

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İNSANSIZ DENİZ ARAÇLARI (İDA) GELİŞTİRİLMESİNDE MODEL
TABANLI SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ (MTSM) İLE GEREKSİNİM
YÖNETİMİ VE ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eyüp AYDIN

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İNSANSIZ DENİZ ARAÇLARI (İDA) GELİŞTİRİLMESİNDE MODEL
TABANLI SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ (MTSM) İLE GEREKSİNİM
YÖNETİMİ VE ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Eyüp AYDIN
(512121006)**

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail ÇİÇEK

TEMMUZ 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**REQUIREMENTS MANAGEMENT WITH MODEL-BASED SYSTEMS
ENGINEERING (MBSE) IN THE DEVELOPMENT OF UNMANNED
SURFACE VESSELS (USV) AND CASE STUDY**

M. Sc. THESIS

**Eyüp AYDIN
(512121006)**

Department of Marine Transportation and Management Engineering

Marine Transportation and Management Engineering Programme

Thesis Advisor: Assoc. Prof. İsmail ÇİÇEK

JULY 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 512121006 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Eyüp AYDIN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İNSANSIZ DENİZ ARAÇLARI (İDA) GELİŞTİRİLMESİNDE MODEL TABANLI SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ (MTSM) İLE GEREKSİNİM YÖNETİMİ VE ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. İsmail ÇİÇEK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Serkan EKİNCİ**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Burak ZİNCİR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Haziran 2024
Savunma Tarihi : 1 Temmuz 2024





Eşime ve çocuklarıma,



ÖNSÖZ

Sistem mühendisliği temelleri 1930’lu yıllarda yönetmesi zor ve karmaşık projelerde süreçlerin sağlıklı yürütülmesi için ortaya çıkmış bir disiplindir. Yıllar içerisinde gelişmiş ve yaygın uygulama alanı bulmuştur. 2000’li yıllarda teknolojinin gelişmesi ile yeni yöntemler ortaya çıkmış ve bilgisayar odaklı sistem mühendisliği uygulamaları artmıştır. İş ve paydaş sayısı arttıkça yönetilemez hale gelen projelerde model tabanlı sistem mühendisliği (MTSM) uygulamaları bir çözüm olarak ortaya koyulmuştur.

Türkiyede özellikle savunma sanayi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan sistem mühendisliği çoğunlukla doküman tabanlı olarak yürütülmektedir. Günümüzde yurt dışında oldukça yaygın olarak kullanılan MTSM’nin ülkemizde tanıtılması ve uygulamalarının artırılmasına katkı sağlanması amacıyla bu tez hazırlanmıştır. Bu tezin hazırlanması sırasında Genesys yazılımı ile uygulama yapma fırsatı sağlayan Vitech firmasına teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz 2024

Eyüp AYDIN
(Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ VE LİTERATÜR TARAMASI	1
1.1 İnsansız Deniz Araçları	5
1.1.1 İnsansız su altı araçları	5
1.1.1.1 Uzaktan kumandalı su altı aracı (remotely operated vehicle (rov)).....	6
1.1.1.2 Otonom su altı aracı (autonomous underwater vehicle (auv)).....	8
1.1.2 İnsansız su üstü araçları sınıflandırılması	9
1.1.2.1 Otonomi seviyelerine göre su üstü araçları.....	10
1.1.2.2 Boyutlarına göre su üstü araçları.....	16
1.1.2.3 Çalıştıkları çevre şartlarına göre su üstü araçları.....	18
1.1.2.4 İcra ettikleri görevlere göre insansız suüstü araçları.....	18
1.1.3 Dünyada yapılan İDA çalışmaları	31
1.1.4 Türkiye’de yapılan İDA çalışmaları	35
1.2 İnsansız Deniz Araçlarındaki Alt Sistemler	38
1.2.1 Tekne.....	38
1.2.2 Tahrik sistemleri	39
1.2.3 Elektrik sistemleri	39
1.2.4 Seyir muhabere ve kontrol sistemleri.....	40
1.2.5 Yardımcı sistemler	41
1.2.6 Görev sistemleri	42
2. SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ YAKLAŞIMI	45
2.1 Doküman Tabanlı Sistem Mühendisliği (DTSM).....	49
2.2 Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM).....	53
2.3 Systems Modeling Language (SysML) Nedir?	56
2.3.1 Yapısal diyagram (Structure Diagram).....	57
2.3.2 Davranış diyagramı (Behaviour Diagram).....	59
2.4 İnsansız Deniz Aracı (İDA) İçin Gereksinim Yönetimi Denemesi.....	62
2.4.1 Kurumsal işletim konsepti (concept of operation (ConOps))	64
2.4.2 Operasyonel konsept (operational concept (OpsCon))	65
3. UYGULAMA.....	67
3.1 Sisteme Genel Bakış.....	67
3.2 Sistem İçeriği.....	67
3.3 Sistem Hedefleri	68
3.4 Operasyonel Konsept	69

3.5 Dış Varlıklar	71
3.6 Güvenlik Gereksinimleri	72
3.7 Sistem Fonksiyonu	72
3.8 Vitech Genesys ASV Projesi.....	74
4. KARŞILAŞTIRMA VE SONUÇ	81
KAYNAKLAR.....	83
EKLER	89
ÖZGEÇMİŞ.....	93



KISALTMALAR

AADL	: Architecture Analysis And Design Language
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACT	: Etkinlik Şeması
ALFUS	: Autonomy Levels For Unmanned Systems Framework
ASV	: Autonomous Surface Vessel
ASW	: Anti-Submarine Warfare
AUV	: Otonom Su Altı Aracı
BDD	: Blok Tanımlama Şeması
DTSM	: Doküman Tabanlı Sistem Mühendisliği
BV	: Bureau Veritas
CCTV	: Close Circuit Television
CDR	: Critical Design Review
COLREG	: International Regulations For Preventing Collisions At Sea
ConOps	: Concept Of Operation
DG	: Deniz Güvenliği
DMS	: Document Management System
DSH	: Denizaltı Savunma Harbi
DVİL	: Doküman Veri İstek Listesi
EH	: Elektronik Harp
Eo-Ir	: Electro-Optical/Infra-Red
FSS	: Fire Safety Systems
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
IACS	: International Association Of Classification Societies
IMCA	: International Marine Contractors Association
IMDG	: Dangerous Goods
IMO	: International Maritime Organization
INCOSE	: Uluslararası Sistem Mühendisliği Konseyi

ISM	: International Safety Management
ISO	: International Organization For Standardization
ISPS	: Ship And Port Facility Security
İBD	: Dahili Blok Şeması
İDA	: İnsansız Deniz Aracı
İGD	: İş Gereksinimleri Dokümanı
İKG	: İstihbara, Keşif, Gözetleme
KVKK	: Kişisel Verilerin Korunması Kanunu
LR	: Lloyd's Register
MASS	: Maritime Autonomous Surface Ships
MKT	: Mayın Karşı Tedbir
MTSM	: Model Tabanlı Sistem Mühendisliği
NATO	: North Atlantic Treaty Organization
OpsCon	: Operational Concept
OTS	: Otomatik Tanımlama Sistemi
PDR	: Preliminary Design Review
PGD	: Paydaş Gereksinimleri Dokümanı
PKG	: Paket Şeması
REQ	: Gereksinim Şeması
RF	: Radiofrequency
RIB	: Rigid Inflatable Boat
ROI	: Return On Investment
ROV	: Uzaktan Kumandalı Su Altı Aracı
SEMP	: Systems Engineering Management Plan
SEQ	: Dizi Şeması
SGD	: Sistem Gereksinimleri Dokümanı
ŞİDA	: Silahlı İnsansız Deniz Aracı
SM	: Sistem Mühendisliği
SMD	: Durum Makinesi Şeması
SOLAS	: International Convention For The Safety Of Life At Sea
SRR	: System Requirements Review
SSB	: Savunma Sanayi Başkanlığı
STCW	: Certification And Watchkeeping For Seafarers
SÜH	: Su Üstü Harbi
SysML	: Sistem Modelleme Dilini

TİD	: Teknik İstekler Dokümanı
UC	: Kullanım Durumu Şeması
UML	: Unified Modeling Language
UPS	: Kesintisiz Güç Kaynakları
USV	: Unmanned Surface Vehicle
VDS	: Variable Depth Sonar
YTS	: Yandan Taramalı Sonar





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : ROV sınıflandırması.....	7
Çizelge 1.2 : Dünyadaki İDA projeleri.....	33
Çizelge 1.3 : Türkiye’de İDA üreten firmalar.	35
Çizelge 1.4 : Türkiye’deki İDA projeleri.	36
Çizelge 2.1 : Bir disiplin olarak sm'nin kökenindeki önemli tarihler.	46
Çizelge 2.2 : Güncel önemli sm standart ve rehberleri.....	47
Çizelge 3.1 : Sistem hedefi-1.	68
Çizelge 3.2 : Sistem hedefi-2.	69
Çizelge 3.3 : Sistem hedefi-3.	69
Çizelge 3.4 : Sistem hedefi-4.	69
Çizelge 3.5 : Sistem hedefi-5.	69
Çizelge 3.6 : Birincil aktörler.....	70
Çizelge 3.7 : Aktörlerin ana amacı.	70
Çizelge 3.8 : Dış varlıklar.	72
Çizelge 3.9 : Güvenlik gereksinimi.	72
Çizelge A.1 : Gereksinim seti.....	90



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : İnsansız deniz araçları.	5
Şekil 1.2 : ROV operasyonu (TR-1000-ROV, t.y.).	6
Şekil 1.3 : AUV taraması (“HUGIN Endurance Autonomous Underwater Vehicle (AUV)”, t.y.).	6
Şekil 1.4 : ROV gemiden denize bırakılırken (TR-1000-ROV, t.y.).	8
Şekil 1.5 : Kongsberg firmasına ait auv atma-toplama operasyonu (This Is How an Unmanned Launch and Recovery System Operates Hydro International, t.y.).	9
Şekil 1.6 : ALFUS otonomi sınıflandırması (Huang vd., 2005).	13
Şekil 1.7 : Otomasyon ile kontrol seviyesi arasındaki ilişki (ISO/TS 23860:2022 Ships and Marine Technology — Vocabulary Related to Autonomous Ship Systems., 2021).	15
Şekil 1.8 : BV otonomi sınıflandırması (marine-offshore.bureauveritas, t.y.).	15
Şekil 1.9 : Maritime UK sınıflandırması (Maritime Autonomous Surface Ships Industry Conduct Principles & Code of Practice version 4 Maritime UK, t.y.).	17
Şekil 1.10 : Master plan sınıflandırması.	18
Şekil 1.11 : Küresel otonom gemi pazar büyüklüğünde yıllık büyüme, otonomi seviyesine göre, 2015-2025 (milyar abd doları)(Autonomous Ships Market Size & Share Industry Report, 2019-2025, t.y.)	19
Şekil 1.12 : MASS araştırma çalışmalarındaki yıllık büyüme (Jovanović vd., 2024).	21
Şekil 1.13 : SVAN projesi (Rolls-Royce and Finferries Demonstrate World’s First Fully Autonomous Ferry Rolls-Royce, t.y.).	21
Şekil 1.14 : YARA Birkeland projesi (Bosch, 2022).	22
Şekil 1.15 : MEGURI 2040 projesi (The Nippon Foundation MEGURI2040 Fully Autonomous Ship Program, 2022).	23
Şekil 1.16 : Sivastapol saldırısında kullanıldığı düşünülen ida (History Repeats Itself, t.y.).	24
Şekil 1.17 : MKT görev konsepti (Unmanned Maritime System NAVAL Defense Hanwha Systems, t.y.).	25
Şekil 1.18 : MKT görevi icra eden ida(SANCAR, t.y.).	26
Şekil 1.19 : DSH görev konsepti (Unmanned Maritime System NAVAL Defense Hanwha Systems, t.y.).	27
Şekil 1.20 : İKG görev konsepti (Unmanned Maritime System NAVAL Defense Hanwha Systems, t.y.).	27
Şekil 1.21 : İKG görevi yapan ida (ezyweb, 2018).	28
Şekil 1.22 : İDA alt sistemleri.	38
Şekil 1.23 : MASS uzaktan kontrol merkezi (rcc) uzaktan operatör arayüzü (roi) ...	43

Şekil 2.1: Sistem mühendisliği yönetim süreçleri (walden, 2015).	48
Şekil 2.2: DTSM ve mtSM farkı (Madni & Sievers, 2018).	53
Şekil 2.3: SysML diyagramı (What is SysML? OMG SysML, t.y.).	57
Şekil 2.4: Blok tanımlama şeması örneği.	58
Şekil 2.5: Dahili blok şeması örneği.	58
Şekil 2.6: Paket şeması örneği.	59
Şekil 2.7: Etkinlik şeması örneği.	59
Şekil 2.8: Dizi şeması örneği.	60
Şekil 2.9: Durum makinesi şeması örneği.	60
Şekil 2.10: Kullanım durumu şeması örneği.	61
Şekil 2.11: Parametric şema örneği.	61
Şekil 2.12: Gereksinim şeması örneği.	62
Şekil 2.13: Teknik süreçler.	63
Şekil 2.14: ConOps ve OpsCon.	64
Şekil 2.15: SM paydaş ilişkisi (Peterson, 2016).	66
Şekil 3.1 : Kullanım durumu şeması.	68
Şekil 3.2 : ASV sistem bağlamı.	75
Şekil 3.3 : ASV ilk seviye kırılımı.	75
Şekil 3.4 : ASV ikinci seviye kırılımı.	76
Şekil 3.5 : ASV dahili blok şeması (ibid).	76
Şekil 3.6 : ASV ana makine dahili blok şeması (ibid).	77
Şekil 3.7 : ASV gereksinim şeması.	77
Şekil 3.8 : ASV gereksinim şeması kırılımı.	77
Şekil 3.9 : ASV etkinlik şeması.	78
Şekil 3.10 : ASV dizi şeması.	78

İNSANSIZ DENİZ ARAÇLARI (İDA) GELİŞTİRİLMESİNDE MODEL TABANLI SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ (MTSM) İLE GEREKSİNİM YÖNETİMİ VE ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ

ÖZET

İnsansız deniz araçları günümüzde oldukça popülerlik kazanmış durumdadır. Bu popülerliğin kazanılmasında insansız hava araçlarında sağlanan başarının büyük etkisi bulunmaktadır. Ülkemizin yer aldığı sıcak coğrafyada güçlü bir ülke olmak adına ortaya koyulan savunma sanayi projelerinde ciddi bir ivme yakalanmış durumdadır. bir örneğini deniz araçları özelinde sağlanması çok uzak bir ihtimal görünmemektedir. Bu tez kapsamında ilk aşamada insansız deniz araçları tanıtılarak dünya da ve ülkemizde var olan durumunun bir resmi oluşturulmak hedeflenmiştir. İnsansız deniz araçları sınıflandırmasında ortaya çıkan farklı yaklaşımlardan bahsedilerek bahse konu farklı yaklaşımlar kapsamında ne tür deniz araçlar projelerinin olduğu gösterilmiştir. Temelde insansız deniz araçlarında uluslararası denizcilik örgütü (IMO) tarafından yapılan tanım baz alınmıştır. Bu tanıma göre otonomi seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca boyutlarına, çalıştıkları çevre şartlarına ve icra ettikleri görevlere göre deniz araçları tanımlanmıştır. Temelde savunma sanayiinde İDA uygulaması yapılacağı için askeri amaçlı İDA lar konusunda daha fazla detay verilmiştir. Dünyadaki ve ülkemizde yürütülen projeler hakkında bilgi verildikten sonra temelde bir deniz aracında bulunan sistemler tanıtılmıştır. Deniz aracındaki sistemlerin başlıklar/gruplar halinde tanıtılmasındaki amaç MTSM uygulaması yaparken sistemlerin detaylandırılması ve gruplandırılmasında askeri gemi projelerinde yaygın olarak kullanılan usule uygun olmasını sağlamaktır. Buna göre gemi inşa edilirken Tekne, Tahrik sistemleri, Elektrik sistemleri, Seyir muhabere ve kontrol sistemleri, Yardımcı sistemler ve Görev sistemleri olarak ana gruplara ayrılmaktadır.

Sonraki aşamada aslında sadece savunma sanayi ile kısıtlı olmayan ve geniş bir uygulama alanı bulunan sistem mühendisliğinin temel kavramları tanıtılarak tez kapsamında yapılmak istenen uygulama projesi için bir altyapı oluşturulması istenmiştir. Sistem mühendisliğinin günümüzde yaygınlık kazanan yeni kavramı olan model tabanlı sistem mühendisliği de (MTSM) bu kısımda bahsedilmiş ve doküman tabanlı sistem mühendisliği (DTSM)’den farkları ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Uygulama yapılan programın da dili olan Sistem Modelleme Dili (SysML) ve içerisinde yer alan şemalar tarif edilerek uygulamanın anlaşılması sağlanmak istenmiştir. Sistem mühendisliği süreçlerine uygun olarak İş İhtiyaçları ve İş Gereksinimleri, Paydaş İhtiyaç ve Gereksinimleri, Sistem İhtiyaç ve Gereksinimleri örneklerle tanıtılmış ve süreçler işletilerek uygulama için temel girdi niteliğinde olan Teknik İstekler Dokümanı (TİD) oluşturulmuştur.

Uygulama aşamasında ise bir İDA için hazırlanmış olan TİD temel alınarak gereksinimler programda tanımlanmıştır. Gereksinimlere uygun olarak tasarlanması ve üretilmesi beklenen İDA için yukarıda tarif edilen ana gruplandırmalar yapılmıştır. SysML de tanımlı şemalar oluşturularak bir İDA’nın yapısal ve davranışsal şemaları

oluşturulmuştur. Bu süreçte yoğun mühendislik faaliyetleri yürütülmesi gereken ve birçok paydaşın katkı sağlaması ile ortaya çıkacak olan İDA için bir gösterim yapılmak istenmiştir. Tüm sistem mühendisliği süreçlerini uygulayacak imkan ve bilgi birikiminin bir tek insanda toplanması mümkün olmayacağı için sistemler st seviyede gsterilebilmiştir.



REQUIREMENTS MANAGEMENT WITH MODEL-BASED SYSTEMS ENGINEERING (MBSE) IN THE DEVELOPMENT OF UNMANNED SURFACE VESSELS (USV) AND CASE STUDY

SUMMARY

Unmanned naval/surface vehicles have gained a lot of popularity today. The success achieved in unmanned aerial vehicles has a great impact on this popularity. A serious momentum has been achieved in the defense industry projects put forward in order to become a strong country in the hot geography where our country is located. The fact that the unmanned aerial vehicles produced by Turkey have proven themselves in wars has caused them to be preferred by many countries. Especially the successes achieved in countries such as Iraq, Syria, Azerbaijan and Libya are proof of these products. If the necessary effort is made, it is not a distant possibility that the success achieved in the air can be achieved at sea in a similar way. A good reading of the needs and concept of operation and the development of appropriate products will be the first step in achieving this success.

Within the scope of this thesis, a literature review of the academic literature on unmanned maritime vehicles was first conducted. Both unmanned naval/surface vehicles (usv) and model-based systems engineering (MBSE) studies are relatively new fields. The intersection of these two fields covers a very small area. However, despite this, it has been observed that there are many publications in this field. This proves that the thesis topic will be of even greater interest in the near future. The fact that the number of articles containing the term Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), which is the nomenclature made by IMO, has increased from 200 to 1400 per year is proof that the interest in this field of study is increasing day by day.

After the literature review, a general introduction was made by classifying unmanned vehicles as unmanned surface vehicle (usv) and unmanned underwater vehicle. And examples suitable for this classification were shown within the scope of the thesis.

When underwater vehicles are examined, it is possible to define them in two groups as remotely operated underwater vehicles (rov) and autonomous underwater vehicles (auv). Although it may seem outside the scope of our study, underwater vehicles are used as the main payload in many missions. In this respect, underwater vehicles perform missions by launching and recovering from unmanned surface vehicles. Due to this aspect, they are included in the scope of this thesis.

When unmanned surface vehicles are examined, it is possible to make different definitions according to the area of use. We defined unmanned surface vehicles as surface vehicles by autonomy level (1-5), surface vehicles by size (small, medium, large), surface vehicles by the environment in which they operate (open sea, inland sea, lake, river), and surface vehicles by the missions they perform. When the studies on surface vehicles were examined according to the levels of autonomy at the top of the above classifications, it was found that there were many different studies that provided definitions suitable for this classification. These studies also are included in

the scope of the thesis. However, it is considered that the work carried out by the IMO in this area will have a binding and guiding function in the future. According to IMO, the definition of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) has been officially determined. ISO 23860, Nato, albus, Bureau Veritas (BV), and Lloyd's Register (LR) autonomy classifications, which classify according to autonomy levels, are also included in this thesis. In all autonomy classifications, the basic logic refers to the stages that vehicles go through as they move from non-autonomous to autonomous mode. While NATO has four sub-classifications, Albus has ten, ISO has six, Bureau Veritas (BV) has four and Lloyd's Register (LR) has six. The areas of use of autonomous surface vehicles for civilian purposes are also quite wide. these areas of use are classified as follows. Monitoring, surveillance and protection of coastal areas, search and rescue, maritime fire fighting, pollution detection and clean up, offshore energy platforms and pipelines construction, maintenance, control, maritime ambulance services, scientific research activities (oceanographic research, hydrographic research, bathymetric measurements, collection of water samples, etc.), offshore wind turbines, monitoring of illegal activities, commercial maritime activities

Also as our main area of interest is the use of unmanned surface vehicles for military purposes, the classification and mission concepts defined in this field are considered in a broader framework. It has been noted that military unmanned surface vehicles, which are included in the mission classification for this purpose, are used for the following purposes mine countermeasures(mcm), anti-submarine warfare(asw), intelligence, reconnaissance, surveillance(irs), surface warfare(sw), electronic warfare(ew), maritime security(ms).

After mentioning the definitions below, it is intended to give a picture of the current situation in our country (Turkiye) and in the world by presenting ongoing unmanned surface vehicle projects. The large number and diversity of projects carried out in Turkiye is an indication of the importance attached to this special type of vehicles. the products offered in this field are pioneering in the world. the large number of studies carried out in the world shows the extent of competition in this field. Apart from Turkiye, the United States, Israel and a few European countries are competing in this field. It is shown what kind of naval vehicle projects exist within the scope of these different purposes.

After giving information about the projects carried out in the world and in our country, the systems in a naval vessel are basically introduced. The purpose of introducing the systems in the naval vessel in headings/groups is to ensure that the detailing and grouping of the systems while applying mbse is in accordance with the procedure commonly used in military ship projects. Accordingly, while the ship is being built, project is divided into main groups as the hull, propulsion systems, electrical systems, navigation communication and control systems, auxiliary systems and mission systems.

In the next stage, the basic concepts of systems engineering, which is not limited to the defense industry and has a wide range of applications, are introduced to create an infrastructure for the application project to be carried out within the scope of the thesis. Systems engineering is an interdisciplinary field of engineering and engineering management that focuses on how to design, integrate, and manage complex systems over their life cycles. At its core, systems engineering utilizes systems thinking principles to organize this body of knowledge. Information is given about the international rule sets published on systems engineering and the systems engineering

processes in the International Systems Engineering Council (INCOSE) handbook. Model-based systems engineering (mbse), which is the new concept of systems engineering that has become widespread today, is mentioned in this section. According to incose model-based systems engineering (mbse) is the formalized application of modeling to support system requirements, design, analysis, verification and validation activities beginning in the conceptual design phase and continuing throughout development and later life cycle phases.

Document-based systems engineering (DBSE), which is the customary for systems engineering, is mentioned in this section. Differences between model-based systems engineering (mbse) and document-based systems engineering (dbse) are tried to be revealed. System Modeling Language (SysML), which is also the language of the applied program, and the schemas in it, are described to provide an understanding of the application. The applied program (genesys) interface and sysml diagrams also tried to explain in this section. SysML consists of 9 diagrams and is expressed in 4 main parts; Structure, Behaviour, Requirements, Parametrics. Our application is based on these diagrams. In accordance with the system engineering processes, project begins with the Corporate Concept of Operation (ConOps) and other corporate strategic goals and objectives that business management uses to define business (mission) needs. These needs are supported by draft life cycle concepts (supply concept, installation concept, operational concept (OpsCon), support concept and retirement concept). Business needs are then detailed and formalized as business requirements. In accordance with this thesis Business Needs and Business Requirements, Stakeholder Needs and Requirements, System Needs and Requirements were introduced with examples and the Technical Requirements Document (TRD), which is the basic input for the application was created by operating the processes.

In the implementation phase, the requirements were defined in the program based on the trd prepared for an usv. The main groupings described above were made for the usv that is expected to be designed and produced in accordance with the requirements. Structural and behavioral diagrams of an usv were created by creating schematics defined in SysML. In this process, it is desired to make a representation for the usv, which will emerge with the contribution of many stakeholders, where intensive engineering activities should be carried out. Since it would not be possible to gather the means and knowledge to implement all system engineering processes in a single person, the systems could be demonstrated at a high level.



1. GİRİŞ VE LİTERATÜR TARAMASI

Sistem mühendisliği uygulamaları özellikle savunma ve havacılık sektöründe vazgeçilmez bir ürün yönetim modeli olarak kullanılmaktadır. Türk savunma sanayi projelerinde birçok uygulama mevcuttur. Bunlardan Arda Mevlütoğlu tarafından “Commentary on Assessing the Turkish defense industry: structural issues and major challenges” adı ile yapılan çalışma kapsamında Türk savunma sanayinin tarihsel gelişimi, gelinen durum ve sistem mühendisliği süreçlerine değinilmiştir (Mevlutoglu, 2017). Savunma sanayii ürünlerinin ömür devri göz önüne alındığında iş ve paydaş ihtiyaçlarının belirlenmesinden, gereksinimlerin ortaya çıkartılmasına, sistem tasarımlarından test ve doğrulama faaliyetleri ve sonrasında sistemin sahada uygulama süreçlerine kadar tüm süreçler, sistem mühendisliği süreç yönetimi verimli olarak işletilmektedir. Söz konusu süreçler, işletim, idame ve elden çıkarma süreçlerini de kapsamakta ve maliyet etkin ve ihtiyaçları karşılayan ürün tedariki amaçlı çalışmaları da içermektedir. Savunma tedarik projelerinde sistem mühendisliği, özet olarak ihtiyaç duyulan sistemlerin tanımlanmasından envanterden çıkartılmasına kadar olan süreçlerin yönetiminde uygulanabilecek yöntemleri tanımlar. Mustafa Kemal Topçu ve Göksel Korkmaz tarafından “Risk Management in Defense Acquisiton Projects” adı ile yayımlanmış çalışmada bahse konu süreçlerde risk yönetimi ve sistem mühendisliğinden istifade edilmesi önerilmiştir(Mustafa Kemal Topçu & Göksel Korkmaz, 2021). Savunma projeleri gibi paydaşların, gereksinimlerin ve süreçlerin çok olduğu karmaşık ve büyük projelerde bu tür sistem mühendisliği uygulamaları maliyet ve takvim açısından kaçınılmaz bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak uygulamada ortaya çıkması muhtemel sorunların önüne geçmek maksadıyla Daniel Fogarty, Pete De Salvo, ve Edward DeMello tarafından hazırlanan “Model-Based Systems Engineering and Model-Based Safety Analysis: Final Report” adlı raporda MTSM’nin yaygınlaştırılmasının önündeki engellerden bahsedilmiş ve bunu aşmak için bir eğitim programı önerisinde bulunulmuştur.(Daniel Fogarty vd., 2021). Bilgisayar teknolojilerinin bu denli geliştiği ve yaygınlaştığı bir dönemde proje faaliyetlerinin hala geleneksel Belge Tabanlı Sistem Mühendisliği (BTSM)

uygulamaları ile devam etmesi çalışmaları belge geliştirme odağına kaydırmakta, iş yükünü de arttırmaktadır. BTSM modeli ile proje yönetimi basit, ucuz, az uzmanlık gerektiren ve daha bilindik görünmektedir ancak Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM) modeli ile proje yönetiminde sağlanacak faydalar incelendiğinde bu yöntemin birçok avantajlar sağladığı görülmektedir (Guo vd., 2022). Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM) ile proje yönetiminin avantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür; bütüncül bir tasarım süreci sunması, hataların erken tespitini sağlaması, izlenebilirliği artırması, iş birliği ve iletişimi artırması, verimliliği artırması, kaliteyi artırması, sistemin anlaşılabilirliğini ve görselleştirilmesini artırması, karar verme süreçlerine katkı sağlaması, dokümantasyonu azaltması, maliyet ve zaman tasarrufu sağlamasıdır (Friedenthal vd., 2008). Genel olarak, MTSM geliştirme süreci boyunca gelişmiş kalite, verimlilik ve iş birliği ile sonuçlanabilecek gereksinim mühendisliğine daha kapsamlı ve sistematik bir yaklaşım sağlamaktadır. K. Henderson ve A. Salado tarafından hazırlanan “Value and benefits of model-based systems engineering (MBSE): Evidence from the literature” adlı makale anahtar kelimeler ile literatür taraması yaparak MTSM’nin değer ve faydalarından bahsetmiş ve bu alanda yapılan çalışmalar ağırlıklandırmıştır. Bu makale kapsamında model tabanlı sistem mühendisliği, doküman tabanlı sistem mühendisliği, model odaklı mühendislik, model odaklı mimari ve dijital mühendislik gibi anahtar kelimeler ile yapılan akademik çalışmalar derlenmiştir. Derlenmiş olan makaleler üzerinde yapılan analiz ile MTSM ile sağlanan faydaların ne tür konu başlıklarında toplanmış olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Temelde faydalar, iletişimi daha sağlıklı hale getirdiği, sistem kalitesini artırdığı, izlenebilirliği artırdığı, maliyet, zaman ve riski azalttığı olarak belirtilmiştir. Söz konusu makaleden anlaşılan görece yeni olarak kabul edilen MTSM uygulamalarında ortaya çıktığı iddia edilen faydalar ile ilgili daha çok kanıt oluşturulması gerektiği ve bu yönüyle literatürde yeterli kanıt yer almadığı yönünde olmuştur (Henderson & Salado, 2021).

