen fonksiyonların tanımlandığı görünümüdür.
Sistem Görünümü	SV-1	Geliştirilecek olan sistemi oluşturan tüm bileşenlerinin sınıflandırıldığı görünümüdür.
Sistem Görünümü	SV-2	Geliştirilecek olan sistemi oluşturan bileşenler arasındaki arayüzleri gösteren görünümüdür.
Sistem Görünümü	SV-3	SV-2 görünümü kullanılarak oluşturulan sistem mimarisi içerisinde yer alan bileşenler arasındaki arayüzlerin tanımlandığı görünümüdür.
Sistem Görünümü	SV-4	SV-2 görünümü kullanılarak oluşturulan sistem mimarisi içerisinde yer alan her bir bileşene ait fonksiyonların bir akış diyagramı olarak sıralandığı görünümüdür.
Sistem Görünümü	SV-5	SV-4 görünümünde yer alan sistem fonksiyonları ile OV-5 görünümünde tanımlanan operasyonel aktivitelerin karşılaştırıldığı görünümüdür.
Sistem Görünümü	SV-6	SV-3 görünümünde tanımlanan arayüzlerin detaylandırıldığı ve parametrelerle desteklendiği görünümüdür.
Sistem Görünümü	SV-7	Geliştirilmekte olan sistemin performans karakteristiklerinin tanımlandığı görünümüdür. Sistem görünümüleri altında oluşturulan diğer görünümelerde fonksiyonlar ve bu fonksiyonlara bağlı fonksiyonel gereksinimler yer alırken SV-7 görünümü altında fonksiyonel olmayan gereksinimler tanımlanmaktadır.

<b>Kategori</b>	<b>Görünüm</b>	<b>Tanım</b>
Sistem Görünümü	SV-8	Geliştirilmekte olan sistemin tüm yaşam döngüsü boyunca konfigürasyonel gelişiminin tanımlandığı görünümdür.
Sistem Görünümü	SV-9	Teknolojinin zamana göre gelişimine yönelik tahminlerin yer aldığı ve bu tahminlerin geliştirilecek olan sistem üzerindeki olası etkilerinin incelendiği görünümdür.
Sistem Görünümü	SV-10a	Geliştirilecek olan sistem ile alakalı prosedürlerin ve kısıtların tanımlandığı görünümdür.
Sistem Görünümü	SV-10b	Geliştirilecek olan sistem ile alakalı davranışsal analizleri içeren görünümdür.
Sistem Görünümü	SV-10c	SV-3 görünümünde tanımlanan arayüzlerin zaman parametresi eklenerek detaylandırıldığı görünümdür.
Sistem Görünümü	SV-11	Geliştirilecek olan sistem içerisinde yer alan bileşenlere ait arayüzler ve bu arayüzler arasındaki veri alışverişi fiziksel bir şema olarak bu görünüm içerisinde yer almaktadır. Bu fiziksel şema genellikle birlikte çalışabilirlik gereksinimleri için kullanılmaktadır.
Sistem Görünümü	SV-12	Geliştirilecek olan sistem ile bakım ve onarım bölümü arasındaki ilişkiyi gösteren görünümdür.
Edinim Görünümü	AcV-1	Program yönetimi için kullanılmakta olan görünümdür. Proje organizasyonunu ve organizasyon içerisindeki kazanımları tanımlamaktadır.
Edinim Görünümü	AcV-2	AcV-1 görünümünde olduğu gibi AcV-2 görünümü de program yönetimi için kullanılmaktadır. AcV-2 görünümünde AcV-1 görünümünden farklı olarak projenin kısıtları, riskleri ve bu kısıt ve risklerin nasıl yönetileceğine dair içerikler yer almaktadır.
Teknik Görünüm	TV-1	Teknik standartları içeren görünümdür.
Teknik Görünüm	TV-2	Teknik standartların gelecekte nasıl değişebileceği ile alakalı tahminleri içeren görünümdür.
Tüm Görünümler	AV-1	Projenin içeriği ile ilgili genel bilgilerin bulunduğu özet niteliğindeki görünümdür.

<b>Kategori</b>	<b>Görünüm</b>	<b>Tanım</b>
Tüm Görünümler	AV-2	MTSM kullanılarak oluşturulan dinamik mimarideki tüm bileşenlerin tanımlandığı görünümdür.

Bu tez çalışması kapsamında sunulan metodoloji Tablo 2.3'te yer alan MODAF görünümleri kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan metodoloji doğrultusunda bir İHA Sistemi ve bu İHA Sistemi'nin icra edeceği keşif ve gözetleme görevi MTSM yaklaşımı ile modellenerek operasyonel ihtiyaçların sistem mühendisliği süreçlerine dahil edilmesi sağlanmıştır.

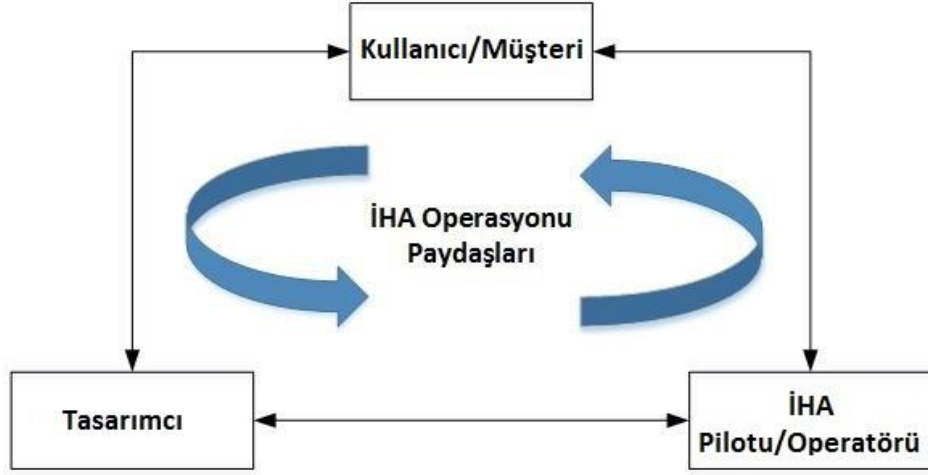
## 2.5. İHA Sistemleri

ABD Savunma Bakanlığı Askeri ve İlgili Terimler Sözlüğüne göre İHA; “bir güç sistemine sahip, üzerinde aracı kontrol eden herhangi bir insan taşımayan, aerodinamik kuvvetler sayesinde gerekli taşıma kuvvetini sağlayan, otonom bir şekilde uçabilen veya bir pilot/operatör tarafından uzaktan kontrol edilebilen, karşı tarafa zarar veren veya vermeyen, faydalı yükler taşıyabilen hava aracı” olarak tanımlanmaktadır. İHA sistemleri ise hava aracı sistemi ve yer istasyonu sistemi üzere iki ana sistemden oluşan yapılardır [15].

İHA sistemleri son yıllarda farklı amaçlar doğrultusunda sıkça kullanılmaktadır. İHA sistemlerinin özellikle askeri alanda sıklıkla kullanılmasının sebepleri aşağıdaki gibi özetlenebilir [15]:

- Tehlikeli görevlerde insanlı hava araçları yerine İHA sistemleri kullanılarak pilot kaybının önüne geçilebilmesi
- Otonom İHA sistemleri ile operasyonel görevlerdeki insan hatası faktöründen kaçınılabilmesi
- İnsanların dayanamayacağı atmosferik koşullarda İHA sistemlerinin rahatlıkla görev yapabilmesi

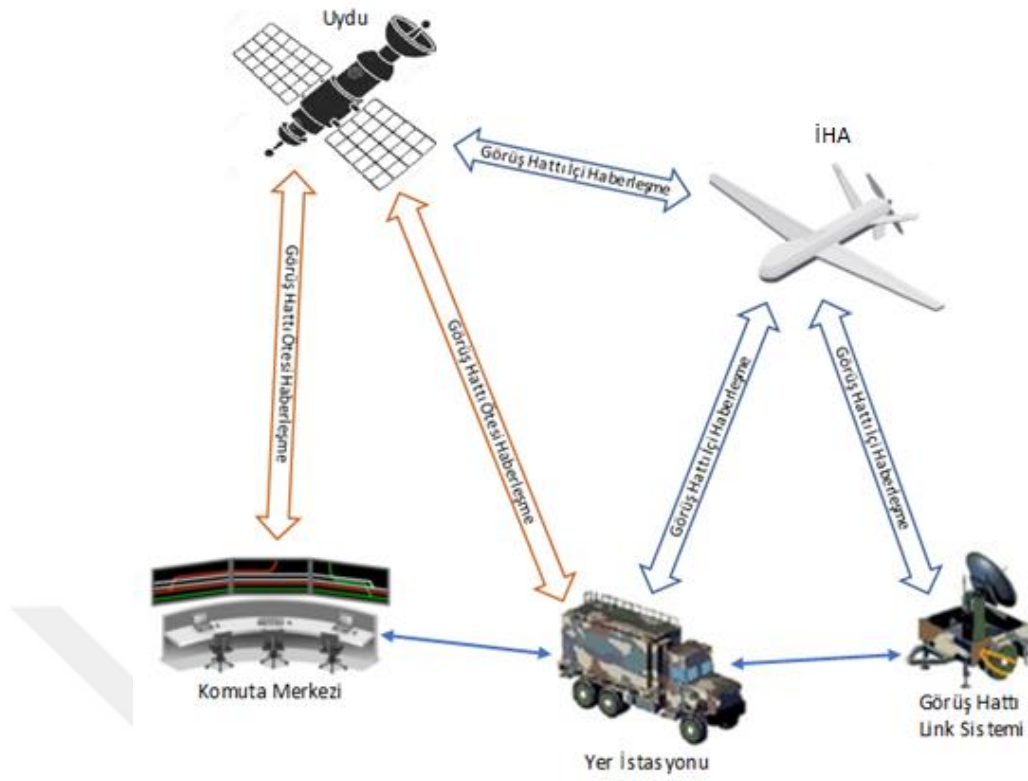
Şekil 2.9'da bir İHA operasyonunun paydaşları gösterilmektedir. Buna göre operasyonda yer alan İHA sisteminin tasarımcıları, sistemi kontrol eden İHA pilotu/operatörü ve kullanıcı/müşteri sistemin ana paydaşlarıdır [16,17].



Şekil 2.9. İHA operasyonu paydaşları [17]

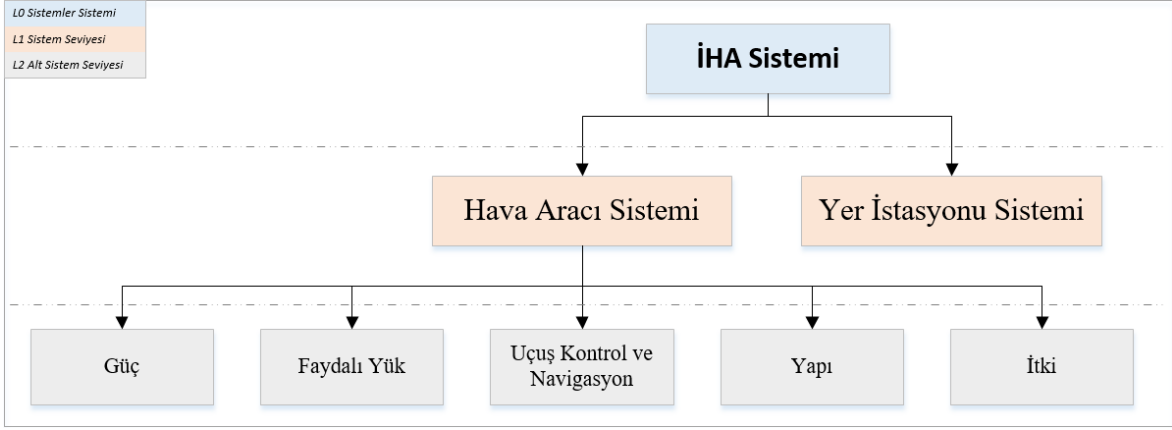
Başlangıçta askeri alanda daha çok keşif ve gözetleme görevlerinde kullanılan İHA sistemleri günümüzde füze ve bomba gibi ağır faydalı yükler taşıyabilir duruma gelmiş ve saldırı görevlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Yakın gelecekte çoğu görev için öncelikle İHA sistemlerinin tercih edileceği, yeni tasarlanacak olan savaş uçaklarının da bu mantık ile değişim geçireceği ve pilotsuz savaş uçaklarının günümüz savaş uçaklarının yerini alacağı tahmin edilmektedir. Hatta birçok uzman yakın zamanda servise girmesi beklenen Avustralya, Kanada, Danimarka, İtalya, Hollanda, Norveç, Türkiye, İngiltere ve ABD ortak yapımı F-35 savaş uçağının ABD'nin envanterine girecek son insanlı savaş uçağı olacağını düşünmektedir [18].

Şekil 2.10'da bir İHA sistemini oluşturan alt sistemler ve bu sistemlerin operasyon ağındaki diğer sistemlerle olan arayüzleri gösterilmektedir. Operasyon ağında İHA, yer istasyonu ile hem görüş hattı içerisinde hem de görüş hattı ötesinde haberleşebilmektedir. Görüş hattı içerisindeki haberleşme yer istasyonunun bir parçası olan görüş hattı link sistemi aracılığı ile sağlanmaktadır. Görüş hattı ötesi haberleşme ise uydu aracılığı ile sağlanabilmektedir. Operasyonun planlama ve yönetim gibi önemli faaliyetlerinin gerçekleştirildiği komuta merkezi de uydu aracılığıyla hem İHA ile hem de yer istasyonu ile iletişim kurabilmektedir [17,20,21].



Şekil 2.10. İHA sistemi ve operasyon ağı [19]

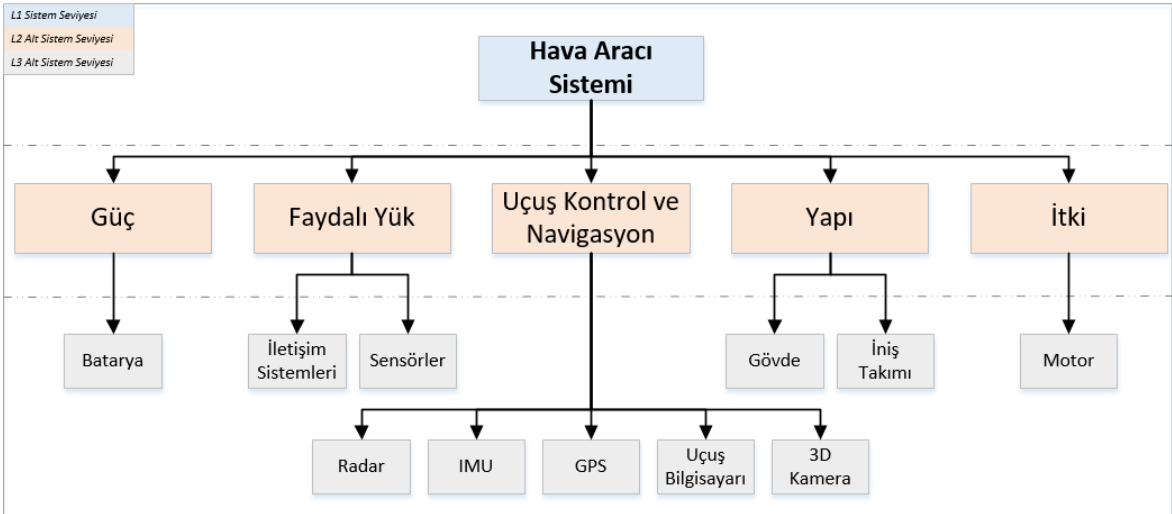
Sistem mühendisliği süreçlerine göre hava aracı sistemini ve yer istasyonu sistemini içerisine alan en üst seviye İHA sistemi “L0 sistemler sistemi seviyesi” olarak isimlendirilmektedir. Şekil 2.11’de İHA sisteminin L1 sistem seviyesindeki ve L2 alt sistem seviyesindeki alt sistemleri gösterilmektedir. L1 sistem seviyesinde hava aracı sistemi ve yer istasyonu sistemi yer almaktadır. Hava aracı sistemi temel olarak uçuşu yapan sistemdir. Yer istasyonu sistemi ise pilot, faydalı yük operatörü ve uçuş teknisyeninin görev yaptığı sabit veya mobil istasyonlardır [17].



Şekil 2.11. İHA sistemi [17]

### 2.5.1. Hava aracı sistemi

Hava aracı sisteminin L2 ve L3 seviyelerindeki alt sistemleri Şekil 2.12’de gösterilmektedir. L2 alt sistem seviyesinde güç sistemi, itki sistemi, uçuş kontrol ve navigasyon sistemi, yapı ve faydalı yük olmak üzere beş farklı alt sistem yer almaktadır. Bu alt sistemler de bir alt seviye olan L3 alt sistem seviyesindeki bazı alt sistemlerden oluşmaktadır. Örneğin L2 alt sistem seviyesinde yer alan uçuş kontrol ve navigasyon sistemi L3 alt sistem seviyesinde yer alan radar, IMU, GPS, uçuş bilgisayarı ve 3D kamera alt sistemlerinden oluşmaktadır. Benzer şekilde L3 alt sistem seviyesinde yer alan bu alt sistemler de farklı alt sistemlerden ve bileşenlerden meydana gelmektedir [17].



Şekil 2.12. Hava aracı sistemi [17]

### **2.5.1.1. Güç sistemi**

Güç sistemi, İHA'yı oluşturan alt sistemlere ihtiyaç duydukları gücü iletmekten sorumlu olan sistemdir. Genel olarak bir bataryadan oluşmaktadır. Bu batarya, uçağın güç ihtiyacı olan tüm sistemleri ile arayüze sahiptir. Örneğin çoğu İHA'da motorun ilk çalışması bataryadan ya da harici bir elektrik kaynağından karşılanan elektriksel güç ile sağlanmaktadır. Benzer şekilde uçuş kontrol ve navigasyon sistemi altında yer alan radar, uçuş bilgisayar ve sensörler gibi birçok aviyonik ekipman da elektriksel güç ile çalışmaktadır [6].

