

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
GEMİ İNŞAATI VE DENİZ BİLİMLERİ
FAKÜLTESİ



BİREYSEL BİTİRME PROJESİ

OTONOM GEMİLER: GELENEKSEL GEMİLERLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ

Öğrenci: Ege Can GÜN 080190102

Danışman: Doç. Dr. Erdem ÜÇER

TEMMUZ 2024

Hazırlamış olduğum bitirme projesi, İTÜ Öğrenci Dekanlığının hazırladığı ve <http://www.odek.itu.edu.tr/?SayfaId=13> sayfasında yayınladığı ÜNİVERSİTE YAŞAMINDA ETİK DEĞERLER kurallarına tamamen uyduğunu beyan ederim.

Öğrenci adı, soyadı: Ege Can GÜN

Öğrenci no: 080190102

Tarih: 01.01.2025

İmza: 

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VII
KISALTMALAR.....	IX
ŞEKİL LİSTESİ.....	XIII
TABLO LİSTESİ.....	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. OTONOM GEMİLER.....	4
2.1. Otonom Gemi Nedir?.....	4
2.2. Mevcut Çalışmalar ve Projeler.....	10
2.3. Otonom Gemilerin Çalışma Prensipleri.....	15
2.4. Otonom Gemilerin Tarihçesi.....	28
2.4.1. Ticari alan.....	28
2.4.2. Askeri alan.....	29
3. OTONOM GEMİLERİN AVANTAJLARI.....	31
3.1. Güvenlik.....	32
3.2. Ekonomik Faydalar.....	38
3.3. Çevrecilik.....	46
3.4. Yeni Ticaret Yolları.....	48
4. OTONOM GEMİLERİN DEZAVANTAJLARI.....	49
4.1. Regülasyonlar.....	50
4.1.1. SOLAS.....	51
4.1.2. ISM KODU.....	52
4.1.3. STCW.....	52
4.1.4. COLREG.....	52
4.1.5. MARPOL.....	53
4.1.6. UNCLOS.....	54
4.1.7. ISPS KODU.....	55
4.2. Siber Güvenlik.....	56
4.3. Yetersiz Eğitim.....	58
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	60
6. KAYNAKÇA.....	63

TEŞEKKÜR

Fakültemizin değerli hocalarına, yalnızca bu çalışma için değil, meslek hayatım boyunca rehberlik edecek bilgi, disiplin ve bakış açısını kazandırdıkları için en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte bana ilham veren ve destekleyen tüm öğretim üyelerine minnettarım. Ayrıca, tez danışmanım Doç. Dr. Erdem Üçer'e rehberliği için özellikle teşekkür ederim. Bu süreçte edindiğim deneyimler, gelecekteki kariyerim için önemli bir temel oluşturmuştur.

Ege Can GÜN

ÖZET

Bu çalışma, otonom gemileri ve ilgili teknolojileri kapsamlı olarak incelemektedir. Çalışmada, otonom gemilerin çeşitli tanımlamaları ve sınıflandırmaları, mevcut projeler, katkı sağlayan devletler ve kurumlar, çalışma prensipleri, askeri ve ticari alanda önemli operasyonların tarihçesi, geleneksel gemilere göre avantajları ve dezavantajları ele alınmıştır. Çalışma, otonom gemilerin denizcilik sektöründe bir devrim için sahip oldukları potansiyeli gözler önüne sermekte ve bu potansiyeli gerçekleştirmeleri için mevcut engelleri tanımlamaktadır.

Otonom gemiler, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından, çeşitli derecelerde insan etkileşiminden bağımsız çalışan gemiler olarak tanımlanır. IMO, Bureau Veritas, Lloyd's Register gibi çeşitli kurumlar tarafından önerilen, otonomi ve personel seviyelerine bağlı sınıflandırmalar mevcuttur. 2000'li yıllardan itibaren gerçekleştirilen çeşitli projeler ve araştırmaların sonucunda, günümüzde 53 organizasyona ait yaklaşık 1.000 adet otonom/insansız gemi bulunmaktadır. Kongsberg'in YARA Birkeland gemisi, DNV-GL'nin ReVolt gemisi, AAWA ve MUNIN projeleri bu alandaki teknik fizibilite çalışmaları ve uygulamalara dair önemli örneklerdir.

Literatürde, otonom seyir için durumsal farkındalık yaratmayı hedefleyen çeşitli sistem mimarileri önerilmiştir. Kameralar, mikrofonlar, konumlandırma alıcıları ve RADAR/LiDAR gibi sensör ailelerini içeren bu sistemlerde, yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımını içeren öneriler de mevcuttur.

Kazalar arasında oranı %60-%90 arasında değişmekte olan insan hatasını ortadan kaldırmanın yanında, insansız operasyon sayesinde can kaybını da yok eden otonom gemiler, aynı zamanda korsan faaliyetleri için daha az ilgi çekici olduklarından güvenliği arttırmaktadır. Üst yapının yokluğunda hava direnci ve ağırlığın azalıp taşıma kapasitesinin artması, yaşam mahali masraflarının ortadan kalkması ve mürettebat giderlerinin düşmesi sayesinde otonom gemilerin, toplam operasyon maliyetinde %10-%20 aralığında bir kazanç sağlaması beklenmektedir. Kirlilikte azalma, daha az yakıt tüketimi ve okyanus araştırmalarında kullanım potansiyeli gibi sebeplerle çevreci çözümler sunması beklenen otonom gemiler, aynı zamanda yeni ticaret yollarını da mümkün kılmaktadır. Bu avantajların yanında; mevcut regülasyonların ve denizcilik eğitim sistemlerinin otonom gemilerin çeşitli

özelliklerini kapsamıyor oluşu, siber güvenlik riskindeki artış, etikle ilgili tartışmalar ve gemide bakım eksikliği gibi unsurlar, otonom gemilerin yaygın kullanımı önündeki önemli engellerdir.

Ege Can GÜN

SUMMARY

This study provides a comprehensive review of autonomous ships and related technologies. It discusses the various definitions and classifications of autonomous ships, current projects, contributing states and organizations, operating principles, history of significant military and commercial operations, advantages and disadvantages over conventional ships. The study demonstrates the potential of autonomous ships to revolutionize the maritime industry and identifies the challenges to realizing this potential.

Autonomous ships are defined by the International Maritime Organization (IMO) as ships that operate independently of human interaction to varying degrees. There are classifications based on autonomy and manning levels, proposed by various organizations such as IMO, Bureau Veritas, Lloyd's Register, etc. As a result of various projects and research carried out since the 2000s, today there are approximately 1,000 autonomous/unmanned ships belonging to 53 organizations. Kongsberg's YARA Birkeland, DNV-GL's ReVolt, AAWA and MUNIN projects are important examples of technical feasibility studies and applications in this field.

In the literature, various system architectures aiming to create situational awareness for autonomous navigation have been proposed. In these systems, which include sensor families such as cameras, microphones, positioning receivers and RADAR/LiDAR, there are also proposals involving the use of artificial intelligence and machine learning algorithms.

In addition to eliminating human error, which accounts for between 60% and 90% of accidents, autonomous ships also eliminate loss of life through unmanned operation and increase security as they are less attractive for pirate activities. In the absence of a superstructure, autonomous ships are expected to save 10-20% of the total cost of operation, due to reduced air resistance and weight, increased carrying capacity, elimination of living quarters costs and reduced crew costs. Autonomous ships, which are expected to offer environmentally friendly solutions due to reduced pollution, less fuel consumption and the potential for use in ocean research, will also enable new trade routes. In addition to these advantages, the fact that existing regulations and maritime training systems do not cover various features of

autonomous ships, increased cyber security risk, ethical debates and lack of on-board maintenance are important obstacles to the widespread use of autonomous ships.

Ege Can GÜN

KISALTMALAR

ICT	: Information and communications technology
UNCTAD	: United Nations Trade and Development
IMO	: International Maritime Organization
MASS	: Maritime Autonomous Surface Ships
CAD	: Computer Aided Design
CAE	: Computer Aided Engineering
NFAS	: Norwegian Forum for Autonomous Ships
MUNIN	: Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks
MUSV	: Medium Unmanned Surface Vessel
LUSV	: Large Unmanned Surface Vehicle
LR	: Lloyd's Register
AMOS	: Autonomous Marine Operations and Systems
NTNU	: Norwegian University of Science and Technology
AAWA	: Advanced Autonomous. Waterborne Applications Initiative
UCSDA	: Unmanned Cargo Ship Development Alliance
SIMAROS	: Safe Implementation of Autonomous and Remotely Operated functions on Ships
SINTEF	: Stiftelsen for industriell og teknisk forskning, "The Foundation for Industrial and Technical Research"
NMA	: Norwegian Maritime Authority
ROMAS	: Remote Operation of Machinery and Automation Systems
MSC	: Maritime Safety Committee
IACS	: International Association of Classification Societies
ISO	: International Organization for Standardization
IEC	: International Electrotechnical Commission
ITU	: International Telecommunication Union

IALA	: International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
CIRM	: International Association for Marine Electronics Companies
GSA	: European GNSS Agency
ABS	: American Bureau of Shipping
BV	: Bureau Veritas
CCS	: China Classification Society
DNV-GL	: Det Norske Veritas Germanischer Lloyd
KR	: Korean Register of Shipping
IFSMA	: International Federation of Shipmasters' Associations
IGP&I	: International Group of Protection and Indemnity Clubs
ITF	: International Transport Workers' Federation
ICS	: International Chamber of Shipping
IMarEST	: Institute of Marine Engineering, Science and Technology
IMCA	: International Marine Contractors Association
NI	: Nautical Institute
SSC	: Smart Ships Coalition
TEU	: Twenty-foot Equivalent Unit
ANS	: Autonomous Navigation System
AI	: Artificial Intelligence
NM	: Nautical Mile
MF	: Medium Frequency
HF	: High Frequency
SATCOM	: Satellite Communications
GMDSS	: Global Maritime Distress and Safety Signal
NAVTEX	: Navigational Telex

LORAN	: Long Range Navigation
eLORAN	: Enhanced Long Range Navigation
RAMARK	: Radar Marker
ARPA	: Automatic Radar Plotting Aid
NAVSAT	: Navy Navigation Satellite System
ECDIS	: Electronic Chart Display and Information System
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems
GPS	: Global Positioning System
GLONASS	: Global Navigation Satellite System
IMU	: Inertial Measurement Unit
AIS	: Automatic Identification System
VHF	: Very High Frequency
NMEA	: National Maritime Electronics Association
LiDAR	: Light Detection and Ranging
GT	: Gross Tonnage
RADAR	: Radio Detection And Ranging
IR	: InfraRed
DARPA	: The Defence Advanced Research Projects Agency
LSND-A	: Liner Shipping Network Design-Autonomous
MDO	: Marine Diesel Oil
HFO	: Heavy Fuel Oil
NSR	: North Sea Route
UiO	: University of Oslo
UNCLOS	: United Nations Convention on the Law of the Sea
SOLAS	: International Convention for the Safety of Life at Sea
COLREG	: International Regulations for Preventing Collisions at Sea

MARPOL	: The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
STCW	: Standards of Training Certification and Watchkeeping
ISPS	: International Ship and Port Facility Security Code
ISM	: International Safety Management Code
SAE	: Society of Automobile Engineers
EoE	: Ease-of-Exploit
MET	: Maritime Education and Training
IoT	: Internet of Things

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa</u>
		<u>No</u>
Şekil 1.1	Gemilerdeki yeni teknolojilerin zaman çizelgesi (Wright, 2020)	1
Şekil 2.1	Otonomi ve personelle donatma bazlı sınıflama (Ringbom vd. (2021)	8
Şekil 2.2	MUNIN, ReVolt ve YARA Birkeland gemileri (Munim, 2019)	14
Şekil 2.3	Otonom Navigasyon Sistemi mimarisi (AAWA, 2016)	15
Şekil 2.4	AI destekli durumsal farkındalık sistemi (Thombre vd., 2022)	16
Şekil 2.5	Önerilen sensör düzeneği için veri entegrasyon stratejisi (Thombre vd., 2022)	17
Şekil 2.6	RADAR (solda) ve LiDAR (sağda) görüntüleri (AAWA ,2016)	26
Şekil 3.1	Yaygın çarpışma ve karaya oturma sebepleri (R. Ziarati ve M. Ziarati, 2007)	32
Şekil 3.2	Kazaların ana sebepleri ve insan hatası (Ziarati, 2006)	33
Şekil 3.3	Gemi tiplerine göre kaza sayıları ve çeşitleri (Vos vd., 2021)	34
Şekil 3.4	Gemi tiplerine göre can kaybı sayıları (Vos vd., 2021)	34
Şekil 3.5	Sıcak haddeli çelik fiyat grafiği (Tradingeconomics)	44
Şekil 3.6	Nakliye modeli değişimi (Munim, 2019)	46
Şekil 3.7	Kuzey Deniz Yolu (Munim, 2019)	48

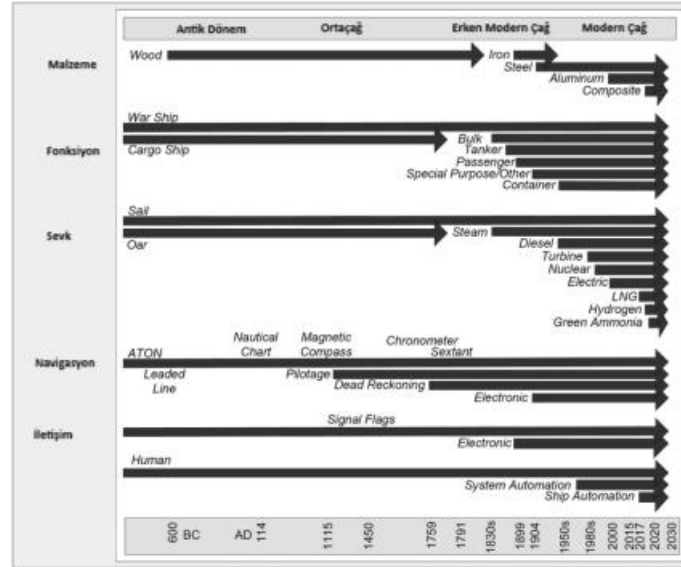
TABLO LİSTESİ

		<u>Sayfa</u>
		<u>No</u>
Tablo 2.1	Çeşitli kurumların gemi otonomisi sınıflandırmaları (Kim vd., 2022)	5
Tablo 2.2	Otomatik yönlendirme, uzaktan operasyon, uzaktan izleme ve otonomi ile ilgili terminoloji (Blanke vd., 2017)	9
Tablo 2.3	DNV VL ReVolt ve YARA Birkeland verileri (Munim, 2019)	14
Tablo 2.4	Denizcilik veri seti örnekleri (Thombre vd., 2022)	17
Tablo 2.5	Çeşitli algılama sensörlerinin karşılaştırılması (AAWA, 2016)	19
Tablo 2.6	Çeşitli objeler için hedef belirleme menzilleri (Thombre vd., 2022)	19
Tablo 2.7	Elektronik iletişim ve navigasyon teknolojilerindeki inovasyonların tarihçesi (Wright, 2020)	20
Tablo 2.8	GNSS alıcıları ve özellikleri (Thombre vd., 2022)	21
Tablo 2.9	Otonom gemi seyrinde kullanılabilecek AIS sistemlerinin karşılaştırılması (Thombre vd., 2022)	22
Tablo 2.10	LiDAR ünitelerinin karşılaştırılması (Thombre vd., 2022)	23
Tablo 2.11	Gemilerde kullanılan iki çeşit RADAR ünitesinin karakteristikleri (Thombre vd., 2022)	25
Tablo 2.12	Denizcilik bağlamında kamera tiplerinin karşılaştırması (Thombre vd., 2022)	27
Tablo 2.13	Uzun dönem dış mekan kullanımına uygun mikrofon	27

	örneklerinin karşılaştırılması (Thombre vd., 2022)	
Tablo 3.1	Gemilerde ortaya çıkabilecek güvenlik sorunlarının sınıflandırması (Kim vd., 2022)	35
Tablo 3.2	Karmaşık seyir senaryosunun risk matrisi (Kim vd., 2022)	37
Tablo 3.3	Otonom gemilerin geleneksel gemiye göre masraf analizi (Kretschmann vd., 2017)	39
Tablo 3.4	Otonom geminin geleneksel gemiye göre maliyet analizi (Poznańska ve Montewka, 2021; Kretschmann vd., 2017)	39
Tablo 3.5	Geleneksel ve otonom ana gemiler (Akbar vd., 2020)	41
Tablo 3.6	Geleneksel ve otonom yavru gemiler (Akbar vd., 2020)	42
Tablo 3.7	Üç otonom gemi senaryosunun maliyet-fayda analizi (Kretschmann vd., 2017; Poznańska ve Montewka, 2021)	43
Tablo 4.1	Otonomi seviyesine göre saldırgan ödülü ve sızma kolaylığı (Tam ve Jones, 2018)	57
Tablo 4.2	MASS ile ilgili mevcut MET müfredatında eksik bilgi ve beceriler (Deling vd., 2020)	59

1. GİRİŞ

Geniş bir sistemler grubundan oluşan gemiler ve buna bağlı olarak denizcilik endüstrisi, doğaları gereği multidisipliner alanlar olmaları sebebiyle, çeşitli endüstrilerdeki teknolojik gelişmeler ve buluşlardan etkilenmektedirler. Günümüzde çok az insan teknolojinin üstel bir şekilde büyüdüğü önermesine karşı çıkabilir (Cassard ve Hamel, 2018). Wright (2020) tarafından yapılan ve Şekil 1.1’de gösterilen gemi teknolojisi ile ilgili gelişmelerin zaman çizelgesi de, değişimler ve gelişmelerin modern dönemde hız kazandığını gösterir. Ufuktaki yeni büyük dönüşüm; dijitalleşme, otonom gemiler ve bunların şu ana kadar gemiciler tarafından yürütülen fonksiyonları gerçekleştirmeleridir (Wright, 2020).



Şekil 1.1. Gemicilerdeki yeni teknolojilerin zaman çizelgesi (Wright, 2020)

Bu çalışmada, Komianos'un (2019) belirttiği gibi, bilgi ve iletişim teknolojileri (information and communications technology, ICT) alanı başta olmak üzere, çeşitli alanlardaki teknolojik gelişmeler sayesinde mümkün hale gelen ve dikkatleri üzerinde toplayan otonom/insansız gemiler incelenecektir. Çalışma kapsamında; otonom gemilerin tanımlanması, yapılan çalışmalar ve üretilen projeler, çalışma prensipleri ve tarihçesi incelenecek ve geleneksel gemilere karşı avantaj ve dezavantajlarına değinilecektir. Sonuç kısmında da detaylı bahsedildiği üzere, otonom/insansız gemilerin geniş çaplı kullanımının önünde çeşitli engeller

bulunmakla birlikte, hayata geçirilen çeşitli projeler ve testler, günümüz teknolojisinin bu operasyonlar için yeterli olduğunu kanıtlar niteliktedir. Üzerinde, dünya genelinde detaylı araştırma-geliştirme faaliyetleri yürütülen bu konsept hakkında bilgi sahibi olunması, mevcut çalışmaların sürdürülmesi ve regülasyonlardaki revizyonlar başta olmak üzere yeni çalışmalar yapılması, hem ülkemiz hem de dünya denizciliği için, geleneksel gemilere karşı sağladığı avantajlar sebebiyle önem arz etmektedir.

En yeni bilgi ve iletişim teknolojileri sistemleri kullanılarak inşa edilen, gelişmiş kontrol ve iletişim yeteneklerine sahip gemiler, yakında offshore veya kıyıda konumlanan kontrol merkezleri tarafından uzaktan kontrol edilerek, gerektikleri her yerde ve zamanda kullanılabileceklerdir (Komianos, 2019). Otonom teknolojilerin; geleceğin askeri sistemlerindeki rolünün giderek artması, yüzeyin hem altında hem de üstünde operasyon yaparak deniz operasyonları için inovatif konseptler yaratması ve deniz güvenliği doktrininde radikal değişimlere yol açması beklenmektedir (Lloyd's Register, 2015). Bahsedilen inovatif konseptlere örnek olarak, kısa deniz taşımacılığında iyi belirlenmiş rotalarda rutin nakliyeler için otonom gemi konseptinin teorik olarak geleneksel taşımacılıktan daha düşük maliyete sahip olması ve bunun yanında insan hatasını (human error) ortadan kaldırması otonom teknolojilere yönelmek için ciddi bir teşviktir (Wright, 2020). Bu dönüşümün denizcilerin hayatlarının sosyal sürdürülebilirliğine etkileri hakkında yapılabilecek bir varsayım ise Bertram (2013) tarafından aktarılan, bir denizcinin konuyla ilgili yorumuyla tanımlanabilir: “Bir Mercedes’e binmek, her akşam karın ve ailenle olmak ... o kadar da kötü değil.” Otonom gemilerin geleneksel gemilere karşı sağladığı avantajlar üçüncü bölümde; Güvenlik, Ekonomik Faydalar, Çevrecilik ve Yeni Ticaret Yolları başlıklarında detaylı incelenmiştir.