Bu çalışma ile birçok yeni ilerlemeleri içinde barındıran ve halen de gelişmekte olan insansız/otonom deniz araçları (İDA) projelerinin yönetiminde MTSM ile süreç yönetiminin nasıl olduğu ve bu uygulamanın sağladığı avantajların gösterilmesi amaçlanmıştır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bilgisayarlı mühendislik programları (3 boyutlu model, mühendislik hesap/analiz programları), simülasyon programları, gereksinim yönetim programları, konfigürasyon programları, doğrulama

ve geçerli kılma amaçlı mühendislik analiz programları ve veriye dayalı analiz programları, model tabanlı sistem mühendisliği modeli ile entegre edilebilmekte ve bu sayede bütüncül bir yaklaşım ile proje yönetimi yapılabilmektedir. Örnek olarak V. Arrichiello ve P. Gualeni, tarafından hazırlanan “Systems engineering and digital twin: a vision for the future of cruise ships design, production and operations” (Arrichiello & Gualeni, 2020)adlı makale yolcu gemilerinin tasarım, üretim ve yaşam döngüsü boyunca yürütülecek MTSM ve dijital ikiz uygulamaları ile Avrupalı yolcu gemisi üreticilerinin liderliği sürdürebileceğine vurgu yapılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli mühendislik ve bilgisayar destekli üretimin entegre bir sistem mühendisliği yönetimi yoluyla yapılmasının bir çıktısı olan dijital ikiz uygulamalarının yakın gelecekte oluşturacağı katkılardan bahsedilmiştir.

A. M. Madni, C. C. Madni, ve S. D. Lucero tarafından hazırlanan “Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering” (Madni vd., 2019)adlı makale dijital ikiz ile ilgili tanımlamalar, kullanım alanları, faydaları, gelecek beklentisi ile ilgili bilgiler verildikten sonra MTSM ile olan ilişkisi üzerinde durmuştur. Bu iki kavramın yakın gelecekte mühendislik, üretim, bakım ve dijital evrende ortaya çıkaracağı ürünler ve kullanım alanlarından bahsedilmiştir.

Model tabanlı sistem mühendisliğinin farklı sektörlerde uygulamalarına örnek göstermek amacıyla aşağıda yer alan yayımlar derlenmiştir. Bu yayımlar ile uzay, otomotiv ve savunma ve havacılık ve tıp alanında MTSM uygulamalarını görmek mümkündür.

L. Boggero, A. Chojnacki, J. Bussemaker, J. Bartels, D. Quantius, ve B. Nagel, tarafından hazırlanan “The MBSE competence at the German Aerospace Center”(Boggero vd., 2023) adlı makale uzay alanındaki çalışmalara örnektir.

J. D’Ambrosio and G. Soremekun tarafından hazırlanan “Systems engineering challenges and MBSE opportunities for automotive system design” (D’Ambrosio & Soremekun, 2017)adlı makale otomotiv alanındaki çalışmalara örnektir.

T. Peugeot, N. Dupin, M.-J. Sembely, ve C. Dubecq tarafından hazırlanan, “MBSE, PLM, MIP and Robust Optimization for System of Systems Management, Application to SCCOA French Air Defense Program” (Peugeot vd., 2017)adlı makale savunma ve havacılık alanındaki çalışmalara örnektir.

A. Hanson tarafından hazırlanan, “Using A Model-Based Systems Engineering Approach For Exploration Medical System Development” (Hanson vd., 2017) adlı makale ise tıp alanındaki çalışmalara örnektir.

MTSM nin denizcilik alanında da gün geçtikçe yaygınlaşan bir kullanımı vardır. Bu alanda var olan çalışmaların özetlendiği K. Bratić, I. Pavić, S. Vukša, ve L. Stazić tarafından hazırlanan “Review of Autonomous and Remotely Controlled Ships in Maritime Sector” (Bratić vd., 2019) adlı makale buna bir örnektir. Bu alanda belirleyici rol oynayan IMO nun kural çalışmaları da birçok makalede yer bulmuştur.

Ayrıca Montrell F. Smith tarafından hazırlanan “Converting A Manned Lcu Into An Unmanned Surface Vehicle (Usv): An Open Systems Architecture (Osa) Case Study” (Smith, t.y.) adlı makale ile askeri amaçlı kullanılan çıkarma gemilerinin insansızlaştırılması ile ilgili bir uygulama örneği gösterilmiştir. Amerikan deniz kuvvetleri tarafından kullanılan 1610 sınıfı çıkarma gemilerine uygulanmasına yönelik sistem mühendisliği örnek çalışması sunulmuştur.

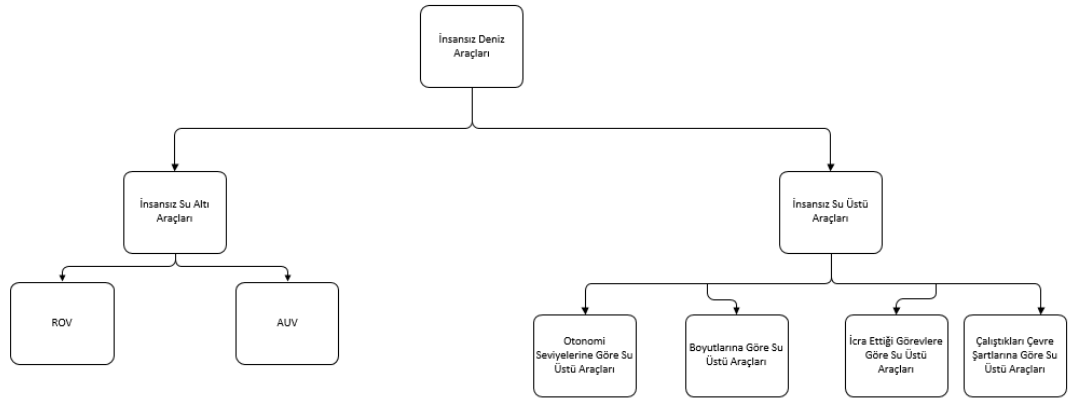
James B. Zorn tarafından hazırlanan “A Systems Engineering Analysis Of Unmanned Maritime Systems For U.S. Coast Guard Missions” (Zorn, 2013) adlı makale ile ise Amerikan sahil güvenlik kuvvetlerinin görevlerinden bahsedilerek insansız sistemlerin görev konseptinde bulacağı yer ve kullanım durumu ile ilgili bilgiler verilmiş ve MTSM ‘ne dair bir uygulama ile örneklendirilmiştir.

Z. Liu, Y. Zhang, X. Yu, ve C. Yuan tarafından hazırlanan “Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges” (Liu vd., 2016) adlı makale detay seviyede sistemler ele alınarak insansız sistemlerin geliştirilmesinde ortaya çıkabilecek zorluklar konu edilmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan uygulamalara benzer birçok uygulama bulunmaktadır. Pramutadi, A. M., Zulkarnain, M. F., Mulyanto, T., & Nurprasetio, I. P. tarafından hazırlanan “From document-based to model-based systems engineering, case studies of BRIN LSA-02 electronic flight control systems” (Pramutadi vd., 2023) adlı makale uçuş kontrol sistemlerinde DTSM den MTSM geçiş sürecine dair uygulama örneğidir. Benzer şekilde Adedjouma, M., Thomas, T., Mraidha, C., Gerard, S., & Zeller, G. tarafından hazırlanan “From document-based to model-based system and software engineering” (Adedjouma vd., 2016) adlı makale ise otomotiv sektöründeki uygulama örneklerindendir.

1.1 İnsansız Deniz Araçları

İnsansız deniz araçları Şekil 1.1. de gösterildiği üzere su üstü ve su altı olarak iki kısma ayrılmaktadır. Tezin direk ilgi alanına girmemekle birlikte ortak operasyon yürütmesi bakımından su altı araçlarına da değinmek gerekmektedir. İcra ettikleri görevler kapsamında bilgi verilen insansız su altı araçları uzaktan kumandalı su altı aracı (ROV) ve otonom su altı aracı (AUV) olarak iki gruba ayrılmaktadır. Söz konusu araçlar çoğunlukla bir suüstü aracından denize bırakılarak kullanıldığından askeri ve sivil amaçlı birçok ortak görev icra etmektedir. Gelecekte insansız üstü araçlarının yaygınlaşması ile ortak kullanımlarının artacağı değerlendirilmektedir.



Şekil 1.1 : İnsansız deniz araçları.

1.1.1 İnsansız su altı araçları

İnsansız su altı araçları icra ettikleri görevler kapsamında uzaktan kumandalı su altı aracı (ROV) ve otonom su altı aracı (AUV) olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bu araçların kullanımı ve geliştirilmesi insansız su üstü araçlarına kıyasla daha eski zamana dayanmaktadır. Şekil 1.2’ de Tr-Arge firmasına ait iş sınıfı bir ROV operasyon yaparken görüntülenmiştir. Şekil 1.3’ de ise deniz tabanı taraması yapan Kongsberg firmasının ait Hugin AUV gösterimi yer almaktadır.



Şekil 1.2 : ROV operasyonu (Url-1).



Şekil 1.3 : AUV taraması (“HUGIN Endurance Autonomous Underwater Vehicle (AUV)”, t.y.).

1.1.1.1 Uzaktan kumandalı su altı aracı (remotely operated vehicle (rov))

Rov tipi su altı araçları insanlı olarak gidilmesi ve çalışılması/izlenmesi mümkün olmayan alanlarda faaliyet göstererek büyük yararlılık sağlamış ve bu yönüyle kendisini ispat etmiş cihazlardır (Bratić vd., 2019).

Bilinen ilk rov cihazı 1864 yılında Luppis Whitehead Automobile tarafından geliştirilmiş torpido şeklinde bir araçtır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan cihazlara daha çok benzeyen ilk cihaz ise 1953 yılında Dimitri Rebikoff tarafından geliştirilen Poodle isimli araçtır. Rov sınıflandırması IMCA (International Marine Contractors Association /uluslararası deniz müteahhitleri birliği) tarafından sınıf I den Sınıf V e kadar artan şekilde tanımlanmıştır .

Söz konusu rov sınıflandırması Çizelge 1.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 1.1 : ROV sınıflandırması.

Sınıf Numarası	Sınıf Adı
Sınıf I	Gözlem sınıfı rov
Sınıf II	Faydalı yük seçenekli gözlem sınıfı rov
Sınıf III	İş sınıfı rov
Sınıf IV	Çekili ve dipte yürüyen rov
Sınıf V	Prototip ya da geliştirme fazında olan rov

Yukarıda sınıflandırmasında bahsedilen araçların birçok kullanım alanı bulunkatadır. İhtiyaca göre farklı boyutlarda tasarlanan ve üretilen bu araçlar günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda kullanım alanları aşağıda sıralanan bu araçlar ülkemizde de birçok firma tarafından üretilmektedir. Şekil 1.4'te gösterilen ROV Tr- arge firması tarafından üretilerek 1000 (bin) metre derinlikte dahi hizmet vermektedir.

Rov kullanım alanları:

- Sualtı boru ve kablo kontrolleri
- Köprü ayağı kontrolleri
- Sualtı naaş ve delil çıkartma
- Su altı güç istasyonları
- Hidroelektrik ve nükleer santraller
- Su rezervuarları, baraj kapakları ve su setleri incelemeleri
- Arkeoloji çalışmaları,
- Su altı belgesel çekimi,
- Gemi teknesi, pervanesi ve yönlendirme ekipmanı incelemesi,
- Dalgıç gözleme ve destek.



Şekil 1.4 : ROV gemiden denize bırakılırken (TR-1000-ROV, t.y.).

1.1.1.2 Otonom su altı aracı (autonomous underwater vehicle (auv))

Otonom su altı araçları daha çok bilimsel amaçlarla kullanılan ve üzerindeki yandan taramalı sonar (YTS), çok bimli iskandil, ultra short baseline (usbl) gibi ekipmanlar vasıtasıyla deniz tabanı görüntülemesi yapan otonom deniz araçlarıdır. Petrol ve gaz endüstrisi, oşinografik araştırma, askeri amaçlı kullanım (Mayın karşı tedbir, istihbarat keşif gözetleme, denizaltı savunma harbi), batık taraması ve sualtı boru hattı taraması gibi ana kullanım alanları olan bu araçlar sivil/askeri otoriteler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır.

İnsansız deniz araçlarının geliştirilmesiyle AUV ler insansız olarak atılıp görev sonrası toplanabilmektedir. Aşağıda Şekil 1.5’te Henriksen AS tarafından geliştirilen insansız olarak denize bırakılan bir Hugin AUV görülmektedir.

AUV kullanım alanları:

- İstihbarat, Gözetleme ve Keşif (ISR)
- Mayına Karşı Tedbirler (MCM)
- Denizaltı Karşıtı Harp (ASW)
- Muayene / Tanımlama
- Oşinografi
- İletişim / Navigasyon Ağı Düğümleri (CN3)
- Zaman Kritik Vuruşu (TCS). (DON, 2004, s.16)



Şekil 1.5 : Kongsberg firmasına ait auv atma-toplama operasyonu (This Is How an Unmanned Launch and Recovery System Operates | Hydro International, t.y.).

1.1.2 İnsansız su üstü araçları sınıflandırılması

İnsansız su üstü araçlarına dair birçok sınıflandırma yapmak mümkündür. Yapılan sınıflandırmada göz önüne alınan değerlendirme kriterlerine göre farklılık arz edecektir. Aşağıda bazı sınıflandırma alternatifleri mevcuttur:

- i. Otonomi seviyelerine göre su üstü araçları (1-5),
- ii. Boyutlarına göre su üstü araçları (küçük, orta, büyük),
- iii. Çalıştıkları çevre şartlarına göre su üstü araçları (açık deniz, iç deniz, göl, nehir),
- iv. İcra ettiği görevlere göre su üstü araçları (sivil (kargo, bilimsel) askeri)

Bu tez kapsamına IMO tarafından yapılan sınıflandırmaya uygun olan otonomi seviyelerine göre sınıflandırma tercih edilmiştir. Otonomi seviyelerine göre sınıflandırma konusunda uluslararası bir fikir birliği oluşmamıştır. Bu nedenle ilk olarak farklı kurumlar tarafından yapılan otonomi tanımlamalarından bahsedilmiştir. Sonraki aşamada MTSM uygulaması yapılması amacıyla askeri amaçlı ASV ler detaylandırılmıştır.

1.1.2.1 Otonomi seviyelerine göre su üstü araçları

Limanların genişlemesi, gemi sayısının artması ve artan ticaret hacimleri nedeniyle yoğunlaşan rekabet gibi deniz ticaretindeki son gelişmeler yeni zorlukları da beraberinde getirmiştir. Bu zorluklar, mürettebat sayısının azalması, yükleme ve boşaltma ekipmanlarının benimsenmesi ve gemilerin işletilmesinden sorumlu denizcilerin iş yükünün ve görev saatlerinin artması gibi olumsuz etkilerle birleşmiştir. Bu faktörler, 1977'den bu yana meydana gelen önemli çarpışma kazalarının yakın zamanda yapılan kapsamlı bir analizinin bulgularına muhtemelen katkıda bulunmuş ve vakaların %94,7'sinde insan hatasının birincil neden olduğunu ortaya koymuştur (Uğurlu & Cicek, 2022). Bu zorluklar, Deniz Otonom Suüstü Gemilerini (MASS) denizciliğin geleceğinde çok önemli bir faktör haline getirmektedir.

Yasal çerçeve çalışmaları son yıllarda IMO, AB Üye Devletleri, Avrupa Deniz Güvenliği Ajansı (EMSA), Klas Kuruluşları ve diğer kritik endüstriyel paydaşların katılımıyla başlatılan ortak çalışmalar ve toplantılar yoluyla artmıştır. IMO'nun düzenleyici kapsam belirleme çalışmasının (IMO/MSC 2021; IMO/LEG 2021) sonuçlarından birkaç önemli sonuç elde edilebilir: Yüksek öncelikli olarak belirlenen konular arasında 'kaptan', 'mürettebat' ve 'sorumlu kişi' tanımları ve sorumlulukları; uzaktan kumanda istasyonunun anlamı ve uzaktan operatörün denizci olarak anlamı yer almaktadır.

İnsansız su üstü araçları farklı otonomi seviyeleri ile dikkat çekmektedir. Açık kaynaklarda yapılan tasniflerde temelde uzaktan kontrollü, yarı uzaktan kontrollü ve tam otonom olmak üzere 3 ana grupta tanımlandığı görülmüştür. Ancak bahse konu seviyelendirme ile ilgili ortak bir anlayışa henüz varılamamıştır.

Aşağıda farklı kurum ve kuruluş tarafından yapılan tasnifler yer almaktadır.

IMO otonomi sınıflandırması

IMO tarafından Deniz Otonom Yüzey Gemileri (Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)) tanımlanmakta ve 4 sınıf otonomi seviyesi belirlenmiştir (*Korea Autonomous Surface Ship Project*, t.y.).

- i. Otomatik süreçlere ve karar desteğine sahip mürettebatlı gemi (Derece Bir);
- ii. İçinde denizciler bulunan uzaktan kumandalı gemi (İkinci Derece)
- iii. Gemide denizci olmayan uzaktan kumandalı gemi (Üçüncü Derece);

iv. Tamamen otonom gemi (Dördüncü Derece).

IMO seviyesinde çalışmaların devam ettiği ve ilgili tüm regülasyonlarda (COLREG, SOLAS, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), Ship and Port Facility Security (ISPS), Dangerous Goods (IMDG), International Safety Management (ISM), Fire Safety Code ve Load Line Convention) otonomi ile ilgili yapılacak değişiklikler ve etkilerinin henüz netleşmediği anlaşılmaktadır. IMO web sitesinde yapılan açıklamaya göre zorunlu olmayan bir MASS Code un 2025'te aktif olacağı ve 2028 yılında da zorunlu olarak uygulamaya koyulacağı bilgisi paylaşılmıştır (Gu vd., 2021).

Avrupa Birliği Üye Devletlerinden denizcilik otoriteleri ve kilit sektör paydaşlarının ortak çabalarıyla, MASS denemeleri için AB Operasyonel Kılavuzlarının ilk baskısı, denizde emniyet ve güvenliğin sağlanmasının yanı sıra deniz ve kıyı çevresinin korunması amacıyla yön ve uygulanabilirlik sağlamak üzere hazırlanmıştır. Bu girişim, başkanlığını Avrupa Komisyonu'nun yaptığı ve Avrupa Deniz Güvenliği Ajansı (EMSA) tarafından desteklenen MASS uzman grubunun gözetiminde gerçekleştirilmiştir. IMO tarafından oluşturulan MASS'a ilişkin geçici Kılavuz İlkeleri üzerine inşa edilmiş ve tamamlayıcı nitelikte olmakla birlikte, bunlar nihai bir ürün değildir. Bunun yerine, denemelerden, testlerden ve AB tarafından finanse edilen ilgili araştırma ve çalışmaların sonuçlarından elde edilen içgörülere dayalı olarak sürekli ayarlamalar ve geliştirmelerden geçeceklerdir. Kılavuz ilkelerin birincil amacı, MASS ile ilgili sistemler ve altyapıyı içeren denemeler sırasında bir geminin etrafındaki test bölgelerini veya güvenlik bölgesini tanımlamak için protokoller oluşturmaktır. Bu kılavuz ilkeler, güvenli seyrüseferin sağlanmasına odaklanarak, belirlenen alanın/bölgenin hem içindeki hem de ötesindeki riskleri ve güvenlik açıklarını dikkate almaktadır. Kıyıdan izleme ve iletişim zorluklarının ele alınmasının yanı sıra çevresel ve üçüncü taraf çıkarları da dikkate alınır. Bu, çeşitli senaryolarda (gelecekteki) bir Gemi Trafik Hizmeti (VTS) ile MASS arasındaki potansiyel etkileşimlerin araştırılmasını içerir.

EMSA, Gemi Trafik Yönetimi ve Bilgi Sistemleri (VTMIS) konusunda dijital denizcilik sistemleri ve hizmetlerinin yönetişimi için Üst Düzey Yönlendirme Grubu'nda (HLSG) proaktif ve mürettebatsız gemilerle yapılan denemeler için kılavuz ilkelere önemli bir katkıda bulunmaktadır. Ocak 2020'de EMSA, otonom gemiler için teknik kolaylaştırıcı olarak hizmet vermek üzere yatay bir "görev gücü" kurmuştur. Birincil rolü, idareler, endüstri ve akademiye içeren yapılandırılmış teknik

tartışmalar için bir platform işlevi görmektedir. Ayrıca 2019 yılında EMSA, çeşitli otonomi seviyelerinin uygulanmasından kaynaklanan potansiyel yeni riskleri ve mevzuat boşluklarını belirlemek için SAFEMASS çalışmasını başlatmıştır. SAFEMASS çalışmasının bulgularına dayanarak ve MASS'deki yeni kavramlarla ilişkili riskleri değerlendirmek için bir çerçeve geliştirmeyi amaçlayan EMSA, Risk Tabanlı Değerlendirme Aracı (RBAT) adlı işlevsel bir çalışma başlattı.

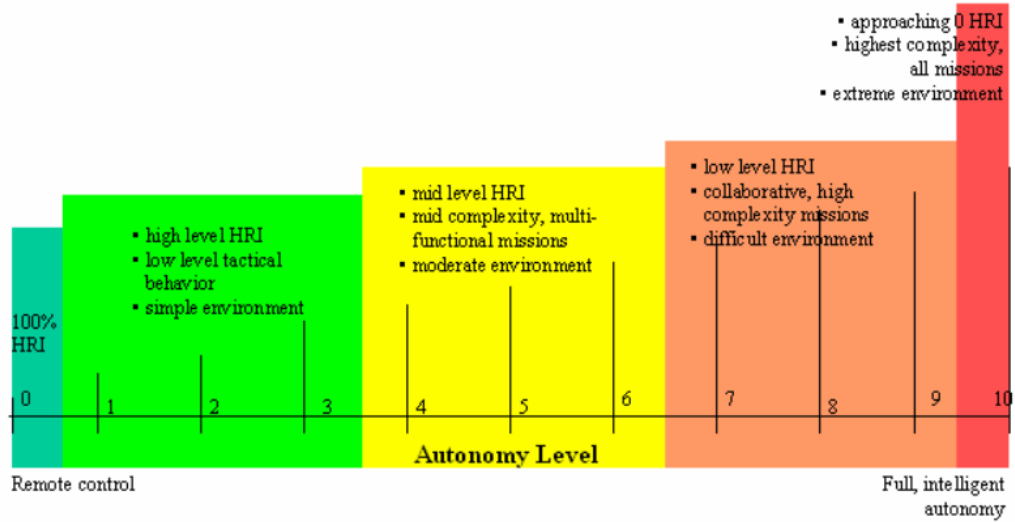
NATO sınıflandırması

Savaşta insansız platformların kullanımındaki uzun yıllara dayanan deneyim nedeniyle NATO tanımı önem kazanmaktadır. NATO Endüstriyel Danışma Grubu (NIAG) dört otonomi düzeyi belirledi (NIAG 2004):

- i. Uzaktan Kontrollü Sistem - sistem tepkilerinin ve davranışının operatör girişine bağlı olduğu (otonom olmayan).
- ii. Otomatik Sistem – hem tepkiler hem de davranış, sabit yerleşik işlevselliğe bağlıdır (önceden programlanmış)
- iii. Otonom öğrenmeyen sistem - sistemin davranışı, sabit yerleşik işlevselliğe veya sistem davranışını (amaca yönelik tepki ve davranış) dikte eden sabit bir kurallar dizisine bağlıdır.
- iv. Otonom öğrenen sistem - davranışları değiştirme yeteneğine sahip - ihlal edilmeyen kurallar/davranışlar dizisi içinde hedefe yönelik tepkileri ve davranışları sürekli olarak iyileştirmek için bir dizi kurala bağlıdır.

Alfus otonomi sınıflandırması

Şekil 1.6'da sunulan askeri platformlarda otonomi seviyeleri, 10 seviye olarak belirlenmiştir (Huang vd., 2005).



Şekil 1.6 : ALFUS otonomi sınıflandırması (Huang vd., 2005).

ISO 23860 otonomi sınıflandırması

Uluslararası standart organizasyonu(ISO) tarafından ortak dil oluşturulmasına yönelik standart ISO/TS 23860:2022 “Ships and marine technology — Vocabulary related to autonomous ship systems” adıyla yayımlanmıştır. Söz konusu standart içerisinde IMO tarafından kullanılan Maritime Autonomous Surface Ship (MASS) tanımı kullanılmıştır. ISO/TS 23860:2022’ya göre otonomi sınıflandırması tanımları aşağıda belirtilmiştir.

Tam Otonom (FA Fully Autonomous): Sağ üstteki kutu, operatörler olmadan çalışması onaylanmış tamamen otonom bir sistemi temsil eder. Operatörler sistemi izlemeye devam edebilir ancak müdahale etmelerine gerek kalmayacaktır.

Otonom Kontrol (AC Autonomous Control): Üst ortadaki kutularda otomasyonun belirli koşullar altında sistemleri kontrol edebildiği ve gerektiğinde insanların müdahale etmesi gereken kombinasyonları temsil eder. Müdahale için zaman ihtiyacı, ekibin kontrolde olmadığı zamanlarda zamanını nasıl geçirebileceği açısından açıkça önemlidir.

Operatör ve Otomasyon (OA Operator and Automation): Otomasyon belirli kontrol görevlerini yapabilir ve yardım sağlar, ancak bir insanın süreci denetleyebilmesi ve gerektiğinde müdahale edebilmesi için kontrol konsoluna yakın olması gerekir.

Operatöre Özel (OE): Otomasyon yalnızca sınırlı yardım sağlayabilir ve operatörün süreçleri sürekli olarak kontrol etmesi gerekir.

Çok genel olarak, bir süreç üzerindeki insan kontrolünün seviyesi, üç farklı "dereceye" sahip olarak sınıflandırılabilir:

— C0; otomasyonun sistem kontrol görevini üstlendiği ve bir insana hiç ihtiyaç duyulmadığı durumdur.

— C1; sistem kontrol görevinin bir kısmı insanın, diğer kısmı otomasyonun sorumluluk sahibi olduğu durumdur.

— C2; insanın sistem kontrol görevi için tam sorumluluğa sahip olduğu ve otomasyonun insana yalnızca yardım ettiği veya tavsiye sunduğu durumdur.

C1'e bir örnek, açık denizde diğer gemilerle basit karşılaşmalarda otomasyonun kullanımı, COLREG in az uygulanabilir hale geldiği daha karmaşık durumlar için insan yardımının gerekli olduğu durumdur.

Buna bağlı olarak, otomasyon da genel olarak üç derecede sınıflandırılabilir:

— A0, otomasyonun süreci tek başına kontrol edemediği ve her zaman insan dikkatini gerektirdiği yerdir.

— A1, otomasyonun sürecin tamamını değil, bazı kısımlarını işleyebildiği derecedir.

— A2, otomasyonun sürecin tüm yönlerini kontrol edebildiği ve insan yardımına ihtiyaç duymadığı yerdir. A1 örneği, önceki paragraftaki ile aynıdır.

Otomasyon derecesini ve kontrol derecesini bir matrise çizerek, bazı temel özerklik dereceleri tanımlayabiliriz. Bu matris (*ISO/TS 23860:2022 Ships and Marine Technology — Vocabulary Related to Autonomous Ship Systems.*, 2021)'de Şekil 1.7'teki gibi yer almaktadır.

	C2	C1	C0
A2	OA	AC	FA
A1	OA	AC	
A0	OE		

Şekil 1.7 : Otomasyon ile kontrol seviyesi arasındaki ilişki (ISO/TS 23860:2022 Ships and Marine Technology — Vocabulary Related to Autonomous Ship Systems., 2021).

International Association Of Classification Societies (IACS) üyesi kuruluşlar

Ayrıca IMO dışında International Association of Classification Societies (IACS) üyesi klas kuruluşları tarafından ayrı ayrı (11 üye) ve topluluk olarak çalışma yapıldığı bilinmektedir. Bu çalışmanın odak noktasını gemi inşaatı faaliyetlerine yönelik kural seti oluşturmak olduğu bilinmektedir.

Bureau Veritas (BV) otonomi sınıflandırması

Fransa gemi sertifikasyon otoritesi Bureau Veritas (BV) tarafından otonomi sınıflandırması Şekil 1.8 de gösterildiği üzere dört sınıf olarak tanımlanmıştır (marine-offshore.bureauveritas, t.y.).

4	FULLY AUTONOMOUS SHIP
	• Unmanned ship • Requires no input from humans other than in an emergency
3	SEMI-AUTONOMOUS SHIP
2	• Human delegated or supervised • Relies on systems to make decisions and/or initiate actions
1	SMART SHIP
	• Directed by humans • Relies on systems and sensors for support in collecting data and making decisions
0	CONVENTIONAL SHIP
	• Fully manned ship • Humans acquire and analyze data, make and execute decisions

Şekil 1.8 : BV otonomi sınıflandırması (marine-offshore.bureauveritas, t.y.).

Lloyd's Register (LR) otonomi sınıflandırması

İngiliz gemi sertifikasyon otoritesi Lloyd's Register (LR) tarafından otonomi sınıflandırması aşağıda gösterildiği üzere altı sınıf olarak tanımlanmıştır (information/documents/ShipRight).

AL 0: Manuel yönlendirme; Özerk işlev yok. Tüm eylem ve karar alma işlemleri manuel olarak gerçekleştirilir yani insanlar tüm eylemleri kontrol eder.

AL 1: Yerleşik karar desteği; Bir insan operatör tarafından gerçekleştirilen tüm eylemler, ancak karar destek araçları seçenekler sunabilir veya seçilen eylemleri başka şekilde etkileyebilir. Veriler gemideki sistemler tarafından sağlanmaktadır.