### **2.5.1.2. İtki sistemi**

İtki sistemi temel olarak İHA'nın uçabilmesi ve görev icra edebilmesi için ihtiyaç duyduğu itkiyi sağlayan sistemdir. İHA'ların uçuş zarfı, taşıyabilecekleri faydalı yük, tavan irtifası ve menzil gibi kritik unsurlar itki sisteminin sağlayabildiği itki ile doğrudan ilişkilidir. Bu sebeple İHA'ların itki sistemleri, kullanılacakları görevlere ve bu görevlerin ihtiyaçlarına göre değişiklik göstermektedir. Yani İHA'ların kullanım amacına göre farklı itki sistemi çözümleri mevcuttur.

Bu tez çalışması kapsamında modellenen İHA Sistemi bir keşif ve gözetleme görevi için tasarlandığından ve keşif ve gözetleme görevlerinde yüksek irtifalarda uzun süreler boyunca kalabilmek ya da uzak mesafelere seyir edebilmek gibi ihtiyaçlar olabileceğinden bu İHA Sistemi için havada kalış süresi, tavan irtifası ve menzil gibi unsurlar kritiktir. Dolayısıyla bu İHA Sistemi için itki sistemi çözümü bu unsurlar dikkate alınarak yapılmalıdır. Örneğin itki sistemi olarak elektrik motoru kullanan İHA'larda sessiz uçuş bir avantajken havada kalma süreleri sınırlı olduğundan keşif ve gözetleme görevi için içten yanmalı motor gibi bir sistem çözümü düşünülmesi daha uygun görünmektedir. İçten yanmalı motorlar diğer motorlara kıyasla düşük ağırlığa sahip olduklarından ve yüksek itki sağlayabildiklerinden keşif ve gözetleme görevi için İHA'ların operasyonel ihtiyaçlarını karşılayabilecek türde motorlardır [6,15,22].

İHA'lar için kullanımı yaygınlaşan bir diğer itki sistemi çözümü ise içten yanmalı motorlar ile elektrik motorlarının bir arada kullanımı ile ortaya çıkan hibrit elektrikli motorlardır. Bu tür motorlar elektrik motorlarının ve içten yanmalı motorların avantajlarını birleştirerek hem sessiz bir uçuş hem de elektrik motorlarına göre daha uzun havada kalma

süresi sağlayabilmektedirler. Ancak yine de uçuş süresi açısından içten yanmalı motorlara kıyasla yetersiz kalmaktadırlar [15].

Yakıt hücrelerine dayanan itki sistemleri ve güneş enerjisi ile çalışan itki sistemleri de alternatif itki sistemi çözümleridir. Günümüzde özellikle güneş enerjisi ile çalışan itki sistemleri için temiz enerji kapsamında ciddi çalışmalar yapılmaktadır ancak bu çalışmalar henüz deneysel aşamadır. Mevcut pil teknolojisi güneş enerjili itki sistemlerine sahip İHA'ların ancak bazı basit görevlerde kullanımına imkân tanımaktadır. Güneş enerjili itki sistemi çalışmalarının belirli bir olgunluk seviyesine ulaşması fosil yakıtta olan bağımlılığın önüne geçilmesini sağlayabilecek, böylelikle operasyonel maliyetler büyük oranlarda düşürülebilecektir [15,23].

### **2.5.1.3. Uçuş kontrol ve navigasyon sistemi**

Uçuş kontrol ve navigasyon sistemi; radar, IMU (Inertial Measurement Unit, Atalet Ölçüm Ünitesi), uçuş bilgisayarı ve 3D kamera gibi alt sistemlerden oluşmaktadır. Bu alt sistemler İHA türlerine göre farklılık gösterebilmekle birlikte, bu tez çalışması kapsamında modellenen İHA Sistemi'nin alt sistemleri keşif ve gözetleme görevini yerine getirebilecek temel bir İHA Sistemi olarak tasarlanmıştır [17].

Uçuş kontrol sistemi; radar, IMU, GPS ve 3D kamera verilerini uçuş kontrol bilgisayarı ile işleyerek servolar yardımı ile İHA'nın hareketini ve yönlendirmesini sağlayan sistemdir. İHA'larda uçuş kontrol ve navigasyon sistemleri genellikle bazı modlar içermektedir. Manuel kontrol modu bu modlardan bir tanesidir. Manuel kontrol modunda pilot/operatör yer istasyonundan İHA'yı neredeyse gerçek zamanlı olarak kontrol edebilmektedir. Tam otonom olarak uçabilen İHA'larda ise tam otonom uçuş modunda İHA önceden belirlenen rota boyunca otonom olarak uçabilmektedir. Bu modlar dışında kısmi otonom uçuşu sağlayan başka modlar da mevcuttur [24].

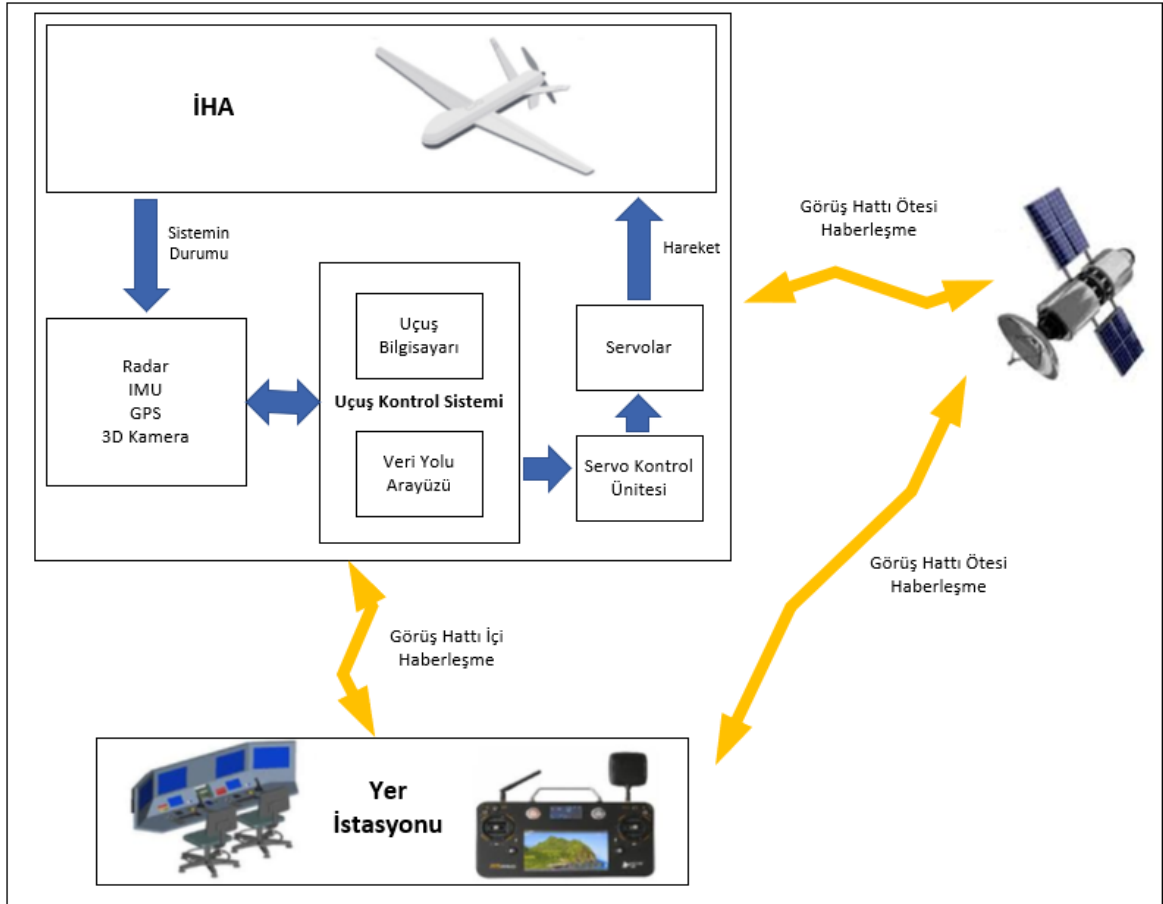
Navigasyon sistemi İHA için gerekli olan enlem, boylam, yükseklik, ivme, hız, zaman ve durum verilerinin elde edilmesinden sorumlu olan sistemdir. Elde edilen bu veriler uçuş kontrol sistemi tarafından İHA'nın hareketi için kullanılmaktadır. Uçuş kontrol sistemi için gerekli olan temel sensörler aşağıdaki gibi özetlenebilir [24]:

- Yere göre hızı ve pozisyonu belirleyebilmek için Global Navigation Satellite System (GNSS)
- Hava hızının ölçülebilmesi için pito-statik borusu



- Üç boyutta doğrusal ivmelenme ve açısal hız ölçümleri için atalet sensörleri

Şekil 2.13’de bir İHA sistemi için uçuş kontrol ve navigasyon sisteminin çalışma prensibi gösterilmektedir. Radar, IMU, GPS ve 3D kamera sistemleri navigasyon sisteminin altında yer alan alt sistemlerdir. Bu alt sistemler uçuş kontrol sistemi ile arayüze sahiptir ve otonom uçuş modunda ya da kısmi otonom uçuş modlarında bu arayüz aracılığı ile uçuş kontrol sistemine gerekli veriler iletilmektedir. İletilen verilerin uçuş bilgisayarındaki kontrol algoritmaları aracılığıyla işlenmesi ile İHA’nın üç eksende yapacağı hareket komutları belirlenmektedir. Bu hareket komutlarının servo kontrol ünitesi aracılığı ile servolara aktarılmasıyla İHA’nın hareketi sağlanmaktadır. Navigasyon sisteminin yaptığı tüm hesaplamalar ve ürettiği tüm veriler uçuş öncesinde planlanan rota ve bu rota üzerindeki kontrol noktalarına göre yapılmaktadır [19].



Şekil 2.13. Uçuş kontrol ve navigasyon sistemi [19]

#### **2.5.1.4. Yapı**

Bir İHA sisteminin temel amacı icra edilecek olan görev sebebiyle taşınan faydalı yükleri görev kapsamında belirlenen koordinatlara götürmek, görevi icra etmek ve geri dönmektir. Faydalı yüklerle birlikte İHA'ları oluşturan alt sistemlerin de taşınması bir zorunluluktur. Tüm bu faydalı yükler ve alt sistemler yapı tarafından bir arada tutulmaktadır [15].

İHA'ların yapısal tasarımı ve yapıların malzeme seçimi bu sistemlerin türüne ve icra edilecek olan göreve göre değişiklik göstermektedir. Düşük yakıt tüketimi ve yüksek performans her İHA için kritik parametrelerdir. Bu parametreler verimli bir itki sistemi ve aerodinamik açıdan uygun bir gövde yapısı ile sağlanabilmektedir. Örneğin keşif ve gözetleme görevinde kullanılacak bir İHA'da yapı için dayanıklı bir malzemenin kullanılması, görev yüksek irtifada icra edileceği için İHA'nın yüksek kanat açıklık oranına sahip olması ve sabit kanatlı olması önemli bir gereksinimdir [15,21].

#### **2.5.1.5. Faydalı yük**

Faydalı yük bir hava aracının sahip olduğu taşıma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Hava araçlarının türüne göre değişebilmekle birlikte bir İHA için faydalı yük genellikle iletişim sistemleri, sensörler, silah sistemleri ve kargodan oluşmaktadır. İHA'nın yapısına ve tasarımına göre bu faydalı yükler dahili veya harici olarak taşınabilmektedir [16,25].

İHA'larda faydalı yük olarak taşınmakta olan iletişim sistemleri, yer istasyonu ile İHA arasında çift yönlü haberleşmeyi sağlamaktadır. Kontrol komutları, uçuş güzergahı ve konum bilgileri yer istasyonundan İHA'ya devamlı olarak iletilmektedir. Aynı şekilde İHA'nın yakıt bilgisi, faydalı yük bilgisi ve sağlık bilgisi gibi kritik verilerini içeren durum bilgisi de anlık olarak İHA'dan yer istasyonu'na iletilmektedir [15,16,25].

Şekil 2.13'de İHA ile yer istasyonu arasındaki haberleşme kanalları gösterilmektedir. Görüş hattı içerisinde genellikle Radyo Frekansı (RF) kullanılarak haberleşme sağlanmaktadır. RF ile haberleşmede maksimum menzil yaklaşık olarak 370 km'dir. Bu mesafenin ötesindeki her türlü haberleşme aktivitesi görüş hattı ötesi haberleşme olarak adlandırılmaktadır. Görüş hattı ötesi haberleşme için uydu servisleri kullanılmaktadır. Uydu servisleri kullanılarak yapılan haberleşmelerde menzil 960 km mesafeye kadar ulaşabilmektedir [15,16,25].

İHA'lar icra edecekleri görev doğrultusunda birçok farklı sensörü faydalı yük olarak taşıyabilmektedir. Günümüzde gerek İHA'larda gerekse diğer gelişmiş hava araçlarında en çok kullanılan sensörler; elektro-optik sensörler, RF sensörleri, Kimyasal Biyolojik Radyolojik ve Nükleer (KBRN) Tehdit sensörleri ve meteorolojik sensörlerdir [16,25].

Termal kızılötesi sensörler, elektro-optik sensörler içerisinde en yaygın olarak kullanılan sensörlerdir. Bu sensörler belirli bir sıcaklık yayan nesnelerin yaydığı kızılötesi dalgaları tespit ederek görüntüleme yapmaktadır. Termal kızılötesi sensörler herhangi bir ışık kaynağı olmaksızın görüntüleme yapabilmektedir. Birçok operasyonel görev için bu özellik kritik önem taşımaktadır [15].

RF sensörlere örnek olarak ise radar sistemleri verilebilir. Radar sistemleri radyo dalgalarını ve mikrodalga sinyallerini kullanarak belli bir çevre içerisindeki cisimlerin uzaklığını, yönünü ve hızını tespit edebilmektedir. Güç tüketimi, ağırlık ve boyut gibi sebeplerle daha önce İHA'larda kullanımı mümkün olmayan radar sistemleri son dönemlerde geliştirilen Synthetic Aperture Radar (SAR) teknolojisi ile İHA'larda da kullanılmaya başlanmıştır [15].

KBRN tehdit sensörleri kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer tehditlerin tespit edilebilmesi amacıyla kullanılmaktadır. İnsanlar için öldürücü seviyede tehlikeli olabilecek bu ortamlarda İHA'lar görüntüleme yapabilmekte ve veri sağlayabilmektedir. Meteorolojik sensörler ise hava durumu ile alakalı verilerin tespiti için kullanılmaktadır [15,25].

Yeni nesil İHA'ların faydalı yük taşıma kapasitesi yapısal tasarım ve itki sistemlerindeki gelişmelerle paralel olarak artış göstermiştir. Bu tip İHA'lar yüksek ağırlık ve boyutlardaki silah sistemlerini ve kargoları taşıyabilmekte ve saldırı görevlerinde aktif olarak kullanılabilirler [15,25].

Şekil 2.12'de alt sistemleri ile birlikte gösterilmekte olan İHA Sistemi bir keşif ve gözetleme görevi için tasarlanmış olduğundan faydalı yük olarak iletişim sistemlerini ve görüntüleme sensörlerini taşımakta, herhangi bir silah sistemi veya kargo taşımamaktadır.

### **2.5.2. Yer istasyonu sistemi**

Yer istasyonu sistemi L1 sistem seviyesinde yer alan bir diğer sistemdir. Yer istasyonu sistemi genellikle yerde, bazı durumlarda ise denizde veya uçak üzerinde konuşlandırılan; görevin ve İHA'nın yönetildiği sistemdir. Yer istasyonu içerisinde yer alan İHA pilotu iletişim sistemi aracılığıyla İHA ile bağlantı kurarak uçuşu yönetmektedir. Yer istasyonu ile

İHA arasındaki veri bağlantısı sayesinde her türlü veri iki yönlü olarak iletilebilmektedir. Ayrıca yer istasyonu sistemlerinde genellikle faydalı yüklerin yönetilmesinden sorumlu bir de operatör bulunmaktadır [15,16].

Yer istasyonu sistemi de tıpkı İHA sistemi gibi bazı alt sistemlerden oluşmaktadır. İHA sistemlerinin türüne göre değişebilmekle birlikte bu alt sistemleri “görüş hattı link sistemi”, “güç dağıtım sistemi”, “hava aracı yönetim sistemi” ve “faydalı yük yönetim sistemi” olarak genellemek mümkündür. Yer istasyonu sisteminin L2 alt sistem seviyesindeki alt sistemleri bu tez çalışmasının kapsamında yer almamaktadır [15,16].

### **2.5.3. İHA sistemlerinin kullanıldığı temel görevler**

İHA sistemleri gerek askeri amaçlarla gerekse toplumsal amaçlarla çeşitli görevlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Askeri açıdan bakıldığında özellikle 2000’li yılların başından itibaren birçok ülke İHA sistemlerinin savaşlardaki anahtar rolünü fark ederek kendi özgün İHA sistemini tasarlamış ve üretmiştir. Bugün İHA sistemleri ağ merkezli savaş (network-centric warfare) kavramının en etkin aktörlerinden biri haline gelmiştir [15,26].

#### **2.5.3.1. Keşif ve gözetleme görevi**

Keşif ve gözetleme görevi İHA sistemlerinin askeri alanda en çok kullanıldığı görevdir. İHA sistemleri sensörler aracılığıyla keşif ve gözetleme görevinin icra edileceği alana ait verileri elde edebilmektedir. Elde edilen bu veriler neredeyse gerçek zamanlı olarak iletişim sistemleri aracılığı ile yer istasyonuna aktarılmaktadır. Tüm bu veriler analiz edilerek istihbarata dönüştürülmekte ve görevin sonraki aşamaları bu istihbarata dayanarak planlanmaktadır [16,21].

#### **2.5.3.2. Saldırı görevi**

Günümüzdeki İHA sistemleri gelişmiş faydalı yük taşıyabilme kapasiteleri ile mühimmat taşıyabilmekte ve saldırı görevlerinde aktif olarak kullanılabilir. Silahlı İnsansız Hava Aracı (SİHA) olarak adlandırılan bu sistemler pilot kaybının önüne geçmek amacıyla riskli görevlerde tercih edilebilmektedir [16].

