T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTONOM GEMİ SEYRİNDE ÇATIŞMAYI ÖNLEME ALGORİTMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

MEHMET ALİ BAHÇE

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ SİBEL BAYAR

DENİZULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DENİZULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 13.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Sibel BAYAR (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Gökhan KARA
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Munip BAŞ
İstanbul Teknik Üniversitesi
Denizcilik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin ..... numaralı projesi ile desteklenmiştir.
Bu tez, ... numaralı ..... projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yönlendirici katkıları ve aldığımız eğitimin kalitesini arttırıcı destekleri için tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Sibel BAYAR başta olmak üzere değerli hocam Doç. Dr. Gökhan KARA'ya, Dr. Öğr. Üyesi Murat YILDIZ'a ve akademik kariyere yönelmem konusunda desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Güler ALKAN'a teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmamı yürüttüğüm sırada matematiksel model geliştirme konusunda desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Turgay KÖROĞLU başta olmak üzere tüm mesai arkadaşlarıma değerli katkıları için tek tek teşekkür ederim.

Eğitim hayatım ve kariyerim boyunca her zaman yanımda olan, yaptığım ve yapacağım her türlü çalışmada desteğini hissettiğim değerli eşim Tuğba ÖZEN BAHÇE'ye ve bugüne kadar her koşulda arkamda duran anneme minnettarım.

Mayıs 2019 Mehmet Ali BAHÇE

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **x**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvi**
1. GİRİŞ **1**
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI 2
1.2. LİTERATÜR TARAMASI 3
2. GENEL KISIMLAR **12**
2.1. DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEME TÜZÜĞÜ AÇISINDAN TEMEL KAVRAMLAR 12
2.1.1. TEKNE 12
2.1.2. GEMİ SEYRİ 13
- *2.1.2.1. Ortam Bakımından Seyir* *13*
- *2.1.2.2. Yöntem Bakımından Seyir* *14*
2.1.3. ELEKTRONİK SEYİR YARDIMCILARI 14
- *Otomatik Tanılama Sistemi (AIS)* *16*
2.1.4. ÇATIŞMA VE ÇATIŞMAYI OLUŞTURAN KAVRAMLAR 17
- *2.1.4.1 En Yakın Nokta (CPA)* *17*
- *2.1.4.2. En Yakın Noktaya Kalan Mesafe (DCPA)* *18*
- *2.1.4.3. En Yakın Noktaya Kalan Zaman (TCPA)* *18*
2.2. DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEME TÜZÜĞÜ 19
2.3. OTONOM GEMİLER 20
2.3.1. TEKNOLOJİ BAKIMINDAN OTONOM GEMİLER 23
- *2.3.1.1. Sensörler ve Algılama* *23*
- *2.3.1.2. İletişim ve Uzak Bağlantı* *29*
- *2.3.1.3. Kontrol ve Karar Algoritmaları* *30*
2.3.2. EMNİYET VE GÜVENLİK BAKIMINDAN OTONOM GEMİLER 36

2.3.3. YASAL MEVZUAT BAKIMINDAN OTONOM GEMİLER....37
2.3.4. OTONOM GEMİLER ÜZERİNE YÜRÜTÜLEN ÇALIŞMALAR....39
- *2.3.4.1. REVOLT*....*39*
- *2.3.4.2. YARA BIRKELAND*....*41*
- *2.3.4.3. Ağ Zekâsı ile İnsansız Deniz Seyri (MUNIN)*....*42*
3. MALZEME VE YÖNTEM....44
3.1. SINIRLI RASYONEL KARAR MODELİ....44
3.2. DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEME ALGORİTMASI....46
3.2.1. KERTERİZ, KONUM VE HIZ HESAPLARI....49
3.2.2. CPA VE TCPA HESAPLARI....55
3.2.3. TEHLİKE SINIRLARININ BELİRLENMESİ....58
3.2.4. SEKTÖR VE KARŞI SEKTÖR SINIFLANDIRMASI....62
- *3.2.4.1. Karşılaşma Sınıfları*....*63*
- *3.2.4.2. Sektör Sınıfları*....*66*
3.2.5. MANEVRA SINIFLANDIRMASI VE TÜZÜĞE UYGUNLUK KONTROLÜ....68
3.2.6. MANEVRA BİTİŞİ KONTROLÜ....75
3.2.7. KÜME OLUŞTURMA VE KAÇIŞ ROTASI SEÇİMİ....77
4. BULGULAR....83
4.1. ALGORİTMANIN SINANMASI....83
4.1.1. SENARYO 1....83
- *4.1.1.1. Hedef Gemiler için CPA ve TCPA Hesaplanması*....*85*
- *4.1.1.2 YR Kümesi ve EGR Altkümelerinin Oluşturulması*....*92*
- *4.1.1.3. Tüzüğe Uygun Rotaların Belirlenmesi ve TUR Altkümesi Oluşturulması*....*97*
- *4.1.1.4. Yeni Rotalar için Gerekli Sapmanın Hesaplanması ve UR Altkümesi Oluşturulması*....*98*
- *4.1.1.5. Gemilerin Tehlike Sınıflarına Ayrılması*....*101*
- *4.1.1.6. ÇR ve OÇR Alt Kümelerinin Oluşturulması ve Kaçış Rotası Seçimi*....*101*
4.1.2. SENARYO 2....104
- *4.1.2.1. Hedef Gemiler için CPA ve TCPA Hesaplanması*....*106*
- *4.1.2.2. YR Kümesi ve EGR Altkümelerinin Oluşturulması*....*112*
- *4.1.2.3. Tüzüğe Uygun Rotaların Belirlenmesi ve TUR Altkümesi Oluşturulması*....*118*
- *4.1.2.4. Yeni Rotalar için Gerekli Sapmanın Hesaplanması ve UR Altkümesi Oluşturulması*....*119*

- *4.1.2.5. Gemilerin Tehlike Sınıflarına Ayrılması 121*
- *4.1.2.6. ÇR ve OÇR Alt Kümelerin Oluşturulması ve Kaçış Rotası Seçimi 122*

4.2. ALGORİTMA SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 125

5. TARTIŞMA VE SONUÇ 128

KAYNAKLAR 130

EKLER 135

ÖZGEÇMİŞ 136

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Yaklaşan Gemilerin Zamana Bağlı Konumları 17

Şekil 2.2: Yaklaşan Gemiler Arası CPA ve DCPA Mesafesi Gösterimi 18

Şekil 2.3: SARUMS'a Göre Otonomi Seviyeleri 21

Şekil 2.4: Örnek Bir Deniz Tipi RADAR Ekranı Görüntüsü 24

Şekil 2.5: Velodyne HDL-64E Modeli Bir LIDAR Cihazı 25

Şekil 2.6: Örnek Bir LIDAR Ekranı Görüntüsü 26

Şekil 2.7: Örnek Bir SONAR Çalışma Prensibi 27

Şekil 2.8: MUNIN Projesi Otonom Operasyon Yapısı 31

Şekil 2.9: MUNIN Projesi Otonom Kontrol Yapısı 32

Şekil 2.10: Derin Öğrenme Sağlayan Otonom Kontrol Yapısı.....34

Şekil 2.11: ReVolt Tasarım Konsepti 39

Şekil 2.12: ReVolt ve Normal Bir Geminin 30 Yıllık İşletim Maliyeti Karşılaştırması 40

Şekil 2.13: Yara Birkeland Konsept Tasarımı 42

Şekil 2.14: MUNIN Projesi Karasal Destek Merkezi 43

Şekil 3.1: Rasyonel Karar Verme Modeli 45

Şekil 3.2: Birbirine Yaklaşan Gemiler için Konum ve Rota Gösterimi.....48

Şekil 3.3: Karşılaşan Gemilere Ait vektör İzdüşümleri 50

Şekil 3.4: Vektörel Toplam ile Bileşke Vektör Bulunması 51

Şekil 3.5: Gemiler Arası Mesafe ve Kerteriz.....53

Şekil 3.6: Yaklaşan Gemiler Arası Çatışma Üçgeni 56

Şekil 3.7: Pruva Pruvaya Geçiş Gösterimi.....65

Şekil 3.8: Gemi Çevresindeki Yaklaşma Sektörleri.....66

Şekil 3.9: DÇÖT Gereği Yapılması Gereken Manevralar 69

Şekil 3.10: İki Geminin Karşılaşmasında Sektör ve Karşı Sektör 72

Şekil 3.11: Hedef Gemi Tehlike Sınıflandırmasının Küme Gösterimi 78

Şekil 3.12: Çözüm Rotası Seçiminin Küme Gösterimi.....82

Şekil 4.1: Senaryo 1'deki Karşılaşmanın ECDIS Gösterimi 83

Şekil 4.2: Senaryo 1'deki Karşılaşmanın RADAR Görüntüsü.....84

Şekil 4.3: TS1 için Yeni Rotalar ve CPA Değerleri 94

Şekil 4.4: TS2 için Yeni Rotalar ve CPA Değerleri 96

Şekil 4.5: Senaryo 1 için Yeni Rotaları ve Yapılması Gereken Rota Değişimi.....100

Şekil 4.6: Ortak Çözüm Rotalarını ve Rota Değişimleri.....103

Şekil 4.7: Senaryo 2'deki Karşılaşmanın ECDIS Gösterimi 104

Şekil 4.8: Senaryo 2'deki Karşılaşmanın RADAR Görüntüsü.....105

Şekil 4.9: Senaryo 2, TS1 için Yeni Rotalar ve CPA Değerleri 113

Şekil 4.10: Senaryo 2, TS2 için Yeni Rotalar ve CPA Değerleri 115

Şekil 4.11: Senaryo 2, TS3 için Yeni Rotalar ve CPA Değerleri 117

Şekil 4.12: Senaryo 2, TS1 için Yeni Rotaların Tüzüğe Uygunlukları.....119

Şekil 4.13: Senaryo 2 için Yeni Rotaları ve Rota Değişimleri 121

Şekil 4.14: Senaryo 2 Ortak Çözüm Rotalarını ve Rota Değişimleri 124

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Gemilerde Kullanılabilecek Bazı Sensörlerin Avantaj ve Dezavantajları 29

Tablo 3.1: Birbirine Yaklaşan Gemilerin Bilgilerini Gösteren Semboller 49

Tablo 3.2: Gemi Karşılaşmalarında Sektör Sınırları 66

Tablo 3.3: İki Geminin Karşılaşması Durumunda Sektöre Göre Yapılacak Manevralar.....71