AL 2: Gemi içi ve gemi dışı karar desteği; Operatör tarafından gerçekleştirilen tüm eylemler, ancak karar destek araçları seçenekler sunabilir veya seçilen eylemleri başka şekilde etkileyebilir. Veriler gemideki veya gemi dışındaki sistemler tarafından sağlanabilir.

AL 3: Döngüde “aktif” insan; Kararlar ve eylemler insan gözetiminde gerçekleştirilir. Veriler gemideki veya gemi dışındaki sistemler tarafından sağlanabilir.

AL 4: Döngüdeki insan Operatör/denetleyici: kararlar ve eylemler, insan gözetiminde otonom olarak gerçekleştirilir. Etkisi yüksek kararlar, insan operatörlere araya girme ve geçersiz kılma fırsatı verecek şekilde uygulanır.

AL 5: Otonom Kararların tamamen sistem tarafından verildiği ve eyleme geçirildiği nadiren denetlenen operasyon.

AL 6: Görev sırasında kararların tamamen sistem tarafından verildiği ve eyleme geçirildiği, tamamen otonom denetimsiz operasyon.

1.1.2.2 Boyutlarına göre su üstü araçları

IMO tarafından MASS kapsamında otonomi seviyeleri belirlenmiş olmakla birlikte söz konusu otonom araçların kendi arasında herhangi bir sınıflandırmaya rastlanmamıştır. Otonom araçların askeri ve sivil olarak geliştirilmesi ile ilgili birçok çalışma eş zamanlı yürütülmekte ve söz konusu araçların otonomi seviyeleri dışında bir sınıflandırmaya tabi tutulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Maritime UK tarafından yayımlanan (*Maritime Autonomous Surface Ships Industry Conduct Principles & Code of Practice version 4 | Maritime UK, t.y.*)’de tanımlanan

Maritime Autonomous Ship Systems (MASS) ifadesi kullanılarak sınıflandırma Şekil 1.9’da gösterilmiştir.

Class of MASS	Characteristic	Notes
Ultra-light	Length overall <7m	*Derived from MCA High-Speed Craft Code (https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/292155/hsc_2000_rev06-09_full-comp-all.pdf) where ∇ = moulded displacement, in m ³ , of the craft corresponding to the design waterline.
Light	Length overall ≥ 7m to <13m	
Small	Length overall ≥ 13m to <24m	
Large	Length ≥24m	
High-Speed	Operating speed V is not less than $V = 7.19 \nabla^{1/3}$ knots	

Şekil 1.9 : Maritime UK sınıflandırması (Maritime Autonomous Surface Ships Industry Conduct Principles & Code of Practice version 4 | Maritime UK, t.y.).

Ayrıca Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nin 2007 yılında yayımladığı Şekil 1.10’da görselleri sunulan “Master Plan” a göre su üstü araçlar dört sınıf olarak belirlenmiştir. söz konusu sınıflandırmanın ABD deniz kuvvetleri istek ve ihtiyaçları doğrultusunda geliştirmiş olduğu görülmektedir.

Söz konusu sınıflandırmaya göre;

x-class (small) olarak tanımlanan bu araçlar 3 metre ya da daha kısa olan boylarda ve düşük denizcilik özelliklere sahip tekneler olarak tanımlanmıştır.

Harbor Class (7m) olarak tanımlanan botlar ise sert şişme bot özelliklerine sahip insanlı/insansız kullanıma uygun ancak düşük denizcilik özelliklere sahip, bir ana gemi vasıtasıyla sevk edilen istihbarat, keşif, gözetleme ve deniz güvenliği görevleri yürütecek özelliklerde bir tekne olarak tanımlanmıştır.

Sonorkeler class (7 m SS) olarak tanımlanan botlar ise yarı dalar özelliğe sahip nisbeten daha denizci ve mayın karşı tedbir ve denizaltı harbi görevleri için tasarlanmış teknelerdir.

Fleet class (11 m) olarak tanımlanan botlar yarı deplasman tekne tipinde ortalama denizcilik/hız özelliklerine sahiptir.



Şekil 1.10 : Master plan sınıflandırması.

1.1.2.3 Çalıştıkları çevre şartlarına göre su üstü araçları

Çalıştıkları çevre şartlarına göre su üstü araçları sınıflandırması yaygın olarak kullanılan bir sınıflandırma değildir. Ancak yapılan çalışmalar sonucu üretilecek olan araçların ilk tasarım girdisi araçların nerelerde çalışacağı olmaktadır. Bu kapsamda açık denizde, iç sularda veya göl, akarsu gibi ortamlarda çalışma durumuna göre araç tasarımı değişiklik göstermektedir.

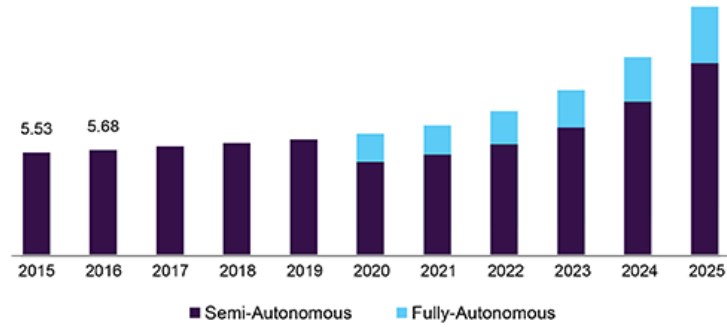
Bir sonraki başlıkta detayları verilecek olan askeri amaçlı deniz araçları yapacak olduğu görev profili kapsamında açık denizde seyir ve görev yapmaya uygun olarak tasarlanmaktadır. Daha çok üniversite çalışmalarında (Bayram, 2020) ve ilk seviye otonomi yazılımlarının geliştirilmesinde (Al-Tekreeti, 2019) karşımıza çıkan küçük tip araçlar rüzgar ve dalga gibi çevresel etkilerin ihmal edildiği kapalı su ortamlarında kullanılmaktadır (Moulton vd., 2018).

1.1.2.4 İcra ettikleri görevlere göre insansız suüstü araçları

İnsansız suüstü araçları icra ettikleri görevlere göre sınıflandırıldığında temelde sivil ve askeri amaçlı insansız suüstü araçları olarak iki gruba ayırmak mümkündür.

Sivil insansız suüstü araçları

Gemilerde otomasyonun artırılması, potansiyel olarak tam otonomi veya uzaktan kontrol edilen mürettebatsız gemilerin işletilmesi ile sonuçlanması, deniz güvenliği içinde yeni bir endişe değildir. Nitekim, Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün Deniz Güvenliği Komitesi 1964 gibi erken bir tarihte otomatik gemiler üzerine müzakerelerde bulunmuştur. Bununla birlikte, özellikle Avrupa Birliği tarafından finanse edilen araştırma girişimleriyle desteklenen bilgi teknolojileri, dijitalleşme ve makine öğrenimi alanlarındaki son gelişmeler, Denizde Otonom Suüstü Gemileri (MASS) için özel çözümlerin pratikte uygulanma olasılığını yaratmıştır. Şekil 1.11'de Küresel otonom gemi pazar büyüklüğünde yıllık büyüme oranları gösterilmiştir.



Şekil 1.11 : Küresel otonom gemi pazar büyüklüğünde yıllık büyüme, otonomi seviyesine göre, 2015-2025 (milyar ABD doları)(Autonomous Ships Market Size & Share | Industry Report, 2019-2025, t.y.)

Sivil kullanım olarak çok geniş bir yelpazeye sahip olan insansız suüstü araçları aşağıdaki ile sınırlı olmayan birçok görev icra etmektedir. Boyutları ve çalıştığı ortam şartları göz önüne alınarak ihtiyaç duyulan sistemler ile donatılarak üretilmekte ve kullanılmaktadır. Sivil alanda yürütülen faaliyetler temelde IMO tarafından tanımlanan Maritime Autonomous Surface Ship (MASS) tanımı üzerinden yürütülmektedir. Sivil araçların kullanım amaçları/alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Kıyı Bölgelerinin İzlenmesi, Gözetimi Ve Korunması
- Arama Ve Kurtarma
- Denizde Yangınla Mücadele
- Kirlilik Tespiti Ve Temizliği

- Açık Deniz Enerji Platformları Ve Boru Hatları İnşa, Bakım, Kontrol
- Denizde Ambulans Hizmetleri
- Bilimsel Araştırma Faaliyetleri (Oşinografik Araştırma, Hidrografik Araştırma, Batimetrik Ölçümler, Su Örnekleri Toplama vb.)
- Açık Deniz Rüzgâr Türbinleri
- Yasa Dışı Faaliyetlerin İzlenmesi
- Ticari Denizcilik Faaliyetleri (Kargo Taşıma, Balıkçılık, maden arama vb.)

Yukarıda bahsi geçen kullanım alanlarına örnek olacak nitelikte farklı ülke ve firmalar tarafından yürütülen projelerden birkaç tanesi aşağıda sunulmuştur.

Maritime unmanned navigation through intelligence in networks (MUNIN)

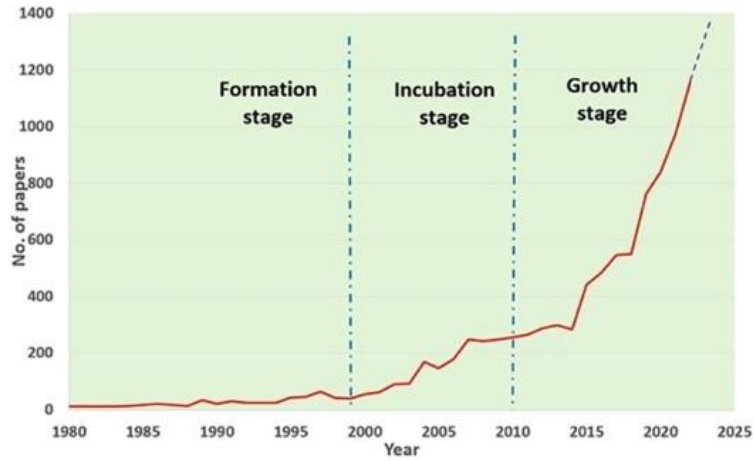
Akademik bir perspektiften bakıldığında, son on yılda otonom gemilere yönelik akademik ilgi artmış ve bu ilgi 2012 yılında AB projesi MUNIN'in (Ağlarda istihbarat ile mürettebatsız deniz taşımacılığı) başlamasıyla aynı zamana denk gelmiştir. Bu proje, gemiler için mürettebatsız ve otonom navigasyonun fizibilitesini araştırmıştır. Otonom gemicilik araştırmalarının üç aşaması vardır: oluşum, kuluçka ve büyüme. Şekil 1.12'de yıllar içinde otonom ve mürettebatsız gemicilik araştırmalarındaki büyümeyi göstermektedir.

Avrupa komisyonu tarafından desteklenen MUNIN 3.8 M Euro bütçe ile 2012-2015 yılları arasında 36 aylık bir takvimde yürütülmüştür.

MUNIN aşağıdaki konuları araştırdığı belirtilmiştir;

- Küçük nesneleri algılama
- otonom rota bulma
- Otonom çarpışmadan kaçınma
- Güvenilir teknik sistemler
- Kestirimci bakım kavramları
- Kıyı tarafı kontrol merkezi
- İletişim mimarisi
- Yasal etkiler

- Sorumluluk sorunları



Şekil 1.12 : MASS araştırma çalışmalarındaki yıllık büyüme (Jovanović vd., 2024).

Advanced autonomous waterborne applications initiative (AAWA)

Rolls-Royce ile FinnFerries tarafından 2017 yılında ortak olarak yürütülen 6,6 Milyon Euro bütçeli “Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative” (AAWA) Korpo ile Houtskär arasında seyir yapan 65m lik Stella adlı feribot gemisi ile yürütülmüştür.

SVAN-safer vessel with autonomous navigation projesi

Rolls-Royce ile FinnFerries tarafından 2018 yılında ortak olarak yürütülen Şekil 1.13 de görseli paylaşılan SVAN-Safer Vessel with Autonomous Navigation Projesi kapsamında 53,8 m boyunda 54 araç kapasiteli Falco arabalı vapuru Parainen ve Nauvo arasındaki yolculuğu otonom bir şekilde yaptığı belirtilmiştir.



Şekil 1.13 : SVAN projesi (Rolls-Royce and Finnferries Demonstrate World's First Fully Autonomous Ferry | Rolls-Royce, t.y.).

YARA Birkeland

Yara ve Kongsberg tarafından ortak olarak yürütülen Şekil 1.14 de görseli paylaşılan proje kapsamında sıfır CO2 emisyonu sahip 120 TEU luk otonom bir konteyner gemisi olduğu bilgisi verilmektedir.



Şekil 1.14 : YARA Birkeland projesi (Bosch, 2022).

MEGURI 2040 projesi

Nippon Foundation MEGURI2040 projesi kapsamında Mitsubishi Heavy Industries Group şirketi Mitsubishi Shipbuilding Co., Ltd. ve Shin Nihonkai Ferry Co., Ltd., Şekil 1.15 de görseli paylaşılan dünyanın ilk tam otonom seyrini büyük bir araba feribotunda gerçekleştirmiştir. 17 Ocak 2022 de Kitakyushuu Şehri, Shinmoji'den Iyonada ya 26 deniz mili hıza kadar seyir yapılmıştır.



Şekil 1.15 : MEGURI 2040 projesi (The Nippon Foundation MEGURI2040 Fully Autonomous Ship Program, 2022).

Askeri amaçlı insansız suüstü araçları

Askeri alanda yapılan araştırmalar ve elde edilen kazanımlar insansız suüstü araçlarının geliştirilmesinde büyük bir etkiye sahip olmuştur. Bu alanda ülkelerin birbirlerine karşı üstünlük sağlama gayretleri teknolojilerin gelişmesini hızlandıran bir etki ortaya çıkarmıştır. Bunun en büyük örneğini Ukrayna-Rusya savaşı sırasında 29 Ekim 2022 tarihinde çok büyük etki uyandıran Sivastopol askeri üssüne yapılan saldırı olarak gösterilebilir. Bu saldırıda bir benzeri kullanıldığı iddia edilen ve Gonzalo Vázquez Orbaiceta makalesinde de paylaşılan aracın bir görseli Şekil 1.16 da gösterilmektedir (*History Repeats Itself*, t.y.). Askeri amaçlı insansız suüstü araçları ülkemizde çoğunlukla insansız deniz aracı (İDA) olarak tanımlanmaktadır. Bu araçların silahlı versiyonları ise silahlı insansız deniz aracı (SİDA) olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda bu noktadan sonra biz de yaygın kullanıma uygun olarak İDA/SİDA kullanımını tercih edeceğiz.



Şekil 1.16 : Sivastapol saldırısında kullanıldığı düşünülen İDA (History Repeats Itself, t.y.).

Askeri amaçlı İDA ve SIDA ların görev tanımları aşağıda sıralanmıştır. Bu görevler üzerlerinde taşıdıkları faydalı yük/ görev yükünün ne amaçlı kullanıldığı baz alınarak oluşturulmaktadır.

- Mayın Karşı Tedbir (MKT)
- Denizaltı savunma harbi (DSH)
- İstihbara, Keşif, Gözetleme (İKG)
- Su Üstü Harbi (SÜH)
- Elektronik Harp (EH)
- Deniz Güvenliği (DG)

Mayın karşı tedbir (MKT)

Mayın harbi kapsamında Hanwha firması tarafından Şekil 1.17 görselleştirilen tanımlamaya göre mayın karşı tedbir ve mayın serilmesi görevleri yer almaktadır. Buna göre aşağıdaki tanımlamalar yapılmaktadır (USV master Plan 2007).

- "Tespit": potansiyel askeri öneme sahip bir mayın veya mayın benzeri nesnenin varlığının herhangi bir şekilde keşfedilmesi.
- "Sınıflandırma": bir nesnenin mayın benzeri mi yoksa farklı bir cisim mi olduğunun belirlenmesi için değerlendirilmesi.

- "Lokalizasyon": belirli bir jeodezik konuma göre bir su altı nesnesinin kesin konumunun belirlenmesi.
- "Tanımlama": mayın benzeri bir nesnenin tam yapısının mayın olarak belirlenmesi.
- Nötralizasyon": (harici araçlarla) bir mayını geçen bir hedefe veya taramaya ateş edemez hale getirmek.



Şekil 1.17 : MKT görev konsepti (Unmanned Maritime System | NAVAL | Defense | Hanwha Systems, t.y.).

MKT görevinin amacı temelde operasyon alanlarında güvenli, hızlı geçiş yolları oluşturmaktır. Bu görev kapsamında insanlı olarak icra edilen tehlikeli görevler su üstü araçları vasıtasıyla insansız olarak icra edilmektedir. Söz konusu görev kapsamında konsept geliştirme süreci geliştirilen teknolojilerin olgunluk seviyesi ile sınırlı kalmaktadır.

Mayın tespiti için ilk aşamada kullanılan uzaktan kumandalı su altı aracı (ROV) ve/veya otonom su altı aracı (AUV) İDA lar üzerinden suya bırakılması ve bağımsız olarak icra edilen su altı tarama faaliyeti sonrasında toplanan verilerin su üstü aracına ve/veya kontrol merkezine iletilmesi şeklinde icra edilmektedir. Şekil 1.18 de Fransız ECA group tarafından geliştirilen ASV (inspector 90) üzerinden yine aynı firmaya ait olduğu görülen AUV (A9 M) ve ROV (SEASCAN MK2) sistemlerini atıp toplayarak MKT faaliyetini icra edebilmektedir. Bu şekilde mayın tespiti, teşhisi ve konumlandırmasını yapabildikleri iddia edilmektedir. Benzer olarak ülkemizde de Havelsan A.Ş. tarafından MKT kabiliyeti olduğu belirtilen SANCAR SİDA bulunmaktadır.



Şekil 1.18 : MKT görevi icra eden İDA(SANCAR, t.y.).

MKT faaliyetlerinde İDA kullanımının sağladığı faydalar için aşağıdaki maddeler sıralanabilir.

- Ana gemiden uzun menzilli ayrılabilme (iletişim bağlantısına göre),
- Operasyon alanına hızlı geçiş ve görevde uzun dayanıklılık süresi,
- Gemi kurulumu, suya bırakma ve toplama sistemleri kolaylığı,
- Koordineli çoklu birimlerle (sürü) doğrudan ölçeklenebilir etki,
- Tehlikeli alanda insansız operasyon kabiliyeti,
- 40 ft ISO konteyneri aracılığıyla kolayca taşınabilme.

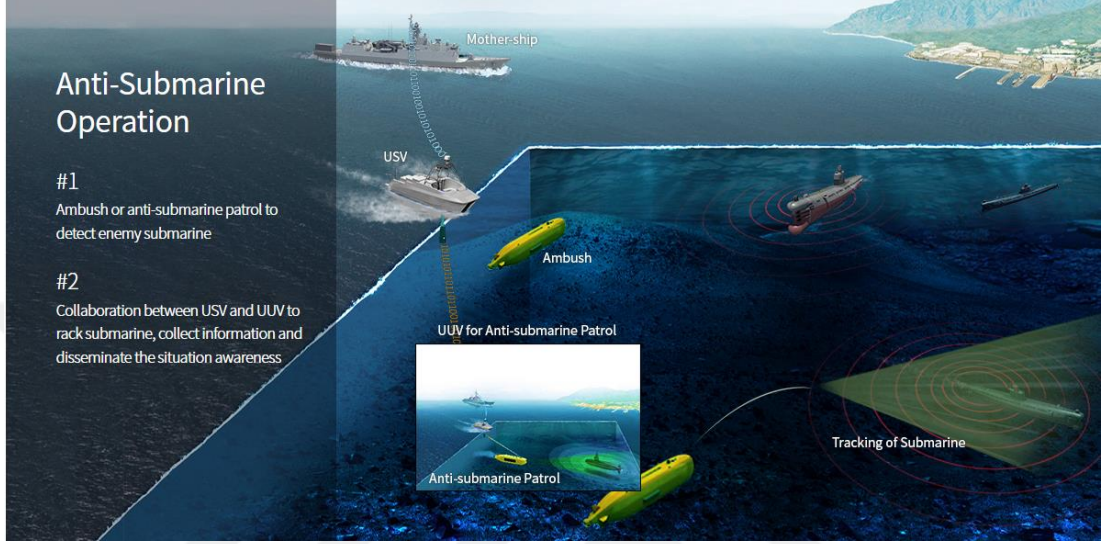
Denizaltı savunma harbi (DSH)

Denizaltı savunma harbi görevleri aşağıda tanımlanmıştır.

- İDAnın tehdit denizaltıları hakkında istihbarat bilgisi toplaması
- İDAnın dikkat dağıtıcı manevralar ve davranışlarda bulunması
- İDAnın öldürücü olmayan silahların kullanımı,
- İDAnın ölümcül silah kullanması,

Görev konseptine göre birden fazla İDAnın ortak olarak icra edebileceği görev kapsamında bir takım İDAlar tespit görevi icra ederken bazıları da tespit edilen düşman unsurunun imhası ya da harekâttan sakıt bırakılması için üzerinden atacağı silah sistemleri ile imha/aldatma görevleri üstlenebilir. Söz konusu görevlere dair Hanwha firması tarafından yapılan konsept çalışmalarının bir örneği Şekil 1.19 da yer almaktadır.

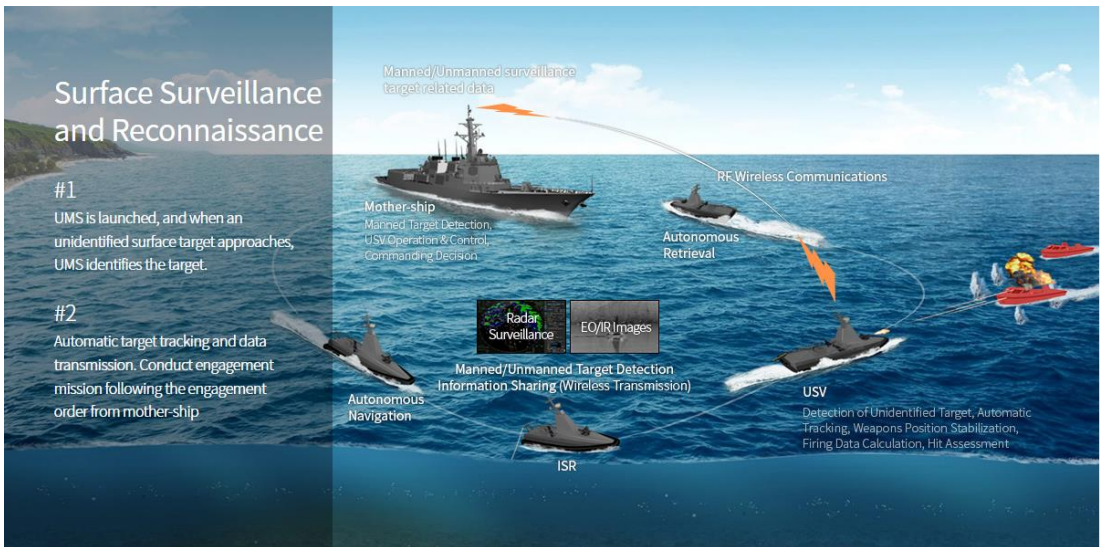
Su altında hareket halindeki denizaltı tespiti için çeşitli tip ve büyüklükte aktif ve pasif sonarlar kullanılmaktadır. Bu sonarlar çekili dizin sonar (towed arrays (linear)) veya değişken derinlikli sonar (variable depth sonars (VDS)) olarak tanımlanmaktadır. Bu sonarların kullanımı için ihtiyaç duyulan İDA boyutları görev yükü kaynaklı olarak artması beklenmektedir.



Şekil 1.19 : DSH görev konsepti (Unmanned Maritime System | NAVAL | Defense | Hanwha Systems, t.y.).

İstihbarat, keşif, gözetleme (İKG)

İstihbarat, Keşif, Gözetleme görevine dair Hanwha firması tarafından yapılan konsept çalışmalarının bir örneği Şekil 1.20 da yer almaktadır. Bu kapsamında aşağıdaki görevler icra edilebilmektedir.



Şekil 1.20 : İKG görev konsepti (Unmanned Maritime System | NAVAL | Defense | Hanwha Systems, t.y.).

İzin verilen ortamlarda kalıcı İKG

İzin verilen ortamlarda kalıcı İKG emniyet ve güvenliğin iyileştirilmesi, verilerden yararlanarak operasyonel yeteneklerin geliştirilmesi amacıyla yapılır. İnsanlı platformlar genellikle bu görev için kullanılır, çevreleri hakkında bilgi toplayan ve bazen analiz eden sensör paketlerini barındırır veya çeker. Bu operasyon konseptinde, İDAlar, tıpkı insanlı muadilleri gibi, sensör paketlerini barındıracak veya çekecektir. Bahse konu sensörler ile donatılmış Bluezone firmasına ait bir İDA örneği Şekil 1.21 da yer almaktadır.



Şekil 1.21 : İKG görevi yapan İDA (ezyweb, 2018).

Bir İDA'nın bir bölgede uzun süre kalabilmesi, onun en değerli özelliklerinden biridir. Platform görev mahalinde ne kadar uzun süre kalabilirse, o kadar fazla veri toplanabilir. Dolayısıyla, İDA'lar bu görevde daha etkili olabilir.

İnsanlı platformlara kıyasla İDA'ların birincil dezavantajı toplanan veriyi işleme yeteneği olacaktır. İnsanlı bir platformda verileri anında işleyebilecek personel bulunabilirken, insansız bir platformda analiz için bilgilerin ikinci bir birime aktarılması gerekir. Toplanan veri hacmi, iletişim ekipmanının zamanında işlenmesi için çok fazlaysa, işleme faaliyetleri önemli ölçüde gecikebilir ve istihbaratın değeri zamanla azalabilir.

Düşman ortamlarda kalıcı İKG

Bu görev, düşman ortamında gerçekleştirilmesi dışında, izin verilen ortamlarda kalıcı İKG görevi ile aynıdır. Tehditten kaçınma ve tehdit yönetimi, bu görev için bir İDAnın temel bileşenleri olacaktır. Platform tehdit altında olabileceğinden, bu rolde kullanılan bir İDAnın izin verilen bir ortamda çalışan bir İDA'dan daha gizli, daha hızlı veya tek kullanımlık olması gerekebilir. Buna ek olarak personeli ve değerli insanlı platformların zarar görmemesi gibi bir avantaja da sahip olacaktır.

Haberleşme rölesi

İki iletişim düğümü doğrudan iletişim kuramıyorsa, iletişimi sağlamak için bazen aralarına bir üçüncüsü yerleştirilir. Uygun iletişim ekipmanını barındıran İDA'lar bu üçüncü düğüm olarak hizmet verebilir.

Bu rolde bir İDA, insanlı platformlar, hava, sualtı araçları diğer İDA'lar arasındaki iletişimi iletebilir. İDA, bu tür yeteneklere sahip olmayan daha küçük platformlar için bir uydu iletişim bağlantısı görevi de görebilir.

İDA'lar, su altında, havada ve su hattındaki platformlarla bilgi alışverişinde bulunmalarına izin veren hava-su arayüzünde çalışma avantajına sahiptir. Diğer insansız sistemlere göre, İDA'lar tipik olarak daha ağır iletişim ekipmanlarını barındırabilir ve bu görev için daha fazla enerji kullanabilir. Bununla birlikte, İDA'lar, İHA'ların uzun mesafelerde görüş hattı iletişimini mümkün kılan yüksek irtifaya ulaşma yeteneğinden yoksundur.

Bir sonraki bölümde detaylıca gösterilecek olan ülkemizdeki kabiliyetlere baktığımızda duyurusu yapılan dört farklı SİDA'nın da İKG kabiliyeti olduğu görülmektedir.

Su üstü harbi

Sürekli su üstü unsurlarına karşı caydırıcılık sağlanması amacıyla farklı silah ve sensörlere sahip olan bu araçlar temelde insanlı operasyonun zor ve tehlikeli olduğu yerlerde görev icra edecek şekilde donatılmışlardır. Türk savunma sanayi ürünlerinde var olan örneklerde 12.7 mm makineli tüfek yanında satıhtan satıha atış kabiliyetine sahip L/UMTAS ve cirit füzeleri ile de donatılmaktadır (Url-2).

İDA'nın görev yükü, menzili ve dayanıklılığı artırılarak suüstü harbi için daha yetenekli hale getirilebilir.

Bir İDA tarafından suüstü harbi desteği sağlamanın amacı, insanlı platformları korurken veya tehlikeden uzak tutarken, ölümcül ve/veya ölümcül olmayan silahların kullanımı yoluyla hedeflere angaje olma yeteneği sağlamaktır. (US USV Master Plan)

Elektronik harp (EH)

Elektronik harp; elektronik taarruz, elektronik savunma ve elektronik destek olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

Elektronik taarruz; başta radyo dalgaları ve radar frekansları olmak üzere, teknoloji ve askeri güç teknolojik altyapıları kullanılarak, elektromanyetik tayf kullanmalarının engellenmesi, istihbarat paylaşım yeteneklerinin azaltılması ve elektronik haberleşmenin engellenmesidir.

Elektronik savunma; elektronik aracı, haberleşmeyi, altyapıyı ve askeri teçhizat gibi düşman unsurlarından gelebilecek elektronik taarruzlarından korumaktadır. Bunun en kolay yolu ise üretilen sistemleri, elektronik harbe karşı korumalı yani Anti-Jam olarak geliştirmektir. Türkiyede gnss sistemleri için yerli anti-jam özellikli sistemler mevcuttur.

Elektronik destek; elektromanyetik tayfın pasif olarak kullanımı ile savaş bölgesinde bulunan dost ve düşman birliklerinin konumlarını, bu birliklerin hareket yönlerini, hızlarını, ateş güçlerini ve hatta kendi aralarındaki haberleşmelerinin içeriğini tespit edilmesinde, istihbarat verilerinin çıkarılmasında, düşmanın yaydığı sinyallerin bulunup analiz edilmesinde büyük çapta rol oynamaktadır (*Elektronik Harp Nedir?*, 2020).