### **2.5.3.3. Muharebe irtibatı görevi**

İHA sistemleri muharebe alanında farklı birimler arasındaki haberleşmeyi sağlamak için kullanılabilir. Genellikle zemin ve yer şekilleri gibi çevresel faktörler sebebiyle, bazen de sistemsiz sıkıntılar nedeniyle muharebe sırasında bazı birimler arasında haberleşme sorunları yaşanabilmektedir. Bu tür durumlarda İHA sistemleri muharebe irtibatı görevinde aktarıcı olarak kullanılarak veri alışverişinin sağlanmasına yardımcı olmaktadır [16,21].

### **2.5.3.4. Elektronik Harp (EH) görevi**

İHA sistemleri faydalı yük olarak EH podları taşıyabilmekte ve EH görevlerinde kullanılabilir. EH görevleri hem bazı karıştırma teknikleri ile düşman birimlerine saldırma görevlerini hem de benzer tekniklerle görevi icra eden İHA sistemini ve diğer dost birimleri koruma görevlerini kapsamaktadır [16].

### **2.5.3.5. Muharebe arama kurtarma görevi**

İHA sistemleri muharebe arama kurtarma görevleri için oldukça uygun sistemlerdir. Faydalı yük olarak taşınan elektro-optik sensörler sayesinde kurtarılması ve geri getirilmesi önem taşıyan kritik unsurların (insanlar veya nesnelere) yerleri tespit edilebilmektedir.

Muharebe arama kurtarma görevi ile keşif ve gözetleme görevi benzer görevlerdir. Bu iki görev arasındaki fark; keşif ve gözetleme görevinde amaç bir bölge veya yapı hakkında bilgi toplamakken muharebe arama kurtarma görevinde amaç bulunması ve geri getirilmesi önem taşıyan bir unsur hakkında bilgi toplamaktır [16,21].

### **2.5.3.6. KBRN tarama görevi**

İHA sistemleri KBRN tehdidi olan ve insanlar için risk taşıyan bölgelerde faydalı yük olarak taşınan KBRN sensörleri yardımıyla tarama görevi yapabilmekte ve veri toplayabilmektedir [16].

### **2.5.3.7. Hedef-Yem görevleri**

İHA sistemleri düşük görünürlüğe sahip, yani radarlar tarafından kolayca tespit edilemeyen hava araçlarına veya gelişmiş hava savunma sistemlerine karşı yem olarak kullanılarak bu hedeflerin konumlarının saptanmasında kullanılabilir [27].

### **2.5.3.8. Taşıma görevleri**

İHA sistemleri çevresel şartlar ya da savaş ortamı sebebiyle ulaştırılması güç olan insani yardım, gıda ya da mühimmat gibi kargoları faydalı yük olarak taşıyabilmekte ve bu kargoların aktarımını sağlayabilmektedir [16,21].

### **2.5.3.9. Çevresel görevler**

İHA sistemleri meteorolojik ölçümler, ses ölçümleri, iklim ölçümleri ve atmosferik ölçümler gibi çevresel görevler için kullanılabilir. Örneğin İHA teknolojilerinden önce yalnızca balonlarla yapılabilen hava durumu ölçümleri artık üzerinde meteorolojik sensörler barındıran bir İHA sistemi tarafından da kolaylıkla yapılabilmektedir [21].



Metodolojide belirtilen süreç sistem alanında İHA Sistemi'nin ve operasyonel alanda keşif ve gözetleme görevinin modellenmesi ile başlamaktadır. Operasyonel alanda MODAF görünüşlerinden OV-1a, OV2, OV3 ve OV5 görünüşleri kullanılmaktadır. Burada ilk olarak OV-1a görünüşü ile keşif ve gözetleme görevinin grafiksel bir tasviri sunulmaktadır. Daha sonra OV-2 görünüşü altında Bağlantı Diyagramı ve Yapı Diyagramı kullanılarak icra edilecek olan operasyonel görevde yer alacak olan aktörler ve bu aktörler arasındaki arayüzler tanımlanmaktadır. OV-2 görünüşünde aktörlerin ve aktörler arasındaki arayüzlerin tanımlanmasının ardından OV-5 görünüşü ile keşif ve gözetleme görevi operasyonel ortamda bir akış diyagramı şeklinde modellenmektedir. Bu model hem göreve ait operasyonel aktiviteleri hem de görevde yer alan aktörler arasındaki arayüzleri içermektedir. OV-5 görünüşü ile elde edilen bu arayüzler OV-3 Operasyonel Arayüz Matrisi'nde tutulmaktadır. Bu matriste yer alan tüm arayüz verileri Information Exchange Requirement (IER) adı verilen arayüz gereksinimlerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Sistem alanında MODAF görünüşlerinden SV-1, SV-2, SV-3, SV-4 ve SV-5 görünüşleri kullanılmaktadır. Burada ilk olarak SV-1 görünüşü kullanılarak görevde yer alacak sistemler belirtilmektedir. SV-1 görünüşünün ardından SV-2 görünüşü modellenmektedir. SV-2 görünüşünde, SV-1 görünüşünde tanımlanan sistemler ve alt sistemler arasındaki arayüzler gösterilmektedir. SV-2 görünüşünün modellenmesinin ardından SV-4 görünüşü ile keşif ve gözetleme görevi fonksiyonel akış diyagramı olarak analiz edilmektedir. Bu analiz İHA Sistemi için alt sistem seviyesi detayında fonksiyon atamasını içermektedir. Sistem alanında son olarak SV-5 görünüşü kullanılarak OV-5 görünüşünde tanımlanan operasyonel aktiviteler ile SV-4 görünüşünde tanımlanan sistem fonksiyonları eşleştirilmektedir. Yapılan bu eşleştirme faaliyeti sonucunda L1 sistem seviyesinde bir fonksiyon seti elde edilmektedir. Daha sonra bu fonksiyonlar uygun gereksinim cümleleri kullanılarak fonksiyonel gereksinimlere çevrilmektedir.

Metodolojinin çıktısı L1 sistem seviyesinde, içerisinde operasyonel ihtiyaçları yansıtan arayüz gereksinimlerini ve fonksiyonel gereksinimleri barındıran bir gereksinim setidir. Bu gereksinim seti ile kullanıcı/müşteri gereksinimleri arasında bir boşluk analizi yapılarak operasyonel ihtiyaçların tasarıma yansması ve sürece MTSM girdisi yapılması sağlanmaktadır.



MTSM girdisi ile güncellenen L1 sistem seviyesi gereksinimleri sonraki süreçte fonksiyon ve mimari çalışmalarında kullanılmaktadır. Sistem mühendisliği faaliyetleri alt sistemlerde de aynı süreç ile devam ettirilmektedir.

### 3.2. Kullanıcı/Müşteri Gereksinimleri

Kullanıcı/müşteri gereksinimleri ürün yaşam döngüsünün en başında kullanıcı/müşteri ihtiyaçları ve geçmiş projelerden edinilen tecrübeler doğrultusunda hazırlanan gereksinim setleridir. Bu gereksinimler hazırlanırken İHA Sistemi ve İHA Sistemi'nin kullanılacağı operasyonel ortam modellenmediğinden operasyonel ihtiyaçların tam olarak tespit edilebilmesi ve gereksinim setine dâhil edilmesi mümkün olmamaktadır.

Operasyonel ihtiyaçların gereksinim olarak tanımlanabilmesi ve tasarımı şekillendirebilmesi için MTSM ile İHA Sistemi ve İHA Sistemi'nin icra edeceği keşif ve gözetleme görevi modellenmektedir. Bu modellerden elde edilen gereksinimler ile **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilmekte olan, bu tez çalışması için varsayımsal olarak oluşturulmuş kullanıcı/müşteri gereksinimleri arasında bir boşluk analizi yapılarak sürecin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Boşluk analizinin sonucunda MTSM yaklaşımının gereksinimlerin tanımlanması ve sistemin tasarlanması üzerindeki etkisi de görülebilecektir.

Tablo 3.1. Kullanıcı/Müşteri gereksinimleri

Gereksinim Numarası	Gereksinim
1	İHA Sistemi gece ve gündüz keşif ve gözetleme görevi yapabilmelidir.
2	İHA Sistemi belirlenen alanlarda arama yapabilmelidir.
3	İHA Sistemi sabit ve hareketli hedefleri tanımlayabilmelidir.
4	İHA Sistemi sabit ve hareketli hedefleri takip edebilmelidir.
5	İHA Sistemi'nin hava aracı alt sistemi ile yer istasyonu alt sistemi arasında gerçek zamanlı veri alışverişi yapılabilirdir.
6	İHA Sistemi hava aracı, yer istasyonu ve görüş hattı link sisteminden oluşmalıdır.
7	İHA Sistemi farklı sistemler arasında iletişim kurulması amacıyla aktarıcı olarak kullanılabilirdir.

<b>Gereksinim Numarası</b>	<b>Gereksinim</b>
8	İHA Sistemi faydalı yük olarak keşif ve gözetleme görevinde kullanılacak olan sensörleri taşıyabilmelidir.
9	İHA Sistemi faydalı yük olarak askeri mühimmat taşıyabilmelidir.
10	İHA Sistemi şifreli (kriptolu) veri alışverişi yapabilmelidir.
11	İHA Sistemi otonom iniş yapabilmelidir.
12	İHA Sistemi otonom kalkış yapabilmelidir.
13	İHA Sistemi otonom uçuş yapabilmelidir.
14	İHA Sistemi taksi yapabilmelidir.
15	İHA Sistemi alt sistem sağlık bilgisi üretebilmelidir.
16	İHA Sistemi tüm uçuş boyunca 3D kamera ile veri kaydedebilmelidir.
17	İHA Sistemi'nin kritik alt sistemleri uçuş sırasında yaşanabilecek olası arızalara karşı yedekli olmalı ve uçuş etkilenmemelidir
18	İHA Sistemi'ne görev planı yüklenebilmelidir.
19	İHA Sistemi'ne görev planı güncellemeleri iletilebilmelidir.
20	İHA Sistemi'nin yer istasyonu sistemi taşınabilir olmalıdır.
21	İHA Sistemi meteorolojik koşullardan etkilenmeyecek şekilde dört mevsim boyunca çalışabilmelidir.

Tablo 3.1'de de görüldüğü üzere kullanıcı/müşteri gereksinimleri L0 seviyesi için yazılmış, genel olarak sistemden beklenen özelliklerin tanımlandığı gereksinimlerdir. Burada kullanıcı/müşteri, ihtiyaçları doğrultusunda sahip olmak istediği sistemi tasvir etmektedir. Ancak yapılan tasvir herhangi bir analiz çalışması içermediğinden bu tasvir üzerinde gereksinim analizi çalışması gerçekleştirilerek doğrulanabilir, ihtiyaçlara uygun, operasyonel ve teknik parametreleri belirlenmiş gereksinimler elde edilmesi gerekmektedir.

### **3.3. MTSM Modelleme Aracı**

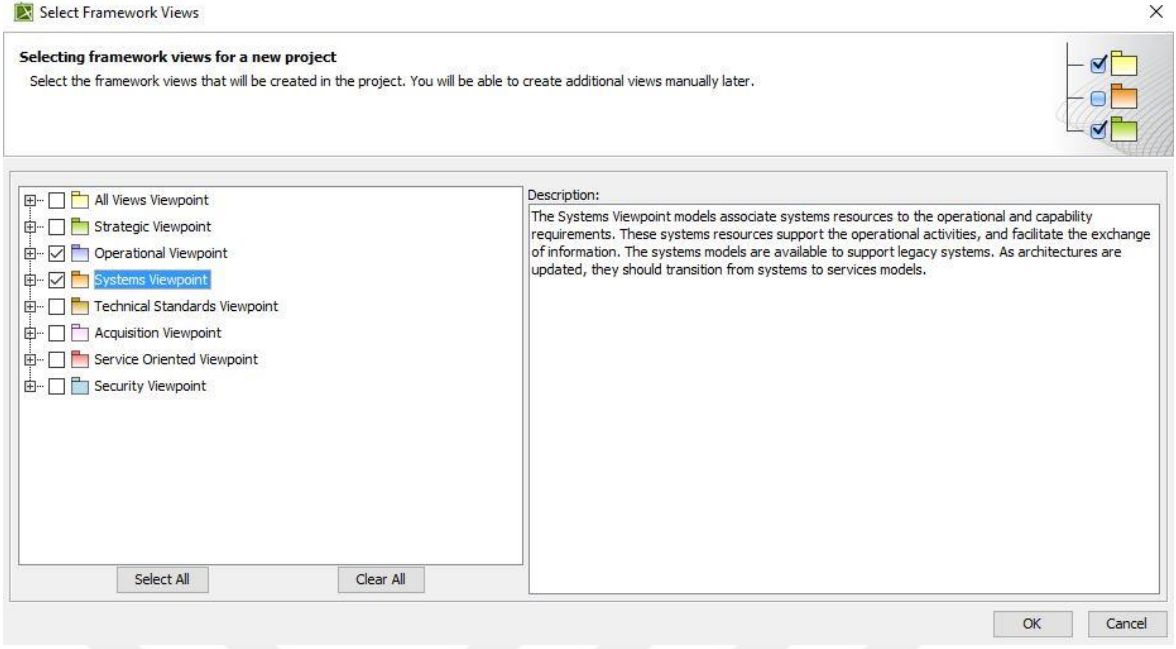
MTSM modelleme araçları sistem mühendisliği faaliyetlerinde MTSM kullanımını desteklemek ve kolaylaştırmak amacıyla kullanıcılara bir arayüz sunan yazılımlardır. Farklı fiyat aralıklarında ve farklı kabiliyetlere sahip modelleme araçları bulunmaktadır. Örneğin

bazı modelleme araçları az sayıda insanın bulunduğu küçük gruplar için uygunken bazıları ise projedeki tüm paydaşların yararlanabileceği bir ortam sunabilmektedir. Benzer şekilde bazı modelleme araçları harici yazılımlar ile arayüz kurarak birlikte çalışabilmektedir [28].

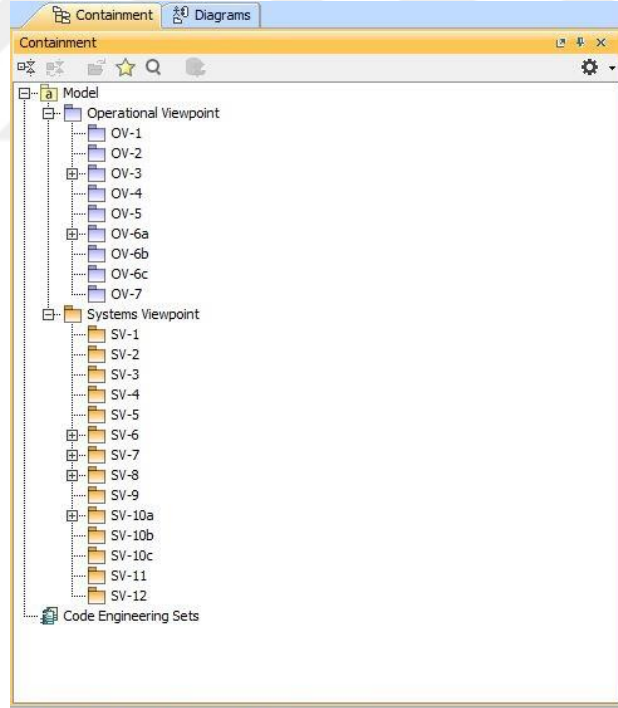
Sparx Systems Engineering Architect, Vitech CORE Spectrum, GENESYS, IBM Rational Rhapsody ve No Magic MagicDraw modelleme araçları MTSM uygulanan ürün geliştirme projelerinde en çok kullanılan modelleme araçlarından bazılarıdır. Özellikle IBM tarafından geliştirilen Rational Rhapsody ve No Magic tarafından geliştirilen MagicDraw modelleme araçları tüm MTSM kabiliyetlerini destekledikleri ve projedeki tüm paydaşlar tarafından kullanılmaya elverişli oldukları için sıklıkla tercih edilmektedirler. Ayrıca bu modelleme araçları üçüncü parti yazılımlar ile bağlantı kurarak birlikte çalışabilmektedir [28].

Bu tez çalışması kapsamında yürütülmüş olan modelleme faaliyetlerinde NoMagic şirketinin modelleme aracı olan MagicDraw'un 19.0 sp2 sürümü kullanılmıştır. MagicDraw modelleme aracı, MODAF içerisinde yer alan görünüm için hazır şablonlar sunmaktadır. Bu şablonların kullanımı, ihtiyaç duyulan MODAF görünümünün daha kolay ve daha hızlı şekilde hazırlanmasını sağlayarak süreci hızlandırmaktadır.

Şekil 3.2'de MagicDraw Modelleme Aracı'nın içerisinde yer alan MODAF şablonları gösterilmektedir. Bu tez çalışmasında oluşturulmuş olan metodolojinin sistem alanını ve operasyonel alanı kapsamı sebebiyle modelleme faaliyetlerine bu iki alan seçilerek başlanmıştır.

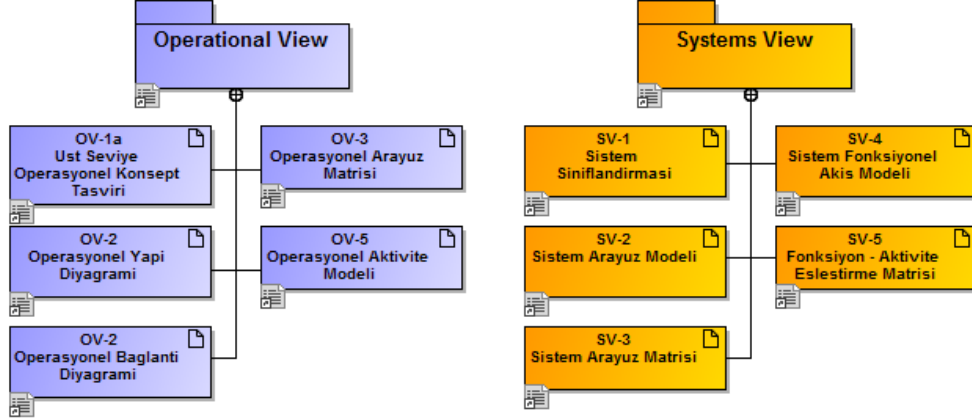


Şekil 3.2. MagicDraw modelleme aracının içerisinde yer alan MODAF şablonları



Şekil 3.3. MagicDraw araç çubuğu

Modelleme yapılacak olan alanların seçilmesinin ardından bu alanlara ait görünümür Şekil 3.3’de gösterilmekte olan araç çubuğuna modelleme aracı tarafından boş şablonlar olarak eklenmiştir. Araç çubuğuna eklenmiş görünümür içerisinde metodolojide yer alan görünümür seçilmiş ve modelleme faaliyetlerinde bu görünümür kullanılmıştır. Modelleme faaliyetlerinde kullanılan görünümür Şekil 3.4’te gösterilmektedir.