Tablo 3.4: Karşılaşma Türü ve Manevralar.....73

Tablo 3.5: Yapılan Manevranın Matematiksel Gösterimi 73

Tablo 3.6: Yapılan Manevranın DÇÖT Uygunluk Gösterimi 74

Tablo 4.1: Senaryo 1'deki Gemilere Ait Bilgiler.....84

Tablo 4.2: Senaryo 1'e Ait Sınır Değerleri 85

Tablo 4.3: Senaryo 1'de TS1 için Yeni Rotalar ve CPA/TCPA Değerleri 93

Tablo 4.4: Senaryo 1'de TS2 için Yeni Rotalar ve CPA/ TCPA Değerleri 95

Tablo 4.5: Yeni Rotaların TS1 için DÇÖT Uygunlukları 97

Tablo 4.6: Senaryo 1'de Yeni Rotalar için Gerekli Rota Değişimleri 99

Tablo 4.7: Senaryo 1'deki Gemilerin Tehlike Sınıflandırması 101

Tablo 4.8: Senaryo 2'deki Gemilere Ait Bilgiler.....104

Tablo 4.9: Senaryo 2'ye Ait Sınır Değerleri 105

Tablo 4.10: Senaryo 2'de TS1 için Yeni Rotalar ve CPA/ TCPA Değerleri 112

Tablo 4.11: Senaryo 2'de TS2 için Yeni Rotalar ve CPA/ TCPA Değerleri 114

Tablo 4.12: Senaryo 2'de TS3 için Yeni Rotalar ve CPA/ TCPA Değerleri 116

Tablo 4.13: Senaryo 2'de TS1 için Yeni Rotalar ve DÇÖT Uygunlukları 118

Tablo 4.14: Senaryo 2'de Yeni Rotalar için Gerekli Rota Değişimleri 120

Tablo 4.15: Senaryo 2'deki Gemilerin Tehlike Sınıflandırması 122

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$Angel_{MAX}$	: Maksimum Rota Değişimi Miktarı
B_R	: Nispi Kerteriz
B_{RT}	: Karşı Nispi Kerteriz
B_T	: Hakiki Kerteriz
B_{TT}	: Karşı Hakiki Kerteriz
C_{DIFF}	: Rota Değişim Miktarı
C_{OS}	: Kendi Gemimizin Rotası
C_{OY}	: Değerlendirilen Yeni Rota
C_K	: Kaçış Rotası
CPA	: En Yakın Geçiş Mesafesi
$CPA_{LİMİT}$	: Olası Tehlikeli Kabul Edilecek En Yakın Geçiş Mesafesi Sınırı
CPA_{MUTLAK}	: Mutlak Tehlikeli Kabul Edilecek En Yakın Geçiş Mesafesi Sınırı
CPA_Y	: Değerlendirilen Yeni Rota İçin En Yakın Geçiş Mesafesi
C_R	: Bileşke Rota
CS	: Sancak Taraf Aykırı Geçiş Sektörü
C_{TS}	: Hedef Geminin Rotası
$ÇR$	: Çözüm Kotaları Kümesi
$DCPA$	: En Yakın Geçişe Kalan Mesafe
EGR	: Emniyetli Geçiş Rotaları Kümesi
HP	: Iskele Taraf Pruva Pruvaya Geçiş Sektörü
HS	: Sancak Taraf Pruva Pruvaya Geçiş Sektörü
K	: Rotanın Korunması Gereken Manevra Tipi
Lat_{DIFF}	: Enlem Farkı
Lat_{OS}	: Kendi Gemimizin Bulunduğu Enlem
Lat_{TS}	: Hedef Geminin Bulunduğu Enlem
$Long_{DIFF}$	: Boylam Farkı
$Long_{OS}$	: Kendi Gemimizin Bulunduğu Boylam
$Long_{TS}$	: Hedef Geminin Bulunduğu Boylam
MTG	: Mutlak Tehlikeli Gemiler Kümesi
$OÇR$	: Ortak Çözüm Rotaları Kümesi
OP	: Iskele Taraf Yetişme Sektörü

OS	: Sancak Taraf Yetişme Sektörü
OS_x	: Kendi Gemimizin X Eksenindeki Hareket Izdüşümü
OS_y	: Kendi Gemimizin Y Eksenindeki Hareket Izdüşümü
OTG	: Olası Tehlikeli Gemiler Kümesi
P	: Rotanın Iskele Tarafa Alınması Gereken Manevra Tipi
$Range$	: Kendi Gemimiz ve Hedef Gemi Arası Mesafe
R_x	: Bağıl Hareketin X Eksenindeki Izdüşümü
R_y	: Bağıl Hareketin Y Eksenindeki Izdüşümü
S	: Rotanın Sancak Tarafa Alınması Gereken Manevra Tipi
$TCPA_{LİMİT}$	: En Yakın Geçiş Için Tehlike Kabul Edilecek Zaman Sınırı
TG	: Tüm Gemiler Kümesi
TGG	: Tehlikesiz Geçen Gemiler Kümesi
TS_x	: Hedef Geminin X Eksenindeki Hareket Izdüşümü
TS_y	: Hedef Geminin Y Eksenindeki Hareket Izdüşümü
TUF	: Tüzüğe Uygunluk Faktörü
TUR	: Tüzüğe Uygun Rotalar Kümesi
UR	: Uygulanabilir Rotalar Kümesi
v_{OS}	: Kendi Gemimizin Hızı
v_R	: Bağıl Hareketin Hızı
v_{TS}	: Hedef Geminin Hızı
Z	: Rota Değişim Yönünün Önemi Olmayan Manevra Tipi
α	: Çatışma Üçgeni Iç Açısı
β	: Çatışma Üçgeni Iç Açısı
Φ	: Trigonometrik Taraf Düzeltmesi

Kısaltmalar	Açıklama
AAWA	**:** The Advanced Autonomous Waterborne Applications
ABD	**:** Amerika Birleşik Devletleri
ACA	**:** Autonomous Collision Avoidance
AI	**:** Artifical Intelligence
AIS	**:** Automatic Identification System
ARPA	**:** Automatic Radar Plotting Aid
ASV	**:** Autonomous Surface Vessel
B	**:** Beam
CAS	**:** Collision Avoidance System
CCU	**:** Communication Control Unit
CMU	**:** Command And Monitoring Unit
COLREG	**:** Convention On The International Regulations For Preventing Collisions At Sea
CPA	**:** Closest Point Of Approach
DCPA	**:** Distance To Closest Point Of Approach
DÇÖT	**:** Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü
DWT	**:** Dead Weight
ECDIS	**:** Electronic Chart Display And Information System
EDA	**:** European Defence Agency
EMSA	**:** European Maritime Safety Agency
EO	**:** Elektro Optik
GNC	**:** Guidance, Navigation And Control
GPS	**:** Global Positioning System
GRT	**:** Gross Tonnage
HMI	**:** Human Machine Interface
IMO	**:** International Maritime Organization
IMU	**:** Inertial Measurement Unit
IOT	**:** Internet Of Things
IR	**:** Infra Red
KWH	**:** Kilowatt Hour
LBP	**:** Length Between Perpendicular
LIDAR	**:** Light Detection And Ranging
LOA	**:** Length Overall

LRIT : Long Range Identification And Tracking

MARPOL : The International Convention For The Prevention Of Pollution From Ships

MASS : Maritime Autonomous Surface Ships

MLC : Maritime Labour Convention

MPC : Model Predictive Control

MUNIN : Maritime Unmanned Navigation Through Intelligence In Networks

NASA : National Aeronautics And Space Administration

NN : Neural Network

ODA : Object Detection And Avoidance

OS : Own Ship

RADAR : Radio Detection And Ranging

R-RA : Rule-Based Repairing A

RRT : Rapidly-Exploring Random Tree

SAR : Search And Rescue

SARUMS : Safety And Regulations For European Unmanned Maritime **Syste**ms

SOLAS : The International Convention For The Safety Of Life At Sea

SONAR : Sound Navigation And Ranging

STCW : Standards Of Training Certification And Watchkeeping

TCPA : Time To Closest Point Of Approach

TEU : Twenty-Foot Equivalent Unit

TS : Target Ship

TTK : Türk Ticaret Kanunu

VHF : Very High Frequency

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTONOM GEMİ SEYRİNDE ÇATIŞMAYI ÖNLEME ALGORİTMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet Ali BAHÇE

İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Sibel BAYAR

Otonom sistemler, küreselleşen dünya ve gelişen teknoloji ile hayatımızın her alanına daha fazla girmektedir. Dünya ticaretinin en önemli ayağı olan denizcilik sektörü de bu teknolojik gelişmelerden büyük oranda etkilenmektedir. Otonom gemiler de sürekli gelişen bu sektör için önemli bir köşe taşı olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler donanımsal ve yazılımsal olarak çeşitli yapılardan meydana gelirler. Birçok otorite tarafından otonom sistemlerin hem insan hatasını ortadan kaldırması hem de daha düşük maliyetlerle taşımacılık sağlaması beklenmektedir.

Denizcilikte mevcut insanlı çalışma yapısından tam otonomiye geçiş için çeşitli aşamalar kat edileceği düşünülmektedir. Bu tez otonom gemilerin genel kontrol yapılarına ve konu ile ilgili yapılan çalışmalara genel bir bakış sunmaktadır. Ayrıca tezde hem denizde çatışmayı önleme tüzüğü kurallarına uygun hem de emniyetli geçişi sağlayacak kaçış rotası öneren bir algoritma sunulmuştur. Yönetsel insan olarak vardiya zabitinin davranışlarını örnek alan sistem için sınırlı rasyonel karar modeli esas alınmıştır. Algoritma bir tanesi yaşanmış bir tanesi hayali olan iki farklı senaryo ile test edilmiş olup, başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Mayıs 2019, 154 sayfa.

Anahtar kelimeler: Otonom Gemi, Çatışmayı Önleme, Sınırlı Rasyonel Karar Modeli

SUMMARY

M.Sc. THESIS

EVALUATION OF COLLISION AVOIDANCE ALGORITHS IN AUTONOMOUS SHIP NAVIGATION

Mehmet Ali BAHÇE

İstanbul University - Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Marine Transportation Management Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Sibel BAYAR

Autonomous systems, with globalizing world and developing technology, are more involved in every aspect of our lives. The maritime sector, the most important pillar of world trade, is also greatly affected by these technological developments. Autonomous ships stand out as an important cornerstone for this continuously developing sector. These systems consist of various hardware and software structures. By many authorities, autonomous systems are expected to eliminate both human error and provide transportation at lower costs. It is thought that there will be various stages for transition from traditional manned structure to full autonomy in maritime.

This thesis gives an overview of the general control structures of autonomous ships and the studies on the subject. In addition, an algorithm is proposed that provides an escape route that is appropriate to both the rules of the international collision regulations and safe passage. Bounded rationality model has been grounded on decisions of officer of watch as administrative man. The algorithm has been tested in two different scenarios, one of which has been taken from real life. Successful results have been obtained.