UNCTAD (2020) araştırmasına göre, COVID-19 pandemisinin deniz ticareti üzerindeki öngörülemez ölçekte ve büyük hızdaki etkilerinin deniz ticaret ağlarının zafiyetini göz önüne sermesinin de etkisiyle, otonom gemi sektörü giderek büyümektedir ve her yıl %7 büyüyerek 2025 yılına kadar 1,5 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Konuyla ilgili ciddi çalışmalar ve araştırma-geliştirme faaliyetleri yürüten Rolls-Royce'un (2016) raporunda, lokal uygulamalar şeklinde başlaması öngörülen dönüşümün; 2025 yılında uzaktan kontrollü-insansız kıyı gemileri, 2030 yılında uzaktan kontrollü-insansız okyanus gemileri, 2035 yılında ise tam otonom

okyanus gemileri ortaya çıkaracağı öngörülmektedir. Aynı yıl Rolls-Royce Marine Innovation Başkan Yardımcısı Oskar Levander, otonom gemiler ile ilgili: “Bu gerçekleşiyor. Sorulması gereken soru gerçekleşip gerçekleşmeyeceği değil, ne zaman gerçekleşeceği.” beyanında bulunmuştur (URL-1).

Otonom ve insansız gemilere geçiş sürecine daha şüpheci yaklaşımlar da bulunmaktadır. Maersk’den Søren Skou; “400 metre uzunluğunda ve 200.000 ton ağırlığında bir konteyner gemisinin, güvertesinde hiç insan olmadan denize açılmasına izin verileceğini düşünmüyorum. Benim zamanımda olmayacak.” yorumunu yapmıştır (URL-2). Günümüzdeki teknolojik gelişmelerin otonom/insansız gemi konseptini bir realite haline getirmiş olmasıyla birlikte, hala üstesinden gelinmesi gereken çeşitli engeller bulunmaktadır. Komianos’un (2019) belirttiği gibi, geçmiş sistemler hakkındaki bilgilere dayanarak, birden fazla sistemin koordineli olarak çalışmasıyla mümkün olan otonom gemi konseptinin güvenli olduğu varsayılmaz. Kıyıdaki ve gemi güvertesindeki tüm farklı sistemleri içine alan kapsayıcı bir üst sistem yaklaşımı benimsenmelidir. Bunun yanında, 2030 yılında hizmette olacak gemilerin çoğu bu konseptler göz önüne alınmadan dizayn edildiğinden, ana hedef otonom sistemlerin güncel platformlara entegrasyonu olacaktır (Lloyd’s Register, 2015). Otonom gemi konseptinin yaygınlaşmasının önündeki engeller dördüncü bölümde; Regülasyonlar, Siber Güvenlik ve Yetersiz Eğitim başlıklarında detaylı incelenmiştir.

2. OTONOM GEMİLER

Çalışmanın bu bölümünde otonom/insansız gemilerin tanımlanması yapılmış, dünya üzerinde çeşitli devlet kurumları ve özel kuruluşlar tarafından bu yeni konsept hakkında yapılan çalışmalar ve üretilen projelerden bahsedilmiş, otonom/insansız gemilerin çalışma prensipleri incelenmiş ve bu konseptin ticari ve askeri alandaki tarihçesine değinilmiştir.

2.1.Otonom Gemi Nedir?

Otonominin sözlük anlamı, konsepti basitçe dış kontrolden bağımsız çalışan sistem olarak tanımlamaktadır (Ringbom vd. 2021). Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization, IMO), otonom gemiler için Deniz Otonom Suüstü Gemileri (Maritime Autonomous Surface Ships, MASS) tanımını önermiş ve “çeşitli derecelerde insan etkileşiminden bağımsız çalışan gemi” olarak tanımlamıştır (IMO, 2017). 2011 tarihli Avrupa Su Bazlı Teknolojiler Platformu (European Waterborne Technologies Platform, Waterborne TP) uygulama planında ise otonom gemiler, “hem gemide hem de dışarıda kablosuz denetleme ve kontrol fonksiyonlarına olanak sağlayan ve gemiyi yarı veya tam otonom şekilde yönetebilecek gelişmiş kontrol yardımı mekanizmalarını da içeren yeni jenerasyon kontrol sistemleri ve iletişim teknolojileri” olarak tanımlamıştır (Kretschmann vd., 2017). Komianos’un (2019) belirttiği üzere bu tanımlamada otonom gemi, kontrol ve iletişim sistemlerini kapsayan bir üst sistem olarak tanımlanmıştır.

Otonom gemilerin makine dairesi sistemleri, genelde sürekli insan yönlendirmesi olmadan çalışır ve navigasyon sistemleri önceden belirlenmiş bir rotayı korur (Wright, 2020). CAD/CAE (Bilgisayar Destekli Tasarım/Bilgisayar Destekli Mühendislik) bilgisayar modelleri; sevk, güç dağıtımı, navigasyon, iletişim ve diğer fonksiyonlarının beraber çalıştığı bir sistemi kapsamak üzere geliştirilebilir ve akıllı karar alma sistemleri bu sistemden aldığı veriler ve bilgileri sensörlerden gelen veriler ile birlikte kullanarak gerekli kararları alabilir. Günümüzde bu karar alma sürecini, çeşitli yeteneklere sahip mürettebattan gelen bilgileri kullanarak, geminin kaptanı yönetmektedir. MASS’ın ana hedefi bu karar alma sürecini; seyir güvenliğini arttırmak, maliyeti düşürmek ve verimi arttırmak için çeşitli otonomi seviyelerinde yürütmektir (Wright, 2020).

Batalden vd. (2017) tarafından belirtildiği üzere, yakındaki bir insanlı gemiden veya kıyıdaki bir merkezden uzaktan kontrol ve yapay zeka ve makine öğrenmesi ile geminin kendi rotasına karar vermesi gibi farklı metotlar ile farklı otonomi derecelerine ulaşılabilir. Çeşitli organizasyonlar, gemilerin otonomi seviyeleri için sınıflandırmalar önermişlerdir. Konuyla ilgili önemli çalışmalar yapan bazı kurum ve kuruluşların bu kapsamdaki kategorizasyonu Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Çeşitli kurumların gemi otonomisi sınıflandırmaları (Kim vd., 2022)

Organizasyon	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3	Kategori 4	Kategori 5	Kategori 6
IMO	D1: Otomatik süreçler ve karar destek sistemine sahip gemi: Gemide mürettebat var ve operasyonlar kontrol ediliyor. Bazı operasyonlar otomatik olabilir.	D2: Mürettebatla uzaktan kontrol edilen gemi: Operasyonlar başka bir konumdan kontrol edilip işletilmektedir. Mürettebat gemide bulunabilir.	D3: Mürettebatsız uzaktan kontrol edilen gemi: Operasyonlar başka bir konumdan kontrol edilip işletilmektedir. Gemide mürettebat yoktur.	D4: Tamamen otonom gemi: Gemi işletim sistemi, kararlar alabilir ve eylemleri kendisi belirleyebilir.		
Bureau Veritas	Seviye 0 İnsan operatörleri: Manuel operasyonlar insan kontrolü altındadır. İnsan tüm kararları alır ve tüm işlevleri kontrol eder	Seviye 1 İnsan yönlendirmeli: Karar desteği. Sistem aksiyon önerir, tüm kararları insan alır.	Seviye 2 İnsan denetimli: İnsan kararı doğrular ve sistem eylemleri başlatır. İnsan belirli bir süre içinde kararları reddedebilir	Seviye 3 İnsan süpervizörlü: Sistem doğrulama beklememektedir; insan her zaman kararlar ve eylemler hakkında bilgilendirilir.	Seviye 4 Tamamen otonom: Sistem doğrulama beklememektedir; insan sadece acil durumlarda bilgilendirilir.	

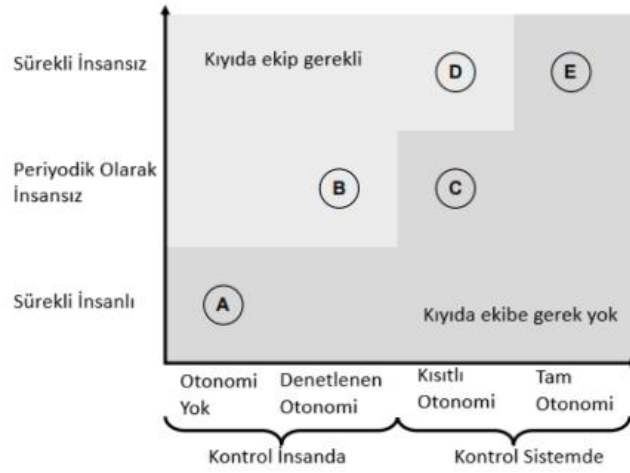
	Seviye 0	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5
Lloyd's Register	Siber erişim yok.	Manuel siber erişim.	Otonom/uzaktan izleme için siber erişim.	Otonom/uzaktan izleme ve kontrol için siber erişim (gemide izin gereklidir, gemide müdahale mümkündür).	Otonom/uzaktan izleme ve kontrol için siber erişim (gemide izin gerekmez, gemide müdahale mümkündür).	Otonom/uzaktan izleme ve kontrol için siber erişim (gemide izin gerekmez, gemide müdahale mümkün değildir).
Norwegian Forum for Autonomous Ships (NFAS)	Karar desteği— köprüdeki mürettebata karar desteği ve tavsiye verir, mürettebat karar verir.	Otomatik köprü— otonom operasyon, ancak mürettebat tarafından sürekli denetim altında.	Uzaktan kontrol— mürettebatsız, kıyıdan sürekli olarak izlenir ve doğrudan kontrol edilir.	Otonom gemi— mürettebatsız, kıyıdan denetim altında otomatik kontrol edilir.	Kısıtlı otonom— mürettebatsız, kısmen otonom, kıyıdan denetim altında.	Tam otonom— mürettebatsız ve denetimsiz.
Rolls-Royce	Seviye 0 Hiç otonomi yok—tüm operasyonel görevler insan operatör tarafından yapılır. İnsan operatör sistemi güvenli bir şekilde çalıştırır.	Seviye 1 Kısmi otonomi— hedeflenen operasyonel görevler insan operatör tarafından yapılır ancak sistemin belirli alt görevlerini devredebilir. İnsan operatör sistemin genel kontrolüne sahiptir ve sistemi her zaman güvenli bir şekilde çalıştırır.	Seviye 2 Koşullu otonomi— hedeflenen operasyonel görevler otomatik sistem tarafından insan etkileşimi olmadan yapılır ve insan operatör kalan görevleri yerine getirir. İnsan operatör güvenli sorumludur.	Seviye 3 Yüksek otonomi— hedeflenen operasyonel görevler otomatik sistem tarafından insan etkileşimi olmadan yapılır ve insan operatör kalan görevleri yerine getirir. Sistem güvenli sorumludur.	Seviye 4 Tam otonomi—tüm operasyonel görevler otomatik sistem tarafından tanımlanan tüm koşullar altında yapılır.	

	Seviye 0	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5
	İnsanlı— gemi operatörler tarafından kontrol edilir.	İşletilen— kontrol altında tüm bilişsel işlevsellik insan operatöründedir. ir. Operatör gemiyle doğrudan temas halindedir.	Yönlendirilmiş —kontrol altında bazı akıl yürütme ve uygulama yetenekleri insansız gemiye entegre edilmiştir. Çevreyi algılayabilir, durumunu raporlayabilir ve bir veya birkaç eylem önerebilir. Ancak, karar verme yetkisi operatördedir.	Yetkilendirilmiş —insansız gemi bazı işlevleri yerine getirebilir. Çevresini raporlar, durumunu belirler ve niyetini belirtir. Operatör belirli bir süre içinde insansız gemi tarafından başlatılan eylemleri veto etme seçeneğine sahiptir.	İzlenen— insansız gemi çevreyi algılar ve durumunu raporlar. İnsansız gemi eylemleri tanımlar, karar verir ve eylemlerini raporlar. Operatör olayları izleyebilir.	Otonom— insansız gemi çevreyi algılar, olası eylemleri tanımlar, karar verir ve harekete geçer. Eylemler, gerektiğinde herhangi bir dış birimi veya operatörü bilgilendirmede n başlatılır.
UK Marine Industrie s Alliance						

Ringbom vd. (2021) tarafından önerilen bir sınıflandırma ise gemi otonomisinin birbiriyle bağlantılı üç elementi olan teknik kapasite, personelle donatma (manning) ve otonomi ile ilişkilidir. Teknik kapasite, son dönemde ortaya çıkan terimler olan, sensörler yardımıyla uzaktan yönetim ve zeka kavramları ile yakından ilişkilidir. Zeka burada geniş bir anlamda kullanılmış olup, sistemin kompleks hedefleri yerine getirebilmesi anlamında kullanılmıştır. Bu amaçla sistemin, önceden programlanmış kuralları izleyebileceği veya kendi kendine öğrenebileceği makine öğrenmesi algoritmalarına sahip olabileceği belirtilmiştir. Personelle donatma, hem gemi hem de kıyıdaki bir kontrol noktası için üç seviyede (sürekli insanlı, periyodik olarak insanlı ve sürekli insansız) düşünülmüş ve otonomi sınıfları için aşağıdaki tanımlama kullanılmıştır:

- Otonomi Yok: Otomatik bir sistem aksiyon önerebilir, kararı insan verir.
- Denetlenen Otonomi: İnsan, alınan kararları ve uygulamaları gözlemler.
- Kısıtlı Otonomi: Sistem, insan gözlemlemesine gerek duymadan karar alıp uygular fakat insan gerekli yerde devreye girmek için hazırdır.
- Tam Otonomi: Devreye girecek bir insan olmadan çalışan sistem.

Bahsedilen sınıflama için Ringbom vd. (2021) tarafından önerilen matris Şekil 2.1’de gösterilmiştir. IMO otonomi dereceleri personelle donatma ve otonomiye ayrı tutmuştur fakat görüleceği üzere bu iki elementin beraber düşünülmesi gerekmektedir.



Şekil 2.1. Otonomi ve personelle donatma bazlı sınıflama (Ringbom vd. (2021))

- Senaryo A: Sürekli İnsanlı, Otonomi Yok.
- Senaryo B: Periyodik Olarak İnsansız, Denetlenen Otonomi.
- Senaryo C: Periyodik Olarak İnsansız, Kısıtlı Otonomi.
- Senaryo D: Sürekli İnsansız, Kısıtlı Otonomi.
- Senaryo E: Sürekli İnsansız, Tam Otonomi.

Blanke vd. (2017) tarafından otonom gemi operasyonunun çeşitli unsurları için önerilen terminoloji Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Otomatik yönlendirme, uzaktan operasyon, uzaktan izleme ve otonomi ile ilgili terminoloji (Blanke vd., 2017)

Ticari Gemilerin Manuel Seyri	Seyir zabiti, ya dümençiye ya da otopilot sistemine istenilen rota ve hız komutunu verir. Seyir zabiti kendi rotası ve pozisyonu ile ilgili elektronik tabloları ve grafikleri vardır. Radar sistemi diğer gemilerin rota ve hızını verir.
Otomatik Rota Yönlendirmesi	Rota yönlendirmesi, kodlanmış konumlar arasında gerçekleşir. Geminin otomatik pilotu, geminin A noktasından B noktasına gitmesini sağlar.
Karar Desteği	Karar desteği, verilen bir zamanda limana ulaşmak için deniz ve rüzgar koşullarını da hesaba katarak, rota ve hız planlaması yapılmasını içerir. Daha kapsamlı bir karar desteği, dar alanda bir kaçınma manevrası gerçekleştirilmesi konusunda seyir zabiti rehberlik yapmayı da içerebilir.
Uzaktan Kontrol Edilen Seyir	Uzaktan kontrollü operasyon tanımı, bir noktanın uzaktan kontrol edilme ihtimalinin otopilot ve sevk sistemi üzerindeki etkisi için kullanılır.
Uzaktan İzleme	Sensörlerden okunan verilerin, karadaki veya başka bir gemideki bir operasyon merkezinde gerçek zamanlı gösterilmesidir. Tam izleme, operasyon merkezinin gemi ve çevresi hakkında yeterli bilgiye sahip olması ve uzaktan kontrollü seyir yapabilmesi için TV izlemesi ve radar resmini de kullanmasını içerir.
Uzaktan Kontrol Edilen Seyir	Uzaktan kontrollü operasyon tanımı, bir noktanın uzaktan kontrol edilme ihtimalinin otopilot ve sevk sistemi üzerindeki etkisi için kullanılır.
Tam Otonomi	Durum insan müdahalesi olmadan algılanır, değerlendirilir ve hangi eylemin gerçekleştirileceğine karar verilir.

2.2. Mevcut Çalışmalar ve Projeler

Günümüzde endüstri ve akademi, MASS operasyonunun teknik fizibilitesi ve ilgili teknolojilerin sınırları ile ilgili geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütmektedir. Bu girişimlerin bazıları (Wright, 2020; Komianos, 2019; Thombre vd., 2022):

- Norveçli Kongsberg firmasının YARA Birkeland gemisi.
- Amerikalı gemi inşaat firması Metal Shark ve otonom gemi teknolojileri geliştirici ASV Global ortaklığında yürütülen, 5-100 metre aralığında, alüminyum, çelik ve kompozitten üretilen, Sharktech otonom gemi projeleri.
- İngiltere’den ASV Global firmasının otonom gemi kontrol simülatörünün, BMT Ship&Coastal Dynamics firmasının REMBRANDT gemi manevra simülatörü ile ortak kullanıldığı ve otonom gemiler ile geleneksel gemilerin aynı ortamda nasıl çalışabileceğini araştıran proje.
- Bourbon ve Automated Ships Ltd. partnerliğinde geliştirilen, 37 metrelik Hrönn gemisi.
- Pasific Maritime Institute ve Robert Allan Ltd. Şirketlerinin geniş kapsamlı testlerini tamamladığı, uzaktan kontrol edilebilen R Amora römorkörü.
- Avrupa Komisyonu’nun fonladığı ve Chalmers Teknik Üniversitesi, University College Cork ve birçok farklı endüstriyel organizasyonun dahil olduğu Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks (MUNIN) projesi.
- Rolls-Royce’un, Google’ın Bulut Makine Öğrenmesi Motoru’nu kendi yapay zekasını obje tanımlama alanında eğitmek için kullandığı proje.
- Boston, Massachusetts merkezli, gemilerde ileri kontrol teknolojisi alanında özelleşmiş Sea Machines şirketinin, 2019’da ABD Denizcilik İdaresi ile anlaşması sonucu başlayan, denizdeki yakıt sızmalarına karşı otonom teknolojileri kullanmaya yönelik projesi.
- Amerika’daki Promare şirketinin Polonya’da inşa ettiği 30 metrelik, hibrid güç sistemli Mayflower gemisi.
- ABD Deniz Araştırmaları Ofisi altındaki “Anti-Submarine Warfare Continuous Trail Unmanned Vessel” programı kapsamında üretilen, 2019’da tam otonom

şekilde Kaliforniya'dan Hawaii'ye gidip gelen ve en gelişmiş insansız gemi projelerinden biri olan Sea Hunter.

- 2019'da ABD Donanması tarafından başlatılan, 12-50 metre arası Medium Unmanned Surface Vessel (MUSV) ve +50 metre Large Unmanned Surface Vehicle (LUSV) projeleri.
- Lloyd's Register (LR) tarafından, "Cyber-enabled Ship Project" adıyla geliştirilen ve otonom gemi operasyonları için prosedür ve kılavuz oluşturmayı hedefleyen girişim.
- "Autonomous Marine Operations and Systems (AMOS) Project 3" isimli, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (NTNU) Deniz Teknolojileri ve Mühendislik Sibernetiği departmanı tarafından, ulusal ve uluslararası partnerlerle birlikte geliştirilen ve belirsiz deniz ortamlarında çarpışmadan kaçınma ve akıllı görev icrası için koordinasyon ve iş birliği çerçevesinde çalışan kontrol mimarileri geliştirmek için çalışan proje.
- Finlandiya'nın OneSea Ekosistemi ve Jaakonmeri test alanı.
- Rolls-Royce tarafından 2015 yılında başlatılan AAWA (Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative) girişimi.
- Çin'in Unmanned Cargo Ship Development Alliance (UCSDA) girişimi ve test alanları.
- Japonya'daki NYK şirketinin uzaktan operasyon için planları.
- Birleşik Krallık-Norveç ortaklığında yürütülen SIMAROS (Safe Implementation of Autonomous and Remotely Operated functions on Ships) projesi (URL-3).
- Norveçli Endüstriyel ve Teknik Araştırma Vakfı (SINTEF) ve Kongsberg işbirliğiyle yürütülen AUTOSHIP projesi (URL-4)
- Testleri DNV-GL ve Norveç Denizcilik Otoritesi (Norwegian Maritime Authority, NMA) tarafından yürütülen ROMAS (Remote Operation of Machinery and Automation Systems) projesi (URL-5).