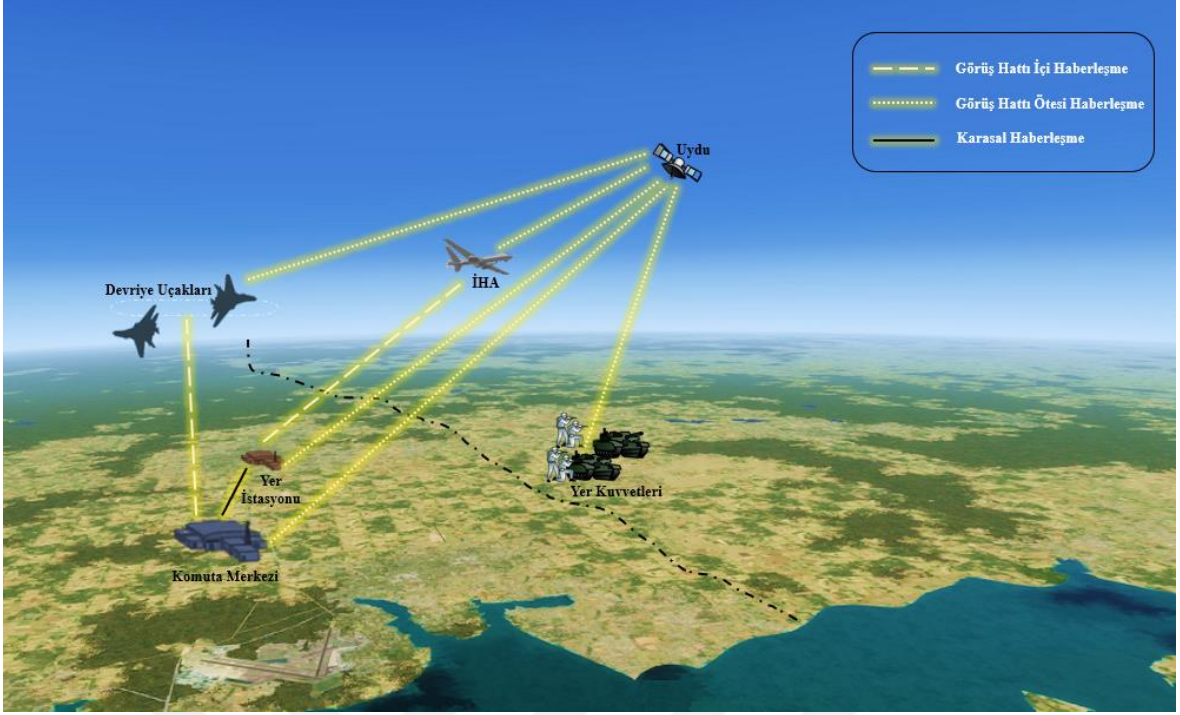
Şekil 3.4. MagicDraw ile modellenen görünümür

### 3.4. Keşif ve Gözetleme Görevinin Modellenmesi

Keşif ve gözetleme görevi operasyonel alan içerisinde yer alan, aşağıda listelenmiş görünümür kullanılarak modellenmiştir.

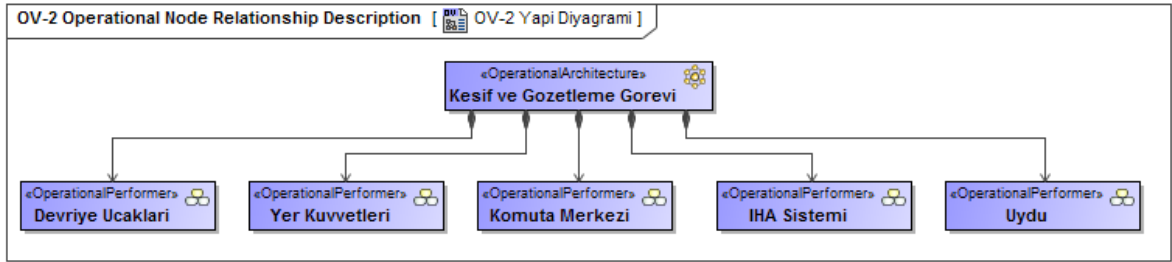
- OV-1a Üst Seviye Operasyonel Konsept Tasviri
- OV-2 Operasyonel Yapı Diyagramı
- OV-2 Operasyonel Bağlantı Diyagramı
- OV-3 Operasyonel Arayüz Matrisi
- OV-5 Operasyonel Aktivite Modeli

Keşif ve gözetleme görevine ait Üst Seviye Operasyonel Konsept Tasviri Şekil 3.5’te gösterilmektedir. Bu tasvirde keşif ve gözetleme görevinde yer alacak olan aktörler ve bu aktörler arasındaki haberleşme arayüzleri yer almaktadır. Örneğin İHA hava aracı sistemi yer istasyonu ile görüş hattı içerisinde doğrudan haberleşebilmektedir. Görüş hattının ötesindeki mesafelerde ise ancak uydu aracılığı ile iletişim kurabilmektedir.



Şekil 3.5. OV-1A üst seviye operasyonel konsept tasviri

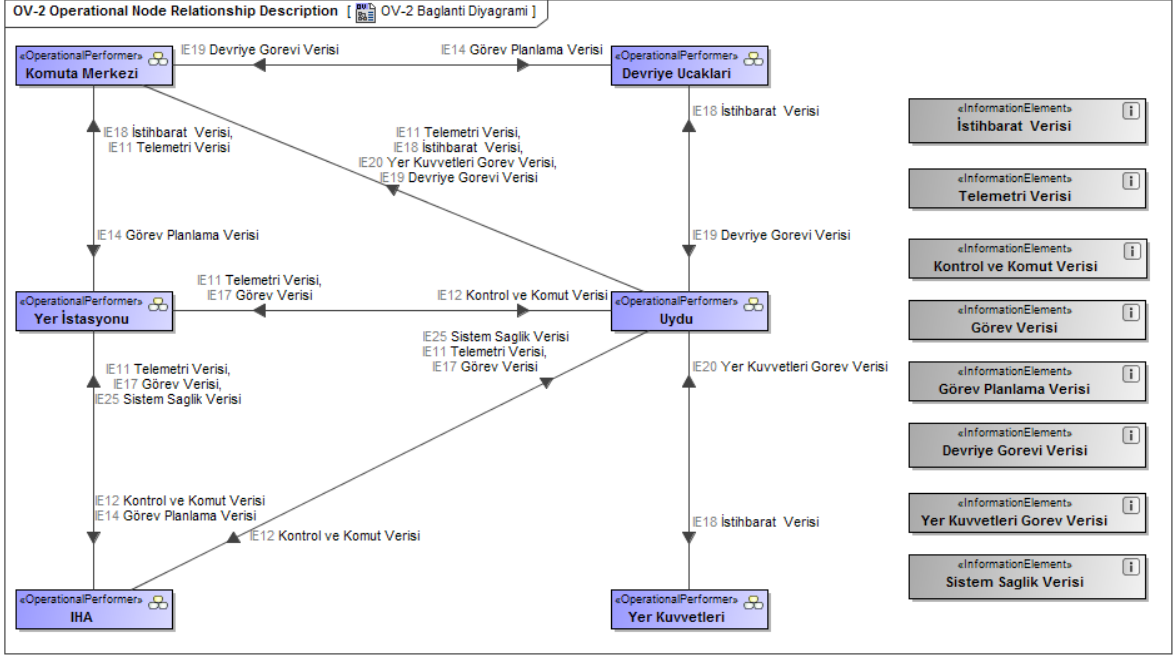
OV-1a Üst Seviye Operasyonel Konsept Tasviri'nin ardından OV-2 görünümü altında yer alan OV-2 Operasyonel Yapı Diyagramı ve OV-2 Operasyonel Bağlantı Diyagramı modellenmiştir. Şekil 3.6'da gösterilmekte olan OV-2 Yapı Diyagramı'nda, OV-1a görünümünde bir tasvir olarak sunulan aktörler bir şema olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.6. OV-2 yapı diyagramı

Şekil 3.7'de gösterilmekte olan OV-2 Bağlantı Diyagramı'nda ise OV-2 Yapı Diyagramı'nda yer alan aktörler arasındaki arayüzler belirtilmiştir. Keşif ve gözetleme

görevinde yer alan aktörler arasındaki veri alışverişini ifade etmekte olan bu arayüzler daha sonra arayüz gereksinimleri olarak tanımlanacaktır.



Şekil 3.7. OV-2 bağlantı diyagramı

Bağlantı Diyagramı'nın sağ tarafında gönderilen ve alınan veriler listelenmektedir. Örneğin İHA ile yer istasyonu arasındaki arayüzler telemetri verisi, görev verisi, kontrol ve komut verisi ve görev planlama verisinden oluşmaktadır. Bu verilerden telemetri verisi ve görev verisi İHA'dan yer istasyonuna; kontrol ve komut verisi ve görev planlama verisi ise yer istasyonundan İHA'ya iletilmektedir.

OV-1a Üst Seviye Operasyonel Konsept Tasviri, OV-2 Yapı Diyagramı ve OV-2 Bağlantı Diyagramı'nın modellenmesi ile keşif ve gözetleme görevinde kullanılacak olan aktörler, bu aktörler arasındaki arayüzler ve bu aktörlerin operasyonel ortamdaki pozisyonları belirlenmiştir. Bu görünümünden sonra modellenen OV-5 Operasyonel Aktivite Modeli'nde ise keşif ve gözetleme görevinin operasyonel akışı gösterilmektedir.

Operasyonel görevler, görevin icrasındaki sürece ve gerçekleştirilen aktivitelere göre fazlara ayrılmaktadır. Genel olarak bu fazlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

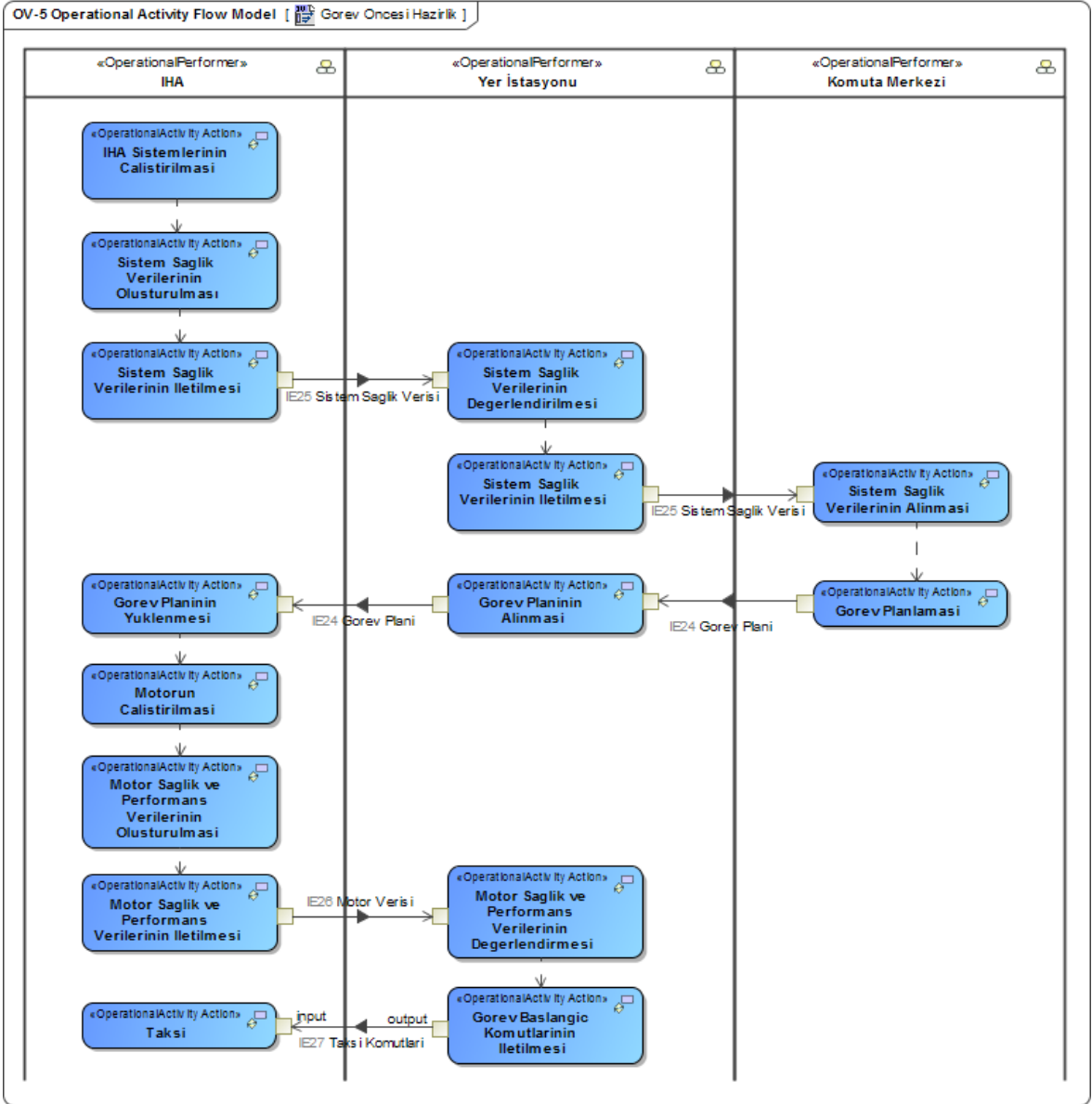
- Görev Öncesi Hazırlık Fazı
- Taksi Fazı (Görev Öncesi)

- Kalkış Fazı
- Seyir Fazı (Görev Öncesi)
- Görev Fazı
- Seyir Fazı (Görev Sonrası)
- İniş Fazı
- Taksi Fazı (Görev Sonrası)
- Görev Çözümleme Fazı

Bu tez çalışması kapsamında görev öncesi hazırlık fazı için bir Operasyonel Aktivite Modeli; taksi (görev öncesi), kalkış ve seyir (görev öncesi) fazları için bir Operasyonel Aktivite Modeli; görev fazı için bir Operasyonel Aktivite Modeli; seyir (görev sonrası), iniş ve taksi (görev sonrası) fazları için bir Operasyonel Aktivite Modeli ve görev çözümleme fazı için bir Operasyonel Aktivite Modeli olmak üzere toplamda beş farklı Operasyonel Aktivite Modeli kullanılmıştır.

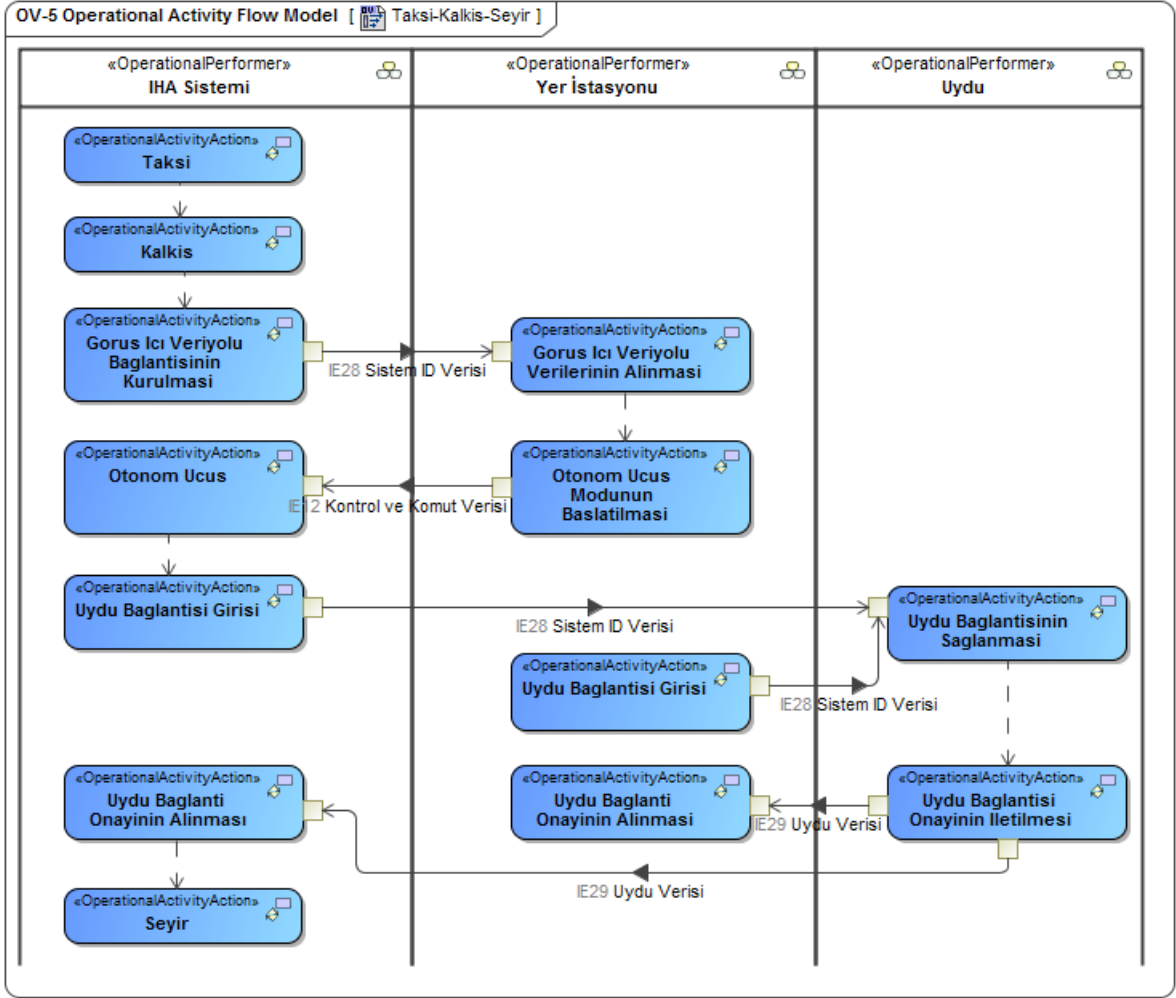
Keşif ve gözetleme görevinin başlangıç fazı olan görev öncesi hazırlık fazı için oluşturulmuş olan OV-5 Operasyonel Aktivite Modeli Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Görev öncesi hazırlık fazında aktif olarak İHA, yer istasyonu ve komuta merkezi aktörleri yer aldığından OV-2 Yapı Diyagramı'nda yer alan diğer aktörler bu faz içerisinde modellenmemiştir. Modelde bu üç aktörün görev öncesi hazırlık fazında yerine getirdiği aktiviteler ve bu aktiviteler esnasında aktörler arasındaki arayüzler bir akış diyagramı olarak gösterilmektedir. İHA'nın çalıştırılması ile başlayan görev öncesi hazırlık fazı taksi aktivitesi ile son bulmaktadır.