May 2019, 154. pages.

Keywords: Autonomous Vessel, Collision Avoidance, Bounded Rationality Decision Model

1. GİRİŞ

Gelişen dünyada teknoloji, hayatımızın hemen her alanına dâhil olmakta ve hayatımızı büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Cep telefonu, televizyon, otomotiv teknolojileri, ev aletleri hayatımızın vazgeçilmezleri arasında yer almaktadır. Denizcilik sektörü de bu teknoloji ile gelişim göstermektedir. Teknoloji denizcilik sektöründe önceleri Loran, Decca gibi sistemlerle kendini gösterirken günümüzde elektronik haritalar (ECDIS), küresel konumlama sistemi (GPS), otomatik plotlama yapan radarlar (ARPA), Otomatik gemi tanılama sistemleri (AIS), telsizler vb. farklı biçimlerde kullanılmaktadır. Görece kısa süre içerisinde kullanımına bu kadar alışılan ve neredeyse vazgeçilmez hale gelen bu elektronik sistemlerin daha da gelişeceğini ve denizcilikte payını arttıracağını söylemek yanlış olmaz.

Denizcilikte ileri teknoloji kullanımının ne derece güvenilir olacağı konusunda endişelerin olmasına rağmen otonom gemiler üzerine araştırmalar, özellikle yapay zekânın uygulanabilirliğini göstermesi ile birlikte oldukça artmıştır.

Deniz kazaları incelendiğinde ana sebebin %85'lik oranla insan faktörü olduğu ortaya çıkmaktadır. İnsan faktörü, deniz kazalarında en yoğun olarak farkındalık eksikliği, pratik tecrübe eksikliği, bilgi eksikliği, yorgunluk, stres biçimlerinde kendini göstermektedir. Bu durumda insan faktörü kaynaklı deniz kazalarının, teknik problem, hava şartları vs. diğer tüm sebeplerin toplamının 5,6 katı kadar kazaya sebebiyet verdiği görülmektedir. (Cordon vd., 2015)

Deniz taşımacılığındaki en zayıf halka olan insan faktörünü güçlendirmek için birçok çalışma yapılmış ve halen yapılmaktadır. Denizde kazaları engellemek amacıyla SOLAS ile emniyet önlemleri arttırılmış, STCW ile eğitim ve sertifikalandırma standartları geliştirilmiş, MLC ile deniz çalışanlarının yaşam standartları arttırılmaya çalışılmıştır.

Zincirin en zayıf yeri olan insan faktörü halkasını güçlendirmek gibi başka bir çözüm yöntemi de daha güçlü bir halkayla değiştirmek olabilir. Denizlerde insanın yaptığı işleri makinelere yüklemek daha güvenli bir yöntem olabilir. Hayatımızın her parçasında olan makinelerin farkındalık eksikliği, stres, yorgunluk gibi majör faktörlerden etkilenmeyecek olması önemli bir avantaj sağlayacak olabilir. Halen kullanılan elektronik seyir yardımcılarının köprüüstü

yönetiminde katkıları çok açıktır. Örneğin, AIS cihazı ile çevredeki gemiler isim, çağrı kodu gibi temel bilgileriyle görülmeye başlandığında "sancak tarafımdaki yolcu gemisi" gibi net olmayan kavramların kullanımı ortadan kalkmış ve gemiler arası farkındalık düzeyi önemli ölçüde artmıştır. Benzer şekilde ECDIS cihazı ile el ile sürekli mevki ve rota kontrolü gerekliliği ekrandan izlenebilecek hale gelmiş ve zabitlerin farkındalık düzeyine önemli katkı sağlamıştır.

Bu gelişim ve değişim doğrultusunda makinelerin her sektörde olduğu gibi denizcilikte de payını arttıracağına kesin gözüyle bakılmaktadır. Otonom gemilere geçiş dönemi yavaş ama sürekli ilerlemekte olup günümüzde Rolls&Royce gibi önemli üreticiler tarafından deneme çalışmaları yürütülmektedir. Rolls&Royce şirketi yaptığı çalışmalar ışığında 2020 yılında uzaktan destekli, üzerinde personel görece azaltılmış gemilere, 2025 yılında uzaktan kontrollü insansız kıyı seferleri yapan gemilere, 2030 yılında uzaktan kontrollü okyanus aşırı sefer yapan gemilere, 2035 yılında ise uzaktan kontrole ihtiyaç duymayan tamamen otonom kontrollü okyanus aşırı sefer yapan gemilerin kullanıma sunulacağını öngörmektedir (Rolls-Royce, 2016).

Otonom gemilerde birçok alt ve üst sistemin aynı anda ve interaktif biçimde çalışması gerekmektedir. Örneğin rota takibi ve dönüşler, gemi trafik yoğunluğu takibi ve çatışmadan kaçınma, akıntı ve gelgit takibi, derinlik takibi, kıyıya olan mesafenin korunması, hava durumu takibi, yük emniyeti sağlanması gibi birçok alt sistem bir arada çalışıp bunların bütünleşmesi ile gemide tıpkı insan gibi çok yönlü davranışlar sergileyecektir.

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Denizde emniyeti tehdit eden unsurlardan biri olan çatışmayı önlemek üzere oluşturulan kurallar, tüm gemilerin güvenliğini gözetmek için manevraları, ışık ve ses sinyallerini açıklar. Fakat net olarak belirlenmemiş bazı durumlarda yaşanacak karmaşıklık ve yanlış yorumlamalar bazen çatışmaya sebep olabilmektedir. Otonom gemiler bu karmaşıklığın giderilmesi ve emniyetin arttırılması hususunda daha etkin rol oynayabilirler. Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (DÇÖT) kurallarının duruma özgü ve yoruma açık olması sebebiyle genel geçer algoritmalar geliştirmek zordur. Bir DÇÖT algoritmasının ister karar destek seviyesi ister tam otonomi seviyesi için olsun, güvenilirliği kanıtlanmış bir performans sergilemesi son derece önemlidir.(Blanke vd., 2017)

Bu çalışmada gelecekte sektörde büyük yer tutacağına kesin gözüyle bakılan otonom gemiler için uluslararası kurallara uygun bir çatışmadan kaçınma algoritması geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

1.2. LİTERATÜR TARAMASI

Yapay zekâ ve otonomi kavramları teknolojik gelişmelerle birlikte fazla ilgi çeken konular olmasına rağmen denizcilikte uygulamaları henüz yeni sayılabilir. Geleceğin yaygın teknolojisi olarak görülen konu ile ilgili dünyada çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Statheros, vd. 2008, *"Otonom gemilerde çatışmayı önleme üzerine seyir konseptleri, teknolojiler ve teknikler"* isimli çalışmasında hem çatışmadan kaçınma için otonom gemi seyri üzerine küresel bir anlayış hem de gözden geçirilmiş çalışmaların teorik bir arka planını ele almaktadır. Çatışmayı önleme algoritmaları için insan bilişsel yetenekleri ve DÇÖT birlikte incelenmiştir. Otonom gemi seyrinin gereklilikleri, çatışmadan kaçınmayı etkileyen faktörlerle birlikte ele alınmaktadır. İnsanlar bu faktörleri değerlendirebilir ve aynı zamanda gemi seyrini tatmin edici bir seviyede gerçekleştirebilirler fakat alınan kritik kararlar oldukça özneldir ve hatalı olabilirler bu da potansiyel olarak çatışmaya yol açabilir. Otonom gemi seyri üzerine yapılan araştırmalar klasik metotlarla yapılanlar ve bilgisayar tabanlı hesaplama kullananlar olarak gruplandırılabilirler. Klasik teknikler matematiksel modeller ve algoritmalara dayanırken bilgisayar tabanlı olanlar Yapay Zekâya (AI) dayanmaktadır. Bu çalışmada genel hatlarıyla olmak üzere evrimsel algoritmalar, bulanık mantık, uzman sistemler ve sinir ağları (NN) ve bunların birleşimleri (karma sistem) incelenmiştir.

Kim vd. 2011, *"DÇÖT bazlı gemi çatışması önleme algoritması üzerine bir çalışma"* isimli makalesinde uluslararası çatışmayı önleme kurallarına uygun bir algoritma önerilmektedir. En yakın geçişe kalan mesafe (DCPA) ve en yakın geçişe kalan zaman (TCPA) değerlerine dayalı geleneksel çatışmayı önleme algoritmaları, gemiler arası ilişkide DÇÖT gereklerini dikkate almamak gibi önemli bir dezavantaj gösterirler. Bu çalışmada önerilen algoritma, karşılaşılan hedef geminin nispi kerterizini hesaplayarak yol veren veya yol verilen tekne olduğuna karar verir. Önerilen yöntem, kısıtlı görüş veya ağır hava şartları sebebiyle hedef geminin seyir ışıkları görünmese bile DÇÖT'de belirtilen çatışmadan kaçınma kurallarına etkili biçimde uyum göstermektedir.

Öhland ve Stenman, 2017, "*İnsansız gemiler ve DÇÖT arasındaki etkileşim*" isimli çalışmasında yeni bir çalışma konusu olan ve günümüzde halen geliştirilen tam otonom veya uzak kontrollü gemilerinin mevcut uluslararası denizde çatışmayı önleme kurallarıyla nasıl bir etkileşim içinde olacağı incelenmektedir. Çalışma birkaç yıl içinde uluslararası sularda seyreden insansız gemilerle karşılaşma ihtimalimiz oldukça yüksek göründüğünü ve bu gemilerin de tıpkı insan kontrollü gemiler gibi mevcut seyir kurallarına uymak zorunda kalacaklarından bahsetmektedir. Araştırma metodolojisi olarak nitel bir araştırma ile birlikte literatür temelli bir teorik analiz kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre DÇÖT ile uyumluluğun insansız gemiler için çok büyük bir sorun gibi görünmediği anlaşılmaktadır. Tamamen insan kontrolündeki klasik gemilere göre yazılmış olan kuralların otonom gemileri de kapsayacak şekilde güncellenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca bilgisayarlı sistemlerin de denizlerde boy göstereceği düşünüldüğünde DÇÖT'de yoruma açık herhangi bir nokta bırakılmamalı, her konu kesin hükümlere bağlanmalıdır. Uzmanların çoğu olası bir kaza gerçekleşmesi durumunda yükümlülüğün kimde olacağının daha ciddi bir sorun olduğu konusunda hemfikirdir. Ayrıca insansız gemiler çatışma düzenlemelerini takip edebildikleri ve kaza yapmadan güvenli bir şekilde seyredebildikleri birkaç projede test edilmiştir.