İDA'lar üzerine çeşitli görev yükleri entegre edilerek elektronik taarruz, elektronik savunma ve elektronik destek görevleri icra edilebilmektedir. Türkiye'de Aselsan A.Ş. tarafında EH özellikli Marlin SİDA platformunda NATO tatbikatı kapsamında bir kabiliyet gösterimi yapıldığı bilinmektedir (*Mavi Vatan'ın "insansız muhafızı" MARLIN SIDA, NATO tatbikatında yeteneklerini sergiledi*, t.y.).

Deniz güvenliği

Üs liman savunma görevi kapsamında kritik askeri/sivil bölgelerin korunması yapılmaktadır. İskele, rıhtım, demirleme yerleri, depolar, dar su yolları gibi kritik öneme sahip deniz altyapılarının korunması kapsamında durumsal farkındalık (situation awarness) oluşturulması gerekmektedir. Bu görev kapsamındaki yükler temelde EO kamera/IR kamera ve gerektiğinde caydırıcılık sağlanması için 12.7 mm makineli tüfek ten oluşur.

Bu görevin amacı, her türden düşmana (suçlular, teröristler, egemen ulus askeri ve istihbarat ajanları) karşı yerel ve müttefik limanları ve altyapıyı güvence altına almaktır.

İDA için muhtemel deniz güvenliği görevlerinden bazıları şunlardır.

Stratejik ve taktik istihbarat toplama: Sinyal, Elektronik, Ölçüm ve Görüntüleme İstihbaratı (SIGINT, ELINT, MASINT ve IMINT)

- Kimyasal Biyolojik Radyoaktif ve Nükleer (KBRN) tespit faaliyetleri
- Yakın Kara ve Liman İzleme
- Özel Haritalama
- Ölümcül olmayan ve ölümcül tehdit caydırıcılık

1.1.3 Dünyada yapılan İDA çalışmaları

Otonom araçların askeri amaçlarla kullanımı 2. Dünya savaşına dayandırılmaktadır (*Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations*, 2005).

İlk aşamada teknolojik gelişmişlik seviyesinin yetersizliği sebebiyle çok yaygınlaşmamıştır. 2000 li yıllara gelindiğinde gerek su üstünde gerekse su altında insansız, uzaktan kontrollü ve/veya otonom ürün çalışmaları artırılmış ve birçok ülke tarafından farklı amaçlarda ve farklı boyutlarda ürünler geliştirilmiştir. Hava araçlarında sağlanan teknolojik seviye henüz deniz araçlarında sağlanmamış olmak ile birlikte bu alanda yoğun bir talep ve yatırım olduğu görülmektedir.

Unmanned Surface Vehicle (USV) Market Report 2020-2030 dokümanına göre sektör büyüklüğü 597 M\$ seviyesinde olacağı hesap edilmiştir. Söz konusu rapor askeri ve sivil kullanımları, ülke/bölge bazında inceleyerek bahse konu rakama ulaştığı anlaşılmaktadır.

Dünya da İDA çalışmaları hızla artmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar askeri nitelikte olduğu için açık kaynaklara yansıyan bilgiler sınırlı olmakta ve çoğunlukla pazarlama amaçlıdır.(Liu vd., 2016)

Bu kapsamda aşağıda sunulan bilgiler ilgili firmaların beyanlarına dayanmaktadır. Dünyada yapılan çalışmalar Çizelge 1.2. de gösterilen ile sınırlı değildir. Ancak bir fikir edinilmesi amacıyla örneklendirilmiştir. Çizelge kapsamında Elbit Systems (İsrail), Rafael Advanced Defense Systems (İsrail), Atlas Elektronik(Almanya), ECA Group (Fransa), AAI Corporation, General Dynamics Robotic Systems, and Maritime Applied Physics (ABD) yer verilmiştir. Ayrıca aşağıda sıralanan firmaların da ürünlerine rastlanmıştır.

Katana -Israel Aerospace Industries

Tianxing-1-Shenzhen HiSiBi Boats ve Harbin Engineering University ortak girişimi

Swift 18-ST Engineering (Singapur)

Hunterwater-L3 Harris (ABD)

Teledyne Technologies Inc.- (ABD)

CUSV-Textron Systems Corporation- (ABD)

Sea-Kit Omega- Sea-Kit Co. (ABD)

Çizelge 1.2 : Dünyadaki İDA projeleri.

	Seagull	Protector USV	Arcims USV	Inspector 125	Fleet Class USV
					
Geliştiren	Elbit Systems (İsrail)	Rafael Advanced Defense Systems (İsrail)	Atlas Elektronik (Almanya)	ECA Group (Fransa)	Textron Systems (ABD)
Deplasman (ton)		4 ton	6,5 ton		7,7 ton
Uzunluk (m)	12 m	9 m	11m	12 m	12 m
Sürat (kn)	32 kn	50 kn	40 kn	25 kn	35 kn
Seyir Sırası (nm)		400 nm (@ 30 kn)			1200 nm

Çizelge 1.2 (devam): Dünyadaki İDA projeleri.

	Seagull	Protector USV	Arcıms USV	Inspector 125	Fleet Class USV
Seyir Süresi (h)	96 saat	48 saat		40 saat	48 saat
Kapasite (kg)	2500 kg		4000 kg	2500 kg	2300 kg
Tahrik Sistemi	Dizel Motor, Pervane ve İtici	Dizel Motor, Su jeti		Dizel Motor	
Sensör/Sonar (Görev Yükleri)	• EO/IR Kamera • Yandan Taramalı Sonar veya Sentetik Açıklıklı Sonar (SAS) • Çok Bimli İskandil • Engelden Sakınma Sonarı • Dalgıç Tespit Sonarı • Daldırma Sonarı	TOPLITE elektro-optik gözetim ve hedefleme sistemi (FLIR, Dijital CCD gözetim kamerası ve lazerli uzaklık ölçer içerir)	Radar, electro-optic cameras, etc	EO/IR Kamera MOAS (Mayın ve Engelden Sakınma) Mid-size AUV A18 veya çekili sonar	•Yandan Taramalı Sonar
Görevler	• DSH (Denizaltı Savunma Harbi) • MKT (Mayın Karşı Tedbir) • EH (Elektronik Harp) • Deniz Güvenliği	• Keşif ve Gözetleme		• MKT (Mayın Karşı Tedbir) • Deniz Güvenliği,	• DSH (Denizaltı Savunma Harbi) • EH (Elektronik Harp) • MKT (Mayın Karşı Tedbir) • İstihbarat, Keşif ve Gözetleme

1.1.4 Türkiye’de yapılan İDA çalışmaları

Son yıllarda ülkemizde insansız hava araçlarında sağlanan başarıların insansız deniz araçlarında yapılmaya çalışıldığı görülmektedir. Bu alanda birden fazla ürün ortaya koyan Türk savunma sanayi geliştirdiği ürünler ile dikkat çekmektedir. Türkiye’de geliştirilen 4 farklı tip İDA için 4 farklı firma geliştirme çalışması yürütmektedir. Savunma Sanayi Başkanlığı (SSB) tarafından yürütülen projeler 2023 yılı içerisinde Türk Deniz Kuvvetlerine teslim edilmesi planlanmıştır. Söz konusu firmalar ve geliştirdikleri ürünlere dair liste aşağıda yer almaktadır. Farklı görev özellikleri ile dikkat çeken söz konusu İDA’ların görev çeşitlendirmesi kullanıcı istekleri doğrultusunda SSB tarafından yapıldığı anlaşılmaktadır. Söz konusu platformlara dair açık kaynaklardan elden edilen bilgilere göre firmalar farklı görev yükleri taşıyacak şekilde üretilmektedir. Yukarıda bahsedilen askeri amaçlı kullanım alanlarından bir veya birkaçı bu platformlar tarafından yapılabildiği görülmektedir.

Türk tipi geliştirilen projelerde herhangi bir kaynaktan bir sınıflandırma söz konusu değildir. Ancak bahse konu projelerde yapılan sınıflandırmalarda tekne özelliklerinden çok ifa ettiği/edeceği görevler baz alındığı görülmektedir. Geliştirilen firma ve platform bilgileri Çizelge 1.3’te yer almakta olup söz konusu ürünlere dair detaylı bilgi Çizelge 1.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 1.3 : Türkiye’de İDA üreten firmalar.

Geliştiren Firma/İş Ortaklığı	Platform Adı
Havelsan-Yonca Onuk İş Ortaklığı	Sancar Sida
Meteksan-Ares İş Ortaklığı	Ulaq
Aselsan-Sefine İş Ortaklığı	Marlin
Dearsan Tersanesi	Salvo

Çizelge 1.4 : Türkiye’deki İDA projeleri.

	MARLİN	ULAQ	SALVO	SANCAR
				
	Aselsan- Sefine İş Ortaklığı	Meteksan-Ares İş Ortaklığı	Dearsan A.Ş.	Havelsan-Yonca Onuk İş Ortaklığı
Geliştiren				
Deplasman (kg)	11000 kg	2000 kg	9000	9000 kg
Uzunluk (m)	11 m	11 m	15 m	12,7 m
Sürat (kt)	36	65	50	40
Seyir Sıası (nm)	400	215	300	400

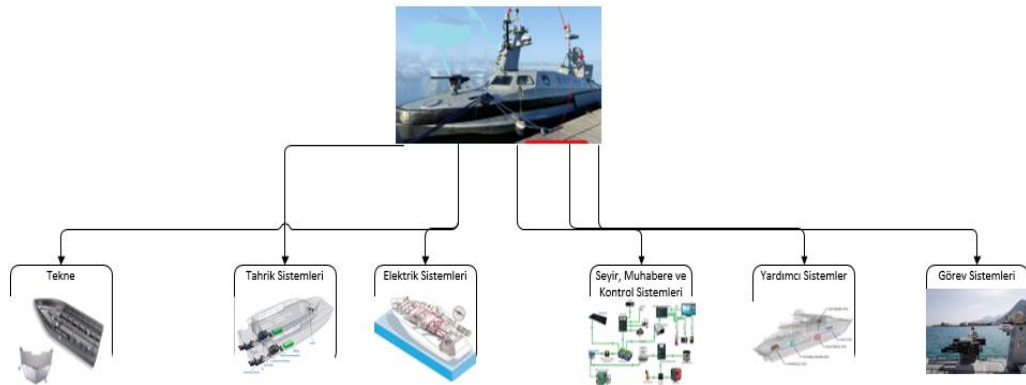
Çizelge 1.4 (devam): Türkiye’deki İDA projeleri.

	MARLİN	ULAQ	SALVO	SANCAR
Silah	• 12,7 mm STAMP • L/ UMTAS • Güdümlü Füze • Hafif Torpido • Elektronik Taarruz ve destek sistemleri	• 12,7 mm STAMP • L/ UMTAS • ÇAKIR • Cirit	• 12,7 mm STAMP • L/ UMTAS	• 12,7 mm STAMP • L/ UMTAS
Görevler	• Sonobuoy Sistemi • İKG (İstihbarat, Keşif ve Gözetleme) • S�H (Suüstü Harbi) • DG (Deniz Güvenliği) • EH (Elektronik Harp)	• İKG (İstihbarat, Keşif ve Gözetleme) • S�H (Suüstü Harbi) • DG (Deniz Güvenliği) • DSH (Denizaltı Savunma Harbi)	• İKG (İstihbarat, Keşif ve Gözetleme) • S�H (Suüstü Harbi) • �zel harekât nevileri	• İKG (İstihbarat, Keşif ve Gözetleme) • S�H (Suüstü Harbi) • DG (Deniz Güvenliği) • MKT (Mayın Karşı Tedbir)

1.2 İnsansız Deniz Araçlarındaki Alt Sistemler

İnsansız deniz araçlarında sistem mühendisliği uygulaması yapabilmek için ilk olarak bir araçta bulunması gereken temel sistem/cihazlar hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir.

Bir deniz aracının insanlı ya da insansız olmasından bağımsız olarak denizde seyir yapabilmesi için temel seviyede donatılmış olması gerekmektedir. Uygulamalı örnekte detaylıca değinilecek olan, gereksinim türetilmesi aşamalarından bağımsız olarak bir araçta bulunması gereken sistem/cihazlar Şekil 1.22’de gösterilmiştir. Burada bahse konu sistemler uygulama aşamasında girdi olarak (sistem/alt sistem) kullanılacaktır.



Şekil 1.22 : İDA alt sistemleri.

1.2.1 Tekne

Tekne tipi seçiminde dikkat edilecek ilk unsur görev ihtiyaçları ve taşıyacağı görev yükleri olarak ortaya çıkmaktadır. Daha önce kendini ispatlamış tekne formları kullanılması olası riskleri minimize etmek için tercih edilen bir yöntemdir. Tekne seçiminde denizcilik özellikleri, performans gereksinimleri, maliyet sınırlamaları ve kullanılacağı ana unsur (ana gemi/üs) gereksinimleri diğer belirleyici etkenler arasındadır. Küçük sınıf olarak tanımlanan İDA’lar için RIB (Rigid inflatable boat) çözümleri makul ve maliyet etkin olabilmekte iken orta sınıf görevler için monoholl, catamaran ve trimaran çözümleri gibi farklı tip tekne tipleri ortaya çıkmaktadır.

Teknenin görev tanımına göre tekne malzemesi seçimi de önem arz etmektedir. Sığ sularda, düşük draft ile manevra kabiliyeti yüksek tekne çözümlerinde ve hızlı kayıcı tip teknelerde kompozit malzeme çoğunlukla tercih edilmektedir. Ayrıca hafif ve mukavim yapısıyla alüminyum da tekne malzemesi olarak kullanıldığı bilinmektedir.

Açık denizlerde görev yapacak büyük boyutlarda tekne tipi için ise çelik malzeme kaçınılmaz olarak kullanılacaktır.

1.2.2 Tahrik sistemleri

Mevcut İDA'ların çoğunun yön ve hız kontrolü, sırasıyla dümen ve pervane (veya su jeti) tahrik sistemleri tarafından sağlanırken, diğerleri (esas olarak katamaran İDA'ler), her gövdeye bağlı iki bağımsız motor tarafından sağlanan diferansiyel itme ile yönlendirilir.

Ana makine; İDA'nın ilerlemesini sağlayan gücü üreten ana ekipmandır. İhtiyaç duyulan hız ve güce göre makine seçimi yapılmalıdır.

Devir Düşürücü Dişli; Makinenin kapladığı hacmin ve ağırlığının küçük olması gereken gemilerde yüksek devirli makineler kullanılır. Bu gemilerde motor pervaneye devir düşürücüsü ile bağlanır. Düşük devirli pervaneler daha verimlidirler (daha yüksek hız sağlarlar). Eğer makine devri çok yüksek ise pervane verimini iyileştirmek için makine ile pervane arasına devir düşürmek amacı ile dişli kutusu konulur.

Su Jeti Sevk Sistemi: Özellikle yüksek sürat yeteneği istenen teknelerde ve savaş gemilerinde bulunur. Gemi gövdesinin altından alınan su bir pervane ile yüksek hızla dışarı itilir. Jet çıkışından dışarıya fışkıran su ile gemi hareket eder. Su jeti hareketlidir. Aynı zamanda dümen vazifesi görür, gemiye yön verir.

Deniz suyu Soğutma Sistemi; gemilerde ana makine ve dişli kutusu gibi ısı üreten cihazların soğutulması deniz suyu vasıtasıyla yapılır. Soğutma işlemi için kurulan bu sisteme deniz suyu soğutma sistemi denir.

Yakıt besleme sistemi; ana makinenin ihtiyacı olan yakıtı sağlayan sisteme denir.

Havalandırma sistemi; yanma havası ve soğutma amaçlı kullanılan sisteme denir.

Yağlama sistemi; yağlama gereken ekipmanların ihtiyacı olan yağı sağlayan sisteme denir.

1.2.3 Elektrik sistemleri

Elektrik Sistemi; gemide çalışan elektrikli ekipmanların ihtiyacı olan elektriği sağlayan sisteme elektrik sistemi denir.

Jeneratör-alternatör; ihtiyaç duyulan elektriği üreten sisteme denir. Bir makine bir alternatörden oluşur.

Akü; İhtiyaç olan elektrik enerjisinin temin edilmesi amacıyla geliştirilen depolayan sisteme akü adı verilir.

Kesintisiz Güç Kaynakları (UPS); adından da anlaşılacağı gibi kesintisiz enerji kaynağıdır. Elektrik yükünün bağlı bulunduğu şebeke de meydana gelen veya gelebilecek olası gerilim dalgalanmaları kısa veya uzun süreli kesintiler veya harmonikler gibi durumlarda yükü bu değişimlerden koruyan ve yüke teknik olarak sağlıklı ve temiz enerji sağlayan elektronik cihazlardır.

Yangın Algılama Sistemi; SOLAS 74 sözleşmesi kapsamında yangın güvenliği için gerekli teknik hususlar FSS (Fire Safety Systems) Code başlığı altında farklı bir dokümanda yer almaktadır. FSS Code bölüm 9'da gemilerde kullanılacak yangın algılama sistemi bileşenlerinin (panel, dedektör, buton, siren vb.) teknik özellikleri, montaj ve projelendirme esasları belirtilmiştir.

Seyir ve işaret feneri; Deniz araçlarının gece ve görüşün kısıtlı olduğu şartlarda olası bir kazayı önlemek ve tanınması için kullandıkları çeşitli ışık, şekil ve sesli işaretler bulunmaktadır. Denizde seyir halinde olan her boy ve türde tekne yada gemiler seyir feneri taşımaya ve bunları göstermeye mecburdur. Ayrıntılar Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü'nde belirtilmiştir (Kural 20-31). Bu fenerler Borda fenerleri, Silyon feneri, Pupa feneri, Yedekleme feneri, 360 derecelik fenerler olarak sayılabilir.

1.2.4 Seyir muhabere ve kontrol sistemleri

Lidar; "Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini" anlamına gelen "Light Detection and Ranging" sözcüklerinin kısaltmasıdır. En yalın haliyle; lazer ışınlarını kullanarak, nesnelerin, ölçüm aleti arasındaki uzaklığını ölçmeye yaran bir uzaktan algılama teknolojisidir

Engelden sakınma sonarı; sualtı ortamının gözetlenmesi, sualtı hedeflerini otomatik olarak tespit ve takip yeteneklerine sahip sonar çeşididir.

Seyir kamerası; denizde seyir yapan diğer deniz araçlarının tespit edilmesinde kullanılan seyir sistemidir.

Seyir radarı; gönderilen bir elektromanyetik dalganın, söz konusu bir hedefe çarpması, hedeften geri yansması ve gönderen kaynağa tekrar geri ulaşması sonucu bir görüntü oluşturmaya radar denir. Kısacası radar, herhangi bir cismin görüntülenmesini sağlayan bir elektronik alettir. Günümüzde tüm gemilerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

CCTV; “Kapalı Devre Televizyon” anlamına gelen “Close Circuit TeleVision” kavramından türetilmiştir. Televizyon sisteminden farklı olarak CCTV, bir merkezden geniş kullanıcı kitlesine yayın yapmak yerine belli bir alandaki görüntüyü izleme sistemi olarak tanımlanabilir

GNSS; uydu konum belirleme sistemleri için kullanılan bir terimdir. Küresel konum belirleme sistemleri aracılığıyla uzaydan yollanan dalgalarla yeryüzünde sabit bir biçimde duran elektronik alıcılar bulundukları noktanın ve yakın çevresinin enlem, boylam ve yüksekliğini ve bulunduğu noktada yerel saatin kaç olduğunu tam olarak hesaplayabilir.

İskandil; İDA’nın seyir yaptığı suların derinlik bilgisini veren cihazdır.

Cayro; İDA’nın pruva bilgisini, yalpa, dikey yalpa, pozisyon, zaman ve sürat verilerini sağlayan cihazdır.

Parakete;suya göre sürat bilgisini sağlayan cihazdır. Parakete, gemi hızını ve aldığı yolun miktarını gösterir. Tekne altındaki akan suyun hızına bağlı olarak çalışır.

AIS (OTS); Otomatik Tanımlama Sistemi yakın mesafeler içinde deniz araçlarının takip edilmesini sağlayan bir sistemdir. Geminin değişken bilgileri (hızı, rotası, zaman, çağrı kodu, gemi boyutları, tahmini varış zamanı vb.) bu sistemden paylaşılır.

Gps; İDA’nın denizde hassas seyir ihtiyacını karşılamak üzere enlem, boylam, zaman, sog ve cog verilerini sağlayan cihazdır.

Anemometre (rüzgâr ölçer); rüzgâr/hava hızını ölçen alettir.

Seyir sistemleri dışında haberleşme ihtiyacına göre telsizler ve RF, wifi, lte veya uydu haberleşme sistemlerinin de İDA üzerinde yer alması gerekmektedir.

1.2.5 Yardımcı sistemler

Tahliye sistemi; İDA’nın yaralanması/su alması durumunda güvenli seyir yapmasını sağlamak üzere suyun tahliye edilmesini sağlayan sistemdir.

Alarm izleme sistemi; İDA’nın olası yangın ve su alma durumlarının takip edildiği ve sensör verilerine göre alarm-uyarı veren sisteme denir.

Aktif/pasif Stabilizasyon Sistemi; İDA’nın deniz şartlarında yalpa miktarını sınırlayan üzerinde bulunan görev ekipmanlarının daha stabil çalışmasını sağlayan sistemdir.

1.2.6 Görev sistemleri

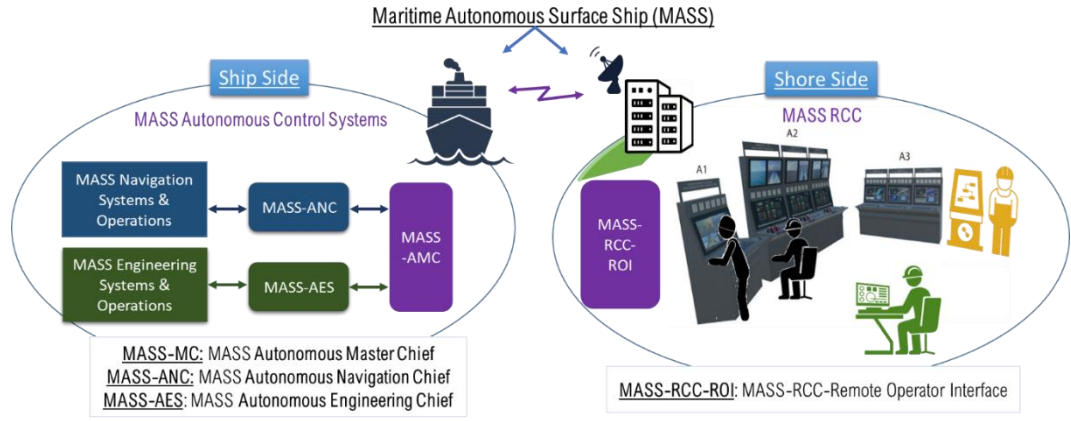
Önceki bölümde bahsi geçen görevler kapsamında İDA üzerinde bulunması gereken faydalı yükler değişkenlik gösterecektir. Görev profiline göre tespit edilen yükler seyir öncesi İDA üzerinde yüklü olarak görev mahaline gitmesi beklenmektedir. Bu kapsamda Mayın Karşı Tedbir (MKT), Denizaltı savunma harbi (DSH), İstihbara, Keşif, Gözetleme (İKG), Su Üstü Harbi (SÜH), Elektronik Harp (EH) ve Deniz Güvenliği (DG) görevlerinde faydalı yük/ görev yüklerinden bir kısmı aşağıda bahsedilmiştir.

Silah sistemleri; görev yükü eğer bir silah sistemi ise bu sistem İDA'nın tanımlı bir yerinde olması gerekmektedir. Ülkemizde yürütülen savunma projelerinde 12.7mm makineli tüfek ve L/UMTAS silahları kullanılmaktadır. Söz konusu silah sistemlerinin yerleşimi farklılık arz etmektedir.

Atma ve toplama donanımı (Launch And Recovery Systems); görev ekipmanlarının denize bırakılması ve toplanması için kullanılan sistemdir. Söz konusu sistem görev yüküne göre farklı özellik ve boyutta olabilmektedir. Bunlar yandan taramalı sonar ve diğer sonar çeşitleri, otonom su altı aracı (auv), uzaktan kontrollü su altı aracı (rov), mini iha olabilir.

Eo-İr görüntüleme birimi; İDA'nın en büyük özelliklerinden birisi uzaktan kontrol edilmesidir. Bu özellikte limanda görev yapan yer kontrol istasyonundaki operatörün gözü olacak nitelikte bir ekipman Eo-İr Görüntüleme Birimidir. Bu sayede durumsal farkındalık oluşturulması sağlanacaktır. Ayrıca İstihbara, Keşif, Gözetleme (İKG), Su Üstü Harbi (SÜH) ve Deniz Güvenliği (DG) görevlerinin vazgeçilmez ekipmanıdır.

Uzaktan kontrol merkezi (RCC); İDA ile Uzaktan Operatör Arayüzü (ROI) arasında iletişim ve komut sürecinin yönetildiği sistemdir. Görevden bağımsız olarak her bir İDA gerek komut almak gerekse veri aktarımı için yer kontrol istasyonu/ Uzaktan Kontrol Merkezi ile iletişim halinde olmalıdır. Buna dair görsel Şekil 1.23'te yer almaktadır.



Şekil 1.23 : MASS uzaktan kontrol merkezi (rcc) uzaktan operatör arayüzü (roi)



2. SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ YAKLAŞIMI

Sistem, bir amacı gerçekleştirmek için bir araya getirilmiş, birbirleri ile etkileşim halinde olan parçaların bileşke bütünüdür. Parçalar tek başlarına sistemin amacını gerçekleştiremezler.

Sistem mühendisliği (SM), başarılı sistemlerin gerçekleştirilmesini sağlayan disiplinler arası bir yaklaşım ve mekanizmadır. Müşteri ihtiyaçlarını ve işlevselliği, geliştirme döngüsünün erken aşamalarında tanımlamaya, gereksinimleri belgelemeye ve daha sonra tüm problemi (operasyonlar, maliyet ve takvim, performans, eğitim ve destek, test, üretim ve elden çıkarma/dönüştürme yönlerini) göz önünde bulundurarak tasarım sentezi ve sistem doğrulamasıyla devam etmeye odaklanır. Sistem mühendisliği, tüm disiplinleri ve uzmanlık gruplarını, kavramdan üretime ve işletmeye kadar uzanan yapılandırılmış bir geliştirme süreci oluşturan bir ekip çalışması altında bütünleştirir. Sistem mühendisliği, kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayan kaliteli bir ürün sunmak amacıyla tüm müşterilerin hem iş hem de teknik ihtiyaçlarını göz önünde bulundurur (*INCOSE-TP-2004-004-02, Sep 2007 - Google Search, t.y.*).

Sistem mühendisliği bakış açısı, sistemler düşüncesine dayanır. Bu bakış açısı, bütünlere ve bu bütünlere içindeki parçaların nasıl birbirleriyle etkileştiklerine dair farkındalığımızı artırır. Bir sistem, sistem bileşenlerinin bir kombinasyonu olarak kabul edilir. Sistemler düşüncesi hem sistem bütünü hem de sistem bileşenlerinin karşılıklı ilişkilerinin sistem bütünü ile olan ilişkisini önceliklendirir. Sistemler düşüncesi, sistemleri daha iyi anlamak, tanımlamak ve onları kurgulamak amacıyla gerçek dünyanın algılanması ve modellenmesini sağlayan keşif, öğrenme, tanı ve diyalog yollarını kullanır. Sistemler düşüncesine sahip birisi, sistemlerin yaşamın günden güne değişen geniş bağlamına nasıl uyduğunu, bu bağlam içinde nasıl davrandıklarını ve bu sistemleri nasıl yöneteceğini bilir(*INCOSE-TP-2004-004-02, Sep 2007 - Google Search, t.y.*).

(Walden, 2015)'te yer alan bir disiplin olarak SM'nin kökenindeki önemli tarihler Çizelge 2.1'de ve bu disiplinin ilerlemesi ile ortaya çıkan SM standart ve rehberleri Çizelge 2.2'de yer almaktadır.

Çizelge 2.1 : Bir disiplin olarak sm'nin kökenindeki önemli tarihler.

1937	İngiliz multidisipliner ekibinin Hava savunma sistemini analiz etmesi
1939–1945	Bell Labaratuvarının NIKE füze proje geliştirmesini desteklemesi SAGE hava savunma sisteminin Massachusetts Teknoloji
1951–1980	Enstitüsü (MIT) tarafından tanımlanması ve yönetilmesi
1954	RAND Corporation tarafından “sistem mühendisliği” teriminin kullanılmasının tavsiye edilmesi
1956	RAND Corporation tarafından sistem analizinin icadı
1962	Hall tarafından Sistem Mühendisliği Metodolojisinin Yayınlanması
1969	Jay Forrester tarafından MIT'de kentsel sistemlerin modellenmesi
1990	Ulusal Sistem Mühendisliği Konseyi'nin (NCOSE) kurulması
1995	NCOSE'nin uluslararası görüşleri içermesi adına INCOSE'ye dönüşmesi
2008	ISO, IEC, IEEE, INCOSE, PSM ve diğerlerinin ISO/IEC/IEEE 15288: 2008'de sistem mühendisliği kavramlarını tamamen uyumlu hale getirmesi

Çizelge 2.2 : Güncel önemli sm standart ve rehberleri.