Maritime Safety Committee'nin (MSC) 97. oturumunda ilk kez ele alınan MASS sistemlerin güvenli operasyonu için düzenleyici bir altyapı hazırlama çalışmaları, MASS sistemlerin insanlı gemiler ile bir arada nasıl var olacağı hakkında da yapılan

detaylı incelemeler sonucu 101. oturumda Haziran 2019'da tamamlandı. Bu çalışmaya katkı sağlayan ülkeler; Avrupa Birliği temsilcileri Danimarka, Finlandiya, Norveç, İsveç, İngiltere; Çin, Singapur, Japonya, ABD, Avustralya, Kanada, Estonya, Fransa, Liberya ve Güney Afrika olmuştur (Wright, 2020). Bu alanda kayda değer bir yoğunlaşmanın geldiği Kuzey Avrupa'ya -daha spesifik olmak gerekirse Norveç ve Finlandiya- son dönemlerde Çin, Japonya, Kore ve Singapur da eklenmiştir (Thombre vd., 2022).

Günümüzde, spesifik olarak otonom gemileri hedefleyen çok az regülasyon ve standart bulunmaktadır. Bu anlamda yeni pratikler ve regülasyonlar için çalışan ana aktörler, klas kuruluşları ve endüstrinin kendisi gibi görünmektedir. Regüle edici aktörler (Thombre vd., 2022):

- IMO – International Maritime Organization
- IACS – International Association of Classification Societies
- ISO – International Organization for Standardization
- IEC – International Electrotechnical Commission
- ITU – International Telecommunication Union
- IALA – International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
- CIRM – International Association for Marine Electronics Companies
- GSA – European GNSS Agency

Yukarıdakilere ek olarak, MASS hakkındaki tartışmalara katkı sağlayan klas kuruluşları: Unmanned Cargo Ship Development Alliance (UCSDA) altındaki bireysel organizasyonlar; American Bureau of Shipping (ABS), Bureau Veritas (BV), China Classification Society (CCS), Det Norske Veritas Germanischer Lloyd (DNV-GL), Korean Register of Shipping (KR) ve Lloyds Register (LR). Bu organizasyonların bazıları ayrıca kendi standartları ve servislerini de MASS teknolojilerinin gelişimi ile uyumlu hale getirmek için çalışmaktadır (Wright, 2020).

MASS teknolojileri hakkında süreçler yürüten hükümet dışı organizasyonlar: International Federation of Shipmasters' Associations (IFSMA), International Group of Protection and Indemnity Clubs (IGP&I), International Transport Workers'

Federation (ITF), International Chamber of Shipping (ICS), Institute of Marine Engineering, Science and Technology (IMarEST), International Marine Contractors Association (IMCA), International Organization for Standardization (ISO), the Nautical Institute (NI), One Sea Autonomous Maritime Ecosystem, ve Smart Ships Coalition (SSC) (Wright, 2020).

MASS alanında yapılan literatür çalışmalarına bakıldığında, yukarıda bahsedilenler arasından özellikle dört proje araştırmalar açısından önem kazanmış görünmektedir:

- AAWA: Rolls-Royce tarafından 2015 yılında başlatılmış bir girişim olup amacı otonom gemileri bir realite haline getirmek için gereken ekonomik, sosyal, hukuki, düzenleyici ve teknolojik faktörleri incelemek için üniversiteleri, gemi tasarımcılarını, ekipman üreticilerini ve klas kuruluşlarını bir araya getirmektir (Komianos, 2019). Sistemin beynini bilgilendirecek ve çarpışmaları engelleyip geminin güvenli seyir yapmasını sağlayacak elektronik duyular geliştirmek için, AAWA projesi üç alanı incelemektedir (Rolls-Royce, 2016):
 - Sensor Füzyonu: Farklı RADAR tipleri, yüksek çözünürlüklü kameralar, termal görüntüleme ve LiDAR incelendikten sonra proje, çoklu sensor verisinin en iyi sonucu verdiği karar vermiştir.
 - Kontrol Algoritmaları: Sensör verilerini kullanarak hangi eylemin gerçekleştirileceğine karar vermeyi sağlar.
 - İletişim ve Bağlantı: Otonom gemilerin karadan insan girdisine gerek duyacak olması, gemi ve ekip arasındaki bağlantıyı kritik hale getirir. Böyle bir iletişimin iki yönlü, doğru ölçeklenebilir ve birden fazla sistem tarafından desteklenir olması gerekmektedir.
- ReVolt: Norveç fonlu DNV-GL tarafından sürdürülen, 60 metre uzunluğunda, insansız, bataryayla çalışan ve sıfır emisyonlu bir kısa deniz taşımacılığı konteyner gemisi konsept çalışmasıdır. 100 TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) kargo kapasitesine sahip gemi, 100 deniz mili menzilde 6 knot hızla operasyon yapacaktır. Dizel yakıtla çalışan bir gemiye göre, 30 yıllık ömür göz önüne alındığında, toplam 34 milyon dolar (yıllık 1 milyon dolardan fazla) tasarruf sağlaması beklenmektedir (Kretschmann vd., 2017; Komianos, 2019).
- MUNIN: Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks. Avrupa Komisyonu tarafından fonlanan, 2012 yılında başlayıp 2015 yılında

tamamlanan proje, açık deniz insansız kuru yük gemisi için fizibilite çalışmalarını içermektedir (Kretschmann vd., 2017; Komianos, 2019).

- YARA Birkeland: Daha yeni otonom gemi projelerinden birisi olan ve Kongsberg öncülüğünde geliştirilen, dünyanın ilk tam elektrikli konteyner gemisi. 2017’de insanlı bir gemi olarak başlayan proje, 2019 yılında otonom gemi konseptine çevrilmiştir. Birleşmiş Milletler sürdürülebilirlik hedefleri kapsamında, 40.000 kamyon yolculuğunu kentsel alanlardan kaldırıp NO_x ve CO₂ emisyonlarını ve trafiği azaltması ve yol güvenliğini artırması hedeflenmektedir. 120 TEU kapasiteli gemi, Norveç kıyılarından 12 mil açıktaki, üç liman arasında seyredecektir (Komianos, 2019). Bahsedilen üç gemi konsepti Şekil 2.2’de gösterilmiştir. DNV-GL ReVolt ve YARA Birkeland gemilerinin karakteristikleri ise Tablo 2.3’te görülebilir.



Şekil 2.2. MUNIN, ReVolt ve YARA Birkeland gemileri (Munim, 2019)

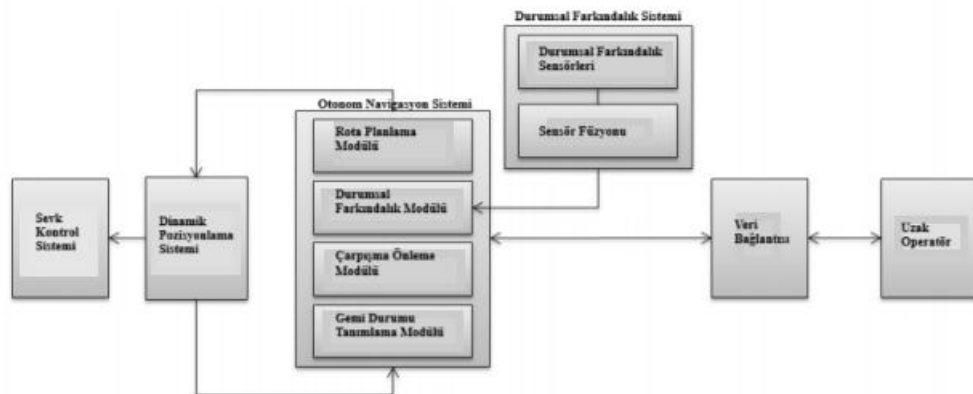
Tablo 2.3. DNV-GL ReVolt ve YARA Birkeland verileri (Munim, 2019)

Özellik	DNV-GL ReVolt	YARA Birkeland
Kapasite	100 TEU	120 TEU
Boy	60 m	80 m
Genişlik	-	15 m
Servis Hızı	6 knot	6 knot
Deadweight	-	3.200 ton
Batarya Kapasitesi	3 MWh	6,8 MWh
Menzil	100 deniz mili	-

2.3.Otonom Gemilerin Çalışma Prensipleri

Tromsø Üniversitesi tarafından, yarı-otonom ve tam otonom yolculuklar ile ilgili üç farklı konsept geliştirilmiştir. Efendi-Köle Sistemi (Master-Slave System), insanlı bir “master” gemi ve onu bir filo halinde takip eden insansız “slave” gemilerden oluşur. Captain On Land Sistemi, geminin karadaki bir komuta merkezindeki eğitimli bir ekip tarafından izlendiği ve yönlendirildiği bir sistemdir. Bu sistemde geminin kanal geçişleri gibi yüksek trafik bölgeleri hariç tam otonom seyahat etmesi öngörülmüştür. Tam Otonom Operasyon adı verilen son konseptte ise herhangi bir insan etkileşimi olmadan yol alan bir gemiden bahsedilir. (Batalden vd., 2017).

Komianos’un (2019) belirttiği gibi otonom gemiler, engeller gibi çeşitli objelerin sensörler yardımıyla algılanmasına dayalı bir kendini yönlendirme (self-steering) mekanizmasına sahip olacak ve çarpışmadan kaçınma gibi çeşitli aksiyonları kendi başına alabilecektir. Programlanmış algoritmalar ve sensörlerden gelen verilerin birleştirilmesiyle bu amaca ulaşılabilir. Gemi gibi bir sistemler topluluğunda durumsal farkındalığın geliştirilmesi için çeşitli gereklilikler bulunur. Yaşça büyük ve tecrübeli kaptanların, gemideki bir cihaza en az güvenecek olanlar olması gibi otonom gemilere de herhangi bir veri kaynağına tek başına güvenmeyecek ve farklı sensörlerden gelen veriler için çapraz kontrol ve doğrulama yapacak, aynı fonksiyona sahip bir sistem entegre edilmelidir (Thombre vd., 2022). AAWA (2016) tarafından önerilen, durumsal farkındalığı yaratan ve kullanan bir Otonom Navigasyon Sistemi (Autonomous Navigation System, ANS) mimarisi Şekil 2.3’te verilmiştir.

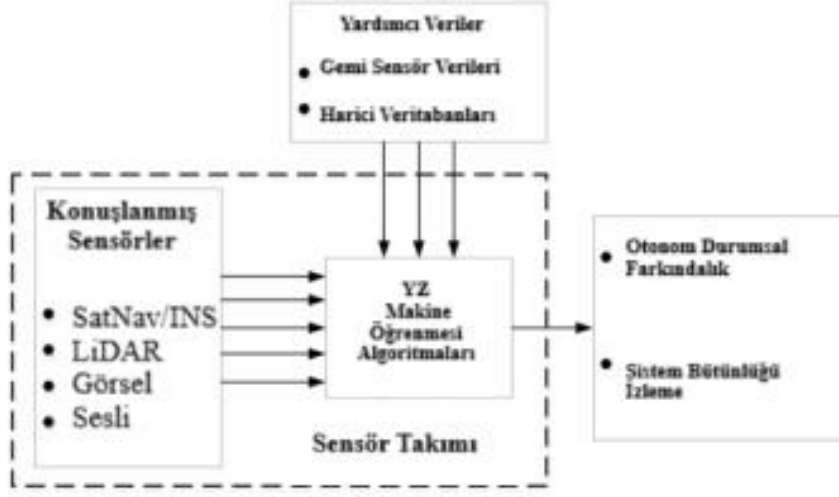


Şekil 2.3. Otonom Navigasyon Sistemi mimarisi (AAWA, 2016)

Günümüzde, global olarak dikkatleri üzerine çekmiş ve kayda değer bir hız kazanmış olan yapay zeka (artificial intelligence, AI) teknolojilerinin, durumsal farkındalık yaratmak için kullanımının önerildiği çalışmalar da mevcuttur. Thombre vd. (2022) tarafından önerilen bir AI destekli denizcilik durumsal farkındalık sistemi mimarisi Şekil 2.4'te görülebilir. Bu çalışmada yapay zekanın rolü, gemi konumlanma ve durumsal farkındalıkla sonuçlanan sensör verilerini birleştirmek ve sensör topluluğunun bütünlüğünü izlemektir (Thombre vd., 2022). Durumsal farkındalığın önemli bir kaynağı olan, internetten ulaşılabilen kayıtlı ve arşivlenmiş veri setlerinin, yapay zeka algoritmalarını eğitmek için de kullanılabileceği öngörülen bu çalışmada, bahsedilen amaca yönelik önerilen sensör düzeneği ve veri entegrasyon stratejisi Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Kamuya açık bazı denizcilik veri setleri için Tablo 2.4. incelenebilir. Blanke vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada da RADAR, sonar, LiDAR, GPS, AIS, kızılötesi ve görsel spektrumlu kameralar tarafından sağlanan seyrüsefer ile ilgili veriler ve kıyı istasyonlarından sağlanan meteorolojik, derin-deniz navigasyon ve trafik bilgilerini işleyip optimal rota planlayan ve gerekli kararları veren, gemide veya kıyıda bulunan yapay zeka sistemlerinin kullanılabileceği belirtilmiştir.



Şekil 2.4. AI destekli durumsal farkındalık sistemi (Thombre vd., 2022)



Şekil 2.5. Önerilen sensör düzeneği için veri entegrasyon stratejisi (Thombre vd., 2022)

Tablo 2.4. Denizcilik veri seti örnekleri (Thombre vd., 2022)

Veritabanı	Sahibi	İçerik
HELCOM Metadata Kataloğu	Helsinki Komisyonu	Derin deniz seyir rotaları, trafik ayırma şemaları, petrol sızıntısı için riskli alanlar, AIS yoğunluk verileri
HELCOM Deniz Koruma Aranı	Helsinki Komisyonu	Yasak bölgeler
FMI Günlük Buz Grafikleri	Finlandiya Meteoroloji Enstitüsü	Baltık denizi buz durumu
Deniz Durumu	Trafiği Finlandiya Trafik Yönetimi	Helsinki limanındaki gemi tipi ve sayısı
Seyir Veritabanı	Uyarıları İsveç Denizcilik İdaresi	Baltık denizi hatları hakkında gerçek zamanlı gelişmeler
Seyir yardımcıları kaydı	yardımcıları Ulusal Hükümetler	Seyir yardımcıları bilgileri
Digitraffic	Finlandiya Ulaştırma Altyapı Kurumu	AIS verilerine gerçek zamanlı erişim
SeaShips	Wuhan Üniversitesi	Tespit ve sınıflandırma için gemi fotoğrafları
MARVEL	Aselsan Araştırma Merkezi	Zengin meta özellikli gemi resimleri

IPATCH Dataseti	Denizcilik	GMT Group Ltd.	Gemi anormallik tespiti
MarDCT		Roma Sapienza Üniversitesi	Tespit, sınıflama ve takip için gemi fotoğraf ve videoları
VAIS		Pensilvanya Üniversitesi	Gemi tespiti için RGB ve kızılötesi fotoğraflar
KITTI 3D		Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü	Stereo görüntü ve nokta bulutu verileri
AudioSet		Google LLC	Çeşitli gemi tiplerinin seslerini içeren klipler
ShipsEar		Vigo Üniversitesi	Gemi ve teknelerin sualtı akustik kayıtları

Konuyla ilgili literatürde, mevcut teknolojilerin sağladığı çeşitli sensör tipleri ve bunların otonom gemi operasyonunda kullanımının fizibilitesi üzerine araştırmalar mevcuttur. Rolls-Royce tarafından yönlendirilen Advanced Autonomous Waterborne Applications (AAWA) girişiminin 2016 yılındaki resmi raporunda, çeşitli algılama sensörleri güçlü ve zayıf yönleriyle listelenmiştir. Bahsedilen çalışma Tablo 2.5’te gösterilmiştir. Geçmiş araştırmalardan (özellikle MUNIN ve IMO) elde edilen bulgular kullanılarak, Thombre vd. (2022) tarafından, otonom gemilerin çeşitli objeler için sağlaması gereken hedef belirleme menzilleri saptanmıştır. Bu çalışmanın sonucu Tablo 2.6’da görülebilir. Bununla birlikte varılan bir diğer sonuç ise güvenilirlik ve bütünlük sağlamak adına gemilerin; her zaman iki bağımsız konum referans kaynağına, üç metreden az konumlanma hatasına ve sensör sistem bütünlüğü hakkında bilgi sağlayacak sistemlere sahip olması gerektiğidir (Thombre vd., 2022). Bu bölümde otonom gemilerde kullanımının fizibilitesinin tartışılacağı bazı sensör ve alıcıları da içeren, elektronik iletişim ve navigasyon teknolojilerindeki inovasyonların tarihçesi Tablo 2.7’de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Çeşitli algılama sensörlerinin karşılaştırılması (AAWA, 2016)

	Görsel Kameralar	HD IR Kameralar	Gemi Radarı	Kısa Radar	Menzilli	LIDA R	Ses
Uzamsal Doğruluk	++	+	--	-		++	--
Görüş Alanı	+	-	++	-		+	++
Mesafe Ölçümü	-	-	++	++		++	--
Objeye Tanımlama	++	+	--	--		+	+
24 Saat, Tüm Hava Şartlarında Operasyon	--	+	++	++		+(?)	- (?)
Analizin Bilgisayar Yükü	--	-	++	++		--	+
Denizde Sağlamlık	++	++	++	+(?)		(?)	(?)
Maliyet	++	-	+ -	++		--	+

Tablo 2.6. Çeşitli objeler için hedef belirleme menzilleri (Thombre vd., 2022)

Hedef	Tespit Mesafesi	Ana Referans
>50 m, A sınıfı AIS'e sahip gemiler	8 NM	MUNIN+RADAR menzili
12-50 m, A sınıfı AIS'e sahip gemiler	5 NM	COLREG Kural 22
<12 m, B sınıfı AIS'e sahip tekneler	5 NM	COLREG Kural 22
<12 m, AIS bulunmayan tekneler	2 NM	COLREG Kural 22
Kayık boyutunda objeler	1 NM	MUNIN
Sabit radar izi	8 NM	IMO RADAR menzili
Buz şamandırması	3 NM	IMO RADAR menzili
Liman, marina şamandırması	1 NM	IMO RADAR menzili

Tablo 2.7. Elektronik iletişim ve navigasyon teknolojilerindeki inovasyonların tarihçesi (Wright, 2020)

İletişim		Navigasyon						
	Buluş	İlk Kullanım		Buluş	İlk Kullanım		Buluş	İlk Kullanım
Radyo ve Uydu	Kablosuz Telgraf	1899	Karasal	Echosounder	1904	RADAR	RADAR	1937
	MF-HF Radyo	1907		Radyo Zaman Standartları	1905		RAMARK/RACON	1962
	VHF Radyo	1940		Radyo Yön Bulucu	1913		ARPA	1979
	SATCOM	1979		Radiobeacon	1917	Uydu	NAVSAT/T RANSIT	1960
	GMDSS	1988		LORAN	1943		GPS	1979
	NAVTEX	1993		DECCA	1943		Diferansiyel GPS	1990
	AIS	2000		Ataletsel Navigasyon	1952		GLONASS	2012
	Uydu AIS	2005		OMEGA	1971		Galileo	2012
	Maritime Cloud	2017		eLORAN	1997		BeiDou	2015
				Navigasyon Sonarı	1997		ECDIS	1995
				AIS-Seyir Yardımcıları	2012		eNavigasyon	2005

Otonom gemilerde bahsedilen gereklilikleri sağlayacak ve durumsal farkındalık oluşturacak bir sensör topluluğu için; görsel sensörler, mikrofonlar, konumlanma alıcıları ve RADAR/LiDAR olarak dört sensör ailesinin incelendiği, Thombre vd. (2022) tarafından yapılan araştırma oldukça kapsamlı olup aşağıda özetlenmiştir. Belirtildiği üzere, çalışmanın dört sensör ailesi üzerinde yapılmış olması, ek sensörlerin kullanımı konusunda bir kısıtlama sağlamamaktadır.

Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Navigation Satellite Systems, GNSS); GPS (Global Positioning System), GLONASS (Global Navigation Satellite System) ve Galileo gibi çeşitli uydu navigasyon teknolojilerini kapsayan bir tanımdır (Tetley ve Calcutt, 2001). Köprü üstü için pozisyon ve zamanlama bilgisi içeren ana kaynak olan çeşitli GNSS alıcıları ve özellikleri Tablo 2.8’de sıralanmıştır.