Chiang ve Tapia, 2018, "*COLREG-RRT: otonom deniz araçları için RRT tabanlı ve DÇÖT uyumlu manevra planlayıcı"* isimli çalışmasında yüksek seyir başarı oranına sahip uzun vadeli, DÇÖT uyumlu yörüngeleri tanımlayabilen Rapidly-Exploring Random Tree (RRT) algoritması tabanlı bir planlayıcı olan COLREG-RRT önerilmektedir. Otonom yüzeyli taşıtları için hareket planlaması genel olarak zordur çünkü yüzey gemileri genellikle büyük ataletli ve doğrusal yönlendirilmemiş kinodinamik sistemlerdir. Bu nedenle, otonom sistem tasarımcıları, aracı kaçınılmaz çatışma durumuna düşürmemek için uzun vadeli rotalar tanımlamalıdır. Ayrıca deniz taşıtlarının, çatışmadan kaçınma kurallarını belirleyen uluslararası kuralları da izlemesi gerekir. Güncel teknoloji yöntemleri, model tahmin kontrolüne (MPC) dayanmaktadır ve hedef gemilerin DÇÖT'nü göz önüne almadan sabit hızlarda hareket ettiğini varsaymaktadır. Bu sistem gelecekteki çatışmaları öngörmek için RRT geliştirilmesi sırasında hem otonom aracın hem de diğer gemilerin ortak ileri simülasyonlarının yapılmasıyla sağlanır. DÇÖT uyumluluğu, yeni rotaları engelleyen sanal engeller koyularak sağlanır. Çalışmada tek gemi karşılaşmalarında DÇÖT'e uyumu gösterilmiş ve 20'ye kadar hedef gemi ile çok yollu karşılaşmalarda iki en modern yöntemle karşılaştırılmıştır. Deneyler, COLREG-RRT'nin %32 daha yüksek bir başarı oranına sahip olduğunu ve test edilen en zor ortamda bile gerçek zamanlı

çalışabildiğini göstermektedir. Ek olarak, COLREG-RRT, MPC'ye kıyasla daha uzun rotalar tanımlar. Bu özellik sayesinde ilk etapta var olmayan hedef gemilerle çatışmadan kaçınmaya da yardımcı olur.

Johansen vd. 2016, *"Senaryo bazlı model tahmin kontrolü kullanan gemi çatışması önleme"* isimli çalışma dinamik engelleri ve belirsizlikleri kapsayan bir çatışmayı önleme algoritması sunmaktadır. Çatışmadan kaçınma kontrolü üzerine alternatif davranışlar iki değişken ile parametrelendirilir. Bunlar oto pilota kumanda eden rota açısının değiştirilmesi ve pervaneye kumanda eden makine gücünün değiştirilmesi ile ifade edilebilirler. Yapılan çalışmada DÇÖT kurallarına uygunluk ve ilgili çatışma tehlikeleri, engellerin ve geminin yörüngelerinin tahminlerini kullanarak sonlu tahmin ufku ile değerlendirilir. Optimal kontrol davranışı, model tahmin kontrolü uygulama stratejisinde hesaplanır. Belirsizlik durumlarında ise güvenlik marjları değiştirilerek veya her kontrol davranışı için çoklu senaryolar değerlendirilerek hesaplanabilir.

Perera vd. 2011, *"Açık deniz seyrinde kritik çatışma şartlarında bulanık mantık tabanlı çatışmayı önlemek için karar verici sistem"* isimli çalışmalarında çatışma durumlarından kaçınarak deniz taşıtlarının güvenliğini arttırmayı amaçlayan bulanık mantık tabanlı akıllı karar verme sistemine odaklanmaktadır. Bu sistem açık denizde seyreden bir geminin karar destek sistemine uyarlanabilir veya otonom seyir sürecine dâhil edilebilir. Bu çalışmada, Kendi gemimizin (OS) alanına göre hedef gemi (TS) ile çatışmadan kaçınılması gerekliliği analiz edilmiş ve girdi olarak sağlanmıştır ve çıktılar ise bulanık mantık ile türetilmiştir. Entegre bulanık mantık sistemi MATLAB yazılım platformunda formüle edilmiş ve uygulanmıştır. Simülasyon sonuçları, sorumluluğun hedef gemide olduğu bazı kritik çatışma koşullarına ilişkin olarak da sonuçlar vermiştir. Bu gibi durumlarda, OS, "yol veren" konumunda olsa bile, çatışmalardan kaçınmak için kritik önlemler alabilir. Ayrıca tüm kararlar, okyanus seyir sırasında ortaya çıkabilecek çatışmaları önlemek için, tüzüğe dayanarak formüle edilmiştir.

Perera, 2018, *"Derin öğrenme altında otonom gemi seyri ve DÇÖT üzerine zorluklar"* isimli konferans bildirisinde otonom gemilerin seyir sistemlerini destekleyici genel bir çerçeve ele alınmıştır. Otonom gemilerde karar alma süreçleri, açık deniz otonomisinde önemli rol oynayacaktır, bu sebeple kullanılacak teknolojiler gelişmiş sistem zekâsından oluşmalıdır. Otonom sisteme sahip olacak her gemide yerelleştirilmiş karar modülleri gerekebilir, bu nedenle de birbiriyle bağlantılı dağınık zekâ ve alt modülerden oluşan sistemler ortaya

çıkacaklardır. Bu sistemlerin ana çekirdekleri, sürücüsüz otomobil gibi diğer ulaşım sistemlerinde umut vadeden sonuçlar sunan derin öğrenme tipi teknolojiden oluşmalıdır. Derin öğrenme yazılımları kaptan ve serdümen davranışlarını öğrenebilir olduğundan sistem zekâsı otonom gemilerde seyir için kullanılabilir niteliktedir. Fakat durum farkındalığı ve çatışmadan kaçınma dâhil kullanılacak sistemlerde derin öğrenme tipi teknolojiyi kolaylaştırmak adına ek karar destek katmanı da geliştirilmelidir. Geliştirilen sistemlerin başarılı sonuçlar vererek çalışabilmesi ve gerektiğinde müdahale edilebilmesi için ise insan makine etkileşimi artırılmalıdır.

Mou vd. 2010, *"Yoğun deniz alanlarında AIS verileriyle çatışmayı önleme üzerine bir çalışma"* isimli makalesinde gemi sayısının fazlalığı sebebiyle çatışma potansiyeli yüksek bir bölge olan Rotterdam limanı açıklarındaki trafik ayrım düzeni ele alınmıştır. Bölgedeki deniz trafiğine ilişkin AIS verileri kullanılarak çeşitli istatistiksel analizler yapılmıştır. Çatışmadan kaçınmak üzere en önemli gösterge olarak kabul edilen en yakın geçiş noktası (CPA) ile gemi büyüklüğü, hız, rota arasındaki ilişkiyi tanımlamak üzere bazı doğrusal regresyon modelleri geliştirilmiş ve riskleri değerlendirmek üzere dinamik bir yöntem sunulmuştur.

Naeem vd. 2012, *"Otonom deniz araçlarının DÇÖT tabanlı seyri"* isimli makalesi insansız bir deniz aracında otonom kontrol ve güvenli seyir sorununu ele almaktadır. Öncelik çatışmadan kaçınmanın etkinliği konusu ile ilgilidir. Makalenin ilk kısmı, otonom deniz taşıtlarına ilişkin bilinen yasal sorunları incelemektedir ve ikinci bölüm, otonom deniz taşıtlarında otonom bir DÇÖT kabiliyetinin nasıl sağlanacağına değinmektedir.

Campbell ve Naeem, 2012, *"İnsansız deniz araçları için DÇÖT uyumlu çatışmayı önleme için kural tabanlı sezgisel metot"* isimli çalışmasında daha akıllı karar verme özelliklerine sahip olan otonom araçlar için endüstri genelinde artan taleple birlikte, otonom olarak engellerden kaçınma konusunda ele alınmıştır. Çalışmada engel tespiti ve kaçınma (ODA) sistemi tasarımı, otonom bir aracın güvenliği için birincil öneme sahip konu olarak incelenmektedir. Gelişmiş otonomi ile insan etkileşimini azaltma arzusu nedeniyle, geminin kaçınma protokollerinin ODA mimarisine dahil edilmesi ve rota belirlenmesi için çatışmayı önleme kurallarının uygulanması şarttır. Karar verme çerçevesi içinde bütünleşik bir sezgisel Kural Tabanlı (R-RA) algoritması önerilmiştir. Entegre sistemin, DÇÖT'e uygun olarak gerçek zamanlı rota planlama simülasyonlarında etkili olduğunu kanıtlanmıştır.

He vd., 2017, *"Açık denizde otonom çatışmayı önleme için gemicilik ve DÇÖT kurallarının kantitatif analizi"* isimli çalışma DÇÖT kuralları ve pratik denizcilik için yeni bir kantitatif analiz sistemi sunmaktadır. Denizde çatışmayı önleme büyük ölçüde kurallara ve pratik gemiciliğe bağlıdır. Gemi çatışma riski bulunduğunda, doğru karşılaşma durumuna uygun çatışma önleme önlemleri alınmalıdır. Gelecekte kullanılacak otonom çatışmadan kaçınma (ACA) operasyonları da kantitatif analiz yapmalı ve belirli kurallara ve pratik denizcilik uygulamalarına uymak zorundadır. Önerilen sistemde farklı durumlar ve aşamalara uygun çatışmadan kaçınma planları; kurallara, denizciliğe ve kullanıcının dümen yönlendirme kararlarına göre oluşturulur. Sistemin etkinliğini ve uygulanabilirliğini doğrulamak için bir simülasyon senaryosu kullanılmıştır.

Vagushchenko vd. 2012 *"Çatışmayı önleme manevralarının etkinlik kriterleri"* isimli çalışmasında kaçış manevrasının çok yönlü bir planlaması olduğu anlatılmaktadır. Çalışmaya göre çatışmadan kaçınmak için alınacak önlemlerin etkinliğinin değerlendirilmesi için birkaç kısmi verimlilik kriteri kullanmak ve bunları birleştirmek gerekir. Ayrıca belirlenen kriterler nicel olarak ölçülebilir olmalıdır. Çatışmadan kaçınmak üzere manevra verimliliğinin değerlendirilmesi için ideal point metodu kullanılmış ve bazı genel kriterler sunulmuştur. Bu çalışmada teklif edilen kriterler, çatışma önleyici manevraların etkinliğinin bir değerlendirmesi için CAS ve ECDIS'te kullanılabilir.