ISO/IEC/IEEE 15288	Sistem ve yazılım mühendisliği –Sistem ömür devri süreçleri
ANSI/EIA-632	Sistem mühendisliği için süreçler
ISO/IEC/IEEE 26702	Sistem mühendisliği- Sistem mühendisliği süreçlerinin uygulaması ve yönetimi (IEEE 1220™’nin yerine)
SEBoK	Sistem Mühendisliği Bilgi Birikimi Rehberi
ISO/IEC TR 24748	Sistem ve yazılım mühendisliği – Ömür devri yönetimi– Bölüm 1, ömür devri yönetimi rehberi; Bölüm 2, ISO/IEC 15288 (sistem ömür devri süreçleri) uygulama rehberi
ISO/IEC/IEEE 24765	Sistem ve yazılım mühendisliği – Sözcük Dağarcığı
ISO/IEC/IEEE 29148	Sistem ve yazılım mühendisliği – Ömür devri süreçleri- Gereksinim mühendisliği
ISO/IEC/IEEE 42010	Sistem ve yazılım mühendisliği – Mimari tanımlama (IEEE 1471 yerini almıştır)
ISO 10303-233	Endüstriyel otomasyon sistemleri ve entegrasyon- Ürün veri gösterimi ve değişimi- Bölüm 233: Uygulama protokolü: Sistem mühendisliği
OMG SysML™	Nesne Yönetim Grubu (OMG) Sistem modelleme dili (SysML™)
CMMI-DEV v1.3	Geliştirme için Yetenek Olgunluk Modeli Entegrasyonu (CMMI@)
ISO/IEC 15504-6	Bilgi teknolojisi- Süreç değerlendirme - Bölüm 6: Örnek bir sistem ömür devri süreci değerlendirme modeli
ISO/IEC/IEEE 15289	Sistem ve yazılım mühendisliği – Sistem ve yazılım ömür devri süreçleri bilgi dokümanlarının içeriği
ISO/IEC/IEEE 15939	Sistem ve yazılım mühendisliği – Ölçüm süreci
ISO/IEC/IEEE 16085	Sistem ve yazılım mühendisliği – Ömür devri süreçleri- Risk yönetimi
ISO/IEC/IEEE 16326	Sistem ve yazılım mühendisliği – Ömür devri süreçleri- Proje yönetimi
ISO/IEC/IEEE 24748-4	Ömür devri yönetimi- Bölüm 4: Sistem mühendisliği planlaması
ISO 31000	Risk yönetimi- Prensipler ve Rehberler
TechAmerica/ANSI EIA-649-B	Konfigürasyon yönetimi için ulusal fikir birliği standardı
ANSI/AIAA G-043A-2012e	ANSI/AIAA, Operasyonel konsept dokümanı hazırlamak için rehber
ISO/IEC/IEEE 15026	Sistem ve yazılım güvencesi – Bölüm 1, Kavramlar ve sözcük dağarcığı; Bölüm 2, güvence durumu; Bölüm 4, ömür devrinde güvence

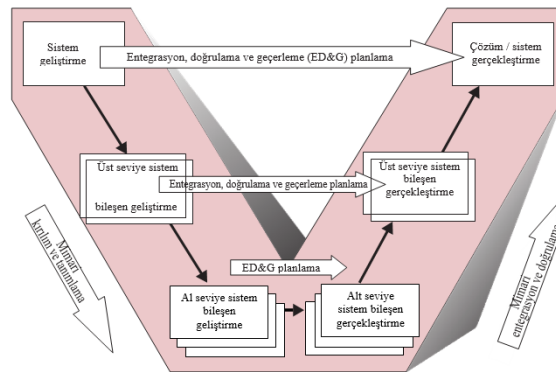
ISO/IEC 15288 uluslararası standardının 2002’de yayınlanması ile Sistem Mühendisliği disiplini, iki veya daha fazla (tedarikçi(ler) ve tedarik makam(lar)ı) kurum arasında ticareti yapılacak ürün ve hizmetlerin oluşturulmasında anlaşma sağlamak için tercih edilen bir mekanizma olarak resmiyet kazanmıştır.

Sistem Mühendisliği, ABD’de savunma, havacılık ve uzay sanayilerinde yıllar süren deneyimlerin sonucu olarak ortaya çıkmış bir mühendislik disiplini. ABD’nin yanı sıra birçok ülkede (Avrupa, Asya-Pasifik ve Brezilya, İsrail, Güney Afrika) yaygın olarak uygulanmaktadır.

Sistem mühendisliği, savunma sanayiinin yanı sıra ulaştırma ve enerji projelerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Hollanda Su İdaresi, tüm işlerini sistem mühendisliği usullerine göre yapmaktadır ve hatta bu kurum tarafından, projelerde sistem mühendisliğinin nasıl uygulanacağına dair uygulama kılavuzu yayımlanmıştır. Özellikle büyük sistem entegrasyon projelerinde SM önemli rol oynamaktadır (*Sistem Mühendisliği Nedir?*, t.y.).

Sistem mühendisliği, bilimsel yöntemi ve mühendislik projesinin tüm yönleriyle incelenmesinin önemini vurgulayan bir mühendislik yaklaşımıdır. Sistem mühendisliği, esasen disiplinler arası bir yaklaşımdır. Ortaya çıkarılmak istenilen ürünün tüm unsurlarının kusursuz ve fonksiyonel bir şekilde bir araya gelmesini amaçlar.

Sistem mühendisliği yönetimi, proje yönetimiyle birlikte, bu süreçlerin maliyet etkin bir biçimde, verilen kapsam, bütçe ve takvim kısıtları ile teknik performans hedefleri çerçevesinde gerçekleştirilmesini hedefler. Bahse konu süreçleri gösteren şematik çizim Şekil 2.1. de verilmektedir.



Şekil 2.1: Sistem mühendisliği yönetim süreçleri (walden, 2015).

Günümüzde, mühendislik alanında ürün karmaşıklığı giderek artmakta ve sistemler, akıllı ve otonom sistemlere dönüşmektedir. Bu ve benzeri ileri teknolojiler içeren, özgün ürünler geliştirme ihtiyacı duyulan her alanda başarılı sistemler ortaya koyabilmek için sistem mühendisliği disiplininin uygulanması kaçınılmaz bir gereksinim, bir zorunluluk haline gelmiştir.

Günümüzde sistem mühendisliği uygulamaları doküman tabanlı ve model tabanlı olarak iki farklı şekilde yönetilmektedir. Söz konusu uygulamalara dair detaylar alt başlıklarda verilecektir.

2.1 Doküman Tabanlı Sistem Mühendisliği (DTSM)

Geleneksel olarak, büyük projeler sistem mühendisliği faaliyetlerini gerçekleştirmek için doküman tabanlı bir sistem mühendisliği yaklaşımı kullanmaktadır. Bu yaklaşımda müşteriler, kullanıcılar, geliştiriciler ve test uzmanları arasında değiş tokuş edilen basılı kopya veya elektronik dosya formatında metinsel doküman ve tasarım dokümanlarının oluşturulmasıyla sürdürülür. Sistem gereksinimleri ve tasarım bilgileri bu dokümanlarda metin açıklamaları, çizim araçlarından üretilen grafiksel tasvirler ve analiz modellerinin yürütülmesinden kaynaklanabilecek veya veri tabanlarından türetilebilecek tablo verileri ve çizimler olarak ifade edilir. Bu dokümanlar yazılım, güvenlik, emniyet, donanım, sistem davranışı ve diğer ilgili disiplinleri içerir.

Doküman tabanlı bir sistem mühendisliği yaklaşımı, dokümanların kontrol edilmesini, dokümanların geçerli, eksiksiz ve tutarlı olmasını ve geliştirilen sistemin dokümanlara uygunluğunun teyit edilmesi yöntemiyle yürütülür. Bu yöntemde projenin ilerleyen aşamalarında yapılacak en küçük değişiklik geriye dönük oluşturulan tüm belgelerin elleçlenmesini ve değiştirilmesini gerektirmektedir. Bu durum yönetim sürecini zorlaştırmakta ve hataya açık olmasına sebep olmaktadır.

Doküman tabanlı yaklaşımda;

- Belirli bir sistem ve alt sistemlerin donanım ve yazılım bileşenleri için teknik özellikler genellikle hiyerarşik bir ağaçta gösterilir.
- Bir sistem mühendisliği yönetim planı (SEMP), sistem mühendisliği sürecinin projede nasıl kullanıldığını ve mühendislik disiplinlerinin gereksinimleri karşılamak için gereken dokümanları geliştirmek üzere nasıl birlikte çalıştığını açıklar.
- Sistem mühendisliği faaliyetleri, dokümantasyonun oluşturulması için gereken zaman ve çaba tahmin edilerek planlanır ve proje ilerlemesi bu dokümanların tamamlanma durumuna göre ölçülür.

- Gereksinim izlenebilirliği, şartname hiyerarşisinin farklı seviyelerindeki şartnameler arasında gereksinimlerin izlenmesi yoluyla doküman tabanlı oluşturulur ve sürdürülür.
- Şartname dokümanlarında yer alan gereksinimleri ayrıştırmak ve bunları bir gereksinim veri tabanında yakalamak için gereksinim yönetimi araçları kullanılır.
- Gereksinimler ve tasarım arasındaki izlenebilirlik, gereksinimi karşılayan sistem veya alt sistem parçasının ve/veya gereksinimi doğrulamak için kullanılan doğrulama prosedürlerinin tanımlanması ve ardından bu izlenebilirliğin gereksinim veri tabanına yansıtılmasıyla sağlanır.

Doküman tabanlı yaklaşımın temel sınırlamaları;

- Gereksinimler, tasarım, mühendislik analizi ve test bilgileri arasındaki bütünlük, tutarlılık ve ilişkileri değerlendirmek zordur çünkü bilgiler çeşitli dokümanlara yayılmıştır. Proje ekibi, yazma, gözden geçirme, güncelleme ve yayınlama sıralı adımlarından oluşan doküman sürecine odaklanır.
- Sistemin belirli bir yönünü anlamak ve gerekli izlenebilirlik ve değişiklik etkisi değerlendirmelerini yapmak zorlaşır. Bu durum geliştirilen sisteme olan bütüncül bakışta eksikler oluşmasına sebep olabilir.
- Gereksinimler ile sistem seviyesi tasarım ve yazılım, elektrik ve mekanik tasarım gibi daha düşük seviyeli detaylı tasarımlar arasında senkronizasyon zayıftır. Bu durum izlenebilirlik sorunları oluşturabilir.
- Gelişen veya değişen bir sistem tasarımı için sistem gereksinimlerini ve tasarım bilgilerini korumak veya yeniden kullanmak zordur.
- Harici iletişimi (dış paydaşlar) desteklemek için talep üzerine ek çizimler, sunumlar oluşturulur. Ancak, bilgiler çeşitli dokümanlara yayıldığı için sistemin belirli yönlerinin anlaşılması ve iletilmesi zordur. Bu durum sistem tasarım kalitesini yeterince yansıtamamasına sebep olabilir.
- Sistemlerin standartlarla uyumlu olması gerekmektedir. Söz konusu standartlara uygunluk farklı araçlar ile doğrulanabilmektedir. Bu araçlar DTSM yaklaşımına kolayca uyarlanamayan zengin metamodellere dayanmaktadır. Bu durum geliştirme süreçleri arasında büyük bir boşluk

yaratır. Sınırlı izlenebilirlik ve araçların birlikte çalışabilirlik yetenekleri açısından bir engel haline gelir.

Bu sınırlamalar, maliyeti ve programı etkileyen verimsizliklere ve genellikle entegrasyon ve test sırasında veya daha da kötüsü sistem müşteriye teslim edildikten sonra ortaya çıkan potansiyel kalite sorunlarına neden olabilir.

Karmaşık projelerde Doküman Tabanlı Sistem Mühendisliği (DTSM) etkili olabilmesi için bir Doküman Yönetim Sistemine (DMS) ihtiyaç vardır. Bu sayede doküman takibi yapılabilir. Ancak temelde hala ekip üyeleri arasındaki ana bilgi alışverişi metin belgelerine dayanır. Her doküman kendi kendine yeten bir birimdir ve aralarında çok az bağlantı vardır veya hiç bağlantı yoktur.

Doküman tabanlı yaklaşımda projenin paydaşları gidişatı takip edebilmek için bir çok dokümana ihtiyaç duymaktadır. Proje kapsamında sunulacak dokümanların neler olduğunun takibi için bile ayrı bir liste oluşturulması gerekmektedir. Bu liste doküman veri istek listesi (DVİL) olarak adlandırılmaktadır. Bu liste kapsamında hazırlanan dokümanların bazıları aşağıda tanımlanmıştır.

1. Proje Yönetim Planları (PYP): Bu planlar projenin yönetim, zamanlama, kaynak tahsisi ve raporlama yapılarını ana hatlarıyla belirtir.
2. Konfigürasyon Yönetim Planı (KYP): Sistemin konfigürasyonlarının, sürümlerinin ve değişikliklerinin projenin yaşam döngüsü boyunca nasıl yönetileceğini ve kontrol edileceğini tanımlar.
3. Risk Yönetim Planı (RYP): Bu doküman, projeye ilişkili risklerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve azaltılmasına yönelik yaklaşımı ana hatlarıyla belirtir. Risk değerlendirmesi, risk müdahale planları ve izleme stratejilerini içerir.
4. Sistem Gereksinimleri Dokümanı (SGD): Bu doküman, işlevsel ve işlevsel olmayan gereksinimler dahil olmak üzere üst düzey sistem gereksinimlerini ana hatlarıyla belirtir. Müşteri ve geliştirme ekibi arasında bir sözleşme görevi görür.
5. Sistem Mimarisi Dokümanı (SMD): Alt sistemler, arayüzler ve bunların ilişkileri de dahil olmak üzere sistemin mimarisine genel bir bakış sağlar. Sistemin tasarımı için bir plan görevi görür.

6. Sistem Tasarım Dokümanı (STD): Bu doküman, sistemde kullanılan teknik detayları, algoritmaları ve veri yapılarını belirterek sistemin tasarımını daha derinlemesine inceler.
7. Arayüz Kontrol Dokümanı (AKD): Değiş tokuş edilen veriler, protokoller ve standartlar da dahil olmak üzere farklı alt sistemler ve bileşenler arasındaki arayüzleri tanımlar.
8. Test ve Değerlendirme Ana Planı (TDAP): Geliştirme ve operasyonel yaşam döngüsü boyunca sistemin test edilmesi ve değerlendirilmesine yönelik stratejiyi ana hatlarıyla belirtir. Test planlarını, prosedürleri ve kriterleri içerir.
9. Doğrulama ve Geçerleme Planı (DGP): Sistemin gereksinimlere uygunluğunun nasıl doğrulanacağını ve onaylanacağını detaylandırır. Kabul kriterlerini ve test metodolojilerini içerir.
10. Sistem Güvenlik Planı (SGP): Askeri projeler için güvenlik büyük önem taşır. Sistemin bütünlüğünü, gizliliğini ve kullanılabilirliğini korumak için güvenlik önlemlerini, politikalarını ve prosedürlerini ana hatlarıyla belirtir.
11. İşletme ve Bakım Kılavuzları (İBK): Bu doküman sistemin çalıştırılması, bakımı ve servisi konusunda rehberlik sağlar. Askeri projelerde, sistemin konuşlandırılması, eğitimi ve acil durum prosedürleri için talimatlar da içerebilirler.
12. Lojistik Destek Planı (LDP): Bakım programları, yedek parça listeleri ve tedarik zinciri bilgileri gibi lojistik ve destekle ilgili belgeleri içerir. Bu plan kapsamında onlarca doküman üretilmesi gerekmektedir.
13. Sistem Güvenliği Değerlendirme Raporları: Askeri projeler için güvenlik kritik öneme sahiptir. Bu raporlar, sistemin gereksiz riskler oluşturmamasını sağlamak için güvenlik önlemlerini ve değerlendirmelerini detaylandırır.
14. Konfigürasyon Ögesi Dokümantasyonu: Her bir sistem bileşeni veya alt sistemi, tasarım özellikleri, kılavuzlar ve test raporları dahil olmak üzere kendi doküman setine sahip olabilir.
15. Değişiklik Talepleri ve Değişiklik Günlükleri: Bu dokümanlar yaşam döngüsü boyunca sistemdeki değişiklikleri izler ve yönetir, değişikliklerin uygun şekilde değerlendirilmesini, onaylanmasını ve belgelenmesini sağlar.

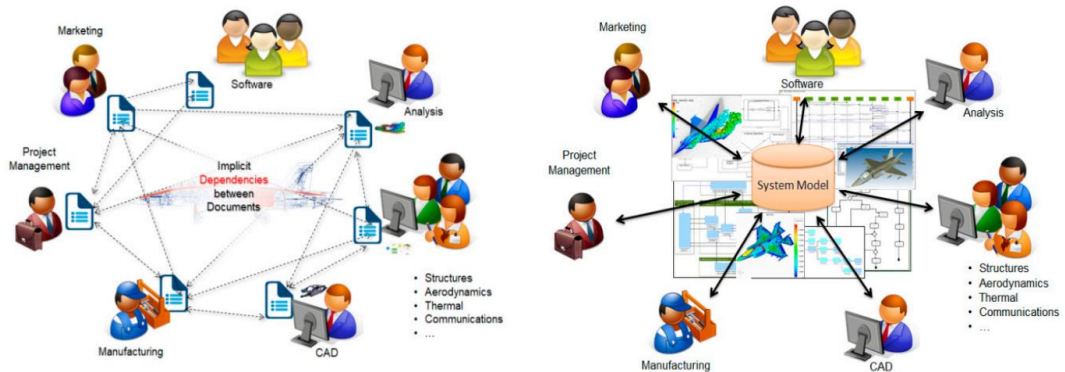
Yukarıda bahsi geçen dokümanlar model tabanlı yönetimde üretilmesi gerekmez. Proje, merkezi sistem modülü üzerinden takip edilebilmekte ve ihtiyaç kapsamında güncellenmektedir.

2.2 Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM)

Uluslararası Sistem Mühendisliği Konseyi'ne (INCOSE) göre MTSM; kavramsal tasarım aşamasında başlayan ve geliştirme ve daha sonraki yaşam döngüsü aşamaları boyunca devam eden sistem gereksinimleri, tasarım, analiz, doğrulama ve geçerli kılma faaliyetlerini desteklemek için modellemenin resmileştirilmiş uygulamasıdır (INCOSE-TP-2004-004-02, Sep 2007 - Google Search, t.y.)

MTSM, sistem mühendisleri tarafından geçmişte uygulanan doküman tabanlı proje yönetimi yaklaşımı yerine tam entegre olmuş sistem modelleri oluşturmayı hedeflemektedir.

MTSM yaklaşımı ile sistem mühendisleri DTSM yaklaşımı ile aynı yaşam döngüsünü gerçekleştirir. Her iki yaklaşımın faaliyetleri ve çıktılar kümesi aynıdır. Ancak MTSM yaklaşımı ile oluşan çıktılar doğrudan doküman değildir. Gerçekleştirilen faaliyetlerin eseri özel bir sistem modelleme aracı kullanılarak oluşturulmuş entegre, uyumlu ve tutarlı bir sistem modelidir. Oluşturulan dokümanlar sistemden ikincil olarak otomatik üretilir. Modelleme aracını kullanarak oluşturulan sistem modeli, tasarım kararları için merkezi bir depo görevi görür. Her tasarım kararı sistem modeli içinde tek bir yerde bir model ögesi (veya elemanlar arasında bir ilişki) olarak depolanır. Bahsi geçen hususlar Şekil 2.2 de görselleştirilmiştir.



Şekil 2.2: DTSM ve mtsm farkı (Madni & Sievers, 2018).

MTSM yaklaşımında, tüm diyagramlar ve otomatik olarak oluşturulan metin belgeleri yalnızca oluşturulan sistem modelinin görünümleridir modelin kendisi değildirler. Bahse konu belgeler sayesinde tam bir MTSM faaliyeti yürütülemeyecek olan projelerde parçalı (MTSM ve DTSM beraber) bir yöntem geliştirilmesi de mümkün olmaktadır. Ve bu ayrım, MTSM'nin geleneksel yaklaşıma kıyasla sunduğu yatırım getirisinin (ROI) temelini oluşturur.

MTSM yaklaşımında temel olarak bir modelleme dili, bir modelleme yöntemi ve bir modelleme aracına ihtiyaç vardır.

Modelleme Dili: MTSM uygulayıcıları, bir sistemin yapısı, davranışı, gereksinimleri ve kısıtlamalarının modellerini oluşturmak için yaygın olarak Sistem Modelleme Dilini (SysML) kullanırlar. SysML tek modelleme dili değildir (UML, Modelica, AADL, Marte vb.). Diğer tasarım alanlarındaki mühendisler ve analistler tasarladıkları sistem türleri için daha uygun olan başka modelleme dillerine sahiptir. Tezin ilerleyen aşamalarında ihtiyaç olacağı için SysML ile ilgili detaylar ayrıca verilecektir.

Modelleme Yöntemi: Modelleme yöntemini bir yol haritası olarak tanımlayabiliriz. Bir modelleme ekibinin bir sistem modeli oluşturmak için gerçekleştirdiği belgelenmiş bir dizi tasarım görevidir. Ekipteki herkesin sistem modelini tutarlı bir şekilde oluşturmasını ve ortak bir hedefe doğru çalışmasını sağlar. Böyle bir rehberlik olmadan, ekibin her bir üyesinin sistem modelinde oluşturduğu genişlik ve derinlikte büyük farklılıklar olacaktır.

Modelin kapsamı aynı zamanda proje ekibinin takip edeceği modelleme yöntemini de belirler. Çeşitli modelleme yöntemleri literatürde geçmektedir. Ekibiniz bu mevcut yöntemlerden birini benimseyebilir veya ihtiyaçlarınızı ve hedeflerinizi karşılayacak şekilde uyarlayabilir.

Modelleme Aracı: Modelleme araçları, bir veya daha fazla modelleme dilinin kurallarına uyacak şekilde tasarlanan ve uygulanan özel araçlardır. Bu araçlar sistem mühendisliği görevlerini desteklemek ve otomatikleştirmekte ve verimliliği artırmaktadır. Modelleme araçları, Visio Schematic, SmartDraw, ProcessOn gibi diyagram oluşturma araçlarından farklıdır. Bir diyagram oluşturma aracıyla, bir sayfa üzerinde diyagramlar, şekiller oluşturursunuz ancak bu diyagramların altında yatan ve aralarında otomatik tutarlılık sağlayan bir model yoktur. Buna karşılık, bir modelleme aracıyla bir model oluşturursunuz bir dizi öge ve ögeler arasındaki ilişkiler ve isteğe

bağlı olarak altta yatan modelin görünümüleri olarak hizmet eden bir dizi diyagram oluşmuş olur.

Bazı MTSM araçlarına örnek vermek gerekirse; Vitech GENESYS, MagicDraw Cameo Systems Modeler (CSM), IBM Rhapsody, Mathworks System Composer, Capella, Enterprise Architect, Innoslate, Papyrus.

Model tabanlı sistem mühendisliği (MTSM) faydaları

Geleneksel sistem mühendisliği, tasarımın birincil ürünleri olarak dokümanları kullanır. Bu dokümanlar elektronik tabloları ve sunumları içerir. Elektronik tablolar hem analog hem de metinsel verileri içerir. Sunumlar, resimleri ve metni görsel olarak düzenlemek için slaytlar içerir. Elektronik tablolar ve sunumları oluşturmak için kullanılan yaygın araçlar arasında Microsoft Excel, Microsoft PowerPoint ve Microsoft Word bulunur.

Geleneksel, doküman tabanlı sistem mühendisliğinde, bilgi çeşitli dokümanlara dağıldığı için sistemin eksiksizliğini ve tutarlılığını değerlendirmek zordur. Bu nedenle, ekip arasında sistemin tek bir ortak vizyonunu oluşturmak ve sürdürmek zordur.

Geleneksel sistem mühendisliği programlarının hem oluşturulmasına hem de yönetilmesine yardımcı olmak için kullanılan araçlar arasında IBM Rational DOORS, Siemens Teamcenter ve Atlassian Confluence yer alır.

MTSM iş akışı ve merkezi bir sistem modelinin oluşturulması, sistem mühendisliğine bütüncül, standartlara dayalı bir yaklaşımı sağlar (Madni & Sievers, 2018).

Bir sistem modelinin oluşturulması, birden fazla alandan ve alt sistemden gelen bilgilerin mutabakatını gerektirdiğinden, tutarsızlıklar ve kusurlar modelleme süreci sırasında kolayca ortaya çıkar (Carroll & Malins, 2016).

Sistem yaşam döngüsü sürecinde ortaya çıkabilecek sorunlar daha önce ele alınabilir ve ortadan kaldırılabilir.

Tüm proje ekibi üyeleri referans olarak aynı bilgi kaynağını (sistem modeli) kullandığından, bilgilerin merkezileştirilmesi ve standartlaştırılması, yanlış iletişim ve diğer geliştirme risklerinin azaltılmasını sağlar.

Biçim standardizasyonu, bilgilerin farklı biçimlerde birden çok belgede depolandığı doküman tabanlı bir iş akışına kıyasla bilgi aramayı ve ayıklamayı da kolaylaştırır.

Daha genel olarak MTSM, karmaşıklığı yönetmek için resmileştirilmiş yapılar ve soyutlama kullanan doküman tabanlı olmaktan daha iyi bir yol sağlar. MTSM modellerinde çapraz referans, tasarım doğrulama, gereksinim doğrulama ve sistem güvencesine sistem yaşam döngüsünde daha erken başlamayı ve sistem tasarım kalitesini bir proje boyunca minimum maliyetle değerlendirmeye devam etmeyi mümkün kılar. Ayrıca, modeller benzer sistemler için yeniden kullanılabilir ve uyarlanabilir, bu da minimum riskle hızlandırılmış sistem geliştirme sağlar (*Model-Based Systems Engineering - SEBoK*, t.y.).

Dijital ortamlar ve yazılım araçları, özellikle iş birlikçi bir ortamda sistem modellerini oluşturmayı, sürdürmeyi ve kullanmayı daha kolay ve daha hızlı hale getirir (Ma vd., 2022).

Düzgün bir şekilde uygulandığı takdirde, dijital MTSM modelleri, tutarsızlıkları belirlemek, sistem davranışını simülasyonlar aracılığıyla görmek, değişiklikleri aynı anda tüm projeye yaymak (yapıları tek tek güncellemek yerine), otomatik olarak doküman tabanlı eserler oluşturmak ve daha fazlası için kullanılabilir (*Model-Based Systems Engineering - SEBoK*, t.y.).

2.3 Systems Modeling Language (SysML) Nedir?

Systems Modeling Language (SysML), Sistem Mühendisliği uygulamaları için geliştirilmiş genel amaçlı bir modelleme dilidir. Donanım, yazılım, bilgi, personel, tesis ve süreçler içeren karmaşık sistemlerin, tanımlanması, analizi, tasarımı, doğrulanması ve geçerli kılınması faaliyetlerinde kullanılabilir (*What is SysML? | OMG SysML*, t.y.).

UML (Unified Modeling Language) üzerine geliştirilen SysML, OMG ve Uluslararası Sistem Mühendisliği Konseyi (INCOSE) tarafından ortaklaşa geliştirilmiş ve 2006'da OMG tarafından yayınlanmıştır. SysML, UML'in yazılım tabanlı bazı kısıtlarını kaldırmasının yanında 2 yeni diyagram eklemiştir (Parametric ve Requirement). Aynı zamanda UML'ye kıyasla daha esnek ve açıklayıcı bir dil olmasıyla daha kolay öğrenilir bir dil olmuş ve modelleyebileceği sistemlerin genişliği de artmıştır.

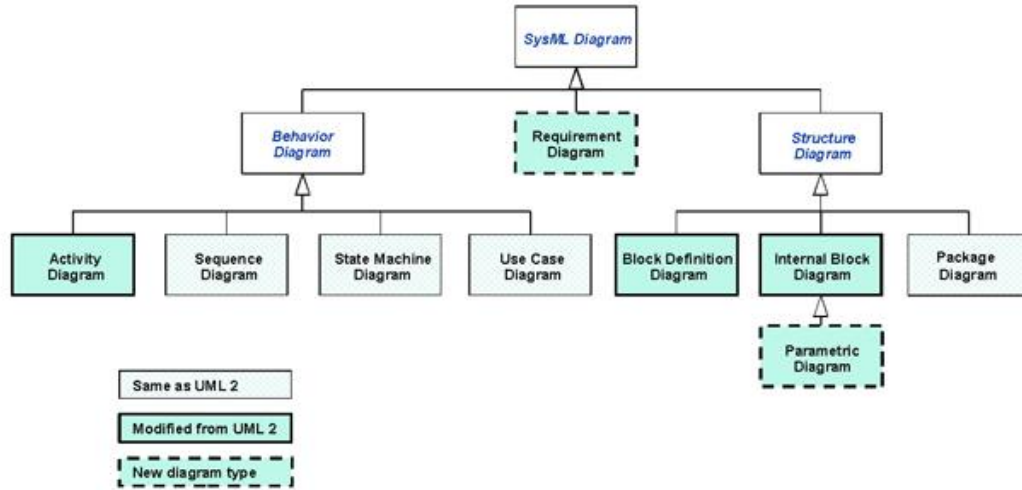
SysML, birçok modelleme aracı tarafından desteklenir ancak SysML bir modelleme metodolojisi veya framework değildir. Modelleme için modelleme dilinin yanında kullanılacak uygulama ve metod da bilinmelidir.

Diğer bilinmesi gereken ise SysML kullanarak sistemleri modellemek için standartlaştırılmış framework ve yöntemlerin olmadığıdır. NoMagic(Dassault Systemes), IBM, Sparx gibi firmaların kendilerine özgü framework'leri olabilmektedir.

Sysml diyagramları

Biraz daha detaya inerseniz, SysML, 9 adet diyagramdan oluşmakta ve 4 ana parçaya ifade edilmektedir; Structure, Behaviour, Requirements, Parametrics.

9 farklı diyagramın her biri, sorunun veya çözümün belirli bir yönüne odaklanmak için kullanılır. SysML, UML2'nin 14 diyagramından 7'sini ve UML'ye ek getirdiği 2 diyagramı kullanmaktadır. Söz konusu diyagram Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Bu diagramlar alt başlıklarda tanımlanmıştır (Delligatti, 2013).