Tablo 2.8. GNSS alıcıları ve özellikleri (Thombre vd., 2022)

GNSS Alıcısı	Pazar Segmenti	Ek Özellikler	GPS ve SBAS	Çoklu Uydu Takımı	Galileo Desteği	Çoklu Frekans	RTK
SANAV VP-302/VP-302T	Denizcilik	-	EVET	-	-	-	-
Hemisphere Vector V102 GPS Compass	Denizcilik	IMU	EVET	EVET	-	-	-
Hemisphere Vector V102 GPS Compass	Denizcilik	IMU	EVET	EVET	-	-	-
Cobham Sailor 6550 and Sailor 6570	Denizcilik	-	EVET	EVET	EVET	-	-
SANAV GM-880	Denizcilik	-	EVET	-	-	-	-
SANAV GR-2000	Denizcilik	Elektronik pusula	EVET	-	-	-	-
ComNav G1 Satellite Compass	Denizcilik	IMU	EVET	EVET	-	-	-
ComNav G2 and G2B Satellite Compass	Denizcilik	IMU	EVET	EVET	-	-	-
Lars Thrane LT-300 GNSS	Denizcilik	-	EVET	EVET	-	-	-
Lars Thrane LT-1000 NRU	Denizcilik	-	EVET	EVET	-	-	-
DIGITAL YACHT GPS 150	Denizcilik	-	EVET	EVET	EVET	-	-
Promarine proGPS 200	Denizcilik	-	EVET	-	-	-	-
Promarine proGPS 200	Denizcilik	-	EVET	EVET	EVET	EVET	-

Hemisphere V123 and V133	Denizcilik	-	EVET	EVET	EVET	-	-
Hemisphere V320 GNSS Compass	Denizcilik	IMU	EVET	EVET	EVET	-	-
Hemisphere Vector VS330 GNSS Compass	Çok Amaçlı	IMU	EVET	EVET	EVET	-	-
Advanced Navigation GNSS Compass	Denizcilik ve ölçüm	IMU	EVET	EVET	EVET	Opsiyon	Opsiyon
Hemisphere R330	Çok Amaçlı	-	EVET	EVET	EVET	-	-
Septentrio AsteRx-U MARINE	Denizcilik ve inşaat	-	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET
Trimble Marine BX992	Çok Amaçlı	IMU	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET

Otomatik Tanımlama Sistemi (Automatic Identification System, AIS); gemiler, rüzgar türbini tarlaları, deniz platformları gibi yapıların konumlarını sürekli olarak VHF (Very High Frequency) bandında yayınlamak için kullanılan bir transponder sistemidir. AIS alıcısına sahip bir gemi bu engellerin konumlarını hakkında görüş mesafesinden bağımsız bilgi edinebilir (Thombre vd., 2022; Tetley ve Calcutt, 2001). Otonom gemi seyri için kullanılabilecek çeşitli AIS alıcı ve vericilerinin karşılaştırılması Tablo 2.9’da gösterilmiştir.

Tablo 2.9. Otonom gemi seyrinde kullanılabilecek AIS sistemlerinin karşılaştırılması
(Thombre vd., 2022)

	Sınıf ve Kanallar	Çıktı Formatı	Güç Kaynağı Tipi
AdvanSea AIS RX-110	A ve B sınıfı çift kanallı	NMEA 0183, USB, NMEA 2000	12-24 VDC
Amec CYPHO-150S	A ve B sınıfı çift kanallı	NMEA0183, USB	12/24 VDC, USB portu
Comar Systems COM100 OEM	Çift kanallı	NMEA0183, USB, Ethernet	12 VDC, USB portuyla 5 VDC
dAISy 2+	Çift kanallı	NMEA0183,USB	USB, 12-36 VDC

Digital Yacht AIS100PRO	Çift kanallı	NMEA, USB	Bilgisayar enerjisi
Furuno FA-3D	A ve B sınıfı çift kanallı	NMEA0183, Ethernet	12-24 VDC
Garmin AIS 300	A ve B sınıfı çift kanallı	NMEA2000, NMEA0183	12-24 VDC
Quark-Elec QK-A022	Çift kanallı	NMEA0183, USB	USB portu
Raymarine AIS350	Çift kanallı	NMEA, USB 2,0	9,6-31,2 VDC
SI-TEX Metadata MDA-2	Çift kanallı	NMEA0183, NMEA2000, USB	Şebeke ve USB
Smart Radio SR162	A ve B sınıfı çift kanallı	NMEA0183, IEC 61161-1	9-15 VDC
True Heading RX CARBON+	Çift kanallı	NMEA0183, USB	12 VDC, USB
Weatherdock raspAIS	A ve B sınıfı çift kanallı	WiFi, HDMI, USB	USB
SAAB R5 Supreme	A ve B sınıfı çift kanallı	Ethernet, RS-422, USB	12-24 VDC
Konsberg AIS 300	A ve B sınıfı çok kanallı	NMEA, Ethernet, Seri	12-24 VDC

LiDAR (Light Detection and Ranging) teknolojisi, objeye bir lazer ışını göndererek ışığın vericiye geri dönme süresini ölçer ve aradaki mesafeyi belirler (URL-6). Bu teknolojiyi kullanan çeşitli ünitelerin karşılaştırılması Tablo 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.10. LiDAR ünitelerinin karşılaştırılması (Thombre vd., 2022)

Üretici	Model	Lazer kanal ları	Tarama frekansı (FPS)	Menzil (m) (% yansıtıcılık)	HFOV	VFOV	Veri hızı (pts/s)	Dikey çözünürlük (°)	Yatay çözünürlük (°)	Dalg a boyu (nm)	Işın sapması	Maliyet
Velodyne	HDL-64	64	5-20 Hz	120 m (80%)	360°	26,8°	1300k	0,4°	0,09°	905 nm	2,0 mrad	75k\$
				50 m (10%)								

	HDL-32	32	5-20 Hz	70 m	360°	40°	700 k	1,33°	0,16°			30k\$
	VLP-16	16	5-20 Hz	100 m	360°	30°	300 k	2°	0,1°-0,4°			4k\$
	VLS-128	128	-	300 m	360°	40°	2400k	0,11°	0,1°-0,4°			100k\$
Livox	Mid-40	1	-	260 m (80%)	Konik	40°	100 k	0,1°	0,1°	905 nm	0,28° V x 0,03 ° H	600\$
	Tele-15	1	-	500 m (80%)	Konik	15°	240 k	0,1°	0,1°	905 nm	0,12 V x 0,02° H	1200\$
Robosense	RS-LiDar-32	32	5-20 Hz	200 m	360°	40°	640 k	0,33°	0,09°-0,36°	905 nm		17k\$
Ouster	OS-1-128	128	10-20 Hz	120 m (80%)	360°	45°	2621k	0,01°	0,01°	850 nm	0,18°	18k\$
				40 m (10%)								10k\$
	OS-1-64	64	10-20 Hz	250m (80%)		33,2°	1311k				0,13°	12k\$
	OS-2	64	10-20 Hz	150m (10%)		11,2 5°	1311k					24k\$
Iberopoint	Lux 4L, 8L	4, 8	25 Hz	200 m (80%)	110°	3,2°	-	0,8°	0,25°	905 nm		10-20k\$
				50 m (10%)		6,4°						
Quancore	M8 Core	8	5-20 Hz	>100 m (80%)	360°	20°	420 k	2,8°	0,03°	905 nm		3800\$
	M8 Plus			>150 m (80%)	360°				0,13°			4700\$
	M8 Ultra			>200 m (80%)	360°							5600\$

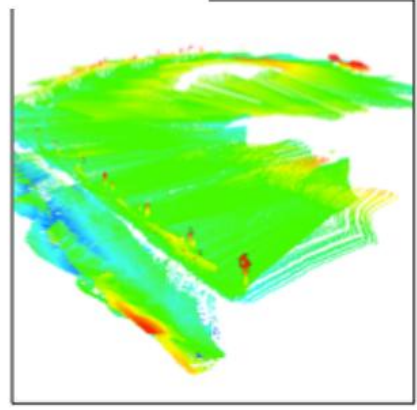
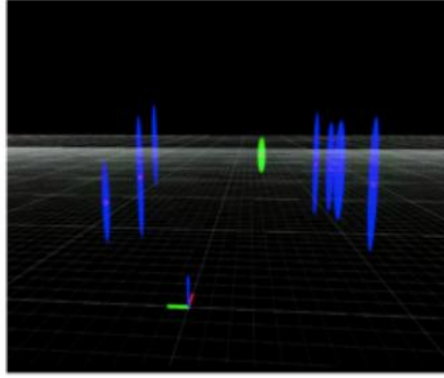
Neptec	Opal	1	25 Hz	240 m (10%)	Konik:	60°	300 k	>0,036°		1550 nm	0,6 mrad	72-77k\$
				up to 1000m	Panora mik:	360x 45°						
Innoviz	Innoviz One	1	25 Hz	250 m	120°	25°	-	0,1°	0,1°	-	-	-
	Innoviz Pro	1	5-20 Hz	150 m (50%)	120°	20°	178 k	0,45°	0,2°	905 nm		>2k\$
				130 m (10%)								
Riegl	VUX-IHA	1	250 lines/s	420 m (80%)	360°	-	100 0k	-	0,001°	-		>300 k\$
				150 m (10%)								

RADAR (Radio Detection And Ranging), hedeflere doğru elektromanyetik enerji göndererek geriye dönen yankıları gözlemleyerek çalışan bir obje tespit, takip ve tanımlama teknolojisidir (URL-7). Uluslararası sözleşmeler, 300 GT üstündeki gemilerin X-bant RADAR kullanmasını ve 3.000 GT üstündeki gemilerin de ikincil olarak bir S-bant RADAR kullanmasını zorunlu kılmıştır (Thombre vd., 2022). Bu iki çeşit RADAR ünitesinin karakteristikleri Tablo 2.11’de görülebilir. AAWA (2016) raporunda bulunan, RADAR ve LiDAR görüntüleri Şekil 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.11. Gemilerde kullanılan iki çeşit RADAR ünitesinin karakteristikleri
(Thombre vd., 2022)

	S-Bant	X-Bant
Frekans:	3 GHz (2.9-3.0 GHz)	9 GHz (8.85-9.0 & 9.2-9.5 GHz)
Işın Genişliği (-3dB):		
Yatay	1-4 derece	0.75-2.3 derece
Dikey	24.0-30.0	20.0-26.0
Tipik Tepe Gücü:	30-75 kW	5-50 kW

Darbe Tekrarlama Oranı:	400-4.000	400-4.000
Ant. Dönme Hızı:	20-60 RPM	20-60 RPM
Genel Özellikler:	Uzun menzil tespiti	Daha yüksek yönlendirilebilme (daha temiz sinyal)
	Yağış ve hava etkilerini daha iyi aşar	Yağışta daha yüksek sönümlenme
	Daha büyük anten	Daha küçük anten



Şekil 2.6. RADAR (solda) ve LiDAR (sağda) görüntüleri (AAWA ,2016)

Denizcilikte kullanıma uygun olan üç kamera tipinin (monokrom, renkli ve kızılötesi (IR)) karşılaştırılması Tablo 2.12’de gösterilmiştir. İdeal durumda renkli kameralar objeleri algılama ve kategorize etme için daha uygun olmakla birlikte ideal olmayan durumlarda monokrom kameralar daha iyi sonuç verecektir (Thombre vd., 2022).

Tablo 2.12. Denizcilik bağlamında kamera tiplerinin karşılaştırması (Thombre vd., 2022)

	Monokrom	Renkli	Kızılötesi (IR)
Çözünürlük	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük
Düşük Işıktaki Çalışma	Orta	Düşük	Yüksek
Objeye Sınıflandırma	Düşük/Orta	Yüksek	Orta/Yüksek
Mesafe Ölçümünde Kullanım	Orta	Orta	Düşük
Maliyet	Düşük/Orta	Düşük/Orta	Yüksek

Spesifik olarak denizcilik için tasarlanan mikrofonlar hakkında yeterli bilimsel literatür bulunmadığından ticari olarak ulaşılabilir uzun dönem dış mekan kullanımları için tasarlanan mikrofonların karşılaştırılması Tablo 2.13’te verilmiştir. Açık ki bu mikrofonların son teknoloji rüzgar siperliklerine sahip olmaları gerekir. Bu siperlikler rüzgarın etkilerini tamamen yok edemeyecek olsa da çeşitli sinyal işleme teknikleriyle rüzgarın gürültüsü izole edilebilmektedir (Thombre vd., 2022).

Tablo 2.13. Uzun dönem dış mekan kullanımına uygun mikrofon örneklerinin karşılaştırılması (Thombre vd., 2022)

	Brüel & Kjaer 4952-A	GRAS 41AC-3	Roga MR-10
Frekans Aralığı	8 Hz-20 kHz	3,15 Hz-20 kHz	20 Hz- 20kHz
Dinamik Aralık	16-130 dB	17 dB-138 dB	30 dB-130 dB
Hassasiyet	31,6 mV/Pa	50 mV/Pa	50 mV/Pa
Doğal Gürültü	16 dB	17 dB	30 dB
Sıcaklık Aralığı	-30 - +60° C	-30 - +70° C	-10 - +50° C
Nem Aralığı	0-100%	0-95%	-
Su Koruması	IP44	IP55	-

2.4.Otonom Gemilerin Tarihçesi

Günümüzde, 53 organizasyona ait yaklaşık 1.000 adet otonom/insansız gemi bulunmaktadır (URL-8). Güncel projelerin bir kısmının tarihçesi aşağıda, ticari alan ve askeri alan arasında ayırım yapılarak verilmiştir. 2000’li yıllardan itibaren çeşitli projeler geliştirilmiş ve otonom gemi araştırmaları alanında faaliyetler sürdürülmüş olsa da, çalışmanın bu kısmında, basitleştirmek adına yalnızca operasyonel olarak kullanılmış olan gemiler sıralanmıştır. Tarihçede ihmal edilen çeşitli proje ve organizasyonlar, 2.2. numaralı “Mevcut Çalışmalar ve Projeler” başlığında incelenebilir.

2.4.1. Ticari alan

- 2015 yılında SpaceX tarafından, Falcon iticilerini güvenli şekilde indirmek için drone gemiler kullanılmaya başlandı (URL-9).
- 2018 yılında, Rolls-Royce ve Finferries iş birliğiyle üretilen Falco isimli feribot tamamen otonom şekilde ilk yolculuğunu tamamladı (URL-10).
- 2021 yılında dünyanın ilk kentsel otonom gemileri olan Roboats adı verilen gemiler, Amsterdam kanallarında 5 kişiye kadar taşıma kapasitesi sunmak, atıkları temizlemek, eşya taşımak ve çevreyi izlemek için hizmete alındı (URL-11).
- İlk otonom kargo gemisi MV Yara Birkeland Kasım 2021’de Norveç’te suya indirildi (URL-12).
- 2021 yılında gerçekleşen IMO Deniz Güvenliği Komitesi (Maritime Safety Committee, MSC) 104. oturumunda; Çin, Jin Dou Yun 0 Hao adındaki 12,9 metrelik uzaktan kontrol ve otomatik navigasyon teknolojisi ile seyir yapan elektrikli gemileri için, Fransa ise Toulon Limanında bulunan ve Paris’teki Politeknik Okulu tarafından uzaktan kontrol edilen VN REBEL isimli 80 metrelik ticari gemileri için testlerini raporladılar (IMO, 2021).
- 2022 yılındaki MSC 105. oturumunda ise, Rusya Federasyonu bayrağı taşıyan gemilerde otonom seyir sistemleri ile yapılan 28 ticari seferin genel sonuçları hakkında rapor paylaşıldı (IMO, 2022).

- 17 Ocak 2022’de, MHI tarafından üretilen Soleil, Shin Nihonkai Ferry şirketi tarafından yürütülen ilk tam otonom deniz seyrini gerçekleştirdi. 7 saat ve 240 kilometrelik yolculuk boyunca 26 knot maksimum hıza ulaşıldı (URL-13).
- Ağustos 2022’de Mitsui O.S.K Lines tarafından işletilen MV Mikage otonom konteyner gemisi, 161 deniz mili mesafeyi 2 günde giderek limana yanaşma içeren ilk mürettebatsız seyri gerçekleştirmiş oldu (URL-14).
- 2022 yılında Mayflower gemisi, 4.400 km seyir yaparak otonom şekilde Atlantik Okyanusu’nu geçti (URL-15)

2.4.2. Askeri alan

- MÖ 4. yüzyıldan itibaren rastlanan bir yöntem olan, üzerinde ateş yakarak düşman gemisinin üzerine yollanan kundak gemisi (fire-ship) ahşap gemilerin zamanı geçene kadar etkili bir yöntem oldu (Coggeshall, 1997).
- İnsansız ve uzaktan kontrol edilen araçların askeri kullanımlarının ilk örnekleri Birinci ve İkinci Dünya Savaşı’nda gözlemlenebilir (URL-16).
- ABD Savunma Bakanlığı’na bağlı DARPA tarafından geliştirilen Sea Hunter, 2016 yılında denize indirildi (URL-17).
- Türkiye’de 2017 yılında başlayan ihalelerle Deniz Kuvvetleri Komutanlığı’na tatbikat ve eğitimlerde kullanılması için yüksek süratli insansız hedef hizmeti vermeye başlayan ASELSAN, ALBATROS-T (V-tipi karina) ve ALBATROS-K (katamaran) insansız teknelerini üretmiştir (URL-18).
- Türkiye’nin milli olarak geliştirilen ilk silahlı insansız deniz aracı ULAQ; Ares Tersanesi, Meteksan Savunma Sistemleri ve Roketsan ortaklığında geliştirildi ve 27 Mayıs 2021 tarihinde ilk atış testini gerçekleştirdi (URL-19.)
- Ağustos 2020’de L3Harris Technologies, bir askeri insansız su üstü aracı prototipi geliştirmeyi üstlendi. Bu amaçla L3Harris, Louisiana menşeli Swiftships firmasıyla 500 tonluk gemilerin inşası için anlaşma imzaladı. Bu proje bu sınıf askeri gemiler için bir ilktir (URL-20).
- 13 Nisan 2022’de ABD, Rus işgaline karşı kullanılması için Ukrayna’ya, ismi belirtilmeyen insansız kıyı savunma araçları gönderdi (URL-21).

- 29 Ekim 2022’de Ukrayna Donanması’nın, Sivastopol Deniz Üssü’ndeki Rus Donanması’na yaptığı çoklu-USV saldırısı, insansız su üstü araçlarının bir deniz savaşındaki ilk kullanımıydı (URL-22).
- Ağustos 2022-Ocak 2023 arasında, Amerikan Donanması’na ait dört prototip - Sea Hunter, Sea Hawk, Mariner ve Ranger- Pasifik Okyanusu’nda beş ay boyunca toplam 46.651 deniz mili seyir yaptılar (URL-23).
- 4 Ağustos 2023’de Olenegorsky Gornyak isimli, Ropucha Sınıfı çıkarma gemisi, 450 kg TNT taşıyan Ukrayna insansız deniz aracı tarafından ciddi şekilde hasar aldı. 1 Şubat 2024’de Tarantul-III Sınıfı Füze Korveti Ivanovets ve 14 Şubat 2024’de Ropucha Sınıfı çıkarma gemisi Tsezar Kunikov, Ukrayna’ya ait insansız deniz araçları tarafından batırıldı (URL-24).
- Aralık 2023’de Rusya, Oduvanchik isimli, 600kg patlayıcı taşıma kapasiteli, 200 km menzile ve 80 km/h hıza sahip insansız su üstü aracı ile ilk kamikaze saldırısını gerçekleştirdi (URL-25).
- 2024 yılında devam eden Rusya-Ukrayna savaşı sırasında insansız deniz araçlarıyla ilgili ortaya çıkan bazı yenilikler: Rus Donanması’nın, daha önce 1. Dünya Savaşı’nda da kullanılmış olan gemi kamuflajını, insansız araçların kameralarının geminin yönünü anlayamaması için kullanmaya başlaması ve Ukrayna’nın, Rusya’nın kullandığı bazı engelleme yöntemlerinden dolayı, yüzeyin altında seyahat eden, 5,5 metrelik ve 250.000 dolar maliyetli, üzerindeki kamera sayesinde uzaktan manevra edilebilen, 80 km/h hıza ve 60 saatlik operasyon ömrüne sahip otonom su altı araçları envantere alması (URL-26).
- 9 Ocak 2024 tarihinde TCB Marlin, Türk Deniz Kuvvetleri’nin ilk silahlı insansız deniz aracı olarak hizmete girdi (URL-27).