Zhao vd. 2016 *"İnsansız deniz araçları için gerçek zamanlı çatışmadan kaçınmayı öğrenen sistem"* isimli çalışmalarında otonom deniz araçları için DÇÖT kurallarına uyan gerçek zamanlı bir çatışmadan kaçınma yaklaşımı sunmaktadır. Denizcilikteki kullanımlarına yönelik artan talep nedeniyle otonom gemiler konusundaki çalışmalara büyük çaba harcanmaktadır. Gerçek zamanlı otonom çatışma önleme sistemi için güvenilir çatışma riski tespiti ve makul bir çatışma önleme manevrasının belirlenmesi kilit role sahip bir konulardır. Fakat bu konudaki çalışmalar deniz güvenliğini sağlamak için her zaman uyulmaları gerekmesine rağmen nadiren DÇÖT kurallarına entegre edilmektedir. Bu çalışma karşılaşılan hedef gemilerin risklerini değerlendiren ve kaçış yapılması için optimum rota önerisinde bulunan bir algoritma sunmaktadır. Ayrıca önerilen yaklaşım, çatışmadan kaçınmayla ilgili bir karar verirken öte yandan pratik denizciliğe uygun olarak hedef gemilerin de çevrelerini algıladıkları ve buna göre tepki gösterebilecekleri gerçeğini dikkate almaktadır. Elde edilen teorik sonuçların geçerliliğini doğrulamak için birtakım simülasyonlar yapılmıştır.

Prasad vd., 2017 *"Puslu şartlar altında adaptif çoklu sensör yönetimi kullanarak denizde durumsal farkındalık"* isimli makale otonom gemilerin puslu ve kısıtlı görüş koşullarında kontrolü ve güvenli seyri için geliştirilmiş bir adaptif çoklu sensör yönetim mimarisi sunmaktadır. Çalışmada anlatılan sensör yapısı yerleşik görüntüleme ve hava sensörlerinden gelen verileri, AIS aracılığıyla diğer gemilerden gelen verileri veya kıyıdaki izleme istasyonlarındaki sensörlerden gelen verileri işler. Sensör mimarisi, toplanan birleşik verilerle mevcut durumdan canlı öğrenmeyi gerçekleştirirken, uygun eylem sürecini belirlemek için ise yapay zekâ ve veri analitiği kullanır. Bu çerçevenin, farklı hava koşullarında doğru sonuçlar vermesi ve gemilerde otonomiye katkı sağlaması beklenmektedir.

Perera vd., 2012, *"Otonom gemi modellerinin gerçek zamanlı manevraları için seyir ve kontrol platformu"* isimli çalışmasında gerçek bir geminin belirli bir ölçekte küçültülmüş kendinden tahrikli bir modeli hazırlanmış ve bu modelde kullanılan otonom sistemlerin gelişimi sunulmuştur. Genel sistem donanım yapısı ve yazılım mimarisi altında tanımlanmaktadır. Sistem donanım yapısı, komut ve izleme birimi (CMU) ve iletişim ve kontrol birimi (CCU) olarak ayrılmıştır. Karasal tabanlı CMU, kablosuz iletişim yoluyla otonom araçta yer alan CCU'yu kontrol etmektedir. Sistem yazılımı mimarisi esas olarak sensör verilerini toplamak, dümen ve pervane tahriklerini kontrol etmek için birkaç yazılım döngüsünden oluşur. Ayrıca aracın otonom ve manuel kontrolü için insan makine arayüzü (HMI) olarak bir dokunmatik panel kullanılmıştır. Son olarak, otonom araçların gelecekteki deneysel uygulamaları da bu makalede tartışılmıştır.

Larson vd., 2007 *"İnsansız deniz araçları için engelden otonom kaçınmanın avantajı"* isimi makalesinde ABD Donanması ve Savunma Bakanlığı organizasyonları için geliştirilecek otonom sistemler anlatılmıştır. Makalede otonom deniz araçları için engellerden kaçınma üzerine odaklanmaktadır. Çalışmada öncelikle otonom deniz araçları için bir dünya modeli oluşturulması gerektiği anlatılır. Daha sonra bu model üzerinde uzak ve yakın alanların sensörlerle saptanan veriyle eşleşmesi sağlanır. Bu sayede yapılan otonom sistem, model üzerinde oluşan engellerden kaçınabilir. Ayrıca makalede otonom deniz araçlarının engellerden kaçınmasıyla ilgili son zamanda kat edilen ilerlemelere de değinmektedir.

Blaich vd., 2012 *"A arama algoritması kullanan gemiler için grid bazlı hızlı çatışmayı önleme*" isimli çalışmasında deniz ortamındaki gemiler için gerçek zamanlı grid bazlı çatışma önleme algoritması sunulmuştur. Çoğu grid tabanlı çatışmayı önleme çalışması, çatışma noktasından

uzak optimal bir rota belirlemek için Lee'nin algoritmasını kullanır. Fakat bu algoritmanın dezavantajı, büyük gridler için hesaplamanın uzun sürmesidir. Uzun çalışma süresini azaltmak için, bu çalışmada Lee'nin algoritması yerine A araması kullanılmıştır. Kullanılan algoritma ayrıca, geminin fiziksel kısıtlamalarını da dikkate alır ve DÇÖT'e dikkat eder. Lee'nin algoritmasının ve A araştırmasının çalışma zamanı ve sonuçta belirledikleri rotalar bilgisayarlı deneylerde karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Konstanz Gölü'ndeki gerçek bir gemide çatışmadan kaçınma performansı sunulmaktadır.

Perera vd., 2015'e ait *"Akıllı kılavuz ile çatışmayı önleme ve otonom gemi seyrinin deneysel değerlendirmesi"* isimli çalışmada otonom seyir ve akıllı manevra kılavuzunun çatışmadan kaçınması ile ilgili deneysel değerlendirmeler sunulmuştur. Deney düzeneğinin matematiksel formülasyonu, gemi trafik ve bilgi sistemi, çatışma önleme sistemi ve gemi kontrol sistemi adlarında üç ana bölüm altında sunulmuştur. Deney düzeneğinin fiziksel sistemi iki ana bölüm altında sunulmuştur: gemi modeli ve seyir kontrol platformu. Gemi modeli, bu çalışmada kullanılan ölçeklendirilmiş bir gemiden oluşmaktadır. Seyir kontrol platformu ise gemi modelini kontrol etmek için kullanılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada iki gemi ile birkaç çatışma önleme senaryosu ele alınmıştır. Tekne modeli, çatışmadan kaçınma kararlarını / eylemlerini yapan gemi (yani, kendi gemisi) olarak kabul edilir ve herhangi bir çatışmadan kaçınma eylemi almayan ikinci gemi (yani, hedef gemi) simüle edilmiş ve başarılı deney sonuçlarına yer verilmiştir.

Jalón-Monzón vd., 2018 *"Otonom deniz araçlarında 360 derece görsel tanılama ve hedef takibi"* isimli çalışmasında orta ve uzun mesafelerdeki gemilerin tespit edilebilmesi, izlenebilmesi ve dost veya düşman olarak sınıflandırılabilmesi için gerekli bilgilerin işlenmesini sağlayan algı ve planlama sistemlerini açıklamaktadır. Bu yapı için gerekli algılama, planlama ve davranış otonomisini harmanlayan CARACaS adlı entegre sistem geliştirilmiştir. CARACaS için iki devriye senaryosu ele alınmaktadır. Bunlardan ilki otonom aracın bir liman bölgesinde devriye attığı ve her geçişte bilinen bir yerin yakınındaki gemileri kontrol ettiği senaryodur. Diğeri ise otonom aracın sabit bir yerde durduğu ve hareket halindeki gemileri kontrol ettiği senaryodur. Bu makale, otonom deniz aracının çok yönlü bir kamera başlığından görüntüleri alan, bu görüntülerdeki nesneleri tanımlayan ve menzil içinde ve dışında bulunabilecek nesnelerin varlığını olasılıklara dayalı olarak izleyen SAVAnT adlı

merkezi algı ve durum farkındalık sistemine odaklanmaktadır. Ayrıca CARACaS ve SAVAnT entegre sistemleri, ABD Donanması otonomi deneylerinde test edilmiştir.

Blanke vd. 2017 hazırladığı *"Otonom gemiler üzerine bir ön analiz"* isimli çalışma Danimarka Denizcilik Kurumunun, Danimarka Teknik Üniversitesinden İnsansız gemilerin Mavi Danimarka politikası için önemini vurgulamak ve gelecek çalışmalara dahil edilecek bir dizi görevi planlamak için istediği yardım üzerine hazırlanmış ve otonom gemilerin gelecek potansiyellerini ortaya koyan bir rapordur. Çalışma dâhilinde tamamen manuel işletilen en eski sistemlerden tam otonom sistemlere kadar çeşitli otonomi seviyelerinin nasıl tanımlanacağı kısaca özetlenmektedir. Bu bölüm, kendiliğinden tahrikli otomobillerden ve insansız uçaklardan elde edilen deneyim ve bilgiye dayanmaktadır ve benzer teknolojilerin gemi projeleri üzerine devam eden yansımaları incelenmektedir.

Liu vd. 2016 *"İnsansız yüzey araçları: gelişmeler ve zorluklara genel bir bakış"* isimli makalesinde insansız deniz araçlarının geliştirilmesine ilişkin kapsamlı bir tarama sunulmaktadır. Hem açık denizle hem de sığ sularla ilgili ticari, bilimsel ve askeri konulara artan ilgi ile birlikte, gelişmiş rehberlik, seyir ve kontrol (GNC) yeteneklerine sahip insansız yüzey araçlarının geliştirilmesine yönelik talepte bir artış yaşanmaktadır. Çalışmada bazı temel tanımların yanı sıra hem tarihsel hem de son dönemde yapılan otonom araç araştırmalarına genel bir bakışa yer verilmiştir. Daha sonra, mevcut araçlar GNC yaklaşımları, uygulamaları, metodolojileri ve zorlukları gibi çeşitli kriterlere göre ana hatlarıyla belirtilmiş ve sınıflandırılmıştır. Son olarak ise daha genel zorluklar ve otonom deniz araçlarının daha pratik GNC yeteneklerine yönelik gelecek fikirleri vurgulanmaktadır.

Campbell vd. 2012 *"Akıllı çatışmayı önleme manevraları aracılığıyla insansız deniz araçları otonomisinin gelişimine genel bakış"* isimli makalesinde seyir, rehberlik, kontrol ve hareket planlama konularında bugüne kadar yapılan önemli araştırmalara dayanarak spesifik olarak geliştirilmesi gereken konuları ele almaktadır. Ayrıca tasarlanacak sistemlerin DÇÖT ile entegrasyonu sayesinde, insan hatası ile ilişkilendirilen deniz kazaların önlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kritik güvenlik önlemlerinin eklenmesi, insansız gemiler için yasal politikalar oluşturmanın önünü açacağı için otonom gemilere olan talebin artması için anahtar olabilir.