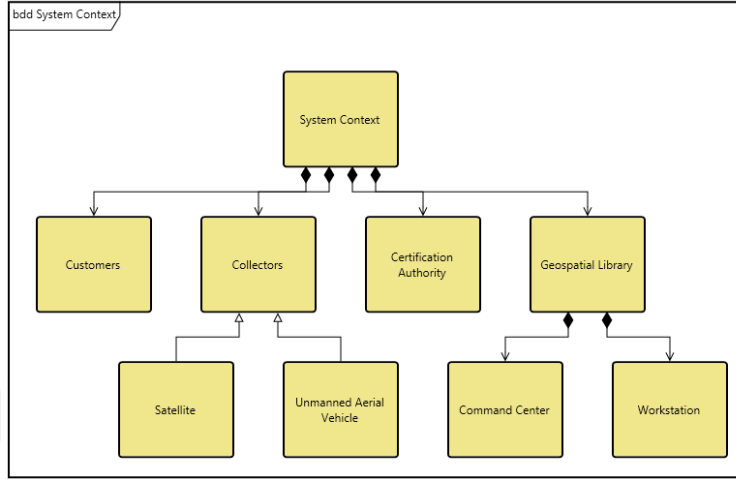


Şekil 2.3: SysML diyagramı (What is SysML? | OMG SysML, t.y.).

2.3.1 Yapısal diyagram (Structure Diagram)

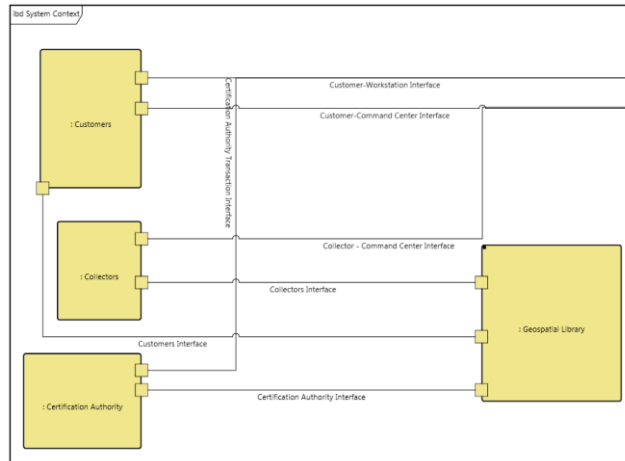
Yapısal diagramlar Blok Tanımlama Şeması, Dahili Blok Şeması ve Paket Şeması olarak üç parçalıdır. Aşağıda gösterilecek olan örnek şemalar kullanılan programdan (genesys) alınmıştır.

Blok Tanımlama Şeması (Block Definition Diagram) (bdd): sistem bileşenlerini, içeriklerini (Özellikler, Davranışlar, Kısıtlamalar), ara yüzleri ve ilişkileri gösteren statik bir yapısal diyagramdır. Şekil 2.4’de bu şemaya ait bir örnek gösterilmiştir.



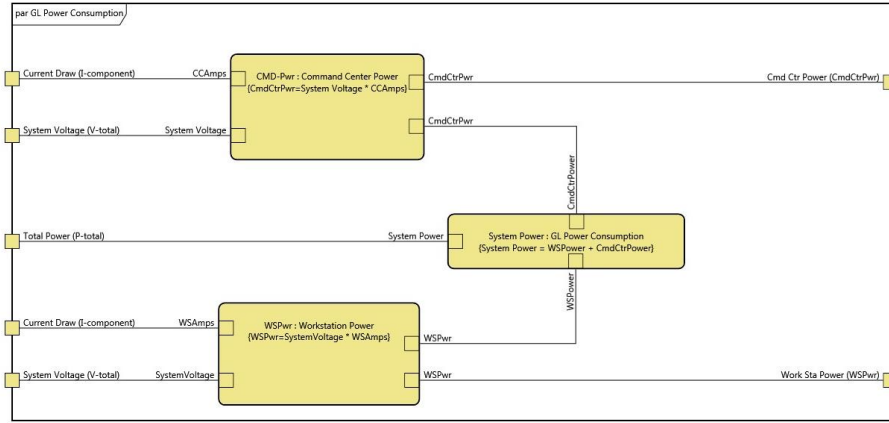
Şekil 2.4: Blok tanımlama şeması örneği.

Dahili Blok Şeması (Internal Block Diagram) (ibd): Blokların iç yapısındaki bağlantıyı (parçalar, özellikler, bağlayıcılar, bağlantı noktaları ve arayüzler) gösteren statik bir yapısal diyagramdır. Şekil 2.5’de bu şemaya ait bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Dahili blok şeması örneği.

Paket Şeması(Package Diagram) (pkg): Paket diyagramı, paketler ve içerikleri arasındaki ilişkileri gösteren statik bir yapısal diyagramdır. Paket, model öğelerini modeller, görünüm, model kitaplıkları ve çerçeveler halinde düzenlemek için basmakalıp (özelleştirilebilir) olabilir. Şekil 2.6’da bu şemaya ait bir örnek gösterilmiştir.

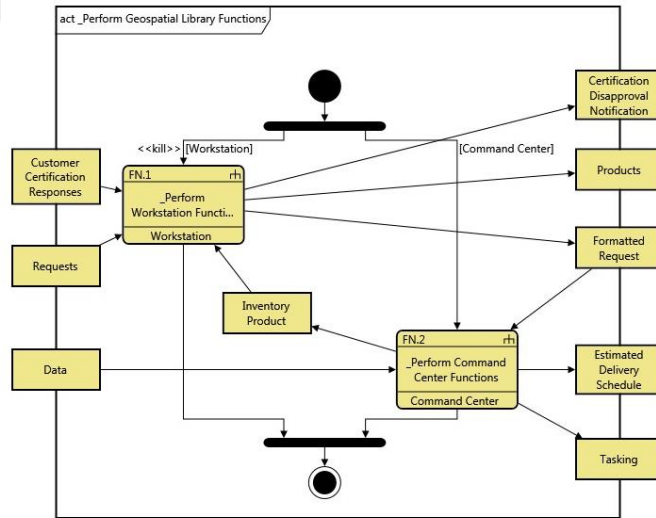


Şekil 2.6: Paket şeması örneği.

2.3.2 Davranış diyagramı (Behaviour Diagram)

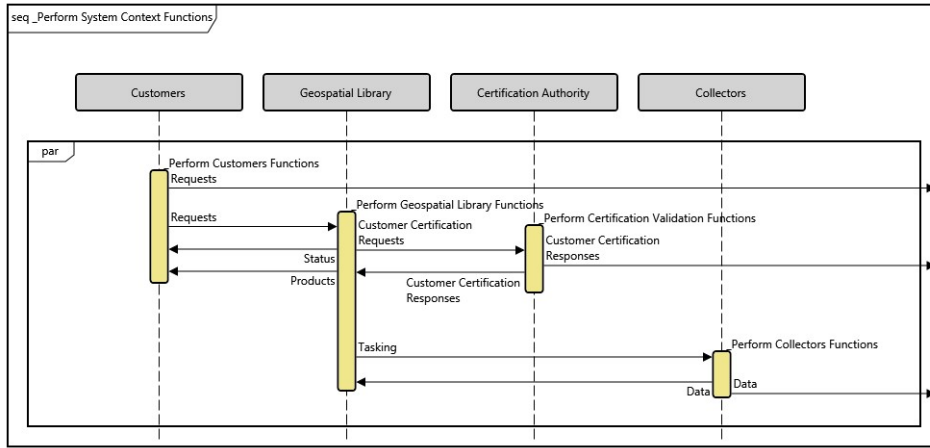
Davranış diyagramı Etkinlik Şeması, Dizi Şeması ve Durum Makinesi Şeması ve Kullanım Durumu Şeması olarak dört parçalıdır.

Etkinlik Şeması (Activity Diagram) (act): Kontrol akışına ve girdilerin bir dizi eylem yoluyla çıktılara dönüştürülmesine odaklanarak bir sistem davranışı belirtmek için kullanılır. Genellikle bir sistemin istenen davranışını anlamak ve ifade etmek için bir analiz aracı olarak kullanılır. Şekil 2.7’de bu şemaya ait bir örnek gösterilmiştir.



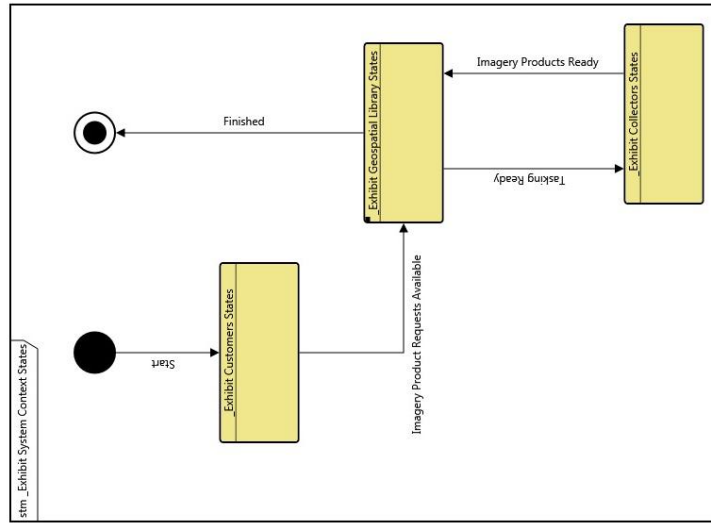
Şekil 2.7: Etkinlik şeması örneği.

Dizi Şeması (Sequence Diagram) (seq): Bir işlemin bir grup nesne tarafından sıralı bir dizi etkileşimle nasıl gerçekleştirildiğini açıklar. Yani bir anlamda kompleks senaryoların işleyiş mekanizmasını gösterir. Şekil 2.8’de bu şemaya ait bir örnek gösterilmiştir.



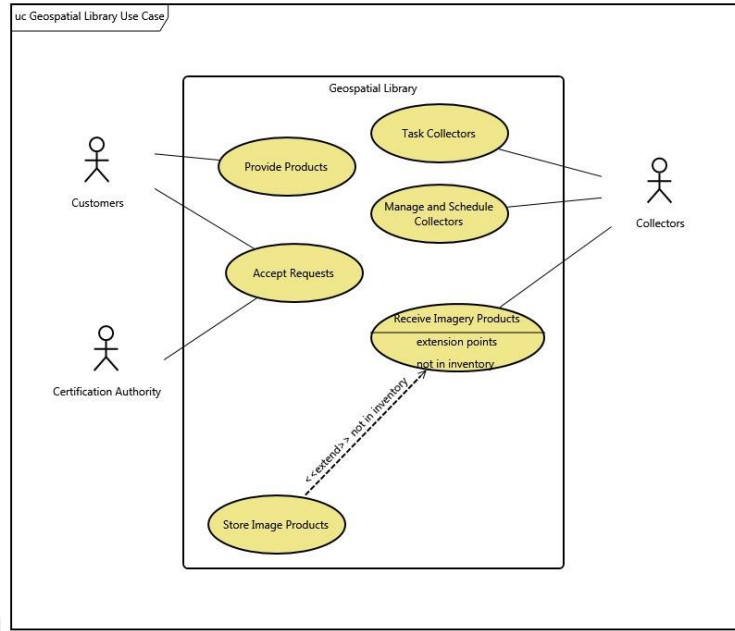
Şekil 2.8: Dizi şeması örneği.

Durum Makinesi Şeması (State Machine diagram) (smd): Bir nesnenin veya etkileşimin yaşamı boyunca olaylara (diğer adıyla "Tetikleyiciler") yanıt olarak geçtiği durum dizisini gösteren dinamik bir davranış diyagramıdır. Şekil 2.9’da bu şemaya ait bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Durum makinesi şeması örneği.

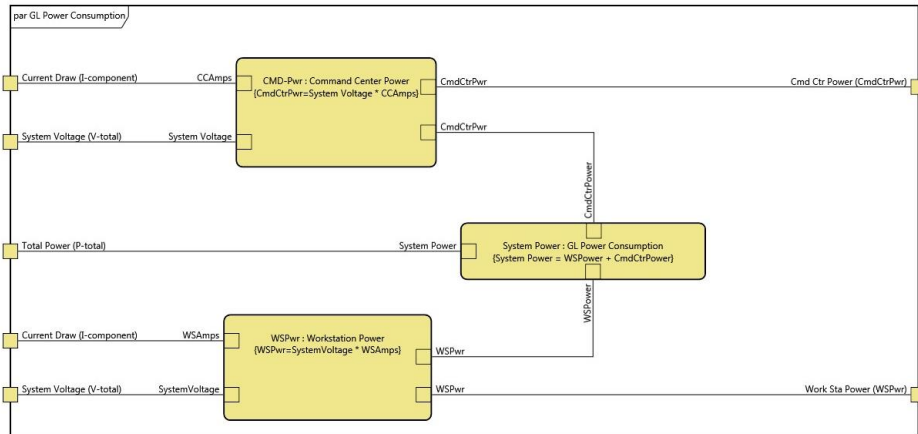
Kullanım Durumu Şeması (Use Case diagram) (uc): Kullanım durumları ve harici kullanıcılar (aktörler) arasındaki iletişimi gösterir. Aktörler, kişiler, kuruluşlar, tesisler veya donanım sistemleri olabilir. Sistem öznesi ve sistem aktörleri arasındaki ilişkilerin tanımlanması, sistem kapsamını tanımlamanın etkili bir resmi olmayan yoludur. . Şekil 2.10’da bu şemaya ait bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Kullanım durumu şeması örneği.

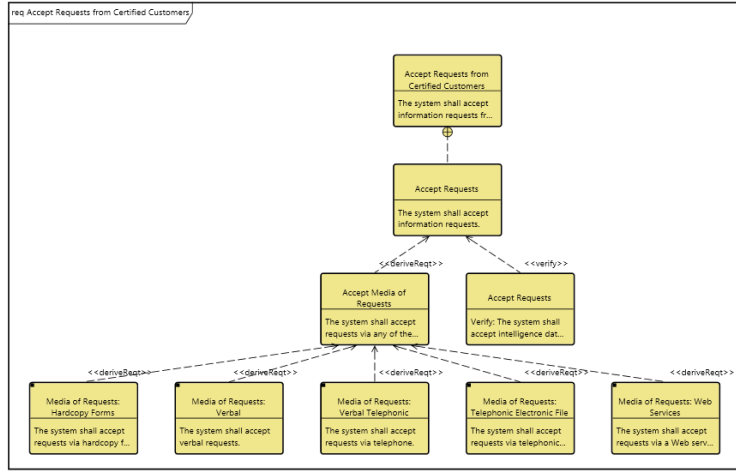
Yapısal ve davranış diyagramları dışında iki farklı diyagram daha vardır. Bunlar Parametric şema ve Gereksinim şema olarak adlandırılır. Bunlara dair tanımlar aşağıda yer almaktadır.

Parametric şema: Sistemin matematiksel denklemler ile ifade edildiği diyagramdır. Şekil 2.11’de bu şemaya ait bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Parametric şema örneği.

Gereksinim şeması (Requirements Diagram) (req): Gereksinimlerin "text" olarak yazıldığı şemalardır. Bağımlılığı karşılayan, model öğeleri ve bağımlılığı doğrulayan, test durumları arasındaki ilişkileri gösteren diyagramdır. Şekil 2.12’de bu şemaya ait bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.12: Gereksinim şeması örneği.

2.4 İnsansız Deniz Aracı (İDA) İçin Gereksinim Yönetimi Denemesi

Önceki bölümlerde genel ve özel hatlarıyla tanımlanan insansız deniz araçları kullanım alanlarını genişletmeye devam edecektir. Bu çalışmalara katkı sağlamak amacıyla bir İDA için gereksinim yönetimi yapılması hedeflenmiştir.

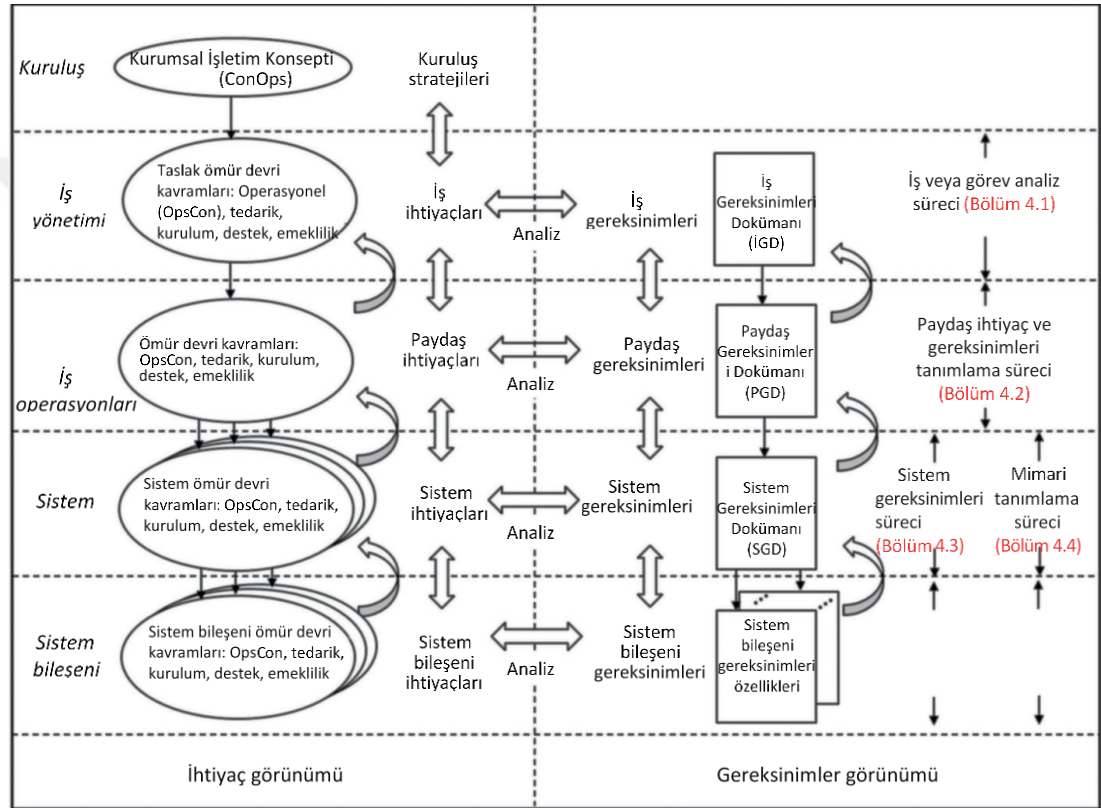
Gereksinim yönetimi için incose de tanımlanmış olan aşağıdaki süreç işletilmiştir. Bu kapsamda ilk aşamada Consept Of Operation (ConOps) tanımlanmış ve buna bağlı olarak İş İhtiyaçları (Business Needs) geliştirilmiştir. Sürece uygun olarak iş ihtiyaçları iş gereksinimlerine (Business Requirements) dönüştürülmüş. Ve aynı süreç paydaş ihtiyaç (Stakeholder Needs) ve gereksinimleri (Stake Holder Requirements) için de işletilmiştir.

ISO/IEC/IEEE 15288 standardının teknik süreç ve destekleyici süreç faaliyetlerine, bir sistemin ömür devri safhaları boyunca başvurulur. Teknik süreçler, (ISO/IEC/IEEE 15288 – *Systems Engineering – System Life Cycle Processes*, 2015)'da aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Teknik süreçler, bir sistemin gereksinimlerini tanımlamak, bu gereksinimleri etkili bir ürüne dönüştürmek, gerektiğinde ürünün istikrarlı bir şekilde yeniden üretilmesine imkan vermek, ürünü gerekli hizmetleri sağlamak için kullanmak, bu hizmetlerin sunulmasını sürdürmek ve hizmetten çekildiği zaman ürünü elden çıkarma/dönüştürmek için kullanılır.

Teknik süreçler sistem mühendislerine, mühendislik alan uzmanları, diğer mühendislik disiplinleri, sistem paydaş ve operatörleri ile imalat arasındaki etkileşimi

koordine etme olanağı sağlar. Ayrıca toplumun beklentileri ile yasal gereklilikler arasındaki uyumu sağlarlar. Bu süreçler, yeterli bir gereksinim seti ile bu gereksinimleri karşılayan sistem çözümlerinin oluşturulmasına öncülük ederler. Oluşturulan bu gereksinimler ve sistem çözümleri, tasarım kısıtları, dış ara yüzler, çevresel ve performans sınırları içerisinde istenen kabiliyetleri azami ölçüde sağlamalıdır. Teknik süreçler olmasaydı, projelerin başarısız olma riski kabul edilemeyecek kadar yüksek olurdu. Incose el kitabında gösterildiği gibi, teknik süreçler, ihtiyaç ve gereksinimlerin geliştirilmesiyle başlamaktadır (Ryan, 2013).



Şekil 2.13: Teknik süreçler.

Tezin ilerleyen aşamasında incose (ch4) de yer alan Şekil 2.13'deki tablo baz alınarak aşağıdaki süreçler işletilmiş ve dokümanların oluşturulmuş olduğu kabul edilmiştir (Zorn, 2013).

1. İş veya görev analizi süreci
2. Paydaş ihtiyaç ve gereksinimleri tanımlama süreci
3. Sistem gereksinimleri tanımlama süreci
- A. İş gereksinimleri dokümanı (İGD)

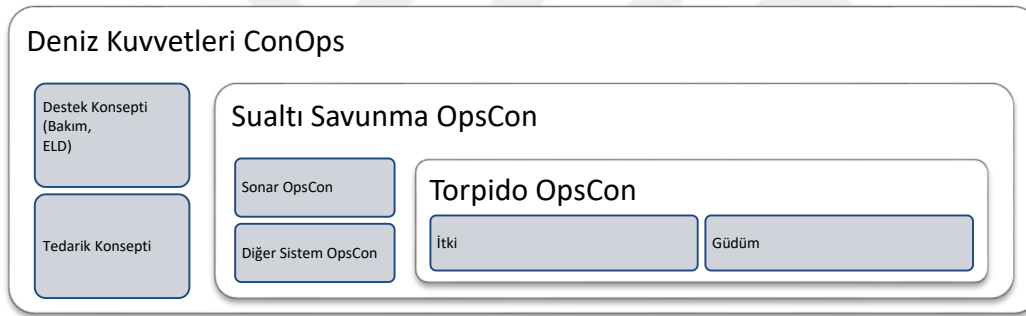
B. Paydaş gereksinimleri dokümanı (PGD)

C. Sistem gereksinimleri dokümanı (SGD)

İş ihtiyaçları ve iş gereksinimleri (business needs and business requirements)

İş veya görev analizi süreci; Gereksinimlerin tanımlanması, organizasyonun veya kuruluşun iş vizyonu, Kurumsal İşletim Konsepti (ConOps) ve iş yönetiminin iş (görev) ihtiyaçlarını tanımlamak amacıyla kullandığı diğer kurumsal stratejik amaç ve hedefler ile başlar. Bu ihtiyaçlar, taslak ömür devri konseptleri (tedarik konsepti, kurulum konsepti, operasyonel konsept (OpsCon), destek konsepti ve emeklilik konsepti) tarafından desteklenir. İş ihtiyaçları, daha sonra iş gereksinimleri olarak ayrıntılandırılır ve resmileştirilir; iş gereksinimleri sıklıkla İş Gereksinimleri Dokümanında (İGD) yer alır (Walden, 2015).

Şekil 2.14’te bahse konu süreçlerin birbirine göre ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.14: ConOps ve OpsCon.

2.4.1 Kurumsal işletim konsepti (concept of operation (ConOps))

ConOps kurum seviyesinde, liderliklerin kurumu nasıl işletmeyi amaçladığını ele alır. Kurumun amaç ve hedeflerini ileri taşımak için, bir veya daha fazla sistemin kara kutu olarak kullanılmasına atıfta bulunabilir. ConOps dokümanı, geliştirilecek sistemi, mevcut sistemleri ve gelecekteki olası sistemleri kullanarak, işletmenin genel operasyonlarına veya bir dizi operasyonuna ilişkin varsayımlarını veya niyetini açıklar. Bu doküman, çoğunlukla uzun vadeli stratejik planlarda ve yıllık operasyonel planlarda yer alır. ConOps dokümanı, kurumun gelecekteki iş ve sistemlerinin genel özelliklerini yönlendirmesi, projenin, kendi geçmişini anlaması ve ISO/IEC/IEEE 29148 standardının kullanıcıları için paydaş gereksinimlerinin ortaya çıkarılmasına bir temel teşkil eder (ISO/IEC/IEEE 29148:2018(en), *Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering*, t.y.).

Örnek ConOps; uzun vadede büyük gemilerle yapılan birtakım hareketlerin (Mayın Karşı Tedbir (MCM), Denizaltı savunma harbi (DSH), İstihbara, Keşif, Gözetleme (İKG), Su Üstü Harbi (SÜH), Elektronik Harp (EH), Deniz Güvenliği) görev gereklerini yerine getirebilecek özelliklere haiz İDA'lar aracılığı ile icra edilmesi planlanmaktadır. Bu sayede ekonomik ömrünü tamamlamış birtakım gemilerin görev dışına alınması hedeflenmektedir. Bu sistemlerin kullanılmasında liman savunma görevi öncelikli olduğu değerlendirilmektedir.

Belirlenen seyir sınırlarında ve deniz durumuna kadar tanımlı görevlerin İDA'lar aracılığıyla icra edilmesi harekât konseptinde birtakım değişiklikler gerektirecektir. Bu deniz araçlarının (İDA'lar) amacı büyük ve pahalı gemiler ve çok sayıda personel ile icra edilen, tehlikeli ve uzun süreli görevleri en az zararla, az sayıda personel ile ve maliyet etkin olarak yerine getirmektir.

Bahse konu görevler otonom olarak icra edilebildiği gibi tanımlı faaliyetler operatör kontrolünde ve izniyle icra edilebilecektir.

2.4.2 Operasyonel konsept (operational concept (OpsCon))

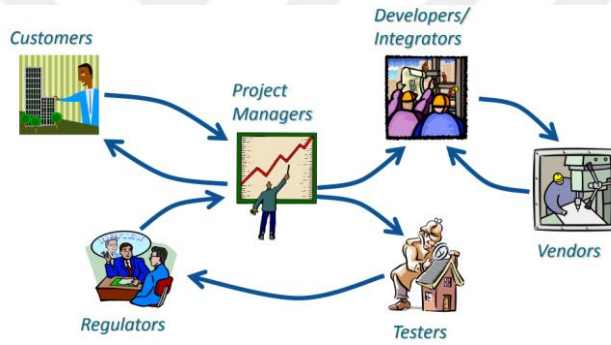
(ISO/IEC/IEEE 15288 – *Systems Engineering – System Life Cycle Processes*, 2015)'da OpsCon şu şekilde tanımlanır: Bir sistem operasyonel konsept (OpsCon) dokümanı, sistemin ne yapacağını (nasıl yapacağını değil) ve nedenini (gerekçesini) açıklar. OpsCon, teslim edilecek sistemin sistem özelliklerini, kullanıcının bakış açısından tanımlayan, kullanıcı odaklı bir dokümandır. OpsCon dokümanı, toplam nicel ve nitel sistem ayırt edici özelliklerini tedarik makamına, kullanıcıya, tedarikçiye ve diğer kurumsal unsurlara iletmek için kullanılır.

Örnek OpsCon; üs liman savunma görevine yönelik faaliyet yürütecek İDA üzerinde bulunan modüler faydalı yükler aracılığı ile üs/liman yaklaşma sularına karşı olası tehditlere karşı tanımlı bölge sınırlarında karakol görevi ifa edecektir. Söz konusu koruma bölgeleri yüksek öneme sahip askeri üs, rafineri, liman vb. tesislerdir. Söz konusu bölge dâhilinde oluşabilecek izinsiz geçişlere karşı sırasıyla tanımlanmış sakındırma manevralarını uygulanacaktır. İDA bu görev için gerekli olan ekipmanlar ile donatılmış olmalıdır. Bu kapsamda bağlı olunan komuta merkezi ile sürekli iletişim ve görüntü aktarımı bulunmalıdır. İhtiyaç dahilinde silah ile muhasım unsura karşı caydırıcı faaliyet icra edilmelidir.

Paydaş ihtiyaç ve gereksinimleri (stakeholder needs&requirements)

Paydaş ihtiyaç ve gereksinimlerini tanımlama süreci; Gereksinim mühendisleri bu süreçte, tedarik eden kuruluştan elde ettiği kurumsal düzeyde ConOps'u ve geliştirme kuruluşundan elde ettiği sistem düzeyinde taslak OpsCon'u rehber olarak kullanır. Böylelikle paydaşların ihtiyaçlarını (iyileştirilmiş sistem seviyesi OpsCon ve diğer ömür devri konseptleri biçiminde) ortaya çıkarmak için yapılandırılmış bir süreç aracılığıyla iş operasyonlarındaki tüm paydaşlara liderlik ederler. Paydaş ihtiyaçları daha sonra, gereksinim mühendisleri tarafından, genellikle Paydaş Gereksinimleri Dokümanı (PGD) (teknik şartname) içerisinde yer alan resmî bir paydaş gereksinim kümesine dönüştürülür (Walden, 2015).

Incose Sistem Mühendisliği El Kitabı'nda detaylı olarak tarif edilen bu süreçler burada ayrıca bahsedilmemiştir. Şekil 2.15'te paydaşların birbirine göre ilişkisi aşağıdaki gibi gösterilmiştir.



Şekil 2.15: SM paydaş ilişkisi (Peterson, 2016).

Sistem ihtiyaç ve gereksinimleri (system needs & requirements)

Sistem gereksinimleri tanımlama süreci PGD'deki paydaş gereksinimleri daha sonra, gereksinim mühendisleri tarafından genellikle bir Sistem Gereksinim Dokümanı (SGD) içerisinde yer alan sistem gereksinimlerine dönüştürülür (Walden, 2015).