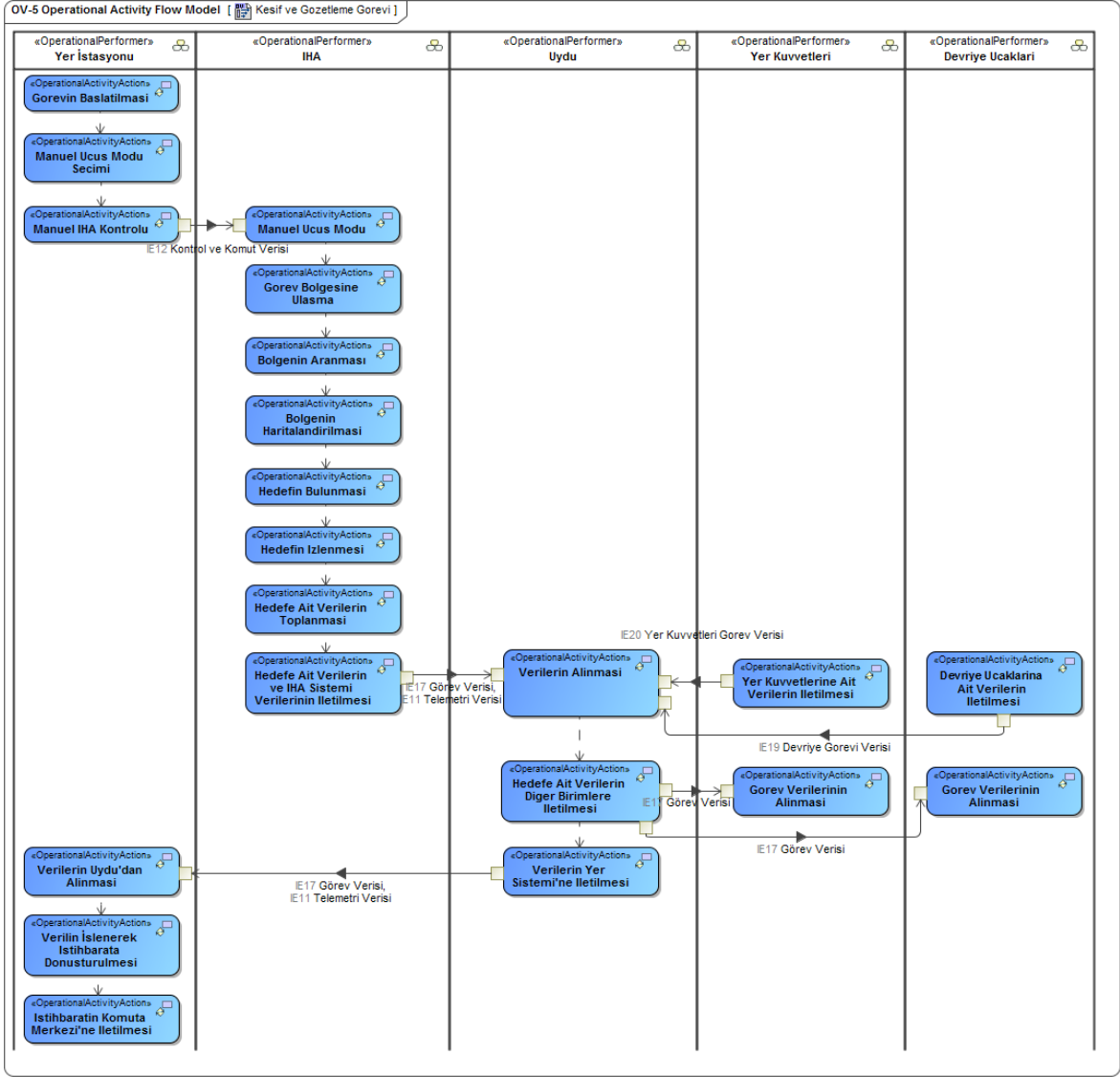
Şekil 3.8. OV-5 operasyonel aktivite modeli görev öncesi hazırlık fazı

Keşif ve gözetleme görevinin icrasında görev öncesi hazırlık fazının ardından taksi, kalkış ve seyir fazları gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.9 Şekil 3.9’da taksi, kalkış ve seyir fazları için oluşturulmuş olan OV-5 Operasyonel Aktivite Modeli gösterilmektedir. Bu fazlar, içerisinde fazla sayıda aktivite bulunmadığından tek bir OV-5 Operasyonel Aktivite Modeli kullanılarak modellenmiştir.



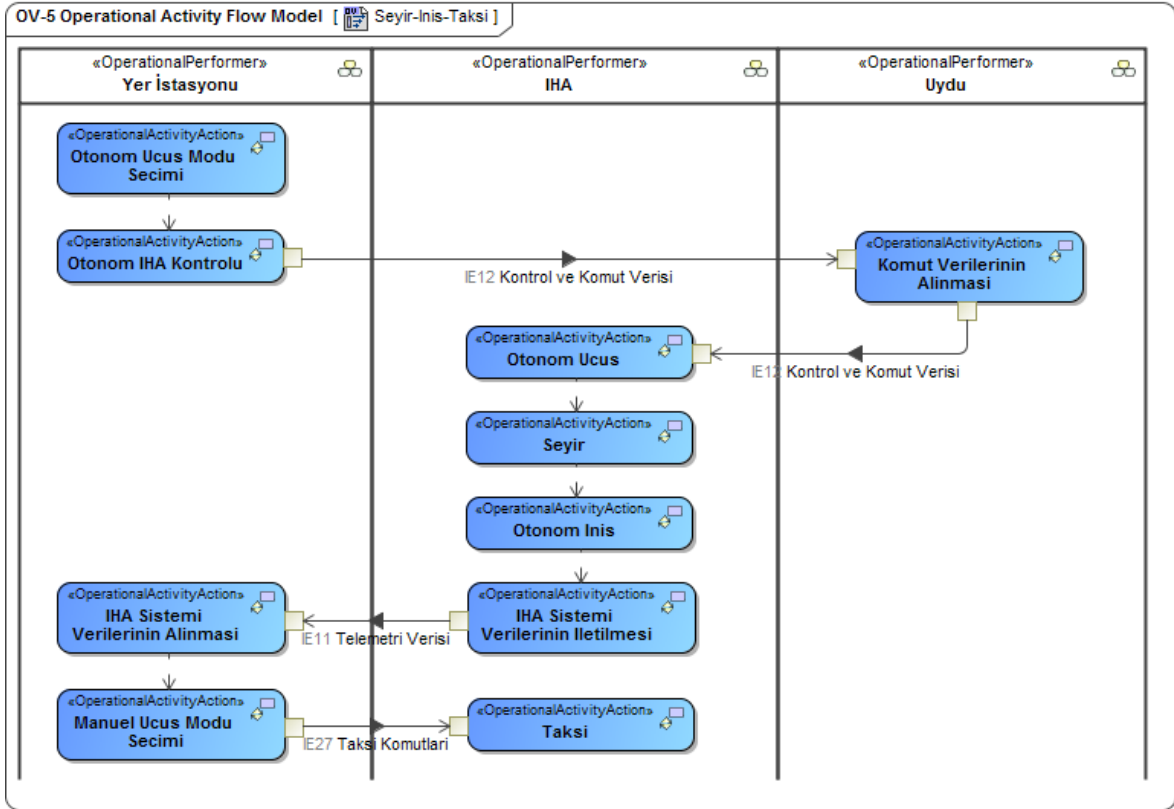
Şekil 3.9. OV-5 operasyonel aktivite modeli taksi-kalkış-seyir fazları

Seyir fazı içerisinde İHA'nın görevin icra edileceği bölgeye ulaşmasının ardından Şekil 3.10'da gösterilmekte olan görev fazı, yani keşif ve gözetleme görevi başlamaktadır. Görev ile ilgili birçok kritik aktivitenin gerçekleştiği faz olan görev fazı keşif ve gözetleme görevinin icra edileceği bölgeye ait verilerin toplanması, bu verilerin uydu aracılığıyla yer istasyonuna iletilmesi ve burada istihbarata dönüştürülerek komuta merkezine gönderilmesi ile sona ermektedir.



Şekil 3.10. OV-5 operasyonel aktivite modeli görev fazı

Görev fazının tamamlanmasının ardından Şekil 3.11’de gösterilmekte olan seyir, iniş ve taksi fazları icra edilmektedir. Yer istasyonunun otonom uçuş modu seçimi ile başlayan bu fazlar İHA’nın piste inişi ve taksi aktivitesi ile sona ermektedir.



Şekil 3.11. OV-5 operasyonel aktivite modeli seyir-iniş-taksi fazları

Keşif ve gözetleme görevinin son fazı olan görev çözümleme fazı Şekil 3.12’de gösterilmektedir. Bu fazda tüm görev verileri derlenerek komuta merkezine gönderilmektedir. Bir operasyonel göreve ait veriler tüm görev fazları düşünüldüğünde oldukça büyük boyutlara ulaşabilmektedir. Bu kadar büyük boyuttaki verinin görev boyunca yerde konuşlanmış olan sistemlere gönderilmesi mümkün olmamaktadır. Bu sebeple görev sırasında telemetri verileri ve göreve ait kritik veriler gibi önceliklendirilmiş verilerin iletimi sağlanmaktadır. Görev çözümleme fazında ise tüm görev verisi ve İHA sağlık verisi indirilerek detaylı analiz için komuta merkezine gönderilmektedir. Görev çözümleme fazı İHA’nın kapatılması ve görevin sonlandırılması ile tamamlanmaktadır.



#	Exchange ID	Operational Exchange Item	Sending Operational Performer	Receiving Operational Performer
1	OE10	IE11 Telemetri Verisi	IHA	Yer İstasyonu
2	OE29	IE11 Telemetri Verisi	IHA	Uydu
3	OE34	IE17 Görev Verisi	IHA	Yer İstasyonu
4	OE35	IE17 Görev Verisi	IHA	Uydu
5	OE101	IE25 Sistem Sağlık Verisi	IHA	Yer İstasyonu
6	OE19	IE12 Kontrol ve Komut Verisi	Uydu	IHA
7	OE73	IE14 Görev Planlama Verisi	Yer İstasyonu	IHA
8	OE25	IE25 Sistem Sağlık Verisi	IHA	Uydu
9	OE73	IE12 Kontrol ve Komut Verisi	Yer İstasyonu	IHA

Şekil 3.13. OV-3 operasyonel arayüz matrisi

Matriste yer alan “Exchange ID” sütunu modelleme aracının arayüz verisine atamış olduğu özgün numaradır. “Operational Exchange Item” sütunu altında arayüz verileri yer almaktadır. “Sending Operational Performer” ve “Receiving Operational Performer” sütunları altında ise gönderici ve alıcı aktörler belirtilmiştir.

OV-3 Operasyonel Arayüz Matrisi kullanılarak oluşturulmuş olan arayüz gereksinimleri Tablo 3.2’de yer almaktadır. Bu bölümde tanımlanan arayüz gereksinimleri tez çalışması kapsamında oluşturulmuş olan metodoloji doğrultusunda tasarıma girdi olarak kullanılacaktır.

Tablo 3.2. Arayüz gereksinimleri

Arayüz Verisi	Gönderici	Alıcı	Arayüz Gereksinimi
Telemetri Verisi	İHA	Yer İstasyonu	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile telemetri verisini iletebilmelidir.
Telemetri Verisi	İHA	Uydu	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile telemetri verisini iletebilmelidir
Görev Verisi	İHA	Yer İstasyonu	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile görev verisini iletebilmelidir.
Görev Verisi	İHA	Uydu	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile görev verisini iletebilmelidir.

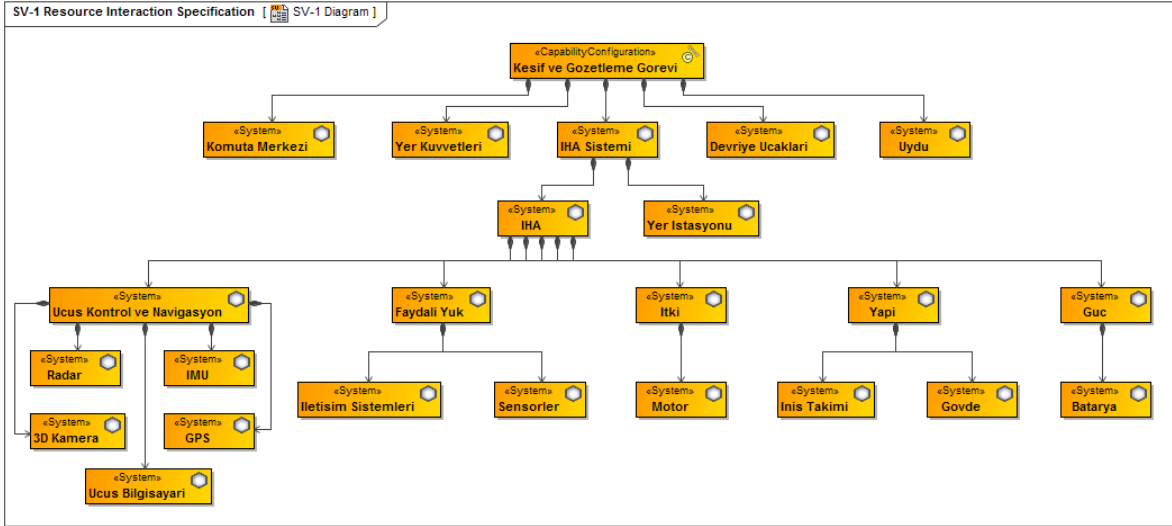
Arayüz Verisi	Gönderici	Alıcı	Arayüz Gereksinimi
Sistem Sağlık Verisi	İHA	Yer İstasyonu	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile sistem sağlık verisini iletebilmelidir.
Sistem Sağlık Verisi	İHA	Uydu	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile sistem sağlık verisini iletebilmelidir.
Kontrol ve Komut Verisi	Yer İstasyonu	İHA	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile kontrol ve komut verilerini alabilmelidir.
Kontrol ve Komut Verisi	Uydu	İHA	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile kontrol ve komut verilerini alabilmelidir.
Görev Planlama Verisi	Yer İstasyonu	İHA	İHA Hava Aracı Sistemi Yer İstasyonu'ndan görev planlama verisini alabilmelidir.

### 3.5. İHA Sistemi'nin Modellenmesi

Keşif ve gözetleme görevini icra edecek olan İHA Sistemi, sistem alanı içerisinde yer alan aşağıda listelenmiş görünümlemler kullanılarak modellenmiştir.

- SV-1 Sistem Sınıflandırması Görünümü
- SV-2 Sistem Arayüz Görünümü
- SV-3 Sistem Arayüz Matrisi
- SV-4 Sistem Fonksiyon Modeli
- SV-5 Karşılaştırma Matrisi

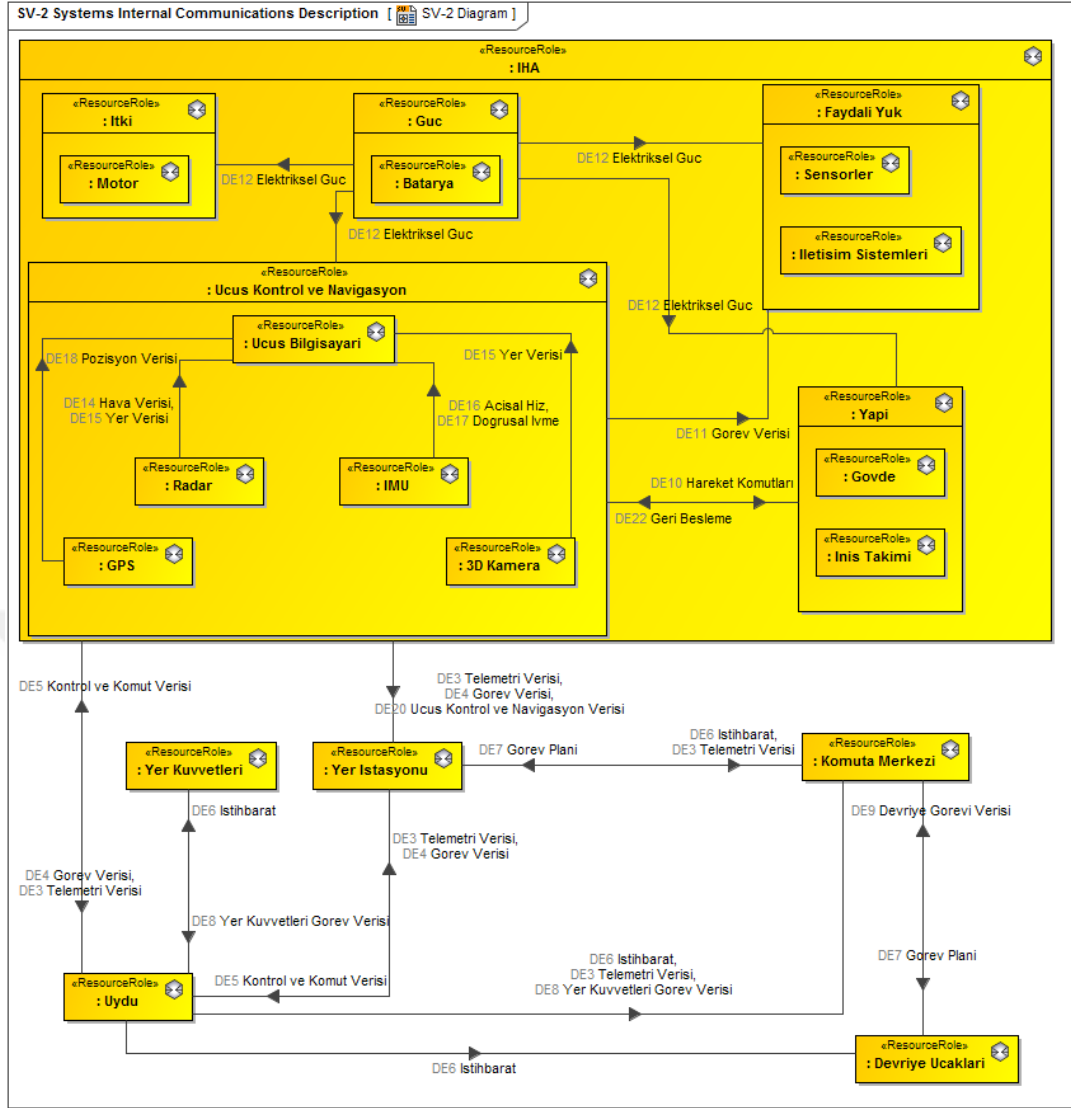
Keşif ve gözetleme görevinde kullanılacak olan sistemler **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de SV-1 görünümü içerisinde gösterilmektedir. Görünümde yer alan sistemlerin tamamı alt sistemlerden meydana gelmektedir ancak bu tez çalışması kapsamında yalnızca İHA Sistemi içerisinde yer alan hava aracı sistemi için alt sistem detayına inilmiş, diğer sistemler için alt sistemler modellenmemiştir.