İnce, 2012 "*Gemi çatışmasının nümerik yöntemlerle analizi ve simülasyonu"* isimli çalışmasında standartlara göre hazırlanan iki gemi modelinin değişik senaryolara karşı çatışma analizleri gerçekleştirilmiştir. 3 boyutlu modellemeler için SolidWorks programından faydalanılan çalışmada obje ağı oluşturmak için ise HyperMesh yazılımı kullanılmıştır. Kullanılan malzeme özellikleri ve kısıt koşullarının analizi için de Ls-Dyna yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımlardan elde edilen sonuçlar çeşitli analitik yöntemlerle incelenmiştir.

Topçu, 2015 tarafından yazılan *"Akıllı otonom sistemler"* isimli çalışma otonom sistem olarak kabul edilen yapıların geçmişten günümüze kat ettiği ilerlemeler hakkında bilgi vermektedir.

Yüksel vd. 2016 *"Optik görüntülerden çıkarılan silüetler sayesinde gemi tanıması ve sınıflandırması"* isimli bildirisinde üç boyutlu gemi modellerinin bazı karakteristik imzalarının çıkartılması ve bu şekilde otonom nesne tanıması incelenmiştir. Öncelikle gemi modellerinin çeşitli özelliklerini yansıtan öznitelikleri belirlenmiş ve bu vektörler sayesinde sınıflandırmalar yapılmıştır. 3 boyutlu model kullanılması sayesinde gerçek gemi görüntülerine olan ihtiyacı ortadan kaldırmış ve tüm açılardan gemilerin tanınmasına olanak sağlamıştır. Daha sonra tüm modellerden elde edilen imzalar veri tabanında toplanmış ve yapay sinir ağları kullanılarak sınıflandırmalar yapılmıştır. Bildiride yapılan çalışmaların tüm aşamaları anlatılmış ve elde edilen sayısal sonuçlar paylaşılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEME TÜZÜĞÜ AÇISINDAN TEMEL KAVRAMLAR

2.1.1. TEKNE

"Su üstünde kalkarak seyreden ve deniz uçakları dâhil, su üzerinde taşıma aracı olarak kullanılmakta olan veya kullanılmaya elverişli bulunan her türlü deniz aracını içine alır."

- ***Kuvvetle Yürütülen Tekne***

"Makine ile yürütülen herhangi bir tekne anlamına gelecektir."

- ***Yelkenli Tekne***

"Var olsa bile yürüten makinesinin kullanılmaması şartıyla, yelken ile seyreden bir tekne anlamına gelecektir."

- ***Balıkçılık Yapan Tekne***

"Manevra kabiliyetini sınırlayan, ağlar, oltalar, troller veya diğer avlanma araçları ile balık avlayan bir tekne anlamına gelecek fakat manevra kabiliyetini kısıtlamayacak olan oltalar veya diğer avlanma araçları ile balık avlayan bir tekneyi kapsamayacaktır."

- ***Kumanda Altında Bulunmayan Tekne***

"Bazı istisnai şartlar sebebi ile bu kuralların gereğine uygun olarak manevra yapma gücü olmayan ve bu yüzden diğer bir teknenin yolundan çıkma yeteneği bulunmayan bir tekne anlamına gelecektir."

- ***Manevra Kabiliyeti Sınırlı Tekne***

"Yaptığı iş nedeniyle bu kuralların gereğince uygun olarak manevra yapma gücü sınırlanan ve bu yüzden diğer bir teknenin yolundan çıkma yeteneği olmayan bir tekne anlamına gelecektir. 'Manevra kabiliyeti sınırlı tekneler deyimi' sınırlı olmamak üzere aşağıda yazılı tekneleri içerecektir:

- Bir seyir işareti, denizaltı kablosu veya boru hattının döşenmesi, çalışması veya toplanmasında bulunan bir tekne;
- Tarama, sörvey veya sualtı çalışmaları yapan bir tekne;

- Üzerinde yol bulunduğu halde ikmal yapan veya insan, kumanya veya yük aktaran bir tekne;
- Bir hava aracını denize indirme veya denizden alma işi ile uğraşan bir tekne;
- Mayın temizleme işleri yapan bir tekne;
- Gerek yedekleyen ve gerekse yedeklenenin rotalarından ayrılma yetenekleri önemli bir şekilde kısıtlanan yedekleme işiyle uğraşan bir tekne."

- ***Su Çekimi Nedeniyle Kısıtlı Tekne***

"Mevcut seyredilebilir suların genişliği ve derinliği ile ilgili kendi draftının önemli ölçüde takip ettiği rotadan sapmasını önleyen kuvvetle yürütülen tekne anlamına gelecektir."

- ***Üzerinde Yol Bulunan Tekne***

"Bir teknenin demirli olmadığı veya karaya bağlı bulunmadığı veya karaya oturmadığı anlamına gelecektir."

- ***Kısıtlı Görüş***

"Görüşün sis, pus, kar yağışı, şiddetli yağmur fırtınası, kum fırtınası veya herhangi diğer benzeri bir sebeple kısıtlı oluşu anlamına gelecektir."

2.1.2. GEMİ SEYRİ

- ***2.1.2.1. Ortam Bakımından Seyir***

- ***Pilotaj Seyri***

Liman giriş-çıkışlarında, kanal geçişlerinde veya bazı özel bölgelerde seyretmek için bölge sularına hâkim kılavuz kaptan yardımı gerekebilir. Bu bölgelerde yapılan seyre pilotaj seyri denir.

- ***Kıyı Seyri***

"Görünen kara maddelerinden ya da seyir alametlerinden yararlanılarak kıyı dolaylarında yapılan seyirlere kıyı seyri denir." (Sügen, 2007)

Kıyı seyri ada, burun, şamandıra, fener gibi karasal alametlerden faydalanarak denizde konum, yön ve hız tayini yapılmasını esas alır.

- ***Açık Deniz Seyri***

Açık deniz seyri, kıyı seyrindeki gibi karasal alametlerin olmadığı seyir biçimidir. Açık denizde burundan, fenerden veya şamandıradan kerteriz almak mümkün olmayabilir.

- ***2.1.2.2. Yöntem Bakımından Seyir***

İçinde bulunulan seyir ortamına göre uygulanacak seyir yöntemleri farklılık göstermektedir. Bazı seyir yöntemleri tüm bölgelerde kullanılabilirken bazıları sadece kıyı seyrine uygun olabilir. İçinde bulunulan duruma göre uygun yöntem kullanmak seyir emniyeti için önemli bir faktördür. Temel seyir yöntemlerinden bazıları şunlardır:

- Markator Seyri
- Büyük Daire Seyri
- Enlem Seyri
- Orta Enlem Seyri
- Boylam Seyri
- Volta Seyri
- Akıntı Seyri
- Buzda Seyir
- Elektronik Seyir
- Göksel Seyir

2.1.3. ELEKTRONİK SEYİR YARDIMCILARI

Günümüzde teknolojik gelişmelerle birlikte birçok seyir yardımcısı kullanıma girmiş ve seyir daha kolay ve güvenilir hale gelmiştir. Bunlardan bir kısmı doğrudan bir kısmı dolaylı olarak köprüüstündeki zabite yardım sağlamaktadır. Denizcilikte otonomiye geçişin temelini oluşturan bu seyir yardımcıları temel olarak geminin çevresiyle etkileşimiyle ilgili bilgi edinmemize yararlar. İleride bu cihazların etkinliği ve çeşitliliğinin artacağını söylemek yanlış olmaz. Günümüzde kullanılmakta olan seyir yardımcılarından bazıları şunlardır:

- ***Cayro Pusula***

Genel cayro prensipleri doğrultusunda dünyanın dönüşünden kaynaklı merkezkaç kuvvet yardımı ile hakiki kuzeyi bulabilen pusula sistemidir. Geleneksel manyetik pusula manyetik

kuzeyi gösterirken, cayro pusula hakiki kuzeyi gösterir. Bu sebeple seyir için daha sık kullanılmaktadır.

- ***Oto Pilot***

Oto pilot, dümen açısını ayarlayarak geminin istenen rota üzerinde kalmasını sağlayan, gemide serdümenin görevini üstlenen seyir sistemidir. Cayro ve manyetik pusula ile çalışabilir.

- ***İskandil***

"Geminin bulunduğu yerin deniz dibi derinliğinin ölçülmesinde kullanılan bir alettir. Farklı tipleri olmasına rağmen günümüzde yaygın olarak kullanılan elektronik iskandiller deniz dibine ses dalgaları gönderip yansıma zamanını ölçme prensibiyle çalışır." (Sügen, 2007)

- ***Parakete***

Geminin bulunduğu su kütlesi içindeki hareket hızını ölçmeye yarayan alettir.

- ***Radar***

Elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla geminin çevresindeki cisimleri saptamaya yarayan seyir yardımcısıdır. Dalga boylarına göre Q band, X band veya S band çeşitleri bulunur. Bir ekran vasıtasıyla gemi etrafındaki cisimleri eko olarak gösterir. Özellikle karanlıkta veya kısıtlı görüş koşullarında seyir yaparken kaptan için vazgeçilmezdir. Otomatik plotlama ile eko takibi yapan türlerine ARPA adı verilir. Radar cihazının bazı hata ve kısıtlamaları olabilir. Örneğin gemi bacasına denk gelen açılar arasında bir kör sektör oluşabilir veya atmosferik koşullara göre yanlış ekolar gösterebilir. İyi sonuç alabilmek için mutlaka kullanım kılavuzu okunmalıdır.