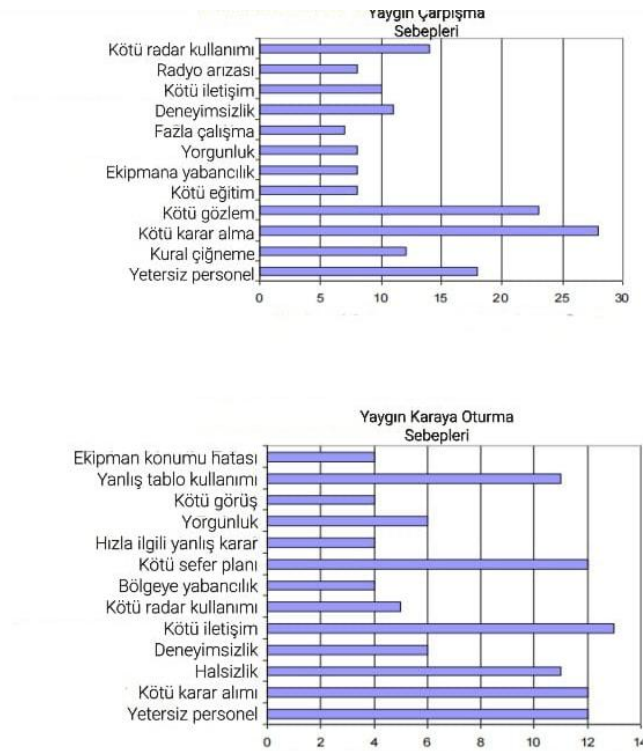
3. OTONOM GEMİLERİN AVANTAJLARI

Çalışmanın bu bölümünde, otonom gemilerin geleneksel gemilere karşı sağladığı avantajlar tartışılacaktır. Bu avantajlar; güvenlik, ekonomik faydalar, çevrecilik ve yeni ticaret yolları olarak ayrılmış ve her unsur kendi başlığında detaylı şekilde incelenmiştir.

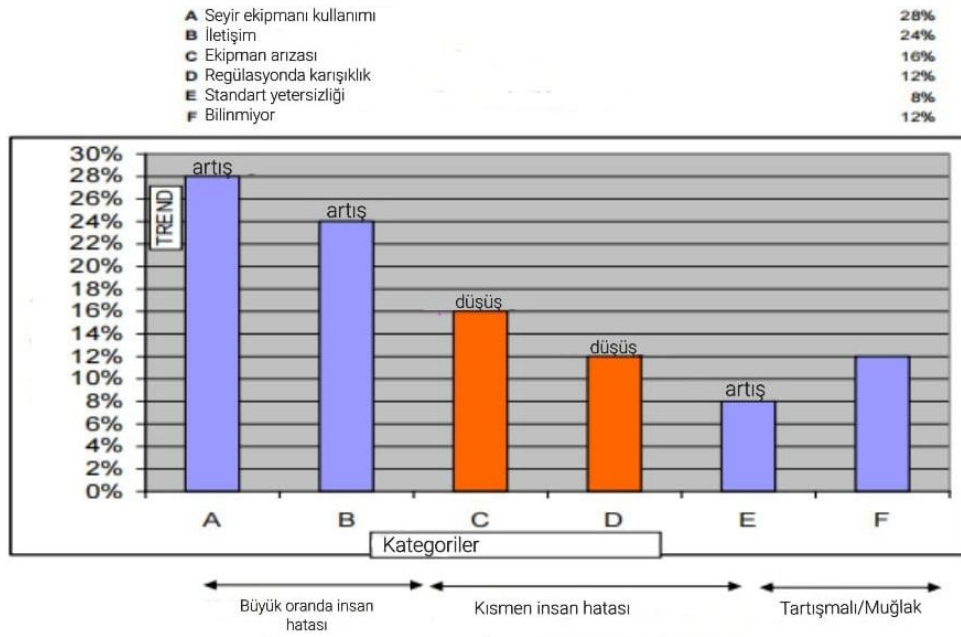
Kendine ait bir başlıkta verilmemiş fakat otonom gemilerin geleneksel gemilere karşı sağladığı önemli avantajlardan biri olma ihtimaline sahip bir unsur ise, otonom/insansız gemilerin, gemicilerin sosyal hayatına olumlu etki yapacağı argümanıdır. Kretschmann vd. (2017) tarafından belirtildiği üzere, otonom gemiler önemli operasyonel fonksiyonların yükünü mürettebattan otomasyona geçirdiğinden, gemi adamları için kıyı temelli, aile dostu denetleme işleri yaratarak sosyal sürdürülebilirlik sağlar. Bu konuda Bertram'ın (2013) aktardığı bir denizci yorumu da dikkate değerdir: “Bir Mercedes’e binmek, her akşam karın ve ailenle olmak ... o kadar da kötü değil.” Bu konu ilgi çekici olsa da kıyı işlerinin denizdekilere kıyasla daha sürdürülebilir bir sosyal hayat yarattığı argümanı tartışmaya açık gibi gözüküp daha detaylı araştırmalar gerektirmektedir. Buna ek olarak, Acemoglu ve Restrepo (2019) tarafından gösterildiği üzere, otonom teknolojilerin yok ettiği işlerin yanında yeni iş alanları yaratıyor olması bir realite olmakla birlikte, işsizliğin artmaması adına aradaki dengenin sağlanması için ciddi reformlar gerekmektedir.

3.1.Güvenlik

Vos vd. (2021) tarafından belirtildiği üzere, denizdeki kazaların önemli bir kısmının insan hatasından kaynaklandığı, yaygın olarak benimsenen bir görüş olup, bu bağlamda verilen oranlar %60-%90 aralığında değişmektedir. R. Ziarati ve M. Ziarati (2007) tarafından, kaza raporlarının incelenmesiyle yapılan bir çalışmada da tüm kazaların %80-%85 aralığında bir oranının ya direkt olarak insan hatasına ya da tehlike durumuna insanın uygunsuz davranışına bağlı olduğunu göstermektedir. Bahsedilen çalışma içerisinde verilmiş olan ve Şekil 3.1’de gösterilen grafikler, yaygın çarpışma ve karaya oturma sebeplerini incelemektedir. Allianz (2018) tarafından yapılan bir araştırma da yukarıda belirtilen savları destekler nitelikte olup, denizcilikle ilgili kazaların %75-%96 aralığında yorgunluk, yanlış karar alma, ihmal ve yetersiz eğitim gibi insan hatalarından kaynaklandığını ortaya koymuş ve insan hatalarının 2018 yılında 2.712 ölüme ve 2011-2016 arasında toplam 1,6 milyar dolar kayba yol açtığını belirtmiştir. Kazaların ana sebepleri üzerine, Ziarati (2006) tarafından yapılan ve Şekil 3.2’de gösterilen analizde de kazaların %80 oranında, büyük oranda veya kısmen insan hatasına bağlı gerçekleştiği görülebilir.



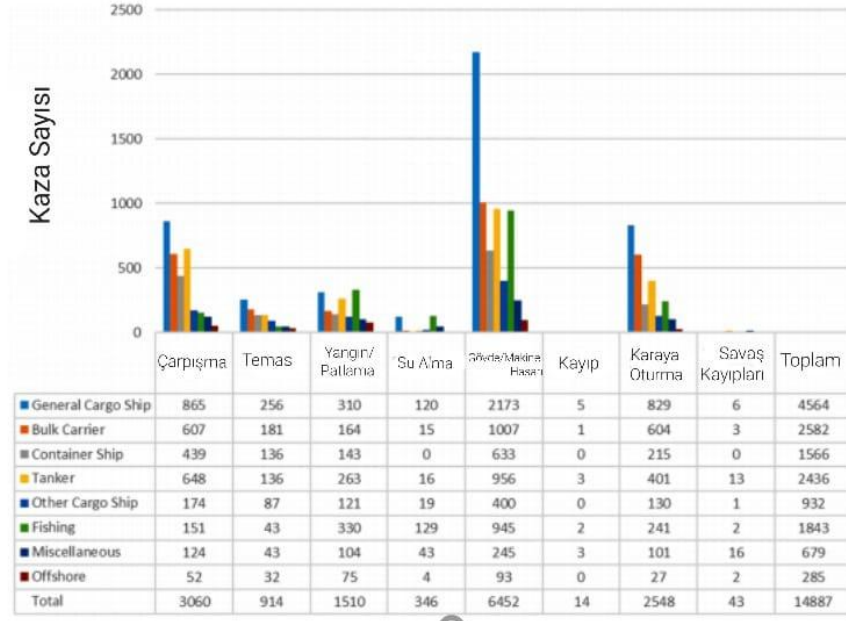
Şekil 3.1. Yaygın çarpışma ve karaya oturma sebepleri (R. Ziarati ve M. Ziarati, 2007)



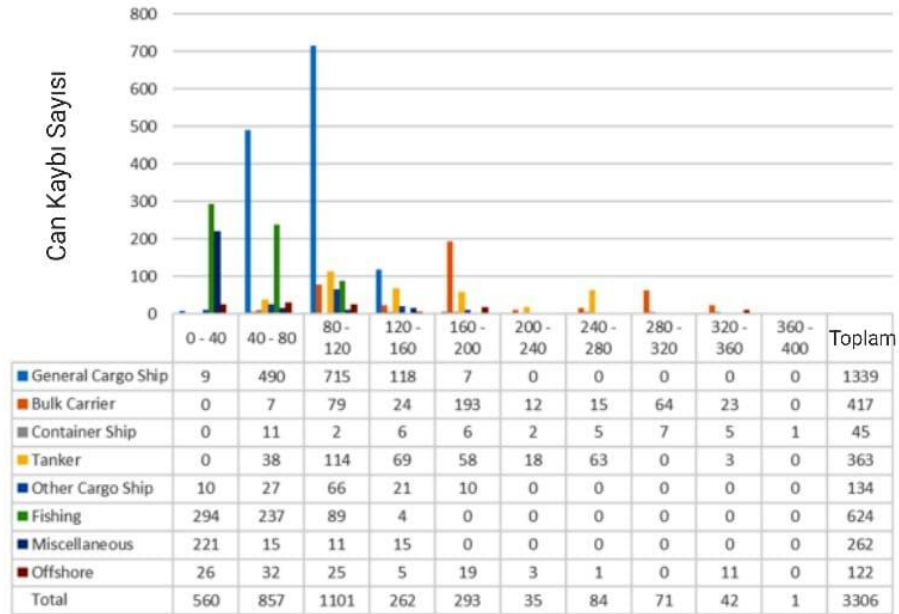
Şekil 3.2. Kazaların ana sebepleri ve insan hatası (Ziarati, 2006)

Yalman vd. (2023) tarafından da belirtildiği üzere, otonom gemilerin sürekli olarak çevresel koşulları izlemesi, anlık kararlar alıp risklere geleneksel gemilere göre daha hızlı ve etkili şekilde yanıt verebilmesini sağlayarak güvenliğini arttırmaktadır. Otonom gemilerin güvenliğe olumlu etkisinin olmayacağı yönündeki ana argüman, gemideki operatörün kendisine gösterilen bilgiyi kendi gözlemiyle karşılaştırıp gemiyle ilgili hissini kullanarak fiziksel olarak müdahale etme yeteneğine sahip olduğudur. Fakat insan hatası sebebiyle meydana gelen deniz kazalarının doğası ve sıklığı göz önüne alındığında, gözlemcinin durumsal farkındalığının eksik olmadığını varsaymak yanlış olur (Wright, 2020).

Vos vd. (2021) tarafından yapılmış bir çalışmada, gemi tiplerine göre karışılan kaza sayısı, çeşitleri ve can kayıpları belirlenmiştir. Şekil 3.3'te gemi tiplerine göre kaza çeşitleri ve sayıları, Şekil 3.4'te ise can kaybı sayıları görülebilir. İncelenen filonun %23'ünü oluşturan küçük kargo gemilerinin (< 120 m) insansız hale gelmesi can kayıplarını %47,4 düşürecektir ve bu da yıllık can kaybı sayısında 83 kişi azalmaya sebep olacaktır. Tüm kargo gemilerinin insansız hale geldiği durumda ise can kaybı oranı daha da düşecek ve toplamda %69,5 azalma sağlanacaktır. Bu değer yıllık can kaybı sayısında 121 kişilik azalma anlamına gelmektedir.



Şekil 3.3. Gemi tiplerine göre kaza sayıları ve çeşitleri (Vos vd., 2021)



Şekil 3.4. Gemi tiplerine göre can kaybı sayıları (Vos vd., 2021)

Otonom gemilerin geleneksel gemilere karşı sağladığı güvenlik avantajlarından biri de korsan faaliyetlerine karşı korunma bağlamında ortaya çıkmaktadır. Otonom gemilerde, gemiye insan ulaşımının önemsiz hale gelmesiyle gemiler korsan faaliyetlerine izin vermeyecek şekilde dizayn edilebilir hale gelecek ve bununla

birlikte olası bir korsan istilas  durumunda gemi uzaktan kontrol ile durdurulabilecek ve gerekli otoritelere haber verilebilecektir. Aynı zamanda gemide rehin alınıp fidye istenebilecek bir mürettebatın olmayı  da gemileri korsanlar için daha az ilgi çekici hale getirecektir (Levander, 2017).

Yukarıda bahsedilen avantajların yanında, otonom gemilerin yaratacağı çeşitli güvenlik zafiyetlerine değinen araştırmalar da mevcut olup, otonom gemi teknolojilerinin gelişiminde bu noktaların da dikkate alınması önem arz etmektedir. Çeşitli çalışmalarda gösterildiği üzere, yüksek derecede otonom sistemler çeşitli faydalar sağlamakla birlikte yeni hata ihtimalleri doğurmakta ve seyir için ek güvenlik sorunları yaratmaktadır (Kim vd., 2022). Munim (2019) tarafından da otonom teknolojilerin; ölüm sayısını, çarpışma riskini ve korsan faaliyetlerine hassasiyeti azaltmasının yanında yangın ve yapısal çökme durumunda geminin kayıp ihtimalini ve siber saldırı riskini arttırdığı söylenmiştir. Kim vd. (2022) tarafından yapılan çalışma, gemilerde ortaya çıkabilecek güvenlik sorunlarını, otonom teknolojileri dikkate alarak kategorize etmiştir. Sonuçlar Tablo 3.1’de görülebilir.

Tablo 3.1. Gemilerde ortaya çıkabilecek güvenlik sorunlarının sınıflandırması (Kim vd., 2022)

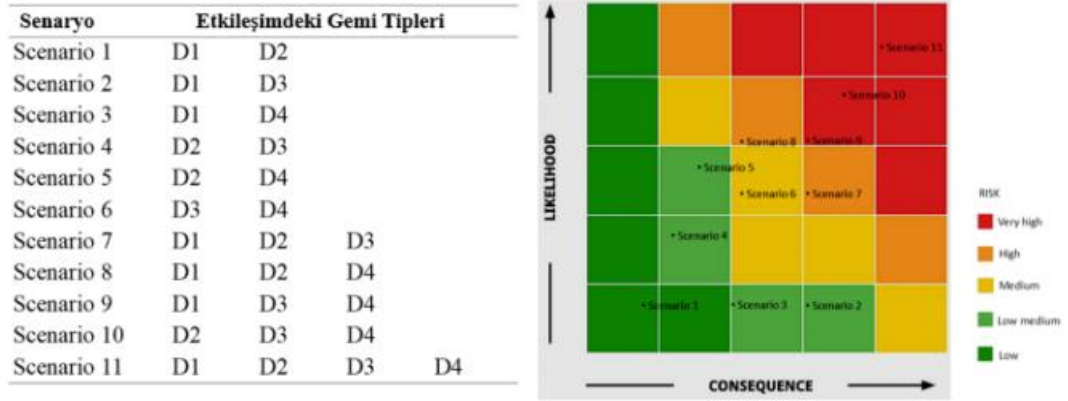
Kategori	Güvenlik Sorunu
Navigasyon Güvenliği	�arpma
	Karaya oturma
	Hatalı navigasyon verisi
	Görselleştirme ve obje tanımlama hatası
	COLREG yorumlama hatası
	Yaklaşan geminin öngörülemez davranışı
Gemi Sistemi Güvenliği	Otonom Navigasyon Sistemi arızası
	Navigasyon sistemi ve sensör arızası
	İletişim sistemi arızası
	Elektrik sistemi arızası

Gemi Yapısal Güvenliği	Gövde hasarı
	Gemi stabilitesi
Personel Güvenliği	Operasyonel güvenlik ihlali
	Durumsal farkındalık kaybı
	Yorgunluk
	İletişimsizlik
	İş kazaları
	Denize düşme
	Sağlık sorunları
Ekipman Güvenliği	Otomasyona aşırı güven ve rehabet
	Makine ve sevk sistemi arızası
	IT yapısı arızası
Güvenlik	Diğer ekipman arızaları
	Korsan faaliyeti
	Siber saldırılar
	Yasa dışı giriş
Kargo Güvenliği	Kargo kaybı
	Kargo güvenli saklama arızası
Acil Durum Yönetimi	Yangın söndürme
	Kimyasal ve biyolojik sorunlar
	Acil durum tahliyesi

Otonom gemilerin yaratacağı güvenlik zafiyetlerinden biri de diğer gemilerle karşılaşmaları durumunda ortaya çıkmaktadır. Günümüzde 61.000 insanlı gemi dünya ticaretinin %80'ini okyanuslarda taşımaktadır ve gelecekte farklı derecelerde otonom gemilerin insanlı gemilerle aynı bölgede birlikte seyir yapacağı öngörülebilir (Kim vd., 2022). Tablo 3.2'de gösterildiği üzere, otonom gemilerin birbiriyle karşılaşması ile ilgili toplam 11 senaryo bulunur. Aynı tip gemilerin karşılaşması

durumunda niyetleri daha iyi iletilebilir ve anlaşılabilir olduğundan bu durum çalışmaya dahil edilmemiştir (Kim vd., 2022). Tabloda görülen; D1, D2, D3 ve D4 ifadeleri, 2.1. numaralı “Otonom Gemi Nedir?” başlığında da belirtilmiş olan, IMO tarafından tanımlanan farklı otonomi seviyeleridir. Tablodan görüleceği üzere en riskli durum dört tip farklı otonomi seviyesine sahip geminin etkileşime girmesidir.

Tablo 3.2. Karmaşık seyir senaryosunun risk matrisi (Kim vd., 2022)



3.2.Ekonomik Faydalar

Günümüzün serbest piyasa ekonomisinde, bir inovasyonun piyasada yer edinmesi için sahip olması gereken en önemli unsurlardan biri ekonomik avantaj sağlamasıdır. Bu bölümde otonom gemilerin çeşitli sebeplerle geleneksel gemilere karşı sağladığı ekonomik avantajlar incelenmiştir. Bu bölümde bahsedilen çalışmalar çeşitli oranlarda varsayım ve tahminlere dayanmakta olup Poznańska ve Montewka (2021) tarafından da belirtildiği gibi, gerçek rakamlar yalnızca düzenli operasyonlar sonucu ekonomik verilerin yayınlanmasıyla belirlenebilir.

Otonom gemilerde insan müdahalesine gereksinimin azalması, işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltır. Mürettebatın ihtiyaçlarının ortadan kalkmasıyla, hem masraflar hem de enerji verimliliğine bağlı olarak yakıt tüketimi azaltılabilir. Böylece daha ekonomik ve daha verimli bir taşımacılık olanaklı olur (Yalman vd., 2023). Munim (2019) tarafından yapılan çalışma da bu savı destekler. Çalışmada, teknolojik gereksinimler sebebiyle yeni inşa maliyetlerinin aynı boydaki bir gemiden üç kat fazla olabileceği, fakat mürettebat maaşının ortadan kalkması, yakıt tüketiminin azalması ve enerji kazanımları gibi faktörlerin navlun oranında %3,4'lük bir azalmaya yol açacağı belirtilmiştir. 30 yıllık bir servis süresi kabul edilirse, senelik 1 milyon dolar operasyonel kazancın muhtemel olduğu ifade edilmiştir. Msakni vd. (2020) ise tam otonom geminin inşa maliyetinin yalnızca %5 artacağını ve toplam operasyon maliyetinde %9-13 arası bir düşüş yaşanacağını belirtir. Sermaye maliyetinin otonom gemiler için %10 artacağını söyleyen ve MUNIN konseptine uygun bir otonom gemi üzerinde Kretschmann vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, otonom gemilerin geleneksel gemilere göre arttırdığı ve azalttığı masraflar üç kategoride gösterilmiştir. Bahsedilen çalışmanın sonuçları Tablo 3.3'te verilmiştir. Poznańska ve Montewka (2021) tarafından, 2014-2020 yılları arasında yazılmış 19 doküman üzerinde yapılan, otonom gemilerin ekonomik bağlamda geleneksel gemilere karşı avantajlarını içeren literatür taramasında, Kretschmann vd. (2017) tarafından yapılan detaylı bir ekonomik analizin özeti de bulunur. Bu analiz Tablo 3.4'te verilmiştir. Bahsedilen analizde, MUNIN tarafından önerilen ve 90 gemiye aynı anda hizmet veren bir kontrol merkezinin maliyeti ile ilgili bilgi verilmiş olması önemlidir. Bunun yanında, üst yapı (superstructure) yokluğunun hava sürtünmesine etkisi ve yaşam mahalinin çıkartılmasının lightship ağırlığını düşürmesi sebebiyle oluşan yakıt tasarrufu da incelenmiştir.