Şekil 3.14. SV-1 sistem sınıflandırması görünümü

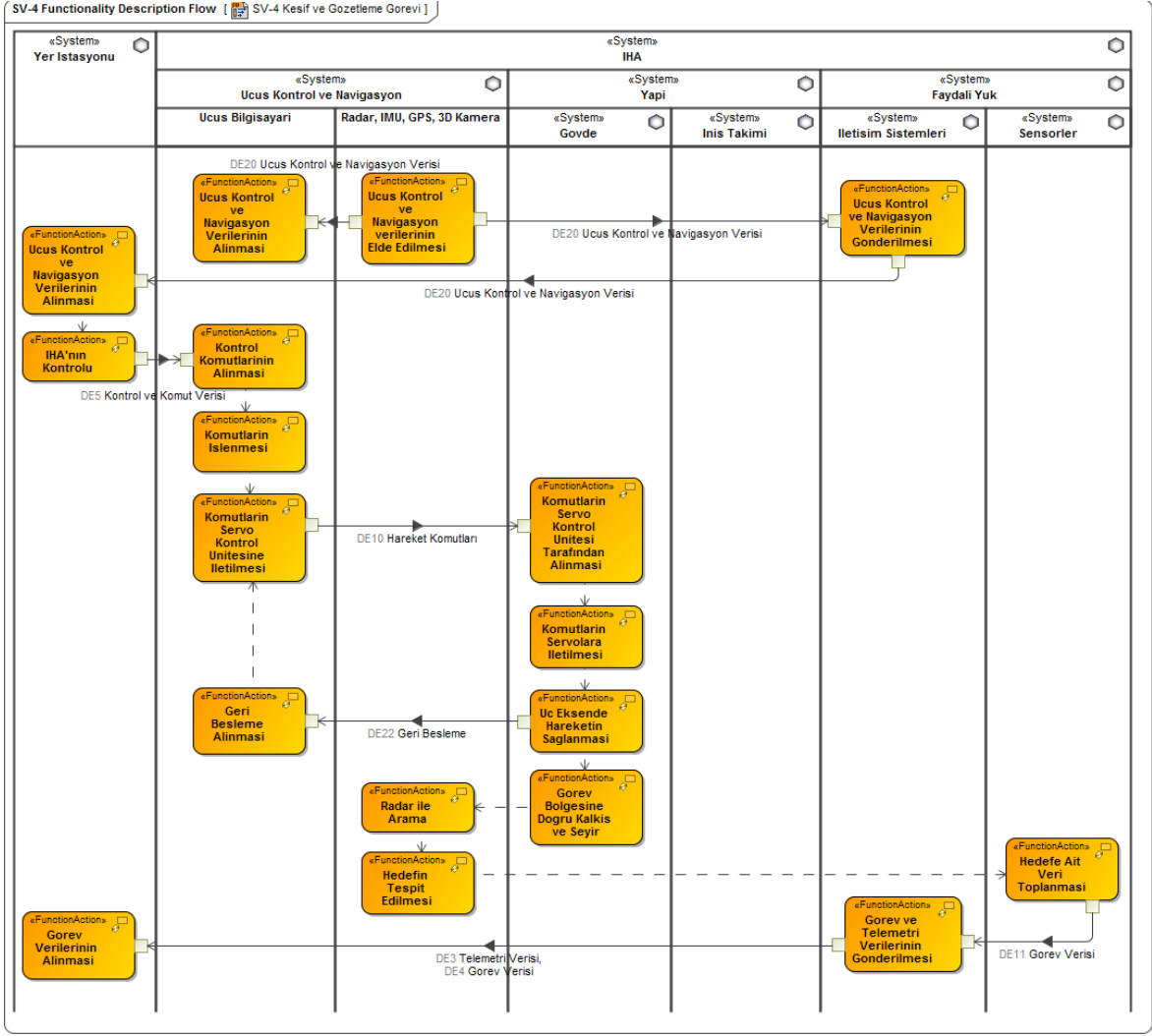
Şekil 3.14’te gösterilmekte olan sistemler ve alt sistemler arasındaki arayüzler Şekil 3.15’te yer alan SV-2 Sistem Arayüz Görünümü’nde tanımlanmıştır. Bu görünümde hem Şekil 3.5. OV-1A üst seviye operasyonel konsept tasviri’nde yer alan sistemler arasındaki arayüzler hem de bu sistemleri oluşturulan alt sistemler arasındaki arayüzler yer almaktadır. Bu tez çalışması kapsamında yalnızca İHA Sistemi alt sistem seviyesi detayında çalışıldığından SV-2 Sistem Arayüz Görünümü’nde yalnızca İHA Sistemi’ni oluşturan alt sistemler arasındaki arayüzler gösterilmektedir.





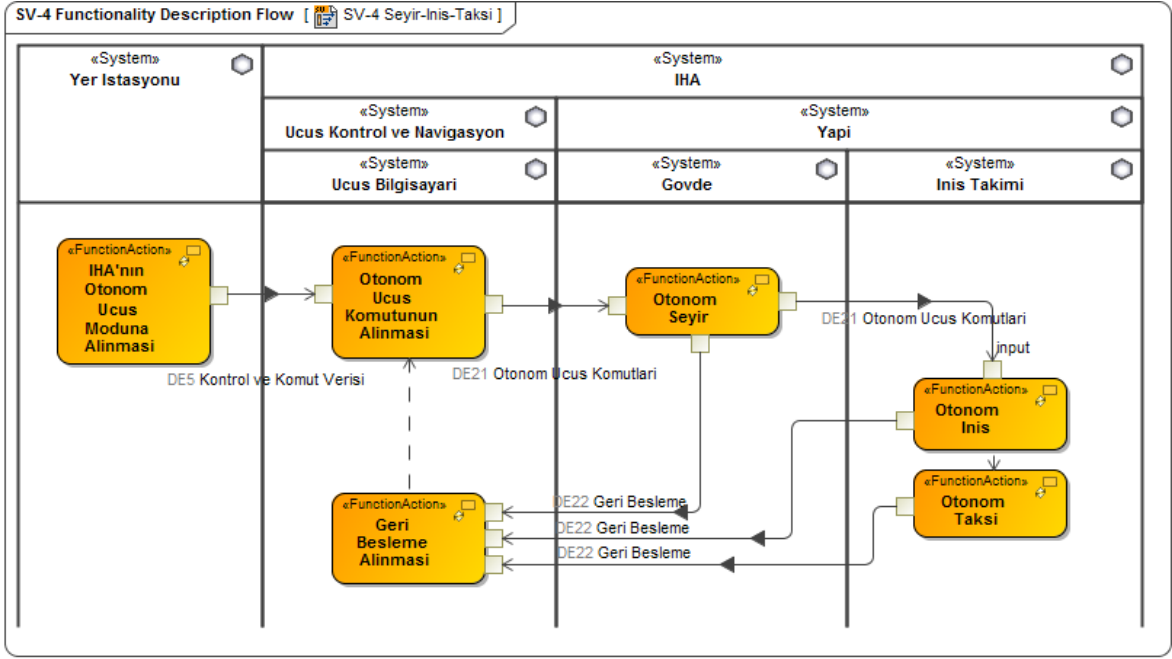
Şekil 3.15. SV-2 sistem arayüz görünümü

Keşif ve gözetleme görevinin icra edildiği görev fazı için oluşturulan SV-4 Sistem Fonksiyon Modeli Şekil 3.16’da gösterilmektedir. Bu modelde tıpkı OV-5 görünümünde olduğu gibi fonksiyonel bir akış söz konusudur. Ancak OV-5 görünümünden farklı olarak SV-4 görünümünde sistemi oluşturan alt sistemlerin gerçekleştirdiği fonksiyonlar ve bu alt sistemler arasındaki arayüzler yer almaktadır.



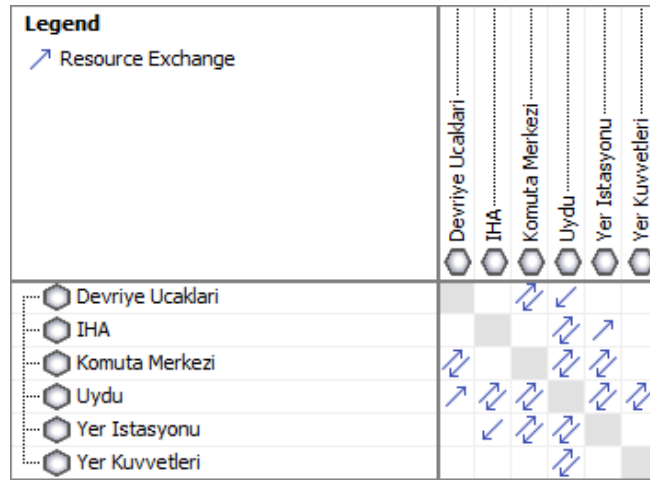
Şekil 3.16. SV-4 sistem fonksiyonel akış modeli görev fazı

Şekil 3.17’de ise keşif ve gözetleme görevinin görev fazından sonra gerçekleşen seyir, iniş ve taksi fazları için oluşturulmuş olan SV-4 Sistem Fonksiyonel Akış Modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.17. SV-4 sistem fonksiyonel akış modeli seyir-iniş-taksi fazları

L0 sistemler sistemi seviyesinde ve L1 sistem seviyesinde yer alan sistemler arasındaki arayüzleri içeren SV-3 Sistem Arayüz Matrisi Şekil 3.18’de gösterilmektedir. Matriste yer alan arayüzler bazı sistemler arasında çift ok ile, bazı sistemler arasında ise tek ok ile gösterilmektedir. Burada çift ok çift yönlü arayüzü, tek ok ise tek yönlü arayüzü ifade etmektedir.



Şekil 3.18. SV-3 sistem arayüz matrisi (L0-L1 seviyesi)



Legend		SV-1 [Model::Systems Viewpoint]									
↗ Resource Exchange		3D Kamera	Govde	GPS	İletişim Sistemleri	IMU	Inis Takimi	Radar	Sensörler	Uçus Bilgisayarı	
SV-1 [Model::Systems Viewpoint]		2	3	2	5	2	1	2	1	6	
3D Kamera						↗				↗	
Govde								↗		↔	
GPS										↗	
İletişim Sistemleri		↗					↗	↗	↗		
IMU										↗	
Inis Takimi			↗								
Radar										↗	
Sensörler											
Uçus Bilgisayarı		↗	↔	↗		↗	↗	↗			

Şekil 3.20. SV-3 sistem arayüz matrisi (L3 seviyesi)

İHA Sistemi'nin sahip olacağı fonksiyonlar, İHA Sistemi'nin icra edeceği keşif ve gözetleme görevinde gerçekleştireceği operasyonel aktiviteler ile doğrudan ilişkilidir. Bir operasyonel aktivitenin gerçekleştirilebilmesi için o operasyonel aktiviteyi gerçekleştirecek olan sistemin ilgili fonksiyona sahip olması gerekmektedir. Şekil 3.21'de yer alan SV-5 Karşılaştırma Matrisi İHA'nın görev fazında gerçekleştireceği operasyonel aktiviteleri ve fonksiyonları içermektedir. SV-5 Karşılaştırma Matrisi yalnızca İHA'ya ait fonksiyonların ve operasyonel aktivitelerin görülebilmesi için filtrelenmiştir.

Legend		OV-5 Models [Model::Operational Viewpoint::OV-5]												
↳ Implements		Bolgenin Aranmasi	Bolgenin Haritalandirilmasi	Gorev Bolgesine Ulasma	Hedefe Ait Verilerin Toplanmasi	Hedefe Ait Verilerin ve IHA Sistemi Verilerinin Iletilmesi	Hedefin Bulunmasi	Hedefin Izlenmesi	IHA Sistemi Verilerinin Iletilmesi	Manuel Ucus Modu	Otonom Inis	Otonom Ucus	Seyir	Taksi
SV-4 [Model::Systems Viewpoint]		1	1	2	1	1	1	1	6	2	2	7	1	
Geri Besleme Alinmasi	1													↳
Gorev Bolgesine Dogru Kalkis ve Seyir	1		↳											
Gorev ve Telemetri Verilerinin Gonderilmesi	2				↳	↳		↳						
Hedefe Ait Veri Toplanmasi	2				↳	↳		↳						
Hedefin Tespit Edilmesi	1					↳								
Komutlarin Islenmesi	2								↳					↳
Komutlarin Servo Kontrol Unitesi Tarafindan Alinmasi	1								↳					
Komutlarin Servo Kontrol Unitesine Iletilmesi	1								↳					
Komutlarin Servolara Iletilmesi	1								↳					
Kontrol Komutlarinin Alinmasi	1								↳					
Otonom Inis	1									↳				
Otonom Seyir	3		↳								↳	↳		
Otonom Taksi	1												↳	
Otonom Ucus Komutunun Alinmasi	2									↳	↳			
Radar ile Arama	2	↳	↳											
Uc Eksende Hareketin Saglanmasi	2								↳					↳
Ucus Kontrol ve Navigasyon Verilerinin Alinmasi	1													↳
Ucus Kontrol ve Navigasyon verilerinin Elde Edilmesi	1													↳
Ucus Kontrol ve Navigasyon Verilerinin Gonderilmesi	1													↳

Şekil 3.21. SV-5 karşılaştırma matrisi

SV-5 görünümü geliştirilmekte olan sistem ile o sistemin icra edeceği görevlerde gerçekleştireceği operasyonel aktiviteler arasında bağlantı kurmak amacı ile kullanılmaktadır. Şekil 3.211'de gösterilmekte olan SV-5 görünümünde operasyonel alanda yer alan operasyonel aktiviteler ile sistem alanında yer alan fonksiyonların örtüştüğü görülmektedir. Yani sistem, görev sırasında gerçekleştirilmesi gereken her bir aktivite için bir fonksiyona sahiptir. Bu durum, mevcut sistem tasarımının müşterinin tanımlanan ihtiyaçlarını karşıladığını göstermektedir. Diğer taraftan, sistemin sahip olduğu bir fonksiyonun operasyonel aktivite olarak bir karşılığının olmaması durumu ise aslında sistemin bu fonksiyona ihtiyacı olmadığı anlamına gelmektedir. Benzer şekilde, operasyonel

görevde yer alan bir operasyonel aktivitenin görevi icra edecek olan sistemde bir fonksiyon karşılığının olmaması durumu da tasarlanan sistemin müşterinin ihtiyaçlarını tam olarak karşılamadığını göstermektedir. Fonksiyon ve aktivite eşleşmesi tutarlı olmayan bu iki durum için de sistem tasarımının gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında keşif ve gözetleme görevinin tüm fazları operasyonel alanda OV-5 görünümü kullanılarak modellenirken sistem alanında SV-4 görünümü kullanılarak görev fazı, seyir fazı (görev sonrası), iniş fazı (görev sonrası) ve taksi fazı (görev sonrası) modellenmiştir. İHA Sistemi'nin operasyonel fonksiyonlarının büyük bir kısmının İHA'nın havada olduğu fazlarda gerçekleşmesi sebebiyle İHA'nın yerde olduğu görev öncesi hazırlık fazı ve görev çözümlenme fazı için SV-4 görünümü kullanılmamıştır. Bu fazlar OV-5 görünümü kullanılarak modellenmiş ve fazlarda gerçekleştirilen aktiviteler tanımlanmıştır. Taksi (görev öncesi), kalkış ve seyir (görev öncesi) fazları ise temel olarak görev sonrasındaki seyir, iniş ve taksi fazları ile aynı fonksiyonelliğe sahip olduğundan bu fazlar için de SV-4 görünümü kullanılmamış, OV-5 görünümü ile modelleme yapılarak bu fazlarda gerçekleştirilen aktiviteler tanımlanmıştır.

Sistem alanında SV-4 görünümü ve operasyonel alanda OV-5 görünümü kullanılarak modellenen keşif ve gözetleme görevinin görev, seyir, iniş ve taksi fazlarına ait fonksiyonlar ve bu fonksiyonlardan türetilmiş olan fonksiyonel gereksinimler Tablo 3.3'te listelenmektedir. Operasyonel alanda OV-5 görünümü kullanılarak modellenen Keşif ve Gözetleme Görevi'nin diğer fazlarına ait olan fonksiyonlar ve bu fonksiyonlardan türetilmiş olan fonksiyonel gereksinimler ise Tablo 3.4'te yer almaktadır.