- ***Elektronik Harita Görüntüleme ve Bilgi Sistemi (ECDIS)***

"ECDIS, denizcinin planlama ve emniyetli seyir ihtiyaçlarına cevap vermek üzere elektronik haritayı, seyir uydu sistemlerinden aldığı konum bilgisiyle gösterebilen, kendisine bağlanan seyir yardımcılarından elde ettiği veriyi ekran üzerinde sergileyebilen elektronik seyir yardımcısıdır. SOLAS Sözleşmesinin V/19 ve V/27 maddelerine göre, sistemde güncel harita kullanılması ve uygun bir yedeğinin bulunması durumunda, harita bulundurma yükümlülüğünü karşıladığı kabul edilen bir seyir bilgi sistemidir." (Gürses, 2013)

- ***Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS)***

Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi) kavramının kısaltılmasıyla isimlendirilen GPS, uzaydaki dünyaya göre pozisyonları sabit olan uydularından gelen

sinyallerin kesişimleriyle dünya üzerindeki konumumuzu yüksek doğrulukla tahmin eden bir sistemdir. 3'ü yedek olmak üzere dünyayı çevreleyen toplam 24 uydusu vardır. Cihazlar bu uyduların eş zamanlı olarak en az 4'ünden sinyal alarak çalışır. (Tunçay, 2003)

- ***Otomatik Tanılama Sistemi (AIS)***

Automatic Identification System (Otomatik Tanımlama Sistemi) emniyetli seyir için gerekli bazı bilgilerin antenler aracılığıyla yersel olarak gemi ve sahil istasyonları arasında sürekli alışverişini sağlayan bir seyir yardımcısıdır. AIS aracılığıyla GPS'ten alınan konumu, cayro pusuladan alınan pruva, paraketeden alınan sürat gibi dinamik bilgiler, kullanıcı tarafından girilen su çekimi, personel sayısı, seyir durumu (demirde, palamarlı, makine gücüyle yürütülen, manevra yeteneği kısıtlı gibi) seyir bilgileri ve gemi adı, IMO numarası, MMSI numarası gibi statik bilgiler yayınlanmaktadır. Ayrıca AIS cihazı aracılığıyla mesaj gönderip almakta mümkündür. (Gürses, 2013)

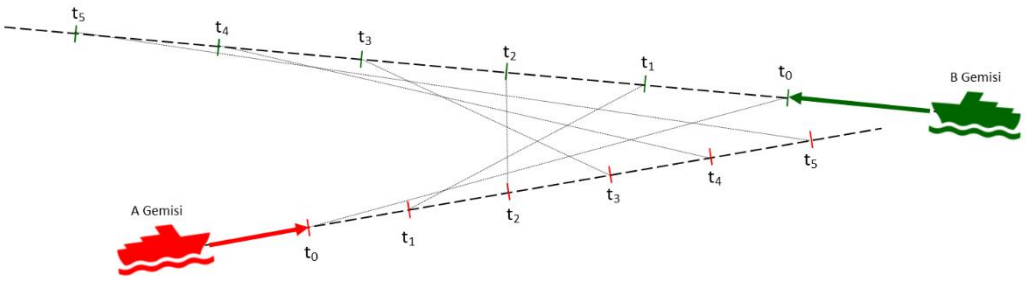
2.1.4. ÇATIŞMA VE ÇATIŞMAYI OLUŞTURAN KAVRAMLAR

"Hukuki anlamda çatma, iki veya daha çok geminin çarpışması olarak tanımlanmıştır" (TTK, 2012). "Başka bir kaynakta ise çatışma, yakın düşmenin ötesinde, yeterli süre varken veya uygun biçimde önlem alınmadığı için gemilerin aynı noktada buluştuğu süreç olarak belirtilmiştir" (Yarkın, vd., 2004).

İki tanımda da çatışmanın gemilerin buluştuğu noktada gerçekleştiği kabul edilmektedir. Bu durumda bazı temel bilgiler ile çatışmanın öngörülebilir olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Gemilerin hareket vektörlerini oluşturan konum, hız ve rota bilgileri ışığında çatışma ihtimali, önceden değerlendirilebilir ve önlenebilir niteliktedir. Çatışma tehlikesini analiz edebilmek ve çözüm üretebilmek için bazı kavramlar biliniyor olmalıdır.

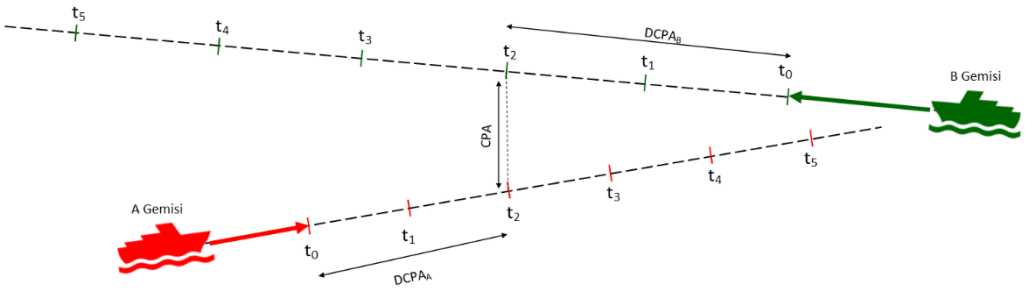
- ***2.1.4.1 En Yakın Nokta (CPA)***

CPA kısaltması, iki geminin mevcut hareketlerini koruduklarını takdirde birbirleri ile en yakın bulunacakları anda aralarında olacak mesafeyi tarif eder. Farklı konum, hız veya yönde hareket eden iki geminin aralarındaki doğrusal mesafe, zamana bağlı olarak değişim gösterir (Şekil 2.1). CPA, bu mesafenin minimum değeridir.



Şekil 2.1: Yaklaşan Gemilerin Zamana Bağlı Konumları

CPA değeri, hedef geminin yakın düşme tehlikesi oluşturup oluşturmadığını anlamak açısından önemlidir. Örneğin, CPA değeri sıfır (0) olan bir gemi, mutlak çatışma rotasındadır anlamına gelir.



Şekil 2.2: Yaklaşan Gemiler Arası CPA ve DCPA Mesafesi Gösterimi

Şekil 2.2.'de görülen A ve B gemileri sabit hız ve rotalarda ve birbirlerine yaklaşacak biçimde ilerliyor olsun. İki geminin hızları, konumları ve yönleri farklı olduğu için şekilde vektörleri de farklı büyüklüklerde olacaktır. Şekilde A gemisi kırmızı, B gemisi yeşil renkle gösterilmiştir. B gemisi, A gemisinden bir miktar daha hızlı hareket ediyor olsun. Gemilerin harekete başladığı zamanı t_0 kabul edersek, eş zaman aralıklarında gemilerin ilerleyişleri şekilde gösterilmiştir. Gemilerin sürat vektörleri farklı olduğundan, A gemisi $t_0 - t_1$ aralığında B gemisinin aynı aralıktaki ilerlediği mesafeden daha kısa mesafe ilerlemiş olacaktır. Bu gemiler arası mesafeleri karşılaştırdığımızda giderek azaldığını daha sonra en yakın noktaya ulaştığını, daha sonra ise artmaya başladığını görürüz. İşte t_2 anındaki bu en yakın nokta gemiler arası CPA'dir.

- ***2.1.4.2. En Yakın Noktaya Kalan Mesafe (DCPA)***

Gemilerin hızları, konumları ve rotaları farklı olduğu için hareket vektörleri de farklı olacaktır. Dolayısıyla birbirleriyle en yakın olacakları noktaya ulaşmak için her geminin kat etmesi gereken mesafe de farklı olacaktır. DCPA kısaltması, referans alınan gemi ile en yakın bulunulacak olan noktaya kalan mesafeyi anlatır.

- ***2.1.4.3. En Yakın Noktaya Kalan Zaman (TCPA)***

TCPA kısaltması, bahsi gecen gemi ile en yakın bulunulacak ana kalan zamanı ifade eder. Yani CPA noktasına kalan zamandır. Gemilerin CPA noktasına kalan mesafeleri farklı olsa da her gemi hızlarıyla bağıntılı olarak bu mesafeyi eşit zamanda kat edecek ve ortak noktada aynı anda buluşacaklardır. TCPA kavramı, yakın düşme tehlikesi değerlendirilen gemiye karşılık kalan zamanı ve manevra yapma gerekliliğini saptamak konusunda oldukça önemlidir.

2.2. DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEME TÜZÜĞÜ

Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGs), 1972 yılında IMO tarafından hazırlanarak, 15 Temmuz 1977 tarihinde zorunlu tutulmuştur. Denizde çatışmayı önlemek üzere 1965 tarihinde ulusal kurallar uygulamaya başlayan Türk hükümeti, IMO tarafından ortaya koyulan bu kuralları 12 Aralık 1977 tarihli bakanlar kurulu kararıyla Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü adıyla kabul etmiş ve ulusal kanunları, uluslararası kanunlarla değiştirmiştir. (T.C. Resmi Gazete, 1978)

Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (DÇÖT)'nde açık deniz gemilerinin seyirleri esnasında diğer tekneler ile çatışmasını önlemek üzere uluslararası kurallar ortaya koyar.

Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü, 5 bölüm altında toplanmış 38 kuraldan ve 4 ekten oluşur. 2013 yılında IMO tarafından yeni bir bölüm ve yeni üç kural eklenmiş olmasına rağmen Türk hükümetinin kabul ettiği ve resmi gazetede yayımlanan tüzükte bu kurallar mevcut değildir. ('Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü', 1977)

Tüzüğün A Bölümü (kural 1-3), hükümlerin kimlere uygulanacağı, genel sorumlulukları, tanımlamaları kapsayan genel hükümleri içermektedir. B Bölümü (kural 4-19), Manevra ve Seyir Kuralları olarak belirlenmiş ve üç alt kısma ayrılmıştır. Bölüm B'nin birinci kısmı "Her Türlü Görüş Durumunda Teknelerin Yönetimi", ikinci kısmı "Birbirini Gören Teknelerin Davranışları", üçüncü kısmı ise "Kısıtlı Görüş Koşullarında Teknelerin Davranışları" olarak adlandırılmıştır. Teknelerin çatışmadan kaçınmak üzere uygulayacakları manevralar ve davranış biçimlerinin tanımlanması bakımından tüzüğün ana hattını B bölümü oluşturur. C Bölümü (kural 20-31), gemilerin iletişimi bakımından gerekli olan fenerler ve şekiller ile ilgili ayrıntıları açıklamakta ve donanması gereken standartları belirtmektedir. D Bölümünde de (kural 32-37) yine gemilerin iletişimi bakımından gerekli olan ses ve ışık işaretleri ile ilgili ayrıntılar belirtilmiştir. E bölümü (kural 38) ise istisnai durumları belirtmektedir. Ayrıca tüzük teknik ayrıntılar içeren 4 lahika içermektedir.

2013 yılında IMO tarafından F bölümü ve bu bölüm altında yer alan 39. - 40. - 41. kurallar eklenmiştir. (IMO, 2018)

2.3. OTONOM GEMİLER

Gelişmekte olan bir teknoloji olarak otonom sistemler, özellikle karar destek kabiliyetleriyle birçok alanda tercih edilmekte, askeri teknolojiler, tıp, ekonomi, mühendislik gibi birçok alanda yerlerini giderek arttırmaktadır. Can güvenliği riski bulunan durumları çözümlemek, insanın çözmesi uzun süren problemlerde hız kazanmak, fazlaca bilgi birikimine dayalı hesapları kısa sürede halletmek gibi birçok amaca yönelik olarak yapay zekâlı sistemler sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde uzaya gönderilip, birtakım deneyler yapıp, sonuçları dünyaya ileten makineler bulunmaktadır. Bu denli kullanım alanları artan otonom sistemlerin denizcilik sektörüne girmesi de bu sürecin mutlak sonuçlarından birisidir.