Tablo 3.3. Otonom gemilerin geleneksel gemiye göre masraf analizi (Kretschmann vd., 2017)

Operasyon Masrafları	Sefer Masrafları	Sermaye Masrafları
Mürettebat maaşları (-)	Hava direnci (-)	Köprü üstü (-)
Mürettebata bağlı masraflar (-)	Lightship ağırlığı (-)	Yaşam mahali (-)
Kıyı kontrol merkezi (+)	Yaşam mahali (-)	Ek teknik sistemler (+)
Bakım ekipleri (+)	Liman ekibi (+)	Otonom gemi teknolojisi (+)

Tablo 3.4. Otonom geminin geleneksel gemiye göre maliyet analizi (Poznańska ve Montewka, 2021; Kretschmann vd., 2017)

Maliyet Tipi	İçerik	Gemi Başına Yıllık Tasarruf/Ek Masraf
Operasyon Maliyetleri		
Mürettebat maliyeti	Maaş ve ilişkili maliyetler	-945.000 USD
Genel depoların maliyeti	Tıbbi malzeme, kamaralar, güvenlik ekipmanları, yedek parça ve bakım-onarım malzemeleri, filikalar	-67.000 USD
	Toplam personel masrafı	+116.000 USD
Kıyı kontrol merkezi	Yatırım maliyeti (2,1 milyon USD), Operasyon maliyeti (90 gemi için gemi başına yıllık 875.000 USD)	+33.055 USD
Limanlarda bakım ekibi	Sevk sistemi, yardımcı makineler, tedarik sistemleri, elektrik ve otonom sistemlerin bakımı	+135.000 USD
Sefer Maliyetleri		
Yakıt maliyeti	Yakıt sarfıyatı	-(6-15%)
	Hava direnci	-1%
Yakıt sarfıyatı	Lightship ağırlığı	-2,60%
	Yaşam mahalinin çıkartılması	-33%
Limanda yükleme ekibi	Liman ücretleri	+20% (uğrama başına yaklaşık 20.000 USD)

Sermaye Maliyeti

		-5% (yaşam mahali)
Köprü üstü ve yaşam mahali	Yaşam mahali, yaşam destek sistemleri ve köprü üstünün çıkartılması	-(yaklaşık 1-10%) (köprü üstü)
Otonom gemi teknolojisi ve ek teknik sistemler	Otonom gemi için gerekli teknoloji ve sistemler	+10%

Otonom gemilerin insansız olmaları ekonomik anlamda önemli bir avantaj sağlıyor gibi görünmektedir. Danimarka Teknik Üniversitesi tarafından yürütülen araştırmaya göre, mürettebatın her birinin maliyeti yıllık 150.000 dolardır (Blanke vd., 2017). Mürettebattaki azalma, küçük bir konteyner gemisi için sermaye maliyetini %5 azaltır. Yaşam mahaline olan ihtiyacın ortadan kalkması sayesinde %20 daha çok konteyner taşınabilir ve üst yapının kaldırılması daha düşük liman ve seyir ücretlerine yol açabilir (Poznańska ve Montewka, 2021). Bu argüman, insansız gemiler yaşam mahali ve buna bağlı sistemlere gereksinim duymayacağından, dizaynın basitleşeceğini, kargo taşıma kapasitesinin artacağını ve inşa maliyetinin azalacağını belirten Vos vd. (2021) tarafından da desteklenmektedir. Eriksen (2022) ise personelle donatmanın toplam maliyetin %3'ü ile %11'i arasında olduğu saptamıştır. Maaşlar, sermaye masrafları ve dizaynın basitleşmesinin yanı sıra, insansızlaşmanın sevk verimine etkileri de bulunmaktadır. Poznańska ve Montewka (2021) tarafından belirtildiği üzere, üst yapının kaldırılmasıyla sevk gücü gereksinimi %1 azaltılır ve lightship ağırlığındaki düşüş yakıt tüketimine olumlu yansır. Fakat, aynı çalışmada insansızlığın dezavantajları olarak, yanaşma manevralarının geleneksel gemilere göre %20 daha yüksek olduğu ve kıyıda kurulacak bir kontrol merkezinin gemi başına yıllık 33.000 dolar maliyet yarattığı da belirtilmiştir. Mürettebat sayısındaki azalmanın avantajlarından bir diğeri ise sektörün 2025 yılına kadar 147.000 ek zabite ihtiyaç duyacağını ve gelecek yıllarda personel kıtlığı yaşanacağını beklendiğini belirten Vos vd., (2021) tarafından sunulan, azaltılmış bir mürettebatla seyir yapılabilmesinin beklenen kıtlığı kompanse edebileceği argümanıdır.

Otonom liner taşımacılık ağı tasarımı (Liner Shipping Network Design-Autonomous, LSND-A) üzerinde Akbar vd. (2020) tarafından yapılan ve bulgusal analizde daha

geniş bir sınama ortamı elde etmek için, normal ve yüksek talep için; 22, 32 ve 42 limanın kullanıldığı ve talebin şirket tarafından sağlanan orijinal veri setine uygun oluşturulduğu senaryoların incelendiği çalışmada, yarı otonom ve tam otonom filoların yaratacağı tasarruflar belirlenmiştir. Norveç'in lokal limanları arasında taşımacılık yapan yavru gemiler (daughter ship) ve uluslararası sularda hizmet verip yavru gemilere yükleme-boşaltma yapan ana gemiler (mother ship) şeklinde yürütülen bir operasyon üzerinde yapılan bu çalışma sonucunda, otonom yavru gemileri kullanmanın operasyon maliyetlerini ortalama %11 düşürdüğü gözlemlenmiş olup gelişmiş yavru gemi rotaları kullanan tam otonom bir filonun, geleneksel rotaları kullanan geleneksel bir filoya göre %20 daha tasarruflu olduğu saptanmıştır. Bunun yanında, tam otonom filonun toplam operasyon maliyetinin yarı otonom filoya göre %11,1-%14,8 aralığında ve tam geleneksel filoya göre ise %16,5-%22,9 aralığında daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. En önemli unsur zamana göre navlun maliyeti olup, otonom ana gemi için bu kalemdeki düşüş, toplam maliyet düşüşünün %94'ünü oluşturmaktadır. Bu sonuçlar ışığında, hem otonom ana gemi hem de otonom yavru gemilerin toplam operasyon maliyetini önemli şekilde düşürme potansiyeli olduğu belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan ana ve yavru gemilerin karakteristikleri sırasıyla Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da gözlemlenebilir.

Tablo 3.5. Geleneksel ve otonom ana gemiler (Akbar vd., 2020)

Geleneksel ana gemiler	I	II	III	IV	V
Kapasite (TEU)	1000	1350	2000	2550	3500
Yakıt Sarfıyatı (ton/saat)	0,61	0,69	0,75	0,80	0,85
Haftalık zamanlı kiralama maliyeti (kUSD)	53,0	54,0	56,0	58,0	64,0
Otonom ana gemiler	I	II	III	IV	V
Kapasite (TEU)	1000	1350	2000	2550	3500
Yakıt Sarfıyatı (ton/saat)	0,55	0,62	0,68	0,72	0,77
Haftalık zamanlı kiralama maliyeti (kUSD)	32,5	33,5	35,6	37,7	44,0

Tablo 3.6. Geleneksel ve otonom yavru gemiler (Akbar vd., 2020)

Geleneksel yavru gemiler	S	M	L
Kapasite (TEU)	86	158	190
Yakıt Sarfiyatı (ton/saat)	0,101	0,114	0,123
Haftalık zamanlı kiralama maliyeti (kUSD)	25,0	30,0	35,0
Otonom yavru gemiler	S	M	L
Kapasite (TEU)	86	158	190
Yakıt Sarfiyatı (ton/saat)	0,085	0,097	0,107
Haftalık zamanlı kiralama maliyeti (kUSD)	9,7	15,0	20,2

Otonom operasyonla ilgili yapılan bir diğer detaylı çalışma da Kretschmann vd. (2017) tarafından yapılan ve üç ayrı senaryonun incelendiği araştırmadır. Bu çalışmanın Poznańska ve Montewka (2021) tarafından hazırlanan özeti Tablo 3.7’de görülebilir. İlk iki senaryoda otonom geminin avantajlı olduğu görülmüş fakat üçüncü senaryo önemli bir limiti işaret etmiştir. Otonom geminin MDO (Marine Diesel Oil), geleneksel geminin HFO (Heavy Fuel Oil) yaktığı senaryoda, geleneksel gemi oldukça daha karlı durumdadır. Eğer otonom geminin MDO kullanması zorunluysa, yeni çevreci yasalar sebebiyle HFO ve MDO arasındaki fiyat farkı azalana kadar, otonom gemi finansal olarak uygulanabilir olmaz (Kretschmann vd., 2017). Bu önemli bir bulgu olsa da YARA Birkeland gibi elektrikli otonom gemiler bu sorunu ortadan kaldırmaktadır.

Tablo 3.7. Üç otonom gemi senaryosunun maliyet-fayda analizi (Kretschmann vd., 2017; Poznańska ve Montewka, 2021)

Senaryo	Tanım	Analizin Özeti
Senaryo A	Azaltılmış mürettebat	Geleneksel referans gemisine göre 0,5 milyon USD daha düşük Expected Present Value (EPV)
Senaryo B	Azaltılmış mürettebat ve azaltılmış yakıt sarfiyatı	Geleneksel referans gemisine göre 4,3 milyon USD daha düşük EPV
Senaryo C	Azaltılmış mürettebat, azaltılmış yakıt sarfiyatı ve yüksek kalite yakıt	Geleneksel referans gemisine göre 19,2 milyon USD daha yüksek EPV

Poznańska ve Montewka (2021) tarafından belirtildiği üzere, güvenli yolculuk için otonom gemi üzerinde bulunması gereken sensör sayısı için DNV-GL'nin önerisi 15.000 ile 20.000 arasında olup, ortalama sensör maliyeti 0,38 dolardır. İletişim maliyetindeki artış ise belirsizliğini korumaktadır fakat %10 civarında değişen bir artıştan bahsedilebilir. Konuyla ilgili çeşitli varsayımlar olmakla birlikte, otonom gemiler için gerekli teknolojilerin, maliyete gerçek etkileri ancak düzenli operasyonlar sonrasında netlik kazanacaktır.

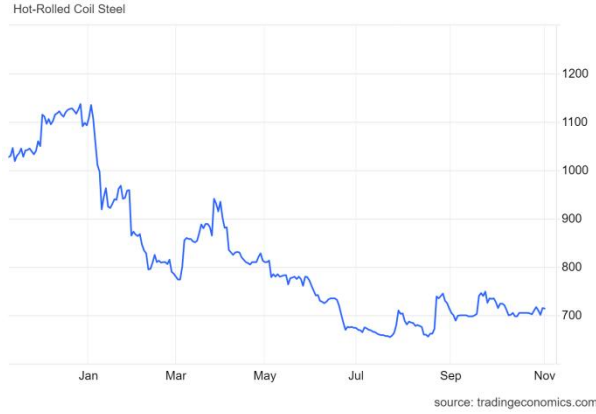
YARA Birkeland, Asko projesi, AUTOSHIP projesi gibi mevcut otonom/insansız gemi projeleri küçük gemi segmentine odaklanmaktadır. Bunun birden çok sebebi olması muhtemeldir: Giriş ücreti düşüktür, projeler daha yönetilebilirdir, gemilerin operasyonu limitlidir ve personel alımı maliyetinin oranı büyük gemilere göre yüksektir (Eriksen, 2022). Otonominin küçük gemilerle sınırlı kalacağı görüşü, büyük konteyner gemilerinin yakın zamanda otonom hale gelmesini beklemediğini aktaran Maersk CEO'su Søren Skou tarafından da desteklenmektedir (Vos vd., 2021).

Bir ticari gemi için ön dizayn aşamasında yapılan örnek bir inşa maliyeti analizi incelendiğinde, otonom gemi konseptinde uygulanacak azalma ve artışlar görülebilir. İnşa maliyeti analizi, ağırlık hesabında olduğu gibi tekne, donatım, makina gibi grupların ayrı ayrı ele alınmasıyla ve her bir grubun işçilik ve malzeme maliyetlerinin ayrı ayrı incelenmesiyle yapılır. Tüm levha, profil ve kaynak malzemelerinin dahil olduğu, çelik tekne ağırlığı kullanılarak yapılan çelik maliyet analizi formülü aşağıda verilmiştir.

$$M_{SM} = BCF \times W_s$$

Formül 1

Burada BCF (\$/ton) çelik malzemenin ton başına ortalama fiyatı olup, sıcak haddeli çelik için güncel fiyat 714 \$/ton'dur. Fiyat hareketi Şekil 3.5'te görülebilir. Hesaplanan çelik ağırlığı üzerinden Papanikolaou tarafından genel kargo gemileri inşası için önerilen %11 fire oranının da hesaba katılması gerekir. Buradaki inşa maliyeti için, otonom gemilerde üstyapıya olan ihtiyacın ortadan kalkmasıyla oluşacak çelik ağırlığındaki düşüş önemli bir kazanımdır.



Şekil 3.5. Sıcak haddeli çelik fiyat grafiği

Tekne inşa işçilik maliyeti için aşağıda verilen formül kullanılabilir. BIF (\$/saat) saat başı ortalama işçilik fiyatı, 2 \$/saat civarında alınabilir. Tekne inşaatı için gerekli toplam adam-saat sayısı (MH) için Benford tarafından önerilen aşağıdaki formül kullanıldığında tersanenin çalışma verimi katsayısı olan C için tipik değer olarak önerilen 90.000 kabul edilebilir. Otonom gemilerde üstyapının ortadan kalkması çelik ağırlığını azalttığından Benford'un formülüne göre toplam adam-saat sayısında azalma olur. Fakat bu noktada otonom gemilerin inşasına özel isterlerin gerekli adam-saat sayısında yaratacağı artış dikkate alınmalıdır.

$$M_{SL} = BIF \times MH$$

Formül 2

$$MH = C \left(\frac{W_s}{1000} \right)^{0.85}$$

Formül 3 (Benford)

Ön dizayn aşamasında yaklaşık olarak hesaplanan olan makine gücü temel alınarak, BMF değeri önerildiği üzere 250\$/hp alınıp aşağıdaki formülden yapılan hesap sonucunda makine maliyeti kestirimi yapılabilir. Bu noktada otonom gemilerdeki verim artışı sebebiyle aynı boyuttaki bir geleneksel gemiye göre daha az güç gereksinimi olduğu söylenebilir ve bu durum makine maliyetine de olumlu yansıyacaktır.

$$M_M = B_{MF} \times BHP$$

Formül 4

Makinenin montajı için gerekli olan işçilik maliyeti için aşağıdaki formül kullanılabilir. Makine ağırlığı otonom ile geleneksel gemi arasında değişmediğinden bu kalemde bir etki görünmeyecek olsa da geleneksel gemilerden farklı sevk sistemine yönelen otonom gemi konseptlerinde bu değerde artış gözlenecektir.

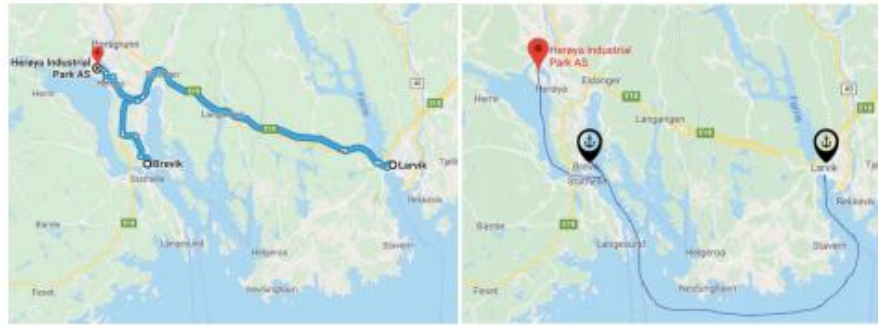
$$M_{MM} = 270 \times W_M \quad \$$$

Formül 5

Geleneksel gemilerde yardımcı makinaların maliyeti yaklaşık olarak ana makina maliyetinin %75'i kabul edilebilir. Elektrik, navigasyon ve kumanda sistemlerinin maliyeti için ana makine maliyetinin %25'i kullanılır. Fakat otonom gemilerde her iki değerde de sistem gereksinimleri sebebiyle artış gözlenecektir.

3.3.Çevrecilik

Avrupa Komisyonu raporuna göre, dünya çapında 3 milyar insanın kıyı şeridinin 200 km içine kadar olan bölgede yaşamasına rağmen, şehirler arası lojistik hatları büyük ölçüde kara yolu nakliyesine dayanmaktadır ve Avrupa'daki nakliye sektörünün sera gazı emisyonunun %72,8'i kara yolu sebebiyle oluşmaktadır. Bu sebeple, yükü kara yollarından, otonom gemilerin oldukça verimli olduğu kısa deniz taşımacılığına (short sea shipping, SSS) kaydırarak, hem nakliye endüstrisinin çevreciliği hem de kara yolu güvenliği artırılabilir (Munim, 2019). Bu girişim için önerilen nakliye modeli değişimi Şekil 3.5'te verilmiştir. Şekilde, solda kara yolu nakliye rotası ve sağda alternatif olarak önerilen ve otonom gemilerin kullanımına uygun olan bir kısa SSS rotası gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Nakliye modeli değişimi (Munim, 2019)

Rota alternatifleri yaratmalarına ek olarak otonom gemilerin, mevcut deniz nakliye hatlarında geleneksel gemilerin yerini almalarının da çevrecilik bağlamında çeşitli yararları olduğunu gösteren araştırmalar bulunmaktadır. Blanke vd. (2017) tarafından belirtildiği üzere, mürettebatın çıkartılması ile gemiler, insanlar için gerekli olan; tuvalet, mutfak, yaşam mahali, boru hatları, elektrik hatları gibi ağırlık grupları olmadan inşa edilebilecek ve böylece daha hafif olacağından yakıt tüketimi ve doğaya etkisi azalacaktır. Kretschmann vd. (2017) tarafından yapılan çalışma da bu savı doğrular nitelikte olup, yaşam mahali gibi sistemlerin ortadan kalkması gibi yakıt tüketimini düşüren inovasyonların ekolojik sürdürülebilirlik sağladığını belirtmiştir.

Yakıt tüketimini düşürmenin yanında, otonom gemiler, mürettebatsız oldukları için, ortadan kaldırılması gereken çöp ve insan atığına sahip olmayacaklardır. Ayrıca, mürettebatın bir kısmının veya tamamının suç ortaklığıyla meydana gelebilecek; petrol, kimyasallar ve diğer zararlı maddelerle kasıtlı kirlilik de mümkün değildir. Ancak, kaza sonucu (çarpışma, arıza, siber saldırı, virüs vb.) ya da öngörülemeyen nedenlerle (ağır hava koşulları, alabora olma, patlama vb.) meydana gelen kasıtsız kirlilik sorun olmaya devam edecektir (Komianos, 2019).

Otonom gemilerin sahip oldukları çeşitli algılama donanımları ve gelişmiş iletişim teknolojileri, okyanusun incelenmesi ve araştırılması konusunda yeni bir çerçeve sağlayacağı ve farklı otonom teknolojiler ile birlikte kullanımı büyük çaplı otonom araştırma operasyonlarını olanaklı kılacağı için, bu sistemlerin geleneksel araştırma sistemleri yerine kullanımının yaratacağı avantaj önümüzdeki yıllarda oldukça belirgin hale gelecektir (Lloyd's Register, 2015). Aynı zamanda, otonom/insansız sistemlerin, doğa olaylarını insanları tehlikeye sokmadan sürekli olarak gözlemlemesi ve bir erken uyarı sistemi olarak kullanılması da mümkündür. Lloyd's Register (2015) raporunda da belirtildiği gibi, otonom deniz sistemlerinin kurulması, kıyı şeridinde yaşayan insanları olağanüstü hava olaylarına karşı önceden uyarabilme şansı doğurur.

3.4.Yeni Ticaret Yolları

Yukarıda belirtilen, nakliye yollarını karadan kısa deniz taşımacılığına aktarabilme gibi uygulamaların yanında, otonom gemilerin, halihazırda denizlerde sürdürülen taşımacılıklarda da rota değişimi sayesinde optimizasyon sağlama şansı bulunmaktadır. Otonom gemiler, sürekli olarak ortam koşullarını analiz etmeleri sayesinde, daha verimli ve güvenli rotalarda ilerlemek amacıyla geleneksel rotaların dışına çıkabilirler. Ayrıca, insansız olmaları sayesinde, korsanlık veya tehlikeli deniz koşulları bulunan alanlarda da operasyonu daha güvenli sürdürebilirler. Bunun bir örneğini gözler önüne seren ve Munim (2019) tarafından yapılan çalışma, otonom gemilerin kullanımının Kuzey Deniz Yolu (North Sea Route: NSR) ile ilişkili riskleri azaltıp, kutup araştırmalarının insanlar için riskini minimuma indirebileceğini belirtmiştir. Bahsedilen rota Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kuzey Deniz Yolu (Munim, 2019)

4. OTONOM GEMİLERİN DEZAVANTAJLARI

Çalışmanın bu bölümünde, otonom gemilerin kullanım alanının genişlemesinin ve geleneksel gemiler yerine kullanımının önündeki engellerden bahsedilecektir. Otonom gemilerin geleneksel gemilere göre dezavantajları; Regülasyonlar, Siber Güvenlik ve Eğitim Yetersizliği başlıklarında incelenmiştir.