Oluşturulmuş olan fonksiyonel gereksinimlerden bazıları modelde yer alan birden fazla fonksiyonu kapsamaktadır. Örneğin “hedefe ait verilerin ve İHA Sistemi verilerinin iletilmesi” ve “İHA Sistemi'ne ait verilerin iletilmesi” fonksiyonları modelde farklı zamanlarda gerçekleşmesine rağmen temelde aynı fonksiyonelliği ifade etmektedir. Bu sebeple bu iki fonksiyon “İHA Sistemi görev ve telemetri verilerini tüm görev boyunca iletebilmelidir” şeklinde tanımlanan fonksiyonel gereksinim ile kapsanmıştır.

Tablo 3.3. Görev, seyir, iniş ve taksi fazlarındaki fonksiyonlar ve fonksiyonel gereksinimler

<b>Modelde Yer Alan Fonksiyon</b>	<b>Fonksiyonel Gereksinim</b>
Bölgenin aranması	İHA Sistemi bölge araması yapabilmelidir.

<b>Modelde Yer Alan Fonksiyon</b>	<b>Fonksiyonel Gereksinim</b>
Bölgenin haritalandırılması	İHA Sistemi haritalandırma yapabilmelidir.
Otonom iniş	İHA Sistemi otonom iniş yapabilmelidir.
Manuel uçuş modu	İHA Sistemi manuel uçuş moduna sahip olmalıdır.
Otonom uçuş	İHA Sistemi otonom uçuş moduna sahip olmalıdır.
Seyir	İHA Sistemi görev menzili içerisinde seyir edebilmelidir.
Görev bölgesine ulaşma	
Taksi	İHA Sistemi taksi yapabilmelidir.
Hedefe ait verilerin ve İHA Sistemi verilerinin iletilmesi	İHA Sistemi görev ve telemetri verilerini tüm görev boyunca iletebilmelidir.
İHA Sistemi verilerinin iletilmesi	
Hedefe ait verilerin toplanması	İHA Sistemi belirlenen hedeflere ait veri toplayabilmelidir.
Hedefin bulunması	İHA Sistemi hedef tespiti yapabilmelidir.
Hedefin izlenmesi	İHA Sistemi tespit edilen hedefleri izleyebilmelidir.

Tablo 3.4. Diğer fazlardaki fonksiyonlar ve fonksiyonel gereksinimler

<b>Modelde Yer Alan Fonksiyon</b>	<b>Fonksiyonel Gereksinim</b>
Sistem sağlık verilerinin oluşturulması	İHA Sistemi alt sistem sağlık verileri üretebilmelidir.
Motor sağlık ve performans verilerinin oluşturulması	
Sistem sağlık verilerinin iletilmesi	İHA Sistemi alt sistem sağlık verilerini Yer İstasyonu'na gönderebilmelidir.
Motor sağlık ve performans verilerinin iletilmesi	
Görev planının yüklenmesi	İHA Sistemi'ne görev planı yüklenebilmelidir.
Motorun çalıştırılması	İHA Sistemi altında yer alan alt sistemler harici bir güç olmaksızın çalışabilmelidir.
IHA sistemlerinin çalıştırılması	
Taksi	İHA Sistemi taksi yapabilmelidir.



<b>Modelde Yer Alan Fonksiyon</b>	<b>Fonksiyonel Gereksinim</b>
Kalkış	İHA Sistemi kalkış yapabilmelidir.
Görüş içi veri yolu bağlantısının kurulması	İHA Sistemi görüş içi veri yolu bağlantısına sahip olmalıdır.
Otonom uçuş	İHA Sistemi otonom olarak uçabilmelidir.
Uydu bağlantısı girişi	İHA Sistemi uydu bağlantısına sahip olmalıdır.
Uydu bağlantısı onayının alınması	
Görev verisi ve sistem sağlık verisinin oluşturulması	İHA Sistemi görev çözümüde fazında tüm uçuşu kapsayacak şekilde görev ve sistem sağlık verisi üretebilmelidir.
Görev verisi ve sistem sağlık verisinin iletilmesi	İHA Sistemi görev çözümüde fazında tüm uçuşu kapsayacak şekilde üretilen görev ve sistem sağlık verisini Yer İstasyonu'na gönderebilmelidir.

İHA Sistemi'nin keşif ve gözetleme görevi boyunca gerçekleştireceği tüm fonksiyonlar ve bu fonksiyonlara ait fonksiyonel gereksinimler Tablo 3.5'te yer almaktadır. Burada yer alan fonksiyonlar ve fonksiyonel gereksinimler Tablo 3.3'te ve Tablo 3.4'te bulunan içeriğin birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Tekrarlamanın önüne geçmek amacıyla farklı görev fazlarındaki benzer fonksiyonlar filtrelenmiştir. Bu süreç sonunda elde edilmiş olan fonksiyonel gereksinimler L1 sistem seviyesinde yer almaktadır.

Tablo 3.5. İHA Sistemi'nin keşif ve gözetleme görevindeki fonksiyonları ve fonksiyonel gereksinimleri

<b>Modelde Yer Alan Fonksiyon</b>	<b>Fonksiyonel Gereksinim</b>
Sistem sağlık verilerinin oluşturulması	İHA Sistemi alt sistem sağlık verileri üretebilmelidir.
Motor sağlık ve performans verilerinin oluşturulması	
Sistem sağlık verilerinin iletilmesi	İHA Sistemi alt sistem sağlık verilerini Yer İstasyonu'na gönderebilmelidir.
Motor sağlık ve performans verilerinin iletilmesi	

<b>Modelde Yer Alan Fonksiyon</b>	<b>Fonksiyonel Gereksinim</b>
Görev planının yüklenmesi	İHA Sistemi'ne görev planı yüklenebilmelidir.
Motorun çalıştırılması	İHA Sistemi altında yer alan alt sistemler harici bir güç olmaksızın çalışabilmelidir.
İHA sistemlerinin çalıştırılması	
Taksi	İHA Sistemi taksi yapabilmelidir.
Kalkış	İHA Sistemi kalkış yapabilmelidir.
Görüş içi veri yolu bağlantısının kurulması	İHA Sistemi görüş içi veri yolu bağlantısına sahip olmalıdır.
Otonom uçuş	İHA Sistemi otonom olarak uçabilmelidir.
Uydu bağlantısı girişi	İHA Sistemi uydu bağlantısına sahip olmalıdır.
Uydu bağlantısı onayının alınması	
Bölgenin aranması	İHA Sistemi bölge araması yapabilmelidir.
Bölgenin haritalandırılması	İHA Sistemi haritalandırma yapabilmelidir.
Otonom iniş	İHA Sistemi otonom uçuş moduna sahip olmalıdır.
	İHA Sistemi otonom iniş yapabilmelidir.
Manuel uçuş modu	İHA Sistemi manuel uçuş moduna sahip olmalıdır.
Görev bölgesine ulaşma	İHA Sistemi görev menzili içerisinde seyir edebilmelidir.
Hedefe ait verilerin ve İHA Sistemi verilerinin iletilmesi	İHA Sistemi görev ve telemetri verilerini tüm görev boyunca iletebilmelidir.
İHA Sistemi verilerinin iletilmesi	
Hedefe ait verilerin toplanması	İHA Sistemi belirlenen hedeflere ait veri toplayabilmelidir.
Hedefin bulunması	İHA Sistemi hedef tespiti yapabilmelidir.
Hedefin izlenmesi	İHA Sistemi tespit edilen hedefleri izleyebilmelidir.
Görev verisi ve sistem sağlık verisinin oluşturulması	İHA Sistemi görev çözümleme fazında tüm uçuşu kapsayacak şekilde görev ve sistem sağlık verisi üretebilmelidir.

<b>Modelde Yer Alan Fonksiyon</b>	<b>Fonksiyonel Gereksinim</b>
Görev verisi ve sistem sağlık verisinin iletilmesi	İHA Sistemi görev çözümleme fazında tüm uçuşu kapsayacak şekilde üretilen görev ve sistem sağlık verisini Yer İstasyonu'na gönderebilmelidir.

### 3.6. MTSM Kullanılarak Tanımlanan Gereksinimlerin Sürece Dahil Edilmesi

Tez çalışması kapsamında MTSM kullanılarak yapılan modelleme faaliyetlerinin çıktısı olan L1 Sistem seviyesindeki fonksiyonel gereksinimler ve arayüz gereksinimleri Tablo 3.6'da listelenmiştir. Operasyonel ortamın modellenmesi ile elde edilen bu gereksinimler ile kullanıcı/müşteri tarafından projenin ilk aşamasında belirlenen gereksinimler arasında bir boşluk analizi yapılarak operasyonel ihtiyaçların tasarıma dahil edilmesi sağlanmaktadır.

Tablo 3.6. MTSM kullanılarak tanımlanan gereksinimler

<b>Gereksinim Tipi</b>	<b>Gereksinim</b>
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi yerdeyken alt sistem sağlık verilerini Yer İstasyonu'na gönderebilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi'ne görev planı yüklenebilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi altında yer alan alt sistemler harici bir güç olmaksızın çalışabilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi taksi yapabilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi kalkış yapabilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi görüş içi veri yolu bağlantısına sahip olmalıdır.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi otonom olarak uçabilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi uydu bağlantısına sahip olmalıdır.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi seyir edebilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi bölge araması yapabilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi haritalandırma yapabilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi otonom uçuş moduna sahip olmalıdır.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi otonom iniş yapabilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi manuel uçuş moduna sahip olmalıdır.

<b>Gereksinim Tipi</b>	<b>Gereksinim</b>
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi görev ve telemetri verilerini tüm görev boyunca iletebilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi belirlenen hedeflere ait veri toplayabilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi hedef tespiti yapabilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi tespit edilen hedefleri izleyebilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi görev çözümüde fazında tüm uçuşu kapsayacak şekilde görev ve sistem sağlık verisi üretebilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi görev yerdeyken üretilen görev ve sistem sağlık verisini Yer İstasyonu'na gönderebilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile telemetri verisini iletebilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile telemetri verisini iletebilmelidir
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile görev verisini iletebilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile görev verisini iletebilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile sistem sağlık verisini iletebilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile sistem sağlık verisini iletebilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile kontrol ve komut verilerini alabilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile kontrol ve komut verilerini alabilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi Yer İstasyonu'ndan görev planlama verisini alabilmelidir.

Metodolojide yer alan boşluk analizi iki farklı amaca hizmet etmektedir. İlk olarak boşluk analizi, kullanıcı/müşteri gereksinimlerini doğrulamak için kullanılmaktadır.

Kullanıcı/müşteri gereksinimleri içerisinde yer alan gereksinimler ile modellerden elde edilmiş olan gereksinimlerin kesişim kümesi, operasyonel birer ihtiyaç olduğu doğrulanan kullanıcı/müşteri gereksinimlerini göstermektedir. Kullanıcı/müşteri tarafından tanımlanan bir gereksinim modellerden elde edilmiş olan gereksinimler içerisinde yer almıyorsa ilgili gereksinim kullanıcı/müşteri ile tekrar değerlendirilmelidir.

İkinci olarak, boşluk analizi kullanıcı/müşteri tarafından tanımlanan ihtiyaçlar ile operasyonel ihtiyaçlar arasındaki farkı bulmak ve bu farkı sistem tasarımına yansıtmak için kullanılmaktadır. Modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen gereksinimler içerisinde kullanıcı/müşteri tarafından tanımlanmamış olan tüm gereksinimler, operasyonel ihtiyaçlar ile tanımlanan ihtiyaçlar arasındaki farkı göstermektedir. Bu farkın sistem tasarımına yansıtılması ile süreçte iyileştirme sağlanmaktadır.

Kullanıcı/müşteri gereksinimleri içerisinde yer alan ve yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel ihtiyaç oldukları doğrulanan gereksinimler Tablo 3.7’de bir eşleştirme şeklinde listelenmiştir. Görüldüğü gibi kullanıcı/müşteri tarafından projenin ilk safhasında tanımlanmış olan bu gereksinimler yapılan MTSM analizleri sonucunda da bir gereksinim olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3.7. MTSM analizi ile doğrulanan kullanıcı/müşteri gereksinimleri

<b>Kullanıcı/Müşteri Gereksinimi</b>	<b>MTSM ile Tanımlanan Gereksinim</b>
İHA Sistemi belirlenen alanlarda arama yapabilmelidir.	İHA Sistemi bölge araması yapabilmelidir.
İHA Sistemi sabit ve hareketli hedefleri tanımlayabilmelidir.	İHA Sistemi hedef tespiti yapabilmelidir.
İHA Sistemi sabit ve hareketli hedefleri takip edebilmelidir.	İHA Sistemi belirlenen hedeflere ait veri toplayabilmelidir.
İHA Sistemi’nin hava aracı alt sistemi ile yer istasyonu alt sistemi arasında gerçek zamanlı veri alışverişi yapılabilirdir.	İHA Sistemi uydu bağlantısına sahip olmalıdır. İHA Sistemi görüş içi veri yolu bağlantısına sahip olmalıdır.
İHA Sistemi otonom iniş yapabilmelidir.	İHA Sistemi otonom uçuş moduna sahip olmalıdır. İHA Sistemi otonom iniş yapabilmelidir.

<b>Kullanıcı/Müşteri Gereksinimi</b>	<b>MTSM ile Tanımlanan Gereksinim</b>
İHA Sistemi otonom kalkış yapabilmelidir.	İHA Sistemi otonom uçuş moduna sahip olmalıdır. İHA Sistemi kalkış yapabilmelidir.
İHA Sistemi otonom uçuş yapabilmelidir.	İHA Sistemi otonom uçuş moduna sahip olmalıdır. İHA Sistemi seyir edebilmelidir. İHA Sistemi otonom olarak uçabilmelidir.
İHA Sistemi alt sistem sağlık bilgisi üretebilmelidir.	İHA Sistemi alt sistem sağlık verileri üretebilmelidir.
İHA Sistemi'ne görev planı yüklenebilmelidir.	İHA Sistemi'ne görev planı yüklenebilmelidir.
İHA Sistemi'ne görev planı güncellemeleri iletilebilmelidir.	İHA Hava Aracı Sistemi Yer İstasyonu'ndan görev planlama verisini alabilmelidir.
İHA Sistemi taksi yapabilmelidir.	İHA Sistemi taksi yapabilmelidir.

Kullanıcı/müşteri gereksinimleri içerisinde yer alan ancak yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olmadıkları görülen gereksinimler Tablo 3.8'de listelenmektedir. Bu tür gereksinimlerin kullanıcı/müşteri ile tekrar görüşülmesi ve hemfikir olunması durumunda güncellenmesi veya silinmesi gerekmektedir.

Tablo 3.8. MTSM analizi ile doğrulanamayan kullanıcı/müşteri gereksinimleri

<b>Kullanıcı/Müşteri Gereksinimi</b>	<b>MTSM Analizi</b>
İHA Sistemi farklı sistemler arasında iletişim kurulması amacıyla aktarıcı olarak kullanılabilirdir.	Kullanıcı/müşteri tarafından tanımlanan bu gereksinime operasyonel ortamda ihtiyaç duyulmamaktadır.
İHA Sistemi faydalı yük olarak askeri mühimmat taşıyabilmelidir.	Kullanıcı/müşteri tarafından tanımlanan bu gereksinime operasyonel ortamda ihtiyaç duyulmamaktadır.
İHA Sistemi tüm uçuş boyunca 3D kamera ile veri kaydedebilmelidir.	Modellenen keşif ve gözetleme görevinde tüm uçuş boyunca 3D kamera ile veri kaydı

<b>Kullanıcı/Müşteri Gereksinimi</b>	<b>MTSM Analizi</b>
	yapma ihtiyacı olmadığı, yalnızca görev aşamasında bu fonksiyonun kullanılmakta olduğu görülmektedir. Gereksinimi bu doğrultuda düzenlemenin kullanıcı/müşteri ihtiyacını karşılayacağı öngörülmektedir.

Tablo 3.9’da yer alan gereksinimler kullanıcı/müşteri tarafından tanımlanmış, yapılan modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen gereksinimlerde bir gereksinim olarak karşılığı mevcut olmayan ancak yine de geliştirilmekte olan sistem için birer ihtiyaç olduğu değerlendirilen gereksinimlerdir. Bu gereksinimler ile ilgili değerlendirmeler ilgili tablonun “MTSM Analizi” sütununda yer almaktadır.

Tablo 3.9. Bir ihtiyaç olarak değerlendirilen diğer kullanıcı/müşteri gereksinimleri

<b>Kullanıcı/Müşteri Gereksinimi</b>	<b>MTSM Analizi</b>
İHA Sistemi gece ve gündüz keşif ve gözetleme görevi yapabilmelidir.	Keşif ve gözetleme görevi modellenirken gece veya gündüz şeklinde bir ayırım yapılmamıştır. Gün içerisinde herhangi bir zaman dilimi için analizler geçerlidir. Bu sebeple bu gereksinim operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmektedir.
İHA Sistemi hava aracı, yer istasyonu ve görüş hattı link sisteminden oluşmalıdır.	İHA Sistemi bu gereksinim doğrultusunda ilgili alt sistemlerden oluşacak şekilde tasarlanarak modellenmiştir.
İHA Sistemi faydalı yük olarak keşif ve gözetleme görevinde kullanılacak olan sensörleri taşıyabilmelidir.	İHA Hava Aracı Sistemi bu gereksinim doğrultusunda faydalı yük olarak sensörleri taşıyacak şekilde tasarlanarak modellenmiştir.
İHA Sistemi şifreli (kriptolu) veri alışverişi yapabilmelidir.	Modelleme çalışmalarında tüm veri güvenliğinin sağlandığı ve veri alışverişinin şifreli olarak yapıldığı varsayılmıştır. Bu sebeple bu gereksinim

<b>Kullanıcı/Müşteri Gereksinimi</b>	<b>MTSM Analizi</b>
	operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
İHA Sistemi'nin kritik alt sistemleri uçuş sırasında yaşanabilecek olası arızalara karşı yedekli olmalı ve uçuş etkilenmemelidir.	Yapılan modelleme faaliyetlerinde İHA Sistemi'nin tüm alt sistemlerinin görev süresince herhangi bir arıza olmaksızın çalışacağı varsayılmıştır. Bu sebeple bu gereksinim operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
İHA Sistemi'nin yer istasyonu sistemi taşınabilir olmalıdır.	Yapılan modelleme çalışmalarında bölgesel olarak herhangi bir kısıtlamada bulunulmamıştır. Bu sebeple bu gereksinim operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
İHA Sistemi meteorolojik koşullardan etkilenmeyecek şekilde dört mevsim boyunca çalışabilmelidir.	Keşif ve gözetleme görevi modellenirken mevsimsel bir ayırım yapılmamıştır. Analizler dört mevsim için de geçerlidir. Bu sebeple bu gereksinim operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmektedir.