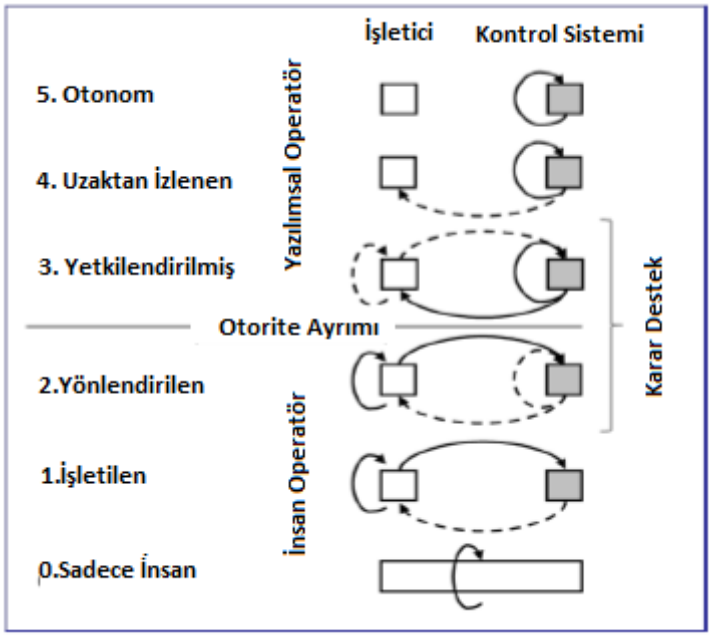
Gemiler, limanda kaldıkları sürelere kıyasla ekonomik ömürlerinin büyük kısmını seyir halinde geçirmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte liman operasyonları giderek hızlanmakta ve gemiler daha yoğun tempo ile çalışmaktadır. Bu gelişmelerle birlikte gemilerin seyir halinde geçirdiği sürenin, limanda kaldığı süreye oranı da artmaktadır. Gemilerin sadece mürettebat kontrolünde olduğu seyir esnasında yaşanan kazalar ise, hem gemide bulunan insanların hayatını hem gemiyi hem de üzerinde bulunan yükü tehlikeye atmaktadır. Söz konusu kazalar ise %85 gibi yüksek bir oranla insan faktöründen kaynaklanmaktadır (Cordon, Mestre ve Walliser, 2015). Bu şekilde kritik sonuçlar doğuran kazaların en büyük sebebi olan insan faktörü yerine hata oranı düşük otonom sistemler geliştirilmesi, teknolojik imkânlar doğrultusunda iyi bir çözüm olabilir.

Denizcilik endüstrisinin geleceği olarak görülen otonom gemilerin, tıpkı akıllı telefonlar gibi bir devrim yaparak gemi dizayn ve operasyonlarını büyük ölçüde değiştirmesi beklenmektedir (Rolls-Royce, 2016). Fakat günümüzde birçok alanda kullanılan otonom sistemlerin denizcilik gibi farklı ve önemli bir sektörde yerini alması beraberinde fazlaca alt konuyu da barındırmaktadır. Tek bir görev yapan otomasyon veya otonom sistemlerinin aksine denizcilikte birçok görevin eş zamanlı ve uyum içerisinde gerçekleştirilmesi gerekir. Küresel bir sektör olan denizciliğin otonom tarafı da küresel olmalıdır. Dolayısıyla denizcilikte otonomi konusunda oluşturulması, geliştirilmesi ve test edilmesi gereken çok fazla alt sistem bulunmaktadır.

Otonom gemiler muhakkak ki bir anda kullanıma girmeyeceklerdir. Avrupa Savunma Ajansı (EDA) desteğiyle yürütülen SARUMS (Safety and Regulations for European Unmanned

Maritime Systems) çalışmalarında konuyla ilgili 6 kademeli bir derecelendirme söz konusudur. (Rylander, Swedish ve Man, 2016)

Şekil 2.3. değerlendirildiğinde 0. seviye tamamen insan kontrollü, herhangi bir elektronik sistemden yardım alınmadığı seviyedir. RADAR, GPS vb. elektronik seyir yardımcılarının zorunlu olmasıyla birlikte bu seviyeyi geride bıraktığımız söylenebilir.



Şekil 2.3: SARUMS'a Göre Otonomi Seviyeleri

1. seviye ise ECDIS, AIS, ARPA benzeri elektronik seyir yardımcılarının kullanıldığı fakat gemide halen insan operatör bulunan ve karar verme yetkisi tamamen insana ait olduğu seviyedir. Günümüzde bu seviyede olduğumuzu söyleyebiliriz.

2. seviyede gemide hala insan bulunuyor, son karar yetkisi halen insanda fakat 1. Seviyeden farklı olarak elektronik sistemler insana çözüm önerisinde bulunuyor. Böylece insanın hata yapma ihtimalini düşürmeye çalışıyor.

Bir sonraki seviyede ise gemi kontrol yetkisi insandan yazılıma geçiyor. 3. Seviyede gemide kaptan bulunuyor fakat gemi kontrol yetkisini kontrol yazılımı elinde bulunduruyor. Örneğin gemi tanımlanandan daha sığ suya doğru ilerlediğinde kendiliğinden makineyi durdurabiliyor. Burada bir önceki seviyeden farklı olarak son kontrol yetkisi el değiştirmiş durumdadır. Bir

nevi insansız (unmanned) ana makine kontrolleri gibi düşünülebilir. Kritik bir durum olmadığında gemi kendi kendini idare edebiliyor.

4. seviyede gemideki insan operatör gerekliliği de ortadan kalkıyor. Gemi tamamen uzaktan kumanda ediliyor. Karadaki ofisinde oturan kaptan geminin tüm sensör ve cihazlarına erişebiliyor. Kumandayı ele alması gerektiğinde bağlanıp yönlendirebiliyor. Fakat bağlanmadığında gemi kendi kendini kumanda ediyor.

Ve son seviye olarak görülen 5. Seviyede ise kontrol mekanizması tamamen gemiye geçmiş durumdadır. Tam otonomiye geçiş yapılan bu seviyede kritik durumlar dâhil hiçbir senaryoda insan müdahalesine ihtiyaç duyulmuyor. Gemi kendi kendine durum değerlendirmesi yapıp, karar veriyor. Yani bir gemide kaptanın yapabildiği her şeyi otonom yazılım yapabiliyor. İnsana olan tüm ihtiyaç ortadan kalkıyor.

Bu çalışmada şu an bulunduğumuz 1. Seviyeden 2. Seviyeye geçiş için gerekli birçok alt sistemden bir tanesi olan açık denizde çatışmayı önleme sistemine çözüm sağlayabilecek bir matematiksel algoritma geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Öngörülen bu algoritmanın içinde bulunulan duruma hem hızlı ve kurtarıcı özellikte hem de Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü'ne (DÇÖT) uygun çözüm önerisi sunması hedeflenmektedir.

Otonom gemilerin teknolojik altyapısı yanı sıra ulusal ve uluslararası mevzuatın uyumu gibi yönetsel konularda da paralel bir gelişim olmalıdır. Denizcilikte otonomiyi genel çerçevesiyle teknoloji, emniyet, yasal konular başlıkları altında inceleyebiliriz.

2.3.1. TEKNOLOJİ BAKIMINDAN OTONOM GEMİLER

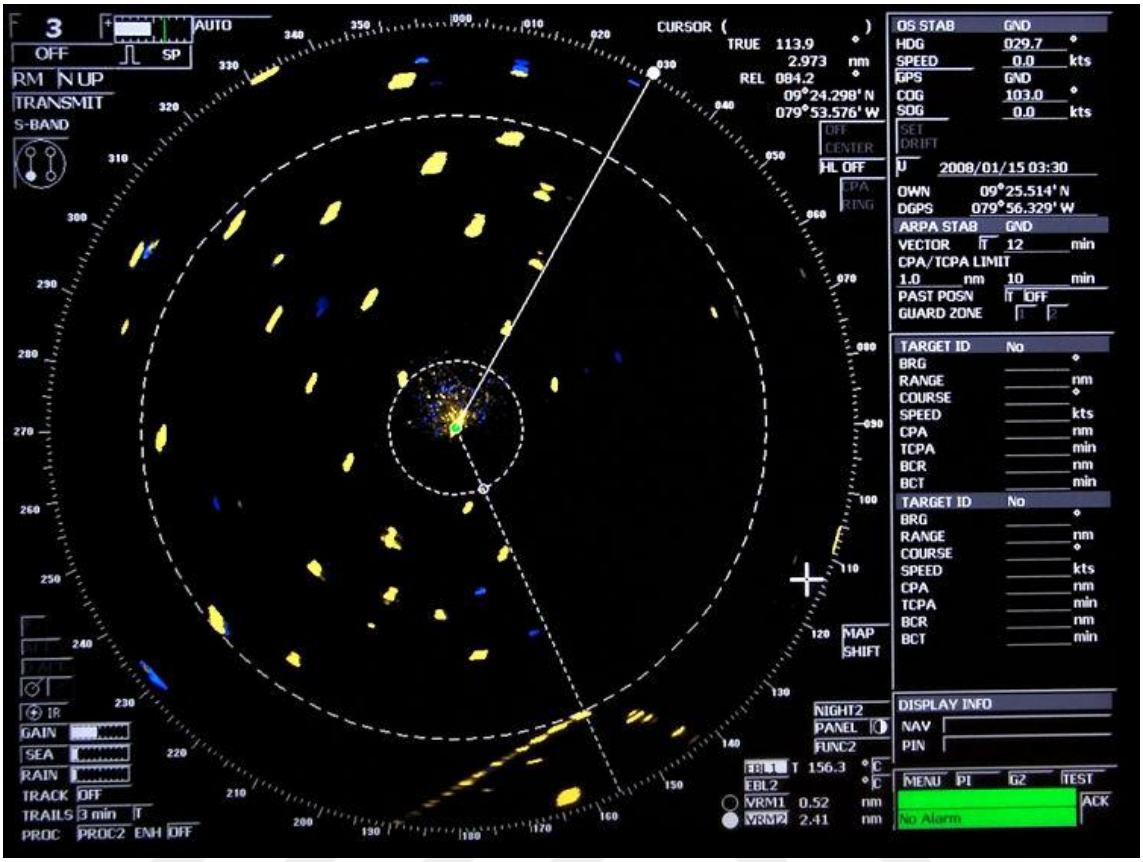
Geliştirilen alan otonomi olduğunda teknoloji temel altyapıyı oluşturmaktadır