Sistem Gereksinim Dokümanı tablo olarak hazırlanmış olup söz konusu doküman MTSM yazılımı olan Vitech Genesys için temel girdiyi oluşturmuştur. Bu yazılıma sağlanan girdiler vasıtasıyla gereksinim mühendisliği uygulaması örneklendirilmiştir.

Bu program sayesinde sisteme bütüncül bakış kaybedilmeden katman katman detaylara girilmiş ve sistem en alt seviyeye kadar kırılmıştır. SysML tarafından tanımlanan Behaviour ve Structure Diagramlar tanımlanarak sistem bütüncül olarak incelenmiştir.

3. UYGULAMA

3.1 Sisteme Genel Bakış

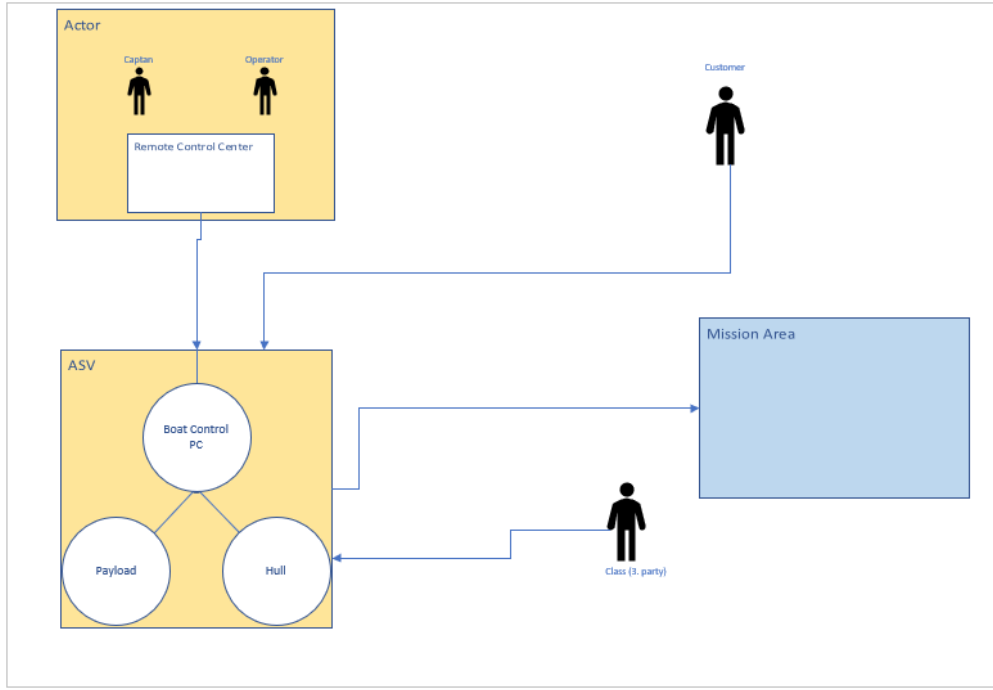
Uygulama kapsamında Türkiye karasularında üzerinde taşıdığı görev ekipmanları ile tanımlı görevleri yerine getiren bir insansız deniz aracı (İDA) örneklendirilmiştir. Üzerinde taşıdığı görev ekipmanları önceden tanımlı görevlere göre modüler olarak üzerine yerleştirilen sistemlerdir. Bu görevler önceki bölümlerde detaylandırılmıştır. Bu araç deniz kuvvetleri komutanlığı ve/veya sahil güvenlik komutanlığı tarafından kullanılacağı düşünülmüştür.

Bu deniz araçlarının (İDA) amacı yukarıdaki örnek ConOps ve OpsCon a uygun olarak büyük ve pahalı gemiler ve çok sayıda personel ile icra edilen, tehlikeli ve uzun süreli görevleri en az zararla, az sayıda personel ile ve maliyet etkin olarak yerine getirmektir. Bahse konu görevler otonom olarak icra edilebildiği gibi tanımlı faaliyetler operatör kontrolünde ve izniyle icra edilmektedir.

Sonraki bölümlerde MTSM uygulaması için ihtiyaç duyulan temel girdiler örneklendirilmiştir. Uygulama kapsamında Vitech firmasına ait Genesys university edition 2022 kullanılmıştır. Uygulamanın sağlıklı yürütülmesi için bir gereksinim seti hazırlanmış ve sistem mühendisliği uygulaması bunun üzerine inşa edilmiştir. Gereksinim seti baz alınarak SysML süreçlerine uygun olarak yapısal ve davranışsal şemalar oluşturulmuş ve program çıktıları aşağıda sergilenmiştir. Bu uygulama kapsamında İDA ifadesi yerine ingilizce kısaltması ASV kullanılmıştır.

3.2 Sistem İçeriği

Son kullanıcının kendi operasyonel ihtiyaçlarını doğru tanımlaması bazen bir Kullanım Durumu Şeması (uc) ile daha kolay yapılmaktadır. Bu kapsamda kullanıcıdan kullanım durumu ve harici kullanıcılar (aktörler) arasındaki iletişimin gösterilmesi talep edilmiştir. Bu doğrultuda oluşturulan görsel Şekil 3.1’de kullanım durumu şeması olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Kullanım durumu şeması.

3.3 Sistem Hedefleri

Farklı paydaşların bir araya gelerek sistemin hedeflerinin neler olduğu üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda oluşturulan hedefler daha önce belirlenen formatta oluşturularak sıralanmıştır. Aşağıda Çizelge 3.1-3.5'te Sistem Hedefi 1-5 örnek olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Sistem hedefi-1.

G1	ASV maliyetleri olabildiğince düşük olmalıdır.
Origin	Customer
Origin Date	12.12.2007
Author	SSB
Priority	should
Stakeholders	SSB, Dzkk teknik başkanlık, lojistik kom.
Schedule Date	2 years

Çizelge 3.2 : Sistem hedefi-2.

G2	ASV denizde güvenli seyir yapabilmelidir.
Origin	Customer
Origin Date	12.12.2007
Author	Dzkk teknik başkanlığı
Priority	must
Stakeholders	SSB, DZKK, operatör, TL
Schedule Date	2 years

Çizelge 3.3 : Sistem hedefi-3.

G3	ASV yer kontrol istasyonu ile iletişim kurabilmelidir.
Origin	Customer
Origin Date	12.12.2007
Author	Dzkk teknik başkanlığı
Priority	should
Stakeholders	SSB, DZKK,
Schedule Date	2 years

Çizelge 3.4 : Sistem hedefi-4.

G4	ASV farklı tip görev yüklerini üzerinde taşıyabilmelidir.
Origin	Customer
Origin Date	12.12.2007
Author	Dzkk teknik başkanlığı
Priority	must
Stakeholders	SSB, DZKK,
Schedule Date	2 years

Çizelge 3.5 : Sistem hedefi-5.

G5	ASV kara, deniz ve hava yoluyla taşınabilmelidir.
Origin	Customer
Origin Date	12.12.2007
Author	Dzkk teknik başkanlığı
Priority	should
Stakeholders	SSB, DZKK,
Schedule Date	2 years

3.4 Operasyonel Konsept

Önceki bölümlerde örneklendirilen operasyonel konsept benzeri bir senaryo örnek olay için de oluşturulmuştur. Burada farklı olarak Çizelge 3.6. Birincil aktörler ve Çizelge 3.7. Aktörlerin ana amacı gösterilmiş ve bir “normal operasyon” senaryosu oluşturularak gereksinimlerin türetilmesi için bir hazırlık ortaya koyulmuştur.

Örnek OpsCon; denizaltı savunma harbi (DSH) görevine yönelik faaliyet yürütecek ASV, üzerinde bulunan modüler faydalı yükler aracılığı ile bu görevi icra edilecektir.

Örnek olay incelemesinde DSH ifadesinin ingilizce kısaltması olan ASW ifadesi kullanılmıştır. Bu görev kapsamında sualtında olası tehditlerin tespit ve teşhisi için otonom sualtı aracı (AUV) faydalı yük olarak kullanılacaktır. Bu araç sualtında otonom olarak çalışarak alan taraması yapacak ve topladığı verileri su yüzeyinde bulunan ASV ye iletecektir. Söz konusu alan dâhilinde oluşabilecek izinsiz geçişlere karşı durumsal farkındalık oluşturulması sağlanacaktır. ASV bu görev için gerekli olan ekipmanlar ile donatılmış olmalıdır. Bu kapsamda bağlı olunan yer kontrol istasyonu ile sürekli iletişim ve görüntü aktarımı bulunacaktır. İhtiyaç dahilinde silah ile muhasım unsura karşı caydırıcı faaliyet icra edilebilecektir.

Çizelge 3.6 : Birincil aktörler.

ID	Birincil Aktör	Başlık ve Açıklama
A.2.1	Operatör	ASV nin Operatör tarafından normal kullanımını tarif eder
A.2.2	Yer Kontrol İstasyonu	ASV ile güvenli iletişimi sağlayan birimdir.
A.2.3	Tahrik sistemi	ASV nin güvenli seyir yapmasını sağlayan ekipmandır.
A.2.4	Görev Ekipmanı	ASV nin görevini icra için ihtiyaç duyduğu modüler ekipmanlardır

Çizelge 3.7 : Aktörlerin ana amacı.

Aktör	Aktörün Ana Amacı
Operatör	ASV nin normal kullanımını sağlar
Yer Kontrol İstasyonu	ASV ile operatör aracılığıyla kullanılmasını sağlar
Tahrik sistemi	ASV nin güvenli seyir yapmasını sağlar.
Görev Ekipmanı	ASV nin görevini icrasını sağlar.

Ana senaryo:

ASV ON	ASV sistemleri çalıştırılır.
Knt-001	Asv sistemlerin çalışır durumda olduğu operatör tarafından kontrol listesi-001'e göre kontrol edilmelidir.
Görev sistemi ON	Görev sistemleri (ASW) çalıştırılır.
Knt-002	Görev sistemlerinin (ASW) çalışır durumda olduğu operatör tarafından kontrol listesi-002'e göre kontrol edilir.
Yer kontrol ON	Yer kontrol istasyonu çalıştırılır.
Knt-003	Yer kontrol istasyonu kontrol listesi-003'te yer alan verilerin sağlıklı bir şekilde iletildiği kontrol edilir.

Remote ON	Uzaktan kontrol modu aktif edilir.
Knt-004	Asv çalışır durumda iken yer kontrol istasyonu üzerinden operatör aracılığıyla kontrol listesi-004'te yer alan seyir kontrolleri yapılır.
Liman çıkış	ASV nin operatör kontrolünde liman çıkışı sağlanır.
Otonom ON	Güvenli seyir siyasına ulaşıldığında otonom mod aktif edilir.
Otonom Gidiş	Asv nin Otonom modda belirlenen rotada seyir yapar.
Görev mahali varış	Asv nin belirlenen rotada ilerleyerek görev icra edilecek konuma geldiği bilgisi Yer kontrol istasyona bildirilir.
AUV Launch	ASW görevi kapsamında sualtı alan taraması yapılması için AUV nin ASV üzerinden bırakılması sağlanır.
AUV ON	AUV den veri akışı sağlandığı kontrol edilmelidir.
AUV Görev icra	Görev profili yüklü AUV otonom modda göreve başlatılır.
ASV Hold	ASV konumu sabitlenerek auv tarama görevinin bitirilmesi beklenir.
AUV Recovery	Tarama görevi sonucunda belirlenen konumda yüzeye çıkan auv ASV tarafından toplanır.
AUV OFF	ASW Görevinin tamamlanmış olduğu teyit edilir.
Otonom Dönüş	Görev sonrası asv nin geri dönüş manevrası başlattığı görülür.
Remote ON	Limana yaklaşan asv otonom moddan çıkartılır.
Liman Giriş	Asv operatör tarafından uzak kontrol birimi ile limana yanaştırılır.
ASV OFF	Asv limana bağlanır ve kapatılır.

3.5 Dış Varlıklar

Aşağıdaki bölümde ASV nin doğrudan etkileşimde bulunduğu izlenen ve kontrol edilen harici varlıklar Çizelge 3.8. Dış Varlıklar olarak gösterilmiştir.

Her bir varlıkla ilişkili izlenen ve kontrol edilen değişkenler, varlık hakkında yapılan tüm çevresel varsayımlarla birlikte listelenir.

Çizelge 3.8 : Dış varlıklar.

Name-Adı	Type-Şekli	Physical Interpretation- Fiziksel Yorum
Deniz Durumu	Monitored-İzlenen	Deniz durumu 4'ten büyük olmayacaktır
Sıcaklık	Monitored-İzlenen	Sıcaklık 0 ile 50 Derece C aralığında olacaktır
Hız Göstergesi	Controlled-Kontrol Edilen	Maksimum hız 30 knot olacaktır
Akıntı Hızı	Monitored -İzlenen	Akıntı hızı -10 ile + 10 knot aralığında olacaktır.
Yakıt Tüketimi	Controlled-Edilen	Kontrol Yakıt tüketimi en fazla 110 l/h olacaktır
Konum verisi	Controlled-Edilen	Kontrol Konum verisi hassasiyeti 3 metre olacaktır
İletişim yöntemi	Controlled-Edilen	Kontrol İletişim RF sinyal ile sağlanacaktır.

3.6 Güvenlik Gereksinimleri

Aşağıdaki bölümde ASV nin güvenlik gereksinimine bir örnek olarak Çizelge 3.9. Güvenlik gereksinimi gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 : Güvenlik gereksinimi.

Güvenlik Gereksinimleri : Tehlike:	yer kontrol istasyonu ASV ile iletişimi sağlamalıdır ASV ile 45sn den uzun bir süre iletişim kurulamaması
Sınıflandırma:	Yüksek Risk
Gerekeç	operatör ile ASV arasında iletişimin sağlanması güvenli seyir ve görev icrası için elzemdir
İzin Verilen Arıza Olasılığı:	Max 45sn/sa

3.7 Sistem Fonksiyonu

ISO/IEC/IEEE 29148:2018, gereksinimlerin belirlenmesi için kılavuzlar sağlayan bir standarttır. Bir sistemin farklı yönlerini tanımlamak için kullanılabilecek çeşitli gereksinim türlerini ana hatlarıyla belirtir. ISO 29148'e göre gereksinim türlerine örnekler aşağıda verilmiştir:

- İşlevsel Gereksinim: Sistemin gerçekleştirmesi gereken belirli davranış veya işlevleri tanımlar. Örnek: "Sistem, kullanıcıların alışveriş sepetine ürün eklemesine, sepet içeriğini görüntülemesine ve ödeme işlemine geçmesine izin vermelidir."

- Performans Gereksinimi: Sistemin hız, yanıt verme, verim veya performansla ilgili diğer ölçümler açısından nasıl performans göstermesi gerektiğini belirtir. Örnek: "Sistem, normal yük koşulları altında kullanıcı oturum açma isteklerini 3 saniye içinde işleme koymalıdır."
- Arayüz Gereksinimi: Sistem ile kullanıcılar, diğer sistemler veya donanım bileşenleri gibi harici varlıklar arasındaki etkileşimleri tanımlar. Örnek: "Sistem, harici ödeme ağ geçitlerinin işlemleri işlemesi için restful api sağlamalıdır."
- Kalite Niteliği Gereksinimi: Güvenilirlik, kullanılabilirlik, güvenlik ve sürdürülebilirlik gibi sistemin işlevsel olmayan niteliklerini ele alır. Örnek: "Sistem 12 aylık bir süre boyunca en az %99,9 çalışma süresine sahip olmalıdır."
- Tasarım Kısıtı: Sistemin tasarımı veya uygulaması ile ilgili sınırlamaları veya kısıtlamaları belirtir. Örnek: "Sistemin kullanıcı arayüzü, ios ve android cihazlarda uyumluluğu sağlamak için platformlar arası bir çerçeve kullanılarak geliştirilmelidir."
- Çevresel Gereksinim: Sistemin operasyonel ortamı veya bağlamı ile ilgili hususları kapsar. Örnek: "Sistem -10°C ila 40°C sıcaklık aralığında çalışabilmelidir."
- Uyumluluk Gereksinimi: Sistemin diğer yazılım, donanım veya ortamlarla uyumluluğunu ele alır. Örnek: "sistem, google chrome, mozilla firefox ve microsoft edge dahil olmak üzere başlıca web tarayıcılarıyla uyumlu olmalıdır."
- Yasal ve Düzenleyici Gereksinim: Sistemin yasal, düzenleyici veya endüstri standartlarına göre uyması gereken gereklilikleri belirtir. Örnek: "Sistem, kullanıcı veri gizliliğine ilişkin Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KvKK) ile uyumlu olmalıdır."
- Dokümantasyon Gereksinimi: Sistem dokümantasyonu, kullanım kılavuzları veya teknik kılavuzlar için beklentileri ana hatlarıyla belirtir. Örnek: "Sistem dokümantasyonu, yaygın kullanıcı görevleri için adım adım talimatlar sağlayan bir kullanıcı kılavuzu içermelidir."
- Kullanılabilirlik Gereksinimi: Sistemin kullanıcı dostu olmasını ve kullanım kolaylığını ele alır. Örnek: "Sistem, giriş hatalarıyla karşılaştıklarında kullanıcıları yönlendirmek için açık ve sezgisel hata mesajları sağlamalıdır."

Bu örnekler ISO 29148'e göre farklı gereksinim türlerini göstermektedir. Bir sistem için gereksinimleri tanımlarken, sistemin işlevselliği, performansı ve kalitesinin paydaşların ihtiyaç ve beklentileriyle uyumlu olmasını sağlamak için çeşitli faktörleri göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bu kapsamda yukarıda tanımlı gereksinim türlerinden hepsini kullanmak zorunlu değildir, proje yönetimince belirlenenler proje faaliyetlerinde kullanılmalıdır.

ASV Projesi kapsamında oluşturulan gereksinim setinde işlevsel gereksinim, performans gereksinimi, kalite niteliği gereksinimi ve tasarım kısıtı gereksinim tipleri kullanılmıştır. Söz konusu gereksinim seti Ek-A'da Teknik İstekler Dokümanı (TİD) adı ile yer almaktadır. Bu doküman programın temel girdisini oluşturmakta olup üretilen ürün/ida bu istekleri sağlayacak nitelikte olmak zorundadır.

Bahse konu gereksinimler için örnek proje uygulamasında hem DTSM hem MTSM incelenmiştir. DTSM uygulamasında önceki bölümlerde bahsi geçen onlarca doküman oluşturulması gerekmektedir. Ancak tüm proje evrelerinde (SRR, PDR, CDR) söz konusu dokümanların takip edilmesi, detaylandırılması ve güncellenmesi gerekmektedir. Ancak MTSM ile kullanılan yazılım aracında bu güncelleme ortak alanda ve herkesin takip edebileceği şekilde yapılabilmektedir. Proje süresince yapılan değişiklikler ayrı bir iş gücü gerektirmeden takip edilebilmektedir.

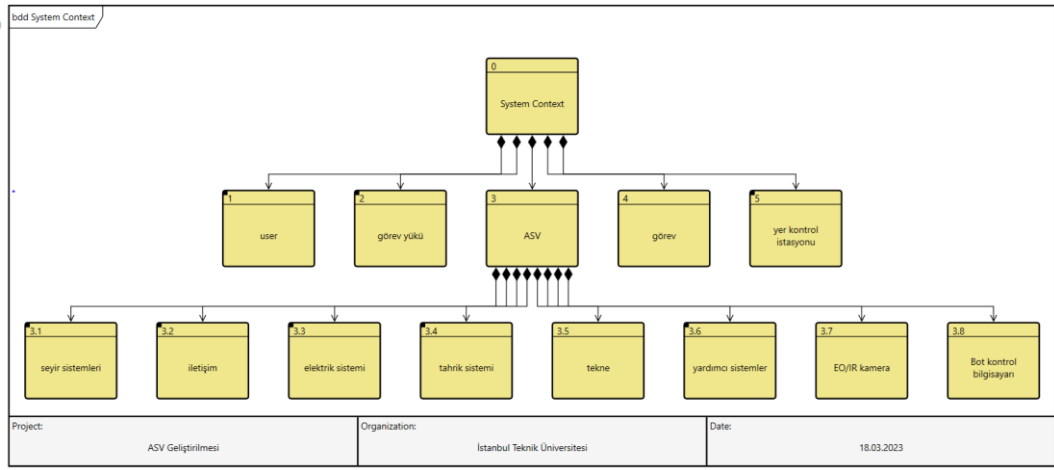
3.8 Vitech Genesys ASV Projesi

ASV projesi kapsamında Ek-A'da Teknik İstekler Dokümanı (TİD) baz alınarak sistem mühendisliği süreçleri işletilmiştir. Burada paydaş olarak bulunan tasarım, üretim, satın alma, kalite, eld ve proje yönetimi gibi birçok ekiplerinin girdileri gerekmektedir. Bakıldığında bir çok sistem ve alt sistemden oluşan ve bir çok uzmanlık alanını içerisinde barındıran bu projenin sistem mühendisliği faaliyetleri bir tek kişi tarafından yürütülmesi mümkün değildir. Tüm sistem ve alt sistemlerin detaylarıyla gösterilmesi farklı disiplinlerden oluşacak bir proje ekibinin kurulmasını, ihtiyaç olacak bütçe ve zamanın sağlanmasını gerektirmektedir. Bu kapsamda bizim uygulamamızda birçok sistem detaya inilemeden gösterilmiştir.

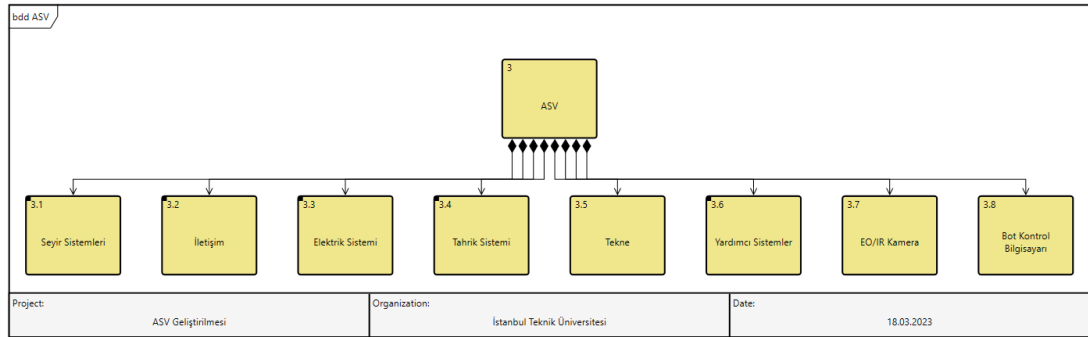
Blok Tanımlama Şeması(BDD) içerisinde; Şekil 3.2'de sistem bağlamı kapsamında ASV'nin diğer varlıklar ile olan ilişkisi gösterilmiştir. Şekil 3.3'de ilk seviye asv kırılımı yapılarak gösterilmiştir. Gereksinim mühendisliği çalışmaları ilerledikçe

detaylar artmaktadır. Buna göre ilk seviye kırılım ana sistemler ve en küçük alt sistemlere kadar kırılımlar halinde detaylandırılmaktadır.

Autonomous Surface Vessel (ASV) olarak tanımlanan proje 1.3 İnsansız Deniz Araçlarındaki Alt Sistemler başlığı altında tanımlanan ana sistemlere göre gruplandırılmıştır. Projenin detay seviyesi arttıkça (SRR, PDR, CDR) sistem, alt sistem kırılımları da artmaktadır.

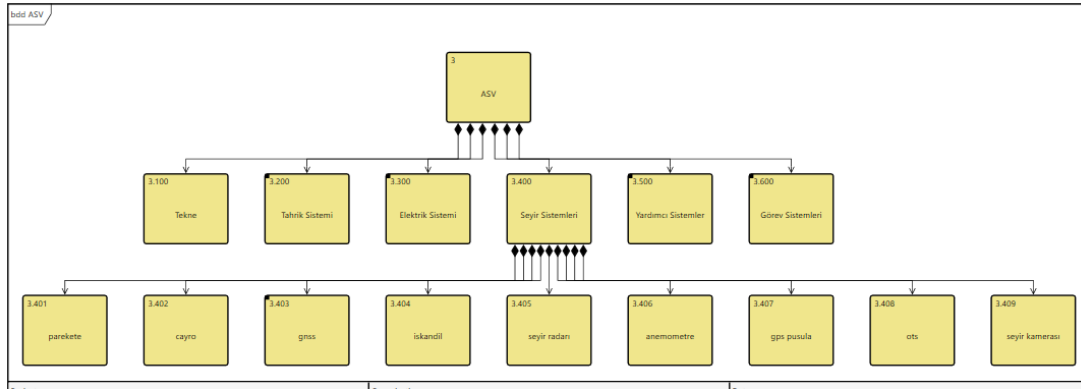


Şekil 3.2 : ASV sistem bağlamı.



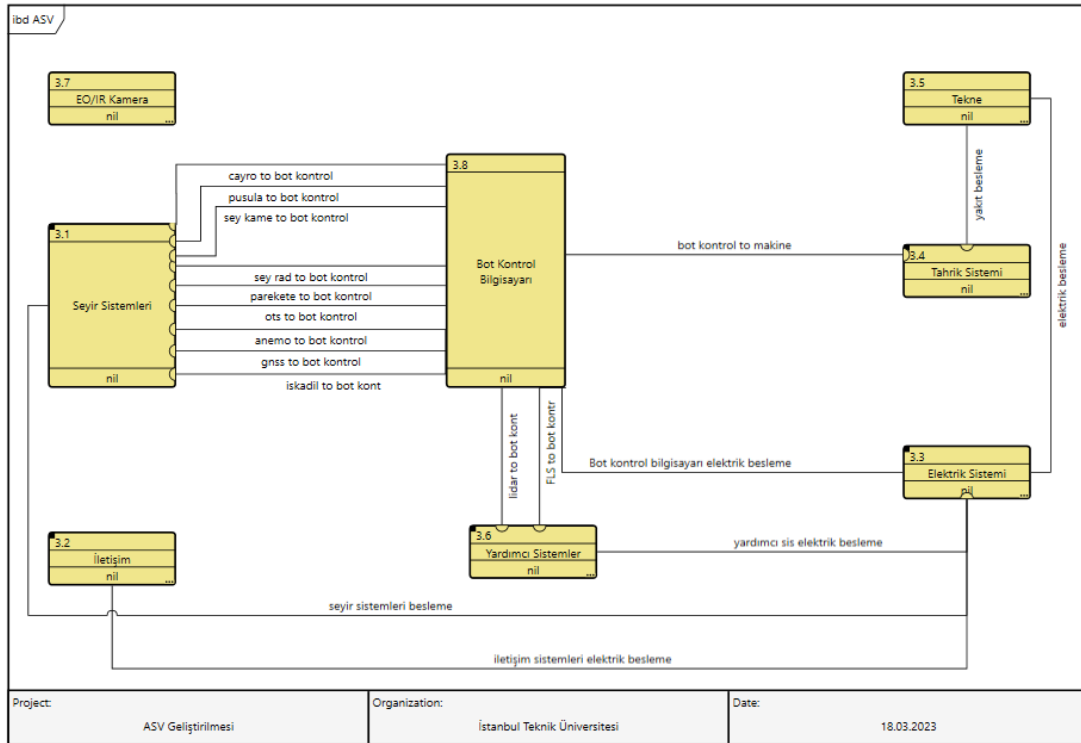
Şekil 3.3 : ASV ilk seviye kırılımı.

Şekil 3.4'te ise ikinci seviye asv kırılımda Tekne, Tahrik sistemleri, Elektrik sistemleri, Seyir muhabere ve kontrol sistemleri, Yardımcı sistemler ve Görev sistemleri içerisinde hangi sistem ve cihazlar olduğu gösterilebilir. Ancak daha net görülmesi açısından sadece Seyir muhabere ve kontrol sistemleri kırılımı gösterilmiştir.

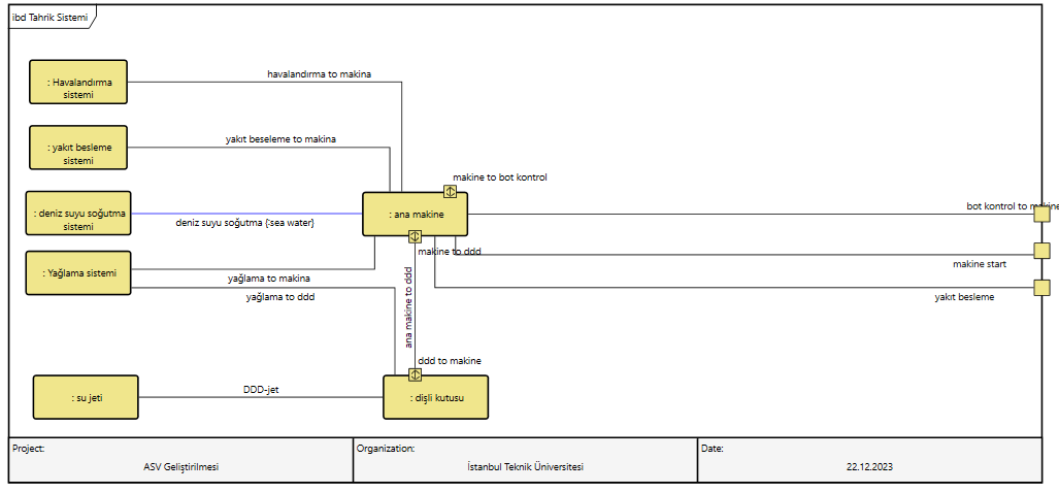


Şekil 3.4 : ASV ikinci seviye kırılımı.

Dahili Blok Şeması (ibd) içerisinde; Şekil 3.5'te bot kontrol bilgisayarının seyir sistemleri ve diğer sistem ile olan bağlantı noktaları ve arayüzleri Şekil 3.6'da ise ana makine ve tahrik sistemi elemanları gösterilmiştir.