Bu başlıkta incelenen engellerin yanında, bahsedilmesi gereken ek dezavantajlar da bulunmaktadır. Lloyd's Register'ın (2015) raporunda belirtildiği gibi, silah taşıyan sistemler başta olmak üzere, otonomi derecelerinin ve otonom sistemlerin etikle ilgili alanları kamuoyu ve devletlerde endişeye yol açacaktır. Geleneksel gemilerde mürettebatın sefer sırasında bakım-onarım işleriyle de ilgilendiği göz önünde bulundurulduğunda, otonom gemilerde sefer sırasında bir arıza durumunun çözümünün daha zorlu olacağı da önerilebilir. Fakat Kooij ve Hekkenberg (2021) tarafından da belirtildiği gibi, daha az hareketli parçaya sahip modern sevk sistemlerinin kullanımı, bakım gereksinimini azaltmanın yanında emisyonu da azaltarak daha çevreci çözümler sunacağından otonom gemilerin gelişimi, yeşil gemi (green ship) olarak adlandırılan çevreci gemilerin gelişimi ile korelasyon içerisinde olacaktır. Aynı zamanda, Komianos (2019) tarafından bahsedilen; bazı olaylar, arızalar ve yazılım güncellemelerine müdahale için kullanılabilecek, otonom bir gemide çalışan uzaktan kumandalı bakım robotları olarak tanımlanabilen “robot içinde robot” konsepti de bu soruna sınırlı da olsa bir çözüm sunmaktadır. Bunlara ek olarak; otonom sistem operasyonları, veri yönetimi, denize indirme ve karada bakım-onarım gibi başlıkların da dezavantaj yaratma potansiyellerinin detaylı incelenmesi gerekmektedir (Lloyd's Register, 2015). Güvenlik hakkındaki ek endişelerden, 3.1 numaralı “Güvenlik” başlığında bahsedilmiştir.

4.1.Regölasyonlar

Otonom gemilerle ilgili düzenlemeler hakkındaki tartışmalar henüz gelişim aşamasındadır ve oldukça fazla soru ortaya çıkmış olmasına rağmen yalnızca birkaç cevap sağlanabilmiştir (Ringbom vd., 2021). Hukuki çerçevelerin belirlenmesi, güvenlik standartlarının ve düzenleyici mekanizmaların oluşturulması gibi problemlerin yanında, etik kapsamında ele alınması gereken sorunlar da bulunmaktadır (Yalman vd., 2023). Oslo Üniversitesi (UiO) Hukuk Fakültesi tarafından yapılan bir çalışmada, International Maritime Organization (IMO) tarafından düzenlenen, otonom veya insansız bir gemiyle ilgili herhangi bir regölasyon veya onay olmadığı gibi IMO'ya iletilen bir önerinin de bulunmadığı belirtilmiştir. Mevcut teknoloji; ticaret, güvenlik ve doğayla ilgili endişeleri yok etmeye yetecek olsa bile uygun bir düzenleyici yapının bulunmaması bu tip gemilerin kullanımını geciktirecektir (Komianos, 2019).

Noma (2016) tarafından yapılan çalışmada da gösterildiği gibi, otonom gemilere uygun bir yapı hazırlamak adına; kaptan, mürettebat ve zabıt tanımları, personelle donatma gereklilikleri ve pilot hizmetleri başta olmak üzere mevcut konvansiyonlardaki çeşitli unsurların gözden geçirilmesi gerekmektedir. Halihazırda; UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea, Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi), SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea, Denizde Can Güvenliği Uluslararası Sözleşmesi), COLREG (International Regulations for Preventing Collisions at Sea, Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü), MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Uluslararası Sözleşmesi), STCW (Standards of Training Certification and Watchkeeping, Gemi Adamlarının Belgelendirme ve Vardiya Tutma Standartları), ISPS (International Ship and Port Facility Security Code, Uluslararası Gemi ve Liman Tesisi Güvenlik Kodu) ve ISM (International Safety Management Code, Uluslararası Güvenli Yönetim Kodu) gibi uluslararası sözleşmeler, kurallar ve kodların “Otonom Gemi” kavramını bir tanım veya potansiyel bir çalışma şekli olarak içermemesinin yanında, mevcut düzenlemeler ve geleneksel olarak kullanılan ifadeler, gelecekte bu tür gemilerin operasyonel olarak konuşlandırılmasını kolaylaştırmak yerine zorlaştırmaktadır (Komianos, 2019).

4.1.1. SOLAS

Bölüm V, Kural 14: Personelle Donatma

1) *Taraf Ülke Hükümetleri; kendi ulusal gemileri söz konusu olduğu sürece, gemilerinin, denizde can güvenliğinin sağlanması bakımından, bütün gemilerin, yeterli ve ehliyetli personelle donatılmış olmasının sağlanması bakımından gerekli önlemlerin alınmasını ve idame ettirilmesini üstlenirler.*

2) *Bölüm I'in kapsamına giren her gemide; Paragraf I'in gerekliliklerinin karşılanması bakımından zorunlu görülen minimum düzeyde bir donatımın kanıtı olarak kullanılmak amacıyla, geminin tipine uygun olarak İdare tarafından hazırlanmış bir güvenli asgari donatım seviyesi dokümanı bulundurulacaktır (IMO, 2000).*

Otonom gemi Bölüm I'in dışında bırakılmamıştır, dolayısıyla "yeterli ve ehliyetli personelle donatılmış" ve "bir güvenli asgari donatım seviyesi dokümanı" ifadeleri, bir şekilde bu gerekliliklerin yerine getirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Aksi takdirde kural, mürettebatı olmayan bir geminin yeni gerçekliğini yansıtacak şekilde uyarlanmalıdır. Öte yandan, daha önce de belirtildiği gibi, otonom gemi projelerinin çoğu en az bir Uzaktan Kontrol Merkezi içermektedir (Yara Birkeland projesi üç tane kullanacaktır). Bu uzak istasyonlarda yeterli sayıda personel bulunacak, verimlilik gereksinimi ise çok çeşitli yüksek teknoloji sistemleriyle (çeşitli sensörler, bilgisayarlar, otomasyon, uzaktan kumandalı makineler vb.) karşılanabilecektir. Bu kombinasyon, geminin uzaktan kumanda ve kontrolüne yardımcı olacak ve Kural 14'ün gerekliliklerini yerine getirecektir (Komianos, 2019).

Bölüm V, Kural 16 : Ekipmanların bakım-tutumu

1) *Bu bölümde bulunması öngörülen ekipmanların performanslarının idame ettirilmesi bakımından uygulanmakta olan bakım-tutum düzenlemeleri; İdare tarafından tatminkar kabul edilen bir seviyede olmalıdır (IMO, 2000).*

Her ne kadar bazı olaylar ya da arızalar, yazılım güncellemeleri ya da "robot içinde robotların" fütüristik kullanımı (yani Otonom bir gemide uzaktan kumandalı bir bakım robotu) yoluyla uzaktan onarılabilse de, deneyimli bir insan ekibinin varlığının vazgeçilmez olacağı bazı durumlar olacaktır (Komianos, 2019).

4.1.2. ISM KODU

SOLAS Bölüm IX: Gemilerin Güvenli Yönetimi

Bölüm, gemi sahibi veya geminin sorumluluğunu üstlenen herhangi bir kişi ("Şirket") tarafından bir emniyet yönetim sisteminin kurulmasını gerektiren Uluslararası Emniyet Yönetimi (ISM) Kodunu zorunlu hale getirmektedir (URL-28).

ISM kodu ile ilgili olan bu bölümde bulunan, kaptan ve personel ile ilgili kurallar, otonom gemi konsepti bağlamında kıyı konuslu kaptanı (shore-based master) ve uzaktan yönetim operatörlerini (remote control operators) içerecek şekilde gözden geçirilmelidir (Komianos, 2019).

4.1.3. STCW

Madde III: Uygulama

Bu Sözleşme, bir Tarafın bayrağını çekme hakkına sahip deniz gemilerinde görev yapan gemi adamlarına uygulanacaktır (IMO, 1978).

STCW konvansiyonu günümüzde, otonom bir gemiyi karada bulunan bir uzaktan kumanda merkezinden veya geminin kendisi dışında ilgili herhangi bir yerden çalıştırmaktan sorumlu olan kişiler veya yola çıkmadan önce otonom rotasını önceden programlayan programcılar değil, bir gemideki personel (diğer bir deyişle denizciler, mürettebat vb.) için geçerlidir (Komianos, 2019).

4.1.4. COLREG

Kural 2: (Sorumluluk)

(a) Bu kurallardaki hükümlerden hiçbirisi, herhangi bir tekneyi veya sahibini, kaptanı veya gemi adamlarını, bu Kurallara uyma veya gemicilerin her zamanki görevlerinin veya özel durum ve koşulların gerektirdiği herhangi bir tedbirin alınması hususundaki ihmallerinin sonuçlarından kurtaramaz.

Kural 3 (Genel Tanımlar)

(a) "Tekne/Gemi " sözcüğü : Su üstünde kalkarak seyredenler ve deniz uçakları dahil, su üzerinde taşıma aracı olarak kullanılmakta olan veya kullanılmaya elverişli bulunan hertürlü deniz aracını içine alır

Kural 5: (Gözcülük)

İçinde bulunulan durum ve koşullarda, durumun ve çatışma tehlikesinin tamamen değerlendirilmesini sağlamak üzere, elde mevcut tüm uygun araçların yanı sıra her tekne her zaman tam bir görme ve işitme gözcülüğü de yapacaktır.

Kural 8 (Çatışmadan kaçınma hareketi/ Çatışmayı önleme hareketi)

(a) Olayın koşulları elverişli olduğu ve iyi gemicilik kurallarına uyularak yeterli bir süre içinde yapıldığı takdirde çatışmayı önlemek için girişilecek herhangi bir hareket olumlu olacaktır.

Kural 19 (Kısıtlı görüş koşullarında teknelerin davranışları)

(e) Çatışma tehlikesinin var olmadığına saptandığı haller hariç, kendi kemere doğrultusunun ön tarafında başka bir teknenin sis işaretini duyan veya kemere doğrultusu önünde bulunan bir tekne ile yakın düşme durumlarından kaçınamayan bir tekne hızını, rotasını koruyabileceği alt düzeye indirecektir. Böyle bir tekne çatışma tehlikesi geçinceye kadar üzerindeki bütün yolu kesecek ve her durumda çok dikkatle seyir edecektir (IMO, 1972).

Kurallardaki tanımlamanın, otonom gemiyi, bir “gemi” olarak nitelendirilmekten hariç tutmamakta oluşu önemli bir noktadır. Otonom gemide kaptan ve mürettebat bulunmayışını kurallara yansıtacak şekilde, kıyıdaki (ya da başka bir yerdeki) personele (örneğin Kontrol Merkezi vb.) olası bir “sorumluluk transferi” uygun bir çözüm olabilir. İnsanın “görme ve duyma” yetisinin yerine süper hassas mikrofonlar ve ultra yüksek analizli görüş kameraları gibi teknik araçların kullanılması mümkün olsa da, Kural 5 ve 19 bu tür araçların etkinliği konusunda tartışma konusudur. “Görme ve işitme gözcülüğü”, “sis işaretini duyan” ve “elde mevcut tüm uygun araçlar” ifadeleri, diğer tüm teknik araçların zaten dikkate alındığını ve insan duyularının (özellikle vücudun dış uyaranları algıladığı görme ve işitme yetisi), muhakeme ve deneyimli tepkinin öneminin bir çarpışmadan kaçınmak için son çare olarak gerekli görüldüğünü göstermektedir. “İyi gemicilik” kavramının ise genişletilmesi gerekmektedir (Komianos, 2019).

4.1.5. MARPOL

3.3. numaralı “Çevrecilik” başlığı altında da bahsedildiği üzere; otonom gemilerde çöp ve insan atığı bulunmayacak, mürettebatın bir kısmı veya tamamının suç ortaklığı veya ihmaliyle meydana gelen kirlilik de mümkün olmayacaktır. Fakat,

kaza veya öngörülemeyen nedenlerle oluşabilecek çeşitli kasıtsız kirlilik durumları için otonom gemilere özgü düzenlemeler gerekmektedir.

4.1.6. UNCLOS

Madde 94: (Bayrak devletinin yükümlülükleri)

4. Bu tedbirler, aşağıdaki hususları sağlamak için gerekli olanları içerecektir:

(a) Her geminin sicile kaydolmadan ve daha sonra uygun aralıklarla yetkili bir gemi sörveyörü tarafından denetlenmesi ve gemide seyrüsefer güvenliğinin gerektirdiği seyrüsefer araç ve gereçlerinin bulunması;

(b) Her geminin, özellikle manevra, seyrüsefer, haberleşme ve makinaların kullanılması konularında, istenen vasıflara sahip bir kaptana ve zabıtlere tevdi edilmiş olması; mürettebatın istenen vasıflara sahip olması ve geminin tipine, büyüklüğüne makinalarına ve donanımına göre yeter sayıda bulunmaları (Özman, 1984);

Madde 98: (Yardım sağlama görevi)

1. Her Devlet, kendi bayrağını taşıyan bir geminin kaptanından, gemi, mürettebat veya yolcular için ciddi bir tehlike olmaksızın yapabildiği ölçüde;

(a) denizde kaybolma tehlikesi içinde bulunan herhangi bir kişiye yardım etmek;

(b) ...tehlikede olan kişilerin kurtarılması için mümkün olan tüm hızla hareket etmek;

(c) bir çatışma sonrasında diğer gemiye, mürettebatına ve yolcularına yardım etmek...

Bir dizi klas kuruluşu halihazırda otonom gemiler için uygun kontroller ve yetkin sörveyörler hazırlıyor olsa da, herhangi bir standart üzerinde anlaşmaya varılmamış veya uygulamaya konulmamıştır (Komianos, 2019). Veal ve Tsimplis'in de belirttiği gibi, “insansız bir geminin, tanımı gereği, bir kaptana sahip olmasının mümkün olup olmadığı” da açık bir sorudur. Fakat, kıyıdaki kontrol merkezinde bulunan bir kıyı konuşlu kaptan (shore-based master) bu regülasyonun gereğini yerine getirebilecektir (Komianos, 2019).

Madde 98’de bahsedilen operasyonlar, denizde tehlikede olan yaşamın kurtarılmasını içerir ve bu nedenle sadece operasyon ve sigorta yükümlülükleri değil, aynı zamanda etik yükümlülükler de doğurur. Otonom bir gemi böyle bir duruma yakın olduğu

takdirde, büyük olasılıkla gerekli yardımı sağlayamayacaktır ve denize adam düşmesini ya da bilinçsiz bir kazazedeyi önlemek de zor olabilir. Bununla birlikte, denizdeki bir gemi türünün arama kurtarma faaliyetlerine katılım ve yükümlülüklerinden muaf tutulmasının; denizcilik endüstrisinin, çeşitli düzenleyici kurumların ve ilgili kuruluşların denizde hayatlarının kurtarılmasına nasıl baktıkları konusunda denizcilerin endişelerini arttırabileceği unutulmamalıdır (Komianos, 2019).

4.1.7. ISPS KODU

SOLAS sözleşmesini imzalayan hükümetler, liman yetkilileri ve denizcilik şirketleri, ISPS Kodu kapsamında, her bir gemi, liman tesisi ve denizcilik şirketinde uygun güvenlik görevlileri ve personel atamakla yükümlüdür (URL-29).

Otonom gemi söz konusu olduğunda, güvenlik görevlilerinin ve personelinin bulunmaması ciddi bir güvenlik açığı oluşturmaktadır (Komianos, 2019). Bu bağlamda, güvenlikle ilgili kurallarda önemli düzenlemeler gerekmektedir.

4.2.Siber Güvenlik

Merriam Webster sözlüğüne göre, siber güvenliğin tanımı; “bir bilgisayarı veya bilgisayar sistemini (internette olduğu gibi) yetkisiz erişime veya saldırıya karşı korumak için alınan önlemler” iken, çevrimiçi Oxford sözlüğü siber güvenliği, “elektronik verilerin suç teşkil eden veya yetkisiz kullanımına karşı korunma durumu veya bunu başarmak için alınan önlemler” olarak tanımlamaktadır (Komianos, 2019).

Otonom gemilerin, sahip oldukları sistemler sebebiyle, siber saldırıya karşı geleneksel gemilere göre daha savunmasız olduğu söylenebilir. Kim vd. (2022) tarafından otonom gemiler bağlamında yapılan güvenlik sorunu tespitinde, siber saldırı olasılığı da değerlendirilmiştir. Munim (2019) tarafından da belirtildiği üzere, otonom sistemler, geminin siber saldırı riskini arttırmaktadır. Otonom gemi konsepti, büyük ölçüde gemideki ve karadaki bilgi teknolojisi sistemlerine bağlı olacağından, geleneksel bir gemiye kıyasla çok daha büyük bir siber saldırı olasılığı vardır (Komianos, 2019). Bu soruna çeşitli çözüm önerilerinin ve risk analizlerinin ortaya atıldığını belirten Katsikas (2017) de otonom bir geminin siber saldırıya uğraması durumunda kontrolü geri almanın, gemiyi manuel şekilde kontrol edebilecek bir mürettebatın eksikliğinde zorlaşacağını göstermiştir. Tam ve Jones (2018) tarafından yapılan bir analizde, SAE (Society of Automobile Engineers) tarafından belirtilen otonomi seviyelerine karşı yapılabilecek bir siber saldırı sırasında, sızma kolaylığı (Ease-of-Exploit, EoE) ve saldırgan ödülü incelenmiştir. Tablo 4.1’de gösterilen sonuçlarda, otonomi seviyesi arttıkça sızma kolaylaşırken ödülün artıyor oluşu önemlidir.

Tablo 4.1. Otonomi seviyesine göre saldırgan ödülü ve sızma kolaylığı (Tam ve Jones, 2018)

SAE Temeli Gemi Otonomi Seviyeleri	Saldırgan Ödülü	Sızma Kolaylığı (EoE)	
Seviye 1	Tüm gemi operasyonları olmasa da çoğu için minimum mürettebat gerekli.	Saldırgan için değeri yok denecek kadar azdır, minimal etki.	Ülke Düzeyi: Gelişmiş ısrarcı tehditler, ülke düzeyinde kaynak gerektirir.
Seviye 2	Basit görevler için yerel ekiple kısmi otomasyon, örn. gelişmiş otomatik pilot.	Saldırgan için düşük değer.	Kurumsal: Önemli ölçüde kaynak gerektiren ileri düzey saldırılar.
Seviye 3	Koşullu otonomi, mürettebat tarafından potansiyel müdahaleler.	Saldırgan için ortalama değer.	Profesyonel: Önemli kaynak yatırımları ile orta düzeyde saldırı.
Seviye 4	Yüksek otonomi, çoğunlukla kendi kendine çalışma. Yerel/kıyı dışı mürettebat nadiren gereklidir.	Saldırgan ve üçüncü taraflar için değerli.	Basit Saldırı: Minimum beceri ve kaynak kullanılır.
Seviye 5	Tüm potansiyel ortamlarda gemi operasyonları otonom tamamlanır.	Çoğu aktör için son derece değerli, büyük ölçekli veya önemli etkiler.	Çok az veya hiç beceri gerektirmez, genellikle önceden hazırlanmış açıkları kullanır (örn. script kiddies).

4.3.Yetersiz Eğitim

Her teknolojik yenilikte olduğu gibi, otonom gemilerin de sektöre güvenli şekilde implementasyonu için, görev alacak tüm partilerin yeterli eğitime ve deneyime sahip olması gerekmektedir. Tam otonom gemilerin öncülü olan insansız gemilerin; geniş çaplı bir operasyon alanı elde etmesi için, bu alanda çalışabilecek nitelikli iş gücüne ihtiyaç bulunmaktadır. Fakat günümüzde, IMO tarafından belirtilen otonomi dereceleri bir, iki ve üç için gerekli ekibin eğitimi konusunda atılan adımlar yetersiz durumdadır (R. Ziarati ve M. Ziarati, 2007). Otonom/insansız gemi operasyonlarında da gemicilere ihtiyaç devam edeceğinden mevcut haldeki eğitimlerin yeni ürün ve teknolojileri de kapsayacak duruma gelmesi gerekmektedir (Wright, 2020). Bahsedilen çalışmalardan görüleceği üzere, otonom/insansız gemi operasyonlarında, gemi yerine karada (veya başka bir konumda) bulunacak personelin nitelikli eğitimi için önemli adımlar atılmalıdır. R. Ziarati ve M. Ziarati (2007) tarafından yapılan çalışmada, bu hedefe yönelik kullanılabilecek örnek mevcut eğitim projelerinden bahsedilmektedir:

SURPASS Projesi: Bu projenin amacı, otomatik sistemlerin doğuşunun ve gelişiminin denizcilerin eğitiminde yarattığı boşlukları eğitim kurslarıyla doldurmaktır.