Kullanıcı/müşteri gereksinim seti içerisinde yer almayan ancak yapılan modelleme çalışmaları sonucunda bir ihtiyaç olarak ortaya çıkan gereksinimler Tablo 3.10'da listelenmektedir. Bu gereksinimler çoğunlukla analizler sonucunda tanımlanan arayüz gereksinimleri ve bazı fonksiyonel gereksinimlerden oluşmaktadır.

MTSM'nin sürece en büyük katkılarından biri bu kritik gereksinimlerin sistem tasarımına dahil edilmesini sağlamaktır. Operasyonel ortamın bir operasyonel senaryo dahilinde modellenmesi, operasyonel ihtiyaçların tanımlanabilmesine ve tasarıma yön verebilmesine imkân tanımıştır.



Tablo 3.10. Kullanıcı/Müşteri gereksinim seti içerisinde yer almayan ancak MTSM analizi kullanılarak tespit edilen gereksinimler

<b>Gereksinim Tipi</b>	<b>Gereksinim</b>
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi alt sistem sağlık verilerini gönderebilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi altında yer alan alt sistemler harici bir güç olmaksızın çalışabilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi haritalandırma yapabilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi manuel uçuş moduna sahip olmalıdır.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi görev ve telemetri verilerini tüm görev boyunca iletebilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi tespit edilen hedefleri izleyebilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi görev çözümlleme fazında tüm uçuşu kapsayacak şekilde görev ve sistem sağlık verisi üretebilmelidir.
Fonksiyonel Gereksinim	İHA Sistemi görev çözümlleme fazında tüm uçuşu kapsayacak şekilde üretilen görev ve sistem sağlık verisini Yer İstasyonu'na gönderebilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile telemetri verisini iletebilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile telemetri verisini iletebilmelidir
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile görev verisini iletebilmelidir.

<b>Gereksinim Tipi</b>	<b>Gereksinim</b>
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile görev verisini iletebilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile sistem sağlık verisini iletebilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile sistem sağlık verisini iletebilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi görüş hattı içerisinde veriyolu bağlantısı ile kontrol ve komut verilerini alabilmelidir.
Arayüz Gereksinimi	İHA Hava Aracı Sistemi uydu aracılığı ile kontrol ve komut verilerini alabilmelidir.

MTSM yaklaşımının bir diğer önemli getirisi ise tanımlanmış olan kullanıcı/müşteri gereksinimlerini analiz edebilme imkânıdır. Herhangi bir analiz olmaksızın çoğunlukla eski deneyimler ile tanımlanan bu gereksinimlerin doğrulanabilmesi amacıyla yapılan analizin sonuçları Tablo 3.11’de gösterilmektedir.

Tablo 3.11. Kullanıcı/Müşteri gereksinimlerinin analizi

<b>Gereksinim Numarası</b>	<b>Kullanıcı/Müşteri Gereksinimi</b>	<b>MTSM Analizi</b>
1	İHA Sistemi gece ve gündüz keşif ve gözetleme görevi yapabilmelidir.	Modelleme çalışmaları tüm zaman dilimleri için geçerlidir. Bu sebeple bu gereksinim operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
2	İHA Sistemi belirlenen alanlarda arama yapabilmelidir.	Bu gereksinim, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.

<b>Gereksinim Numarası</b>	<b>Kullanıcı/Müşteri Gereksinimi</b>	<b>MTSM Analizi</b>
3	İHA Sistemi sabit ve hareketli hedefleri tanımlayabilmelidir.	Bu gereksinim, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
4	İHA Sistemi sabit ve hareketli hedefleri takip edebilmelidir.	Bu gereksinim, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
5	İHA Sistemi'nin hava aracı alt sistemi ile yer istasyonu alt sistemi arasında gerçek zamanlı veri alışverişi yapılabilirdir.	Bu gereksinim, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
6	İHA Sistemi hava aracı, yer istasyonu ve görüş hattı link sisteminden oluşmalıdır.	Bu gereksinim operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiş ve İHA Sistemi bu doğrultuda modellenmiştir.
7	İHA Sistemi farklı sistemler arasında iletişim kurulması amacıyla aktarıcı olarak kullanılabilirdir.	Bu gereksinimin, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olmadığı değerlendirilmiştir.
8	İHA Sistemi faydalı yük olarak keşif ve gözetleme görevinde kullanılacak olan sensörleri taşıyabilmelidir.	Bu gereksinim operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiş ve İHA Sistemi bu doğrultuda modellenmiştir.
9	İHA Sistemi faydalı yük olarak askeri mühimmat taşıyabilmelidir.	Bu gereksinimin, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olmadığı değerlendirilmiştir.
10	İHA Sistemi şifreli (kriptolu) veri alışverişi yapabilmelidir.	Modelleme çalışmalarında tüm veri güvenliğinin sağlandığı ve veri alışverişinin şifreli olarak yapıldığı varsayılmıştır. Bu sebeple bu

<b>Gereksinim Numarası</b>	<b>Kullanıcı/Müşteri Gereksinimi</b>	<b>MTSM Analizi</b>
		gereksinim operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
11	İHA Sistemi otonom iniş yapabilmelidir.	Bu gereksinim, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
12	İHA Sistemi otonom kalkış yapabilmelidir.	Bu gereksinim, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
13	İHA Sistemi otonom uçuş yapabilmelidir.	Bu gereksinim, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
14	İHA Sistemi taksi yapabilmelidir.	Bu gereksinim, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
15	İHA Sistemi alt sistem sağlık bilgisi üretebilmelidir.	Bu gereksinim, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
16	İHA Sistemi tüm uçuş boyunca 3D kamera ile veri kaydedebilmelidir.	Bu gereksinimin, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olmadığı değerlendirilmiştir.
17	İHA Sistemi'nin kritik alt sistemleri uçuş sırasında yaşanabilecek olası arızalara karşı yedekli olmalı ve uçuş etkilenmemelidir	Modelleme çalışmalarında İHA Sistemi'nin tüm alt sistemlerinin görev boyunca herhangi bir arıza olmaksızın çalışacağı varsayılmıştır. Bu sebeple bu gereksinim operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
18	İHA Sistemi'ne görev planı yüklenebilmelidir.	Bu gereksinim, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.

<b>Gereksinim Numarası</b>	<b>Kullanıcı/Müşteri Gereksinimi</b>	<b>MTSM Analizi</b>
19	İHA Sistemi'ne görev planı güncellemeleri iletilebilmelidir.	Bu gereksinim, yapılan modelleme çalışmaları neticesinde operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
20	İHA Sistemi'nin yer istasyonu sistemi taşınabilir olmalıdır.	Yapılan modelleme çalışmalarında bölgesel olarak herhangi bir kısıtlamada bulunulmamıştır. Bu sebeple bu gereksinim operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.
21	İHA Sistemi meteorolojik koşullardan etkilenmeyecek şekilde dört mevsim boyunca çalışabilmelidir.	Modelleme çalışmaları tüm mevsimler için geçerlidir. Bu sebeple bu gereksinim operasyonel bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir.

MTSM modelleri kullanılarak yapılan analiz çalışması neticesinde, kullanıcı/müşteri gereksinim seti içerisindeki yirmi bir gereksiniminden üçünün, yani yaklaşık olarak %14'ünün operasyonel bir ihtiyaç olmadığı belirlenmiştir. Bu oran projenin paydaşlarının konu ile alakalı tecrübesi, sahip olunan kaynaklar veya iş gücü gibi unsurlar ile bağlantılı olarak projeden projeye değişebilecek bir değer olsa da kullanıcı/müşteri ihtiyaçları belirlenirken yapılabilecek hatalar için önemli bir göstergedir. Tasarımın bu hatalar tespit edilemeden şekillenmesi projedeki tüm paydaşları maliyet, takvim ve performans açısından etkileyecek ciddi sonuçlara yol açacaktır.

MTSM modelleri kullanılarak yapılan analiz çalışmasının bir diğer sonucu ise kullanıcı/müşteri gereksinimleri ile operasyonel ihtiyaçlar arasındaki boşluğun tespit edilmesidir. Operasyonel bir ihtiyaç olarak tespit edilen ancak kullanıcı/müşteri gereksinimleri içerisinde yer almayan gereksinimler Tablo 3.10'da gösterilmektedir. Buna göre keşif ve gözetleme görevinin icra edilmesinde ihtiyaç duyulacak, ancak kullanıcı/müşteri gereksinimleri içerisinde yer almayan on altı gereksinim bulunmaktadır. Bu rakam kullanıcı/müşteri gereksinimlerinin yaklaşık olarak %76'sına denk gelen oldukça ciddi bir orandır. Kullanıcının/müşterinin ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir ürünün üretilmesi için bu gereksinimlerin sistem tasarımına yansıtılması gerekmektedir.

## 4. SONUÇ

Bu tez çalışmasında MTSM yaklaşımı ile bir İHA Sistemi ve bu İHA Sistemi'nin icra edeceği keşif ve gözetleme görevi modellenerek operasyonel ihtiyaçların sistem tasarımına yansıtılması ve böylelikle sistem mühendisliği süreçlerinin iyileştirilerek kullanıcının/müşterinin ihtiyaçlarını karşılayacak kalitede ürünler geliştirilebilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda Şekil 3.1'de gösterilmekte olan metodoloji oluşturulmuş ve bu metodoloji doğrultusunda MODAF görünümleri kullanılarak modelleme faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Oluşturulmuş olan modellerden elde edilen gereksinimler ile projenin ilk safhasında tanımlanmış olan kullanıcı/müşteri gereksinimleri arasında bir boşluk analizi yapılmıştır.

Yapılan boşluk analizi kullanıcı/müşteri gereksinimlerinin doğrulanması ve bu gereksinimler ile operasyonel ihtiyaçlar arasındaki farkın tespit edilmesi olmak üzere iki farklı amaç için kullanılmıştır. İlk olarak kullanıcı/müşteri gereksinimleri analiz edilmiş ve bu gereksinimlerin yaklaşık olarak %14'ünün operasyonel bir ihtiyaç olmadığı belirlenmiştir. Operasyonel bir ihtiyaç olmadığına karar verilen bu gereksinimlerin kullanıcı/müşteri ile uzlaşarak düzenlenmesi, geliştirilmekte olan ürünün operasyonel ortamda kullanılmayacak fonksiyonlara sahip olmasını önleyecek ve kullanılmayacak olan bu fonksiyonlar için bütçe ve zaman ayrılmasının önüne geçecektir.

Boşluk analizinin sürece bir diğer katkısı ise kullanıcı/müşteri tarafından saptanamayan, yani kullanıcı/müşteri gereksinim seti içerisinde yer almayan gereksinimlerin tanımlanarak tasarıma yansıtılmasını sağlamaktır. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda kullanıcı/müşteri gereksinimleri içerisinde yer almayan on altı farklı gereksinim tespit edilmiştir. Bu rakam projenin başlangıcında tanımlanan kullanıcı/müşteri gereksinimlerinin yaklaşık olarak %76'sına denk gelmektedir.

Görüldüğü gibi, oluşturulan metodoloji doğrultusunda yapılan modelleme çalışmaları bir ürün geliştirme projesinde eksikliklerin ve hataların projenin henüz ilk safhalarında tespit edilebilmesine ve düzeltilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada da gereksinim tanımlama faaliyetleri MTSM kullanılarak analizlerle desteklenmiştir. Gereksinim tanımlama faaliyetlerinin iyileştirilmesi sonraki süreçte gerçekleştirilecek olan fonksiyon ve mimari çalışmalarına da yansıtılacak ve kullanıcıların/müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayacak optimum sistem tasarlanabilecektir. Tasarlanan bu sistem içerisinde farklı seviyelerde yer alan gereksinimler ve fonksiyonlar arasında izlenebilirlik MTSM ile

kolaylıkla sağlanabilecek, bu karmaşık yapı içerisinde yapılabilecek herhangi bir değişiklikten etkilenen diğer sistemler de kolaylıkla tespit edilebilecektir.

Ürün geliştirme projelerinde kullanıcıların/müşterilerin isteklerini ve ihtiyaçlarını tasarıma yansıtmak amacıyla kullanılan farklı yöntemler de mevcuttur. Kalite Fonksiyon Dağılımı (Quality Function Deployment, QFD) bu yöntemler içerisinde en çok kullanılanlardan biridir. Ancak QFD gibi yöntemler bir analizden ziyade kullanıcıların/müşterilerin beklentilerine ve önceliklerine göre değerlendirmeler yapmaktadırlar. Bu sebeple, daha basit sistemlerde bu tür yöntemler olumlu sonuçlar doğursa da hava aracı sistemleri gibi operasyonel bir ortamda kullanılacak olan karmaşık sistemler için ihtiyaçların doğru şekilde tanımlanabilmesinde yetersiz kalmaktadırlar.

MTSM çerçevesinde oluşturulan metodoloji ile sistem mühendisliği süreçlerini iyileştirmeyi amaçlayan bu tez çalışması MTSM kullanılan ya da kullanılacak olan projeler veya MTSM üzerine yazılacak tez çalışmaları için yol gösterici niteliktedir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda bu tez çalışmasında kullanılmayan MODAF görünümüleri kullanılarak çalışmanın boyutu genişletilebilir. Bunun yanı sıra, benzer metodolojiler farklı sistemlere ya da farklı alt sistem seviyelerine uygulanarak MTSM yaklaşımının farklı sistemler üzerindeki sonuçları değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] H. Dam, "Origin and Evolution of Systems Engineering," *Syst. Eng.*, vol. 0, no. July, pp. 10–11, 2000.
- [2] C. R. . Hallam, "An Overview of Systems Development," *Ovidius University Annals - Economic Sciences Series*, no. 1. pp. 796–801, 2010.
- [3] INCOSE, "INCOSE - Internaltional Council on System Engineering - Systems Engineering Handbook v3," p. 185, 2006.
- [4] INCOSE UK, "Why do Systems Engineering?," *Poster Prep. by INCOSE UK*, no. 3, 2009.
- [5] R. Atkinson, "Project management: Cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 17, no. 6, pp. 337–342, 1999, doi: 10.1016/S0263-7863(98)00069-6.
- [6] S. Citation, *Uninhabited Air Vehicles*. 2000.
- [7] NASA, "NASA System Engineering Handbook Revision 2," *Natl. Aeronaut. Sp. Adm.*, p. 297, 2016, [Online]. Available: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa\\_systems\\_engineering\\_handbook\\_0.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_systems_engineering_handbook_0.pdf).
- [8] A. W. Wymore, *Model-Based Systems Engineering*. 1993.
- [9] INCOSE, "Introduction to Model-Based Systems Engineering (MBSE) and SysML," *Fed. Proc.*, vol. 7, no. 1, p. 26, 2015.
- [10] A. Madni and S. Purohit, "Economic Analysis of Model-Based Systems Engineering," *Systems*, vol. 7, no. 1, p. 12, 2019, doi: 10.3390/systems7010012.



- [11] A. B. Badiru, "Model-based systems engineering," *Syst. Eng. Model.*, pp. 19–31, 2019, doi: 10.1201/b22519-2.
- [12] R. Feynman, "Risk Management and the Space Shuttle Challenger Disaster," no. December, 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.4393.0963.
- [13] I. Management, I. C. Group, E. Architects, I. Defence, and E. Architecture, "MOD Architecture Framework ( MODAF )," *Policy*, 2010.
- [14] J. Caruso, T. Jakova, K. Mills, and A. Varrone, "Ministry of Defence Architecture Framework MODAF," *Policy*, no. Spring, p. 66, 2010.
- [15] V. E. Haberle and M. E. Bakanli, "Sürü halinde görev yapan insansız hava araçları ve teknolojileri," 2018.
- [16] F. W. Ploeger, "Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO," *Jt. Air Power Competence Cent.*, no. January, pp. 1–28, 2010.
- [17] A. Vidyadharan, R. Philpott, B. Kwasa, and C. Bloebaum, "Analysis of Autonomous Unmanned Aerial Systems Based on Operational Scenarios Using Value Modelling," *Drones*, vol. 1, no. 1, p. 5, 2017, doi: 10.3390/drones1010005.
- [18] R. B. Trsek, "The last manned fighter: replacing manned fighters withUCAVS," no. April, 2007, [Online]. Available: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a515443.pdf>.
- [19] R. Altawy and A. M. Youssef, "Security, privacy, and safety aspects of civilian drones: A survey," *ACM Trans. Cyber-Physical Syst.*, vol. 1, no. 2, 2017, doi: 10.1145/3001836.
- [20] J. Everaerts and I. W. G. I. V, "The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 37, pp. 1187–1192, 2008.

- [21] U.S. Department of Transportation, “Unmanned Aircraft System (UAS) Service Demand 2015-2035: Literature Review and Projections of Future Usage, Version 0.1,” *Unmanned Aircr. Syst. Serv. Demand 2015 - 2035 - Lit. Rev. Proj. Futur. Usage*, no. September 2013, p. 151, 2013, doi: DOT-VNTSC-DoD-13-01.
- [22] S. ÇOBAN and T. OKTAY, “Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) According to Engine Type,” *J. Aviat.*, vol. 2, no. 2, pp. 177–184, 2018, doi: 10.30518/jav.461116.
- [23] M. Adamski, “Analysis of propulsion systems of unmanned aerial vehicles,” *J. Mar. Eng. Technol.*, vol. 16, no. 4, pp. 291–297, 2018, doi: 10.1080/20464177.2017.1383337.
- [24] T. A. Johansen and T. I. Fossen, “Guidance , Navigation and Control of Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicles,” pp. 1–13.
- [25] US DoD, “Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030,” pp. 1–62, 2005, May 14, 2010.
- [26] J. Buckley, *Air Power In The Age of Total War*. 1999.
- [27] U. Baykara, “Design of A High Speed Decoy UAV,” vol. 8, no. 3, p. 215, 2016.
- [28] B. London, “A Model-Based Systems Engineering framework for concept development,” p. 152, 2012.