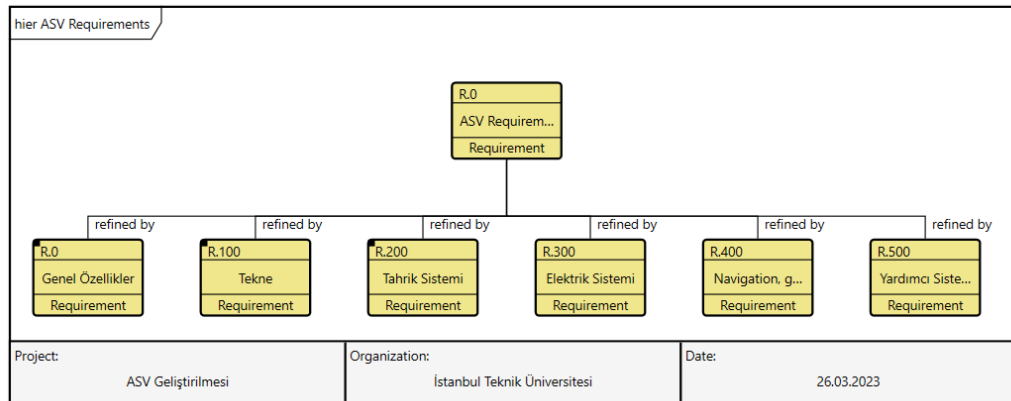


Şekil 3.5 : ASV dahili blok şeması (ibd).

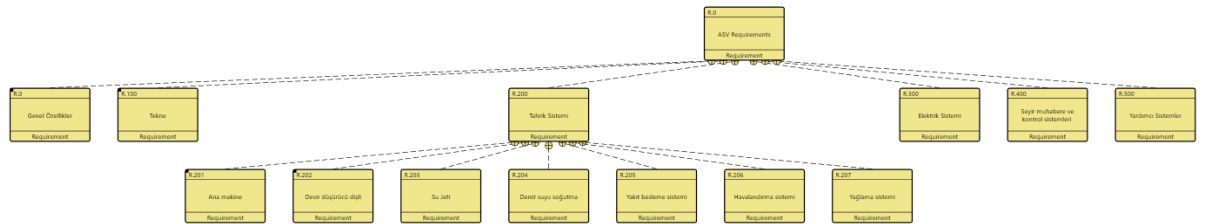


Şekil 3.6 : ASV ana makine dahili blok şeması (ibd).

3.7 Sistem Fonksiyonu başlığı altında belirtilen ve Ek-A’da Teknik İstekler Dokümanı (TİD) kapsamında gösterilen gereksinimler programa(genesys) bir excell dosyası yardımı ile kolayca eklenebilmektedir. Böylece ilk ve temel girdi olan gereksinimler genesys yazılımı aracılığı ile oluşturulan merkezi depoda tutulmakta ve ASV projesi kapsamında oluşturulan sistem/ cihaz lar ile ilişkilendirilerek hangi gereksinim ne şekilde doğrulandığı takip edilebilmektedir. Bu kapsamda programa eklenmiş gereksinim seti gereksinim şeması (req) olarak Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 de gösterilmiştir.

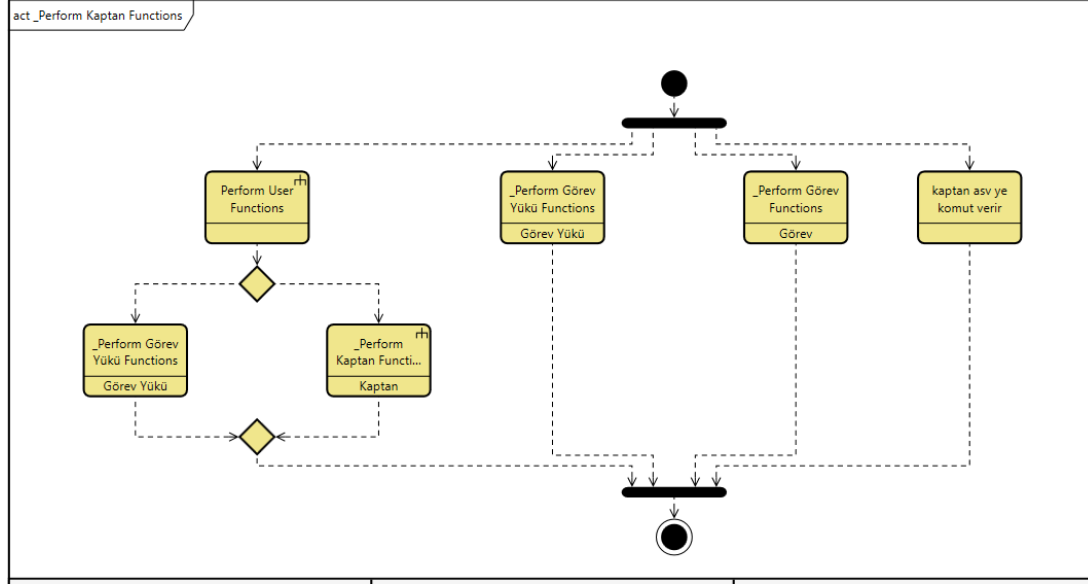


Şekil 3.7 : ASV gereksinim şeması.



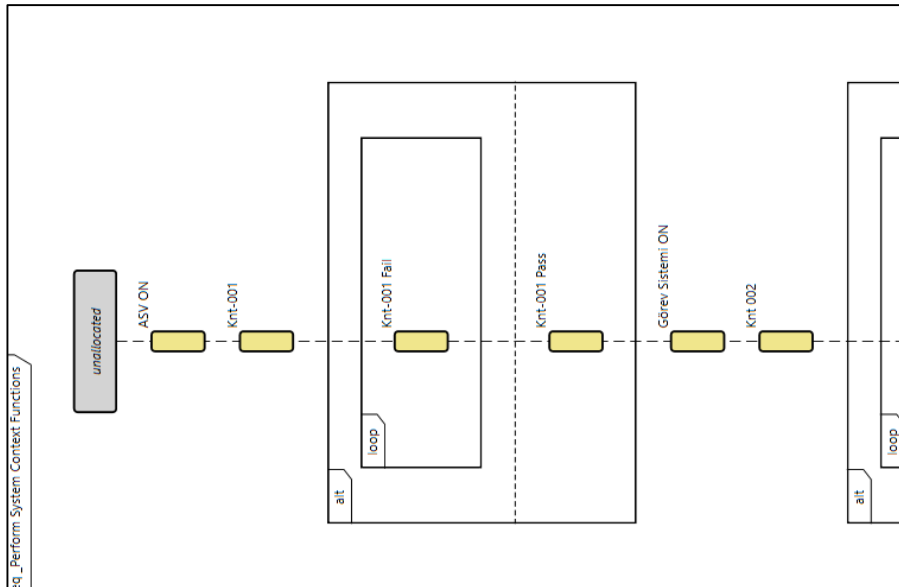
Şekil 3.8 : ASV gereksinim şeması kırılımı.

Davranış Diyagramları kapsamında Şekil 3.9'da ASV Etkinlik Şeması (act) gösterilmiştir. bu şemada icra edilecek görev, görev yükü ve kaptan arasındaki sıralı iş akışı yansıtılmıştır.



Şekil 3.9 : ASV etkinlik şeması.

Davranış Diyagramları kapsamında Şekil 3.10'da ASV Dizi Şeması (seq) gösterilmiştir. Bu şemada icra edilecek görev normal operasyona göre sıralı bir dizi etkileşimle nasıl gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Şema çok uzun olduğu için kesilerek bir kısmı gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : ASV dizi şeması.

Program kapsamında burada gösterilmeyen daha bir çok gösterim/şema bulunmaktadır. Burada MTSM için ihtiyaç duyulabilecek tüm gösterimler yer almaktadır. Yapılan çalışmayı örneklendirmek amacı ile bir kısmını burada gösterilmiştir. Ancak süreç yönetimi içerisinde farklı paydaşların ihtiyaçları doğrultusunda farklı kullanım ve gösterimlerden faydalanmak mümkündür.





4. KARŞILAŞTIRMA VE SONUÇ

Uygulaması yapılan Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM) ile sağlanacağı beklenen faydalar ve Doküman Tabanlı Sistem Mühendisliği (DTSM) uygulamalarına kıyasla ortaya çıkan avantajları incelediğimizde aşağıda yer alan faydalar bu tez kapsamında da elde edildiği görülmüştür.

Tek ve ortak bir sistem modeli sunan model tabanlı yazılım ile tüm paydaşlar tanımlanmış bakış açıları ile proje ilerlemesini model üzerinden sürekli takip etme imkanı bulmaktadır. Bu imkan ile bilgi paylaşımı ve iletişim daha sağlıklı yürütülmekte ve olası gecikmeler ve maliyet kayıpları önlenmektedir. Bu uygulamaya bir örnek olarak teknik isterler doğrulama matrisini (TDİM) ele alalım. Bu matris DTSM yöntemi ile proje modeli yürütüldüğünde bir doküman olarak hazırlanması beklenmektedir. Söz konusu dokümanın bir proje kapsamında hazırlanma süresi ilgili proje iç paydaşları olan proje grubu, tasarım, satın alma, üretim, test, sertifika gibi grupların her birini dolaşarak görüşlerinin alınmasını gerektirmektedir. Sadece tek proje ile ilgilenildiği varsayılsa bile hazırlanan bu dokümanın tüm iç paydaşları dolaşması, görüşülmesi ve olgunlaştırılması aylar sürecektir bir faaliyet olarak gerçekleşeceği çok net ortaya çıkmaktadır. Tecrübe edilen deniz araçları projelerinde bu sürenin en az 3 ay sürdüğü görülmüştür. Yüklenici tarafından hazırlanan bu dokümanın ilgili dış paydaşlar ile paylaşılması, incelenmesi, görüşülmesi ve nihayetlenmesi ise en iyi ihtimal 6 ile 9 ay arası sürdüğü görülmüştür. Aynı nitelikte bir faaliyet MTSM uygulamasına bakıldığında ise süreç çok farklı ilerlemektedir. Söz konusu matrisin bir doküman olarak bile türetilmesi gerekmediği durumda ilgili iç paydaşlar ortak model üzerinde kurgulanan projenin her ilerleme adımında girdilerini yapma imkânı bulmakta ve her an bunu tüm paydaşlar ile paylaşma imkânı elde etmektedir. Bu tür MTSM uygulamasında sürekli yapılan girdiler doküman onay süreci gibi bir durum olmadan proje faaliyetlerini yürütmektedir. Bir iletişim yöntemi olarak ortak modelin kullanılması bu şekilde örneklendirilmiştir.

MTSM ile sağlanan bir diğer fayda ise sistem kalitesinin artması olarak tanımlanmaktadır. Bu tez kapsamında uygulaması yapılan ASV projesinin sistem kalitesine baktığımızda daha kaliteli bir ürün ortaya çıktığı görülmüştür. MTSM uygulaması olmasaydı seyir testleri aşamasında tecrübe imkanı olacak olan ve çok geç kalındığı için değiştirme imkanı olmayacak olan seyir kamerası örneğidir. Model üzerinden yapılan analiz sonucunda seçilen seyir kamerasının kullanıcı tarafından talep edilen netlik ve beka özelliklerini sağlamadığı görülmüştür. Bu sayede erken safhada ürün seçiminde değişiklik gerçekleştirilerek ürün kalitesinde artış sağlanmıştır. Söz konusu örnek ile sağlanan diğer faydalar ise şu şekilde sıralanabilir; model ile sağlanan izlenebilirlikteki artış ve kolaylık hem takvim üzerinde hem maliyetler üzerinde olumlu etki oluşturmuştur. Ayrıca paydaşlar ile sağlanan koordinasyon neticesinde paydaş memnuniyetini artıran bir etki oluşturduğu da görülmüştür. K. Henderson ve A. Salado tarafından hazırlanan “Value and benefits of model-based systems engineering (MBSE): Evidence from the literature” adlı makalede bahsi geçen MTSM faydalarının bir kısmının yapılan uygulama ile sağlandığı görülmüştür.

Bu tez kapsamında günümüzde savunma sanayiinde stratejik önemi ve örnekleri her geçen gün artan insansız deniz araçlarına dikkat çekmek amaçlanmıştır. Söz konusu platformların geliştirilmesinde savunma sanayimizde yaygın olarak kullanılan Doküman Tabanlı Sistem Mühendisliği (DTSM) yerine Model Tabanlı Sistem Mühendisliği (MTSM) uygulamaların kullanılmasının faydaları uygulamalı olarak gösterilmek istenmiştir. MTSM araçları kullanılarak oluşturulan sistem mimarilerinin bütüncül, değişime açık, maliyet etkin ve modern bir alternatif olarak kullanımının yaygınlaşacağı vurgulanmak istenmiştir.

Geliştirme ve doğrulama faaliyetlerinin çok uzun ve pahalı olduğu savunma sanayiinde bu yöntemin getirdiği faydalar gün geçtikçe ve uygulamalar yaygınlaştıkça ortaya çıkacaktır.

Bu tez vasıtasıyla Avrupa ve Amerika’da 2000 lerin başında başlamış olan MTSM yaklaşımının ülkemizde sürdürülen yüksek katma değerli projelere ciddi kazanımlar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda oluşturulan şemalar şahsında olan bilgi seviyesinde detaylandırılmıştır. Ancak bu tezin de amacı tüm süreçleri tamamlamak değil aksine MTSM’nin sağlayacağı imkanları göstermektir.

KAYNAKLAR

- Adedjouma, M., Thomas, T., Mraidha, C., Gerard, S., & Zeller, G.** (2016). From document-based to model-based system and software engineering. *Proceedings of the OSS4MDE*. <https://ceur-ws.org/Vol-1835/paper05.pdf>
- Al-Tekreeti, M. M. A.** (2019). *Unmanned surface vehicle (USV) with obstacle avoidance system* [Master's Thesis]. <http://earsiv.cankaya.edu.tr:8080/handle/20.500.12416/3479>
- Arrichiello, V., & Gualeni, P.** (2020). Systems engineering and digital twin: A vision for the future of cruise ships design, production and operations. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14(1), 115-122. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00621-3>
- Autonomous Ships Market Size & Share | Industry Report, 2019-2025.** (t.y.). Retrieved 12 Temmuz 2024, from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/autonomous-ships-market>
- Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations.** (2005). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11379>
- Bayram, H.** (2020). Design and Implementation of Autonomous Surface Vehicle for Inland Water. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 101-111. <https://doi.org/10.21597/jist.642503>
- Boggero, L., Chojnacki, A., Bussemaker, J., Bartels, J., Quantius, D., & Nagel, B.** (2023). The MBSE competence at the German Aerospace Center. *INCOSE International Symposium*, 33, 910-924. <https://doi.org/10.1002/iis2.13061>
- Bosch, H.** (2022, Ağustos 29). Semi-autonomous navigation: Yara Birkeland, Suzaku, Njord Forseti and Orca AI [Offshore Accounts]. *Baird Maritime*. <https://www.bairdmaritime.com/work-boat-world/offshore-world/column-semi-autonomous-navigation-yara-birkeland-suzaku-njord-forseti-and-orca-ai-offshore-accounts/>
- Bratić, K., Pavić, I., Vukša, S., & Stazić, L.** (2019). Review of Autonomous and Remotely Controlled Ships in Maritime Sector. *Transactions on Maritime Science*, 8, 253-265. <https://doi.org/10.7225/toms.v08.n02.011>
- Carroll, E. R., & Malins, R. J.** (2016). *Systematic Literature Review: How is Model-Based Systems Engineering Justified?*. (SAND2016-2607). Sandia National Lab. (SNL-NM), Albuquerque, NM (United States). <https://doi.org/10.2172/1561164>

- D'Ambrosio, J., & Soremekun, G.** (2017). Systems engineering challenges and MBSE opportunities for automotive system design. *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2075-2080. <https://doi.org/10.1109/SMC.2017.8122925>
- Daniel Fogarty, Pete De Salvo, & Edward DeMello.** (2021). *Model-Based Systems Engineering and Model-Based Safety Analysis: Final Report* (DOT/FAA/TC-20/42). <https://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/tc20-42.pdf>
- Delligatti, L.** (2013). *SysML Distilled: A Brief Guide to the Systems Modeling Language*. Addison-Wesley.
- Elektronik Harp Nedir?** (2020, Nisan 2). <https://www.savunmasanayist.com/elektronik-harp-nedir/>
- Ezyweb.** (2018, Ağustos 23). *BlueZone Short Listed for Land Forces 2018 Innovation Awards—BlueZone Group Quality Subsea Products and Services*. <https://bluezonegroup.com.au/announcements/bluezone-short-listed-for-land-forces-2018-innovation-awards/>
- Friedenthal, S., Steiner, R., & Moore, A.** (2008). *A Practical Guide to SysML: the Systems Modeling Language*.
- Gu, Y., Goetz, J. C., Guajardo, M., & Wallace, S. W.** (2021). Autonomous vessels: State of the art and potential opportunities in logistics. *International Transactions in Operational Research*, 28(4), 1706-1739. <https://doi.org/10.1111/itor.12785>
- Guo, Y., She, S., Zhao, J., & Guo, J.** (2022). *Advantage Analysis of MBSE in the Context of Multi-Historical Development Trends*. <https://doi.org/10.3233/FAIA220528>
- Hanson, A., Mindock, J., McGuire, K., Reilly, J., Cerro, J., Othon, W., Rubin, D., Urbina, M., & Canga, M.** (2017, Eylül 25). *Using A Model-Based Systems Engineering Approach For Exploration Medical System Development*. International Astronautical Congress (IAC) 2017, Adelaide. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170008864>
- Henderson, K., & Salado, A.** (2021). Value and benefits of model-based systems engineering (MBSE): Evidence from the literature. *Systems Engineering*, 24(1), 51-66. <https://doi.org/10.1002/sys.21566>
- History repeats itself: Lessons from the attack on the Black Sea Fleet in Sevastopol.** (t.y.). Global Affairs and Strategic Studies. Retrieved 21 January 2024, from <https://en.unav.edu/web/global-affairs/lecciones-del-ataque-a-la-flota-del-mar-negro-en-sebastopol>
- Huang, H.-M., Pavsek, K., Albus, J., & Messina, E.** (2005). *Autonomy levels for unmanned systems (ALFUS) framework: An update* (G. R. Gerhart, C. M. Shoemaker, & D. W. Gage, Ed.; s. 439). <https://doi.org/10.1117/12.603725>
- HUGIN Endurance Autonomous Underwater Vehicle (AUV).** (t.y.). *Naval Technology*. Retrieved 21 January 2024, from <https://www.naval-technology.com/projects/hugin-endurance-autonomous-underwater-vehicle-auv/>

- INCOSE-TP-2004-004-02, Sep 2007**—Google Search. (t.y.). Retrieved 27 November 2023, from https://www.google.com/search?q=INCOSE-TP-2004-004-02%2C+Sep+2007&oq=INCOSE-TP-2004-004-02%2C+Sep+2007&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIGCAEQRRg80gEINzA1ajBqMTWoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- ISO/IEC/IEEE 15288** – *Systems Engineering – System Life Cycle Processes* (first edition). (2015). ISO/IEC 15288 First edition 2002-11-01. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2001.8684399>
- ISO/IEC/IEEE 29148:2018(en)**, *Systems and software engineering—Life cycle processes—Requirements engineering*. (t.y.). Retrieved 03 December 2023, from <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-iec-ieee:29148:ed-2:v1:en>
- ISO/TS 23860:2022** *Ships and Marine Technology—Vocabulary Related to Autonomous Ship Systems*. (Versiyon v3). (2021). ISO/IEC/IEEE.
- Jovanović, I. Perčić, M., BahooToroody, A., Fan, A., & Vladimir, N.** (2024). Review of research progress of autonomous and unmanned shipping and identification of future research directions. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 23(2), 82-97. <https://doi.org/10.1080/20464177.2024.2302249>
- Korea Autonomous Surface Ship Project.** (t.y.). Retrieved 21 January 2024, from <http://kassproject.org>
- Liu, Z., Zhang, Y., Yu, X., & Yuan, C.** (2016). Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. *Annual Reviews in Control*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018>
- Ma, J., Wang, G., Lu, J., Vangheluwe, H., Kiritsis, D., & Yan, Y.** (2022). Systematic Literature Review of MBSE Tool-Chains. *Applied Sciences*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/app12073431>
- Madni, A. M., Madni, C. C., & Lucero, S. D.** (2019). Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering. *Systems*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/systems7010007>
- Madni, A. M., & Sievers, M.** (2018). Model-based systems engineering: Motivation, current status, and research opportunities. *Systems Engineering*, 21(3), 172-190. <https://doi.org/10.1002/sys.21438>
- Maritime Autonomous Surface Ships Industry Conduct Principles & Code of Practice version 4 | Maritime UK.** (t.y.). Retrieved 12 July 2024, from <https://www.maritimeuk.org/media-centre/publications/maritime-autonomous-surface-ships-industry-conduct-principles-code-practice-v4/>
- Mavi Vatan’ın “insansız muhafızı” MARLIN SIDA, NATO tatbikatında yeteneklerini sergiledi.** (t.y.). erişim tarihi 21 Ocak 2024, <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/mavi-vatanin-insansiz-muhafizi-marlin-sida-nato-tatbikatinda-yeteneklerini-sergiledi/2695582>

- Mevlutoglu, A.** (2017). Commentary on Assessing the Turkish defense industry: Structural issues and major challenges. *Defence Studies*, 17(3), 282-294. <https://doi.org/10.1080/14702436.2017.1349534>
- Model-Based Systems Engineering—SEBoK.** (t.y.). Retrieved 03 December 2023, from https://sebokwiki.org/wiki/Model-Based_Systems_Engineering
- Moulton, J., Karapetyan, N., Bukhsbaum, S., McKinney, C., Malebary, S., Sophocleous, G., Quattrini Li, A., & Rekleitis, I.** (2018). *An Autonomous Surface Vehicle for Long Term Operations* (s. 10). <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2018.8604718>
- Mustafa Kemal Topçu, & Göksel Korkmaz.** (2021). Risk Management in Defense Acquisiton Projects. *Journal*, 31(2), 319-356.
- Peterson, T.** (2016). Exploring System Space with Graph Theory. *INCOSE International Symposium*, 26(1), 1120-1128. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2016.00215.x>
- Peugeot, T., Dupin, N., Sembely, M.-J., & Dubecq, C.** (2017). MBSE, PLM, MIP and Robust Optimization for System of Systems Management, Application to SCCOA French Air Defense Program. İçinde G. Fanmuy, E. Goubault, D. Krob, & F. Stephan (Ed.), *Complex Systems Design & Management* (ss. 29-40). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49103-5_3
- Pramutadi, A. M., Zulkarnain, M. F., Mulyanto, T., & Nurprasetio, I. P.** (2023). From document-based to model-based systems engineering, case studies of BRIN LSA-02 electronic flight control systems. *AIP Conference Proceedings*, 2941(1), 020064. <https://doi.org/10.1063/5.0181450>
- Rolls-Royce and Finferries demonstrate world's first Fully Autonomous Ferry | Rolls-Royce.** (t.y.). Retrieved 21 January 2024, from <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/03-12-2018-rr-and-finferries-demonstrate-worlds-first-fully-autonomous-ferry.aspx>
- Ryan, M.** (2013). *An Improved Taxonomy for Major Needs and Requirements Artifacts*.
- SANCAR.** (t.y.). HAVELSAN. Erişim tarihi 21 Ocak 2024, <https://www.havelsan.com.tr/sektorler/savunma-ve-guvenlik/deniz/otonom-deniz-sistemleri/sancar>
- Sistem Mühendisliği Nedir? - Vizyoner Genç.** (t.y.). erişim tarihi 21 Ocak 2024, <https://vizyonergenc.com/icerik/sistem-muhendisligi-nedir>
- Smith, M. F.** (t.y.). *Converting A Manned Lcu Into An Unmanned Surface Vehicle (Usv): An Open Systems Architecture (Osa) Case Study*.
- The Nippon Foundation MEGURI2040 Fully Autonomous Ship Program.** (2022, Ocak 18). The Nippon Foundation. <https://www.nippon-foundation.or.jp/en/news/articles/2022/20220118-66716.html>
- This Is How an Unmanned Launch and Recovery System Operates | Hydro International.** (t.y.). Retrieved 21 January 2024, from <https://www.hydro-international.com/content/news/this-is-how-an-unmanned-launch-and-recovery-system-operates>

- Ugurlu, H. & Cicek, I.** (2022). Analysis and assessment of ship collision accidents using Fault Tree and Multiple Correspondence Analysis. *Ocean Engineering*, 245, 110514. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110514>
- Unmanned Maritime System | NAVAL | Defense | Hanwha Systems.** (t.y.). Retrieved 21 January 2024, from https://www.hanwhasystems.com/en/business/defense/naval/marine_index.do
- Walden, D. D.** (2015). Systems engineering handbook: A guide for system life cycle processes and activities. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130000795973147136>
- What is SysML? | OMG SysML.** (t.y.). Retrieved 21 January 2024, from <https://www.omgsysml.org/what-is-sysml.htm>
- Zorn, J. B.** (2013). *A systems engineering analysis of unmanned maritime systems for US Coast Guard missions.* <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA583790>
- Url-1** <<https://www.tr-arge.com.tr/tr1000rov>>, erişim tarihi 21 Ocak 2024.
- Url-2** < <https://ulaq.global/en>>, erişim tarihi 21 Ocak 2024.



EKLER

EK A: Teknik İstekler Dokümanı (TİD)



EK A: Teknik İstekler Dokümanı (TİD)

Gereksinim seti programa tek tek girilebileceği gibi dışarıda excel formatında hazırlanarak programa yüklemek mümkündür. Aşağıda yer alan gereksinim seti Çizelge A.1 programdan otomatik olarak oluşturulmuştur.

Çizelge A.1 : Gereksinim seti.

R.0	Genel Özellikler	Programmatic
R.10	Hız	Performance
R.10.1	ASV maksimum hızı 20 knottan büyük olacaktır.	Performance
R.10.1.1	ASV hızı 21 Knot olacaktır	Incentive Award Fee Criterion
R.20	Seyir siası	Constraint
R.20.1	ASV ekonomik süratteki seyir siası 300 mil den büyük olacaktır.	Performance
R.30	ASV Sertifikası	Constraint
R.30.1	ASV Türk Loydu sertifikalı olacaktır.	Constraint
R.40	Denizcilik Özellikleri	Performance
R.40.1	Deniz durumu 3 ve altında seyir yapabilmelidir.	Functional
R.40.2	COLREG e uygunluk	Constraint
R.40.3	Solas a uygunluk	Constraint
R.100	Tekne	Functional
R.100.1	ASV teknesi hız gereksinimleri sağlayacak özellikte kompozit veya alüminyum malzemeden imal edilecektir.	Incentive Award Fee Criterion
R.120	Tanklar	Programmatic

Çizelge A.1 (devam): Gereksinim seti.

R.121.1	Yakıt tankı seyir hızını karşılayacak kapasitede olacaktır.	Performance
R.122	Tatlı su tankı	Programmatic
R.122.1	Tatlı su tankı insanlı kullanım durumunda ihtiyacı karşılayacak kapasitede olacaktır.	Constraint
R.123	Yağlama yağı tankı	Programmatic
R.123.1	Yağlama yağı kapasitesi ana makine, dişli kutusu vb. ekipmanları için DSB kapasitede olacaktır.	Verification
R.130	Kapılar ve Kaportalar	Programmatic
R.130.1	Kapılar ve Kaportalar izinsiz girişlere engel olacak özellikte olacaktır.	Test
R.200	Tahrik Sistemi	Functional
R.201	Ana makine	Functional
R.201.1	Ana makine tanımlı yükler ile gerekli minimum hız istisini sağlayacak özellikte olmalıdır.	Functional
R.202	Devir düşürücü dişli	Programmatic
R.202.1	Devir düşürücü dişli hesaplanan düşürme oranında görev icra etmelidir.	Functional
R.203	Su Jeti	Functional
R.203.1	Su Jeti tanımlı manevra gereksinimlerini karşılayacak özellikte olmalıdır.	Functional
R.204	Deniz suyu soğutma	Functional
R.204.1	Deniz suyu soğutma sistemi CuNiFe olmalıdır.	Constraint
R.205	Yakıt besleme sistemi	Programmatic

Çizelge A.1 (devam): Gereksinim seti.

R.205.1	Yakıt besleme sistemi paslanmaz malzemeden imal edilmelidir.	Constraint
R.206	Havalandırma sistemi	Programmatic
R.206.1	Havalandırma sistemi tahrik sisteminin ihtiyaç duyacağı havalandırma hesabına uygun olmalıdır.	Constraint
R.207	Yağlama sistemi	Programmatic
R.207.1	Yağlama sistemi tahrik sisteminin ihtiyaç duyacağı yağlama hesabına uygun olmalıdır.	Performance
R.300	Elektrik Sistemi	Programmatic
R.300.1	Elektrik Sistemi güç ve yük hesabına uygun kapasitede ekipmanlar ile donatılmalıdır.	Performance
R.301	Jeneratör-alternatör	Programmatic
R.301.1	Jeneratör güç yük ve yük hesabına uygun kapasitede seçilmelidir.	Performance
R.302	Akü	Constraint
R.302.1	ana makine,jeneratör ve... akü beslemeli olmalıdır.	Functional
R.303	Ups	Programmatic
R.303.1	Ups den beslenecek cihazlar cayro,gps,parakete,otonomi bilgisayarı olacaktır.	Functional
R.304	Rektifayer	Programmatic
R.304.1	transformatör	Programmatic
R.305	Aydınlatma	Programmatic

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Eyüp AYDIN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakülte, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2024, İstanbul Teknik Üniversitesi, Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2012-2015 yılları arasında Gemi İnşa ve dizayn faaliyetleri yürütülmüştür.
- 2015 yılından bu yana Savunma Sanayi Başkanlığı'nda Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı için gemi tedariki faaliyetleri yürütülmektedir.