SPIRIT Projesi: Kompleks navigasyon sistemlerinin denizcilik sektöründeki kullanımından ortaya çıkan insana bağlı hataları azaltmak için, yeni akıllı eğitim metodu aracılığıyla simülasyonları, operasyonel süreçlerle insan faktörü arasında bir köprü olarak kullanarak pilot ve kaptanlara eğitimi vermeyi amaçlayan öneri.

Clean Diesel II Projesi: Avrupa Birliği fonlu Clean Diesel projesini temel alan, dizel sevk ünitesinin gerçek zamanlı simülasyonunu sağlayan Main Diesel Program isimli makina yönetim sistemini içeren proje. Proje, sevk sistemi ve köprü üstünün hem otonom hem de manuel operasyonu için kurslar sağlamaktadır.

Deling vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, MASS operasyonları için gerekli görülen çeşitli bilgi ve becerilerin, mevcut MET (Maritime Education and Training, Denizcilik Eğitimi ve Öğretimi) müfredatına dahil olup olmadıkları incelenmiştir. Bu kapsamda, mevcut eğitim standartlarındaki eksikler görülebilmektedir. Bahsedilen inceleme Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. MASS ile ilgili mevcut MET müfredatında eksik bilgi ve beceriler
(Deling vd., 2020)

MASS İle İlgili Bilgi ve Becerilerin Sınıflandırılması	Bilgi ve Beceriler	Mevcut MET Müfredatına Dahil Edilip Edilmediği
Yetenek Unsuru	Liderlik ve iletişim	Evet
	Bağlılık ve uygulama	Evet
	Psikolojik strese direnç	Tam olarak değil, gemi adam sayısı azaldıkça "psikolojik stres" sorunları daha belirgin hale gelecektir.
	Geleneksel denizcilik bilgisi	Evet
Bilgi Unsuru	İletişim ağı bilgisi	Tam olarak değil, bu bilgi sadece GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) kurslarında yansıtılmaktadır.
	Otomatik kontrol bilgisi	Tam olarak değil, mevcut MET'te sadece gemilerin köprü üstü ve makine dairesi otomasyonu hakkında bazı bilgiler var.
	Veri madenciliği bilgisi	Hayır
	Yapay zeka bilgisi	Hayır
Teknoloji Unsuru	Otonom seyir	Hayır
	Arıza tespiti	Hayır
	Uzaktan kontrol	Hayır
	Çevresel veri algısı	Hayır
	Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT)	Hayır

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma, otonom gemilerin denizcilik endüstrisindeki potansiyel etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Otonom gemilerin tanımlanması, mevcut projeler ve çalışmaların analizi, kullanılan teknolojiler, bu teknolojilerin operasyonel avantajları ve dezavantajları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu bölümde, elde edilen bulguların genel bir değerlendirmesi yapılacak ve otonom gemilerin gelecekteki potansiyel etkileri tartışılacaktır.

Öncelikle, otonom gemilerin sağladığı güvenlik avantajları oldukça dikkat çekicidir. Denizdeki kazaların büyük kısmını (%60-%90) kapsayan insan hatalarını ortadan kaldırma potansiyeli, deniz taşımacılığının güvenliğini arttırmada önemli bir rol oynayabilir ve geleneksel gemilerde karşılaşılan; mürettebat yorgunluğu, dikkat dağınıklığı, kötü karar alımı ve benzeri sorunlar, otonom sistemlerle minimize edilebilir. Bunun yanında, insansız operasyon sayesinde, olası bir kaza durumunda can kaybını ortadan kaldıran otonom gemiler (yalnızca küçük kargo gemilerinin otonom hale geldiği senaryoda dahi toplam can kaybında %50'ye yakın bir düşüş gözlemlenmektedir), aynı zamanda korsan faaliyetlerine izin vermeyecek şekilde inşa edilebilir ve fidye istenebilecek bir mürettebatın olmayışı gemiyi daha az ilgi çekici bir hedef haline getirebilir. Otonom operasyonlar, bahsedilen unsurlar sayesinde hem can hem de mal kayıplarını azaltma potansiyeline sahiptir. Fakat, otonom gemilerin yaratacağı çeşitli ek güvenlik zafiyetlerine değinen araştırmalar da mevcuttur. Otonom seyir sistemlerinin yarattığı hata ihtimalleri, yangın ve yapısal çökme gibi durumlarda geminin kayıp riskinin artması, çeşitli alternatifler bulunsa da sefer sırasındaki bakım eksikliği, farklı otonomi seviyelerindeki gemilerin karşılaştığı senaryoların riskleri ve siber saldırı riski gibi unsurlar, bu teknolojilerin güvenliğini sağlama konusunda dikkate alınması gereken noktalar olarak öne çıkmaktadırlar.

Ekonomik açıdan incelendiğinde, otonom gemiler işletme maliyetlerini düşürme konusunda kayda değer bir potansiyele sahiptir. Otonom operasyon, toplam maliyetin %3-%11 arasını oluşturan personel maliyetlerinde tasarruf sağlamanın yanında, yaşam mahali ve üst yapı gerekliliğini ortadan kaldırması sayesinde lightship ağırlığında %3 ve hava direncinde %1'lik bir azalma sağlayarak yakıt

maliyetini %5-%16 arasında azaltmaktadır. Buna ek olarak, köprü üstü ve yaşam mahalının çıkartılması ile inşa maliyetinde tasarruf sağlanırken (köprü üstü için: %1-%10, yaşam mahali için: %5) aynı zamanda yük için %20 daha fazla alan oluşturulmuş olur. Bu avantajların yanında; otonom sistemlerin yeni inşa maliyetlerine etkileri, liman ücretlerinde artış, kıyı kontrol merkezi maliyetleri, bakım maliyetleri ve gibi ek maliyet unsurları da ortaya çıkmaktadır. Fakat toplam maliyet üzerine yapılan araştırmalar, toplam operasyon maliyetlerinde %10-20 aralığında tasarrufun ve navlun oranında %3,5 düşüşün mümkün olduğunu göstermektedir. Çeşitli varsayım ve tahminlere dayalı sonuçlar oldukça ilgi çekici görünmekle birlikte, gerçek rakamlar yalnızca geniş kapsamlı düzenli operasyonlar sonucunda ekonomik verilerin yayınlanması ile belirlenebilir. Mevcut otonom projelerin çoğunun; giriş ücretlerinin düşük, projelerin daha yönetilebilir, operasyonların limitli ve personel alımının toplam maliyete oranının yüksek olduğu küçük gemi segmentine odaklandığı da önemli bir gözlem olup, büyük gemiler ile ilgili operasyonların kısa vadede gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği ile ilgili tartışmalar sürmektedir.

Avrupa'daki nakliye sektörünün sera gazı emisyonunun %73'ünün kara yolu sebebiyle olduğu düşünüldüğünde, otonom gemilerin kısa deniz taşımacılığında kullanımı sayesinde, nakliye rotalarını karadan denize kaydıran, daha sürdürülebilir nakliye operasyonları mümkün görünmektedir. Aynı zamanda otonom gemilerin, bilinçli veya kazayla oluşan kirlilikte azalma, daha az yakıt tüketimi, alternatif sevk sistemleri ve insanlı gemiler için zorlu operasyonlar olan okyanus araştırmalarında kullanım potansiyeli gibi sebeplerle de çevreci çözümler sunması beklenmektedir. Bu durum, denizcilik sektörünün karbon ayak izini azaltmada önemli bir rol oynayabilir. Nakliye rotalarını karadan denize kaydırmanın yanında insansız ve otonom operasyonların, mevcut deniz rotalarında da optimizasyon sağlaması ve Kuzey Deniz Yolu gibi alternatif rotalar sağlaması beklenmektedir.

Yukarıda bahsedilen avantajlara ek olarak, otonom operasyonların yaygınlaşması durumunda gemi adamları için kıyı temelli denetleme işlerinin yaratılmasının sosyal sürdürülebilirliğe katkı sağlayacağı yönünde görüşler de bulunmaktadır. Bu konu ilgi çekici olsa da, kıyı işlerinin denizdekilere kıyasla daha sürdürülebilir bir sosyal hayat yarattığı argümanı tartışmaya açıktır ve daha detaylı araştırmalar

gerektirmektedir. Buna ek olarak, otonom teknolojiler bazı işleri ortadan kaldırırken yeni iş alanları yaratıyor olsa da, işsizliğin artmaması adına aradaki dengenin sağlanması için ciddi reformlar gerekmektedir.

Mevcut denizcilik düzenlemelerinin otonom/insansız gemileri kapsamıyor olması, otonom operasyonların yaygınlaşmasının önündeki önemli engellerdendir. SOLAS, ISM Kodu, STCW, COLREG, MARPOL, UNCLOS ve ISPS Kodu gibi çeşitli regüle edici metinlerde, otonom gemilerin sahip oldukları; insansızlık, sensörlerle izleme ve uzaktan kontrol gibi özellikleri içerecek şekilde önemli düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Bu değişikliklerin hayata geçirilmesinin önünde etik kapsamında çeşitli sorunlar bulunması, geniş kapsamlı otonom gemi faaliyetlerinin kısa vadede gerçekleşebileceği konusunda önemli soru işaretleri yaratmaktadır.

Eğitim faktörü de de dikkate alınması gereken konulardan biridir. Otonom gemilerin operasyonunda yer alacak personelin, yeni teknolojilere adapte olabilmesi için kapsamlı bir eğitim sürecinden geçmesi gerekmektedir. Mevcut denizcilik eğitim müfredatları, otonom sistemlerle ilgili bilgi ve becerileri içermemektedir. Bu durum, denizcilik eğitim kurumlarının yeni eğitim programları geliştirmesi ve mevcut müfredatlarını güncellemesi gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda çeşitli teorik ve pratik eğitim projeleri mevcut olsa da, geniş çaplı otonom operasyonların olası olması için daha kapsamlı araştırmalar, öneriler ve projeler gerekmektedir.

Sonuç olarak, otonom gemiler sundukları avantajlarla denizcilik endüstrisinde devrim niteliğinde değişiklikler yapma potansiyeline sahiptir. Otonom gemilerinin sağladığı, ekonomi, güvenlik ve çevre ile ilgili faydalar bu teknolojilere olan ilgiyi artırırken, geniş kapsamlı operasyonlar için mevcut engellerin aşılması adına; düzenleyici çerçevelerin oluşturulması, teknoloji ve eğitim altyapılarının geliştirilmesi gibi uluslararası iş birliği gerektiren kapsamlı çalışmalar gerekmektedir.

6. KAYNAKÇA

AAWA, 2016. Remote and autonomous ships: the next steps. AAWA Raporu, Londra, İngiltere

Acemoglu, D., ve Restrepo, P., 2019. Automation and new tasks: how technology displaces and reinstates labor, *Journal of economic perspectives*, **33(2)**, 3-30.

Akbar, A., Aasen, A.K.A., Msakni, M.K., Fagerholt, K., Lindstad, E. ve Meisel, F., 2021. An economic analysis of introducing autonomous ships in a short-sea liner shipping network, *International Transactions in Operational Research*, **28**, 1740-1764.

Allianz Global Corporate & Specialty., 2018. Safety and shipping review, Allianz güvenlik raporu, Münih, Almanya.

Aydoğan, Ö., 1984. Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi, Deniz Ticaret Odası Yayınları, İstanbul.

Batalden, BM., Leikanger, P. ve Wide, P., 2017. Towards autonomous maritime operations, *2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)*, Annecy, Fransa, 26-28 Haziran, s. 1-6.

Blanke, M., Henriques, M. ve Bank, J., 2017. A pre-analysis on autonomous ships, Danimarka Teknik Üniversitesi raporu, Kopenhag, Danimarka.

Cassard, A., Hamel, J., 2018. Exponential growth of technology and the impact on economic jobs and teachings: change by assimilation, *Journal of Applied Business and Economics*, **20(2)**.

Coggeshall, J. L., 1997. The fireship and its role in the Royal Navy, *Yüksek Lisans Tezi*, Texas A&M Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Texas.

Deling, W., Dongkui, W., Changhai, H. ve Changyue, W., 2020. Marine autonomous surface ship - a great challenge to maritime education and training, *American Journal of Water Science and Engineering*, **6(1)**, 10-16.

Eriksen, S., 2022. Autonomous operation as an economic driver for smaller merchant ships, *7th World Maritime Technology Conference (WMTC)*, World Maritime Technology Congress, Kopenhag, 26-28 Nisan.

IMO, 1972. Convention On The International Regulations For Preventing Collisions At Sea (COLREG).

IMO, 1978. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW).

IMO, 2000. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, Aralık 2000'de MSC.99(73) sayılı karar ile değiştirildiği şekliyle.

IMO, 2021. Report of the Maritime Safety Committee on its 104th session, Deniz Güvenlik Komitesi raporu, Londra, İngiltere.

IMO, 2022. Report of the Maritime Safety Committee on its 105th session, Deniz Güvenlik Komitesi raporu, Londra, İngiltere.

Katsikas, S. K., 2017. Cyber security of the autonomous ship, Proceedings of the 3rd ACM Workshop on Cyber-Physical System Security, Abu Dabi, 2-6 Nisan, s. 55-56.

Kim, T., Perera, L. P., Sollid, MP., Batalden, BM. ve Sydnes, A. K., 2022. Safety challenges related to autonomous ships in mixed navigational environments, *WMU Journal of Maritime Affairs*, **21**, 141–159.

Komianos, A., 2019. Towards The Autonomous Ship: Operational, Regulatory, Quality Challenges, Austin Macauley Publishers, Londra.

Kooij, C. ve Hekkenberg, R., 2021. Identification of a task-based implementation path for unmanned autonomous ships, *Maritime Policy & Management*, **49(7)**, 954–970.

Kretschmann, L., Burmeister, HC. ve Jahn, C., 2017, Analyzing the economic benefit of unmanned autonomous ships: an exploratory cost-comparison between an autonomous and a conventional bulk carrier, *Research in Transportation Business & Management*, **25**, 76-86.

Levander, O., Autonomous ships on the high seas, *IEEE Spectrum*, **54(2)**, 26-31.

Lloyd's Register, 2015. Global marine technology trends 2030, Lloyd's Register raporu, Southampton, İngiltere.

Msakni, M.K., Akbar, A., Aasen, A.K.A., Fagerholt, K., Meisel, F. ve Lindstad, E., 2020. Can autonomous ships help short-sea shipping become more cost-efficient?.

Neufeld, J.S., Buscher, U., Lasch, R., Möst, D., Schönberger, J. (eds) *Operations Research Proceedings 2019*, Dresden, Almanya, s. 389-395.

Munim, Z. H., 2019. Autonomous ships: a review, innovative applications and future maritime business models, *Supply Chain Forum: An International Journal*, **20(4)**, 266–279.

Noma, T., 2016. Existing conventions and unmanned ships - need for changes?, *Yüksek Lisans Tezi*, World Maritime University Maritime Affairs (MSEA), Malmö

Poznańska, E. Z. ve Montewka, J., 2021. Costs and benefits of autonomous shipping-a literature review. *Applied Sciences*, **11(10)**, 4553.

Rolls-Royce, 2016. Remote and autonomous ships: the next steps. AAWA Raporu, Londra, İngiltere

Ringbom, H., Røsæg, E. ve Solvang, T., 2021. Autonomous Ships and the Law, Taylor & Francis Group, Oxfordshire.

Tam, K. ve Jones, K., 2018. Cyber-risk assessment for autonomous ships, *2018 International Conference on Cyber Security and Protection of Digital Services (Cyber Security)*, Glasgow, 11-12 Haziran, s. 1-8.

Teyley, L. ve Calcutt, D., 2001. Electronic Navigation Systems, Butterworth-Heinemann, İngiltere.

Thombre, S., Zhao, Z., Ramm-Schmidt, H., García, J. M. V., Malkamäki, T., Nikolskiy, S., Hammarberg, T., Nuortie, H., Bhuiyan, M. Z. H., Särkkä, S. ve Lehtola, V. V., 2022. Sensors and AI techniques for situational awareness in autonomous ships: a review, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **23(1)**, 64-83,

Vos, J., Hekkenberg, R. G. ve Banda, O. A. V., 2021. The impact of autonomous ships on safety at sea-a statistical analysis, *Reliability Engineering & System Safety*, **210**, 107558.

Wright, R. G., 2020. Unmanned and Autonomous Ships, Taylor & Francis Group, Oxfordshire.

Yalman, S. C., Tıkız, İ. ve Bamyacı, M., 2023. Deniz taşımacılığında dönüm noktası: otonom gemilerin geleceği, *Denizcilik Araştırmaları Dergisi: Amfora*, **2(3)**, 32-39.

Ziareti, R., 2006. Safety at sea-applying Pareto analysis, *World Maritime Technology Conference (WMTC 06)*, Queen Elizabeth Konferans Merkezi, 2006.

Ziarati, R., ve Ziarati, M., 2007. Review of accidents with special references to vessels with automated systems-a way forward. *AES07*, The Institute of Marine Engineering, Science & Technology (IMarEST).

İnternet Siteleri:

URL-1

https://www.supplychain247.com/article/rolls_royce_publishes_vision_of_future_of_remote_and_autonomous_shipping/transportation, Erişim Tarihi: 17 Haziran 2024.

URL-2 <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-15/maersk-ceo-can-t-imagine-self-sailing-box-ships-in-his-lifetime>, Erişim Tarihi: 17 Haziran 2024.

URL-3 <https://www.globalpsa.com/autonomous-ships/>, Erişim Tarihi: 18 Haziran 2024.

URL-4 <https://www.smmdb.org/norwegian-autonomous-ship-project-secures-major-funding/>, Erişim Tarihi: 18 Haziran 2024.

URL-5 <https://www.dnv.com/news/romas-project-completes-first-phase-of-remote-machinery-operation-testing-149171/>, Erişim Tarihi: 18 Haziran 2024.

URL-6 <https://www.britannica.com/technology/lidar>, Erişim Tarihi: 18 Haziran 2024.

URL-7 <https://www.britannica.com/technology/radar>, Erişim Tarihi: 18 Haziran 2024.

URL-8 <https://maritime-executive.com/editorials/autonomous-vessels-are-becoming-a-commercial-reality#:~:text=Worldwide%2C%20there%20are%20now%20more,with%20minimal%20autonomous%2Dspecific%20regulation.>, Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024.

- URL-9** <https://space-offshore.com/just-read-the-instructions>, Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024.
- URL-10** <https://www.denizcilikdergisi.com/dunya-denizciligi-haberleri/dunyanin-ilk-otonom-feribotu-falco-ilk-yolculugunu-basariyla-tamamladi/>, Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024.
- URL-11** <https://newatlas.com/marine/mit-first-full-scale-autonomous-roboat-amsterdam/>, Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024.
- URL-12** <https://techxplore.com/news/2021-11-electric-autonomous-cargo-ship-norway.html>, Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024.
- URL-13** <https://interestingengineering.com/transportation/the-worlds-first-autonomous-ship-has-finished-its-first-run-in-japan>, Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024.
- URL-14** <https://www.ft.com/content/e767201d-5287-4ffd-9995-e495d4a6a69b>, Erişim Tarihi: 20 Haziran 2024.
- URL-15** <https://www.bbc.com/news/uk-england-devon-61710706>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.
- URL-16** <https://www.standingwellback.com/german-explosive-remote-control-speedboats-of-ww1-and-ww2/>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.
- URL-17** <https://www.theverge.com/2016/4/8/11391840/us-navy-autonomous-ship-sea-hunter-christened>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.
- URL-18** <https://www.savunmasanayiidergilik.com/tr/HaberDergilik/ALBATROS-insansiz-Su-ustu-Hedefi-Ailesi>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.
- URL-19** <https://www.naval-technology.com/projects/ulaq-armed-unmanned-surface-vessel/>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.
- URL-20** <https://www.naval-technology.com/news/us-navy-awards-contract-to-l3harris-for-surface-vehicles-programme/>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.
- URL-21** <https://insidedefense.com/insider/us-sending-new-weapons-package-ukraine>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.
- URL-22** <https://www.navalnews.com/naval-news/2022/10/analysis-ukraine-strikes-with-kamikaze-usvs-russian-bases-are-not-safe-anymore/>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.

URL-23 <https://www.defensenews.com/naval/2024/01/16/us-navys-four-unmanned-ships-return-from-pacific-deployment/>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.

URL-24 <https://www.reuters.com/world/europe/blasts-gunfire-reported-near-russian-black-sea-port-novorossiysk-2023-08-04/>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.

URL-25 <https://defence-blog.com/russia-develops-new-kamikaze-drone-boat/>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.

URL-26 <https://www.reuters.com/graphics/UKRAINE-CRISIS/CRIMEA/gdvzwrmlpw/>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.

URL-27 <https://www.navalnews.com/naval-news/2024/01/turkish-navy-strengthens-fleet-by-commissioning-4-new-vessels/>, Erişim Tarihi: 21 Haziran 2024.

URL-28 [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx), Erişim Tarihi: 25 Haziran 2024.

URL-29 <https://www.imo.org/en/OurWork/Security/Pages/SOLAS-XI-2%20ISPS%20Code.aspx>, Erişim Tarihi: 25 Haziran 2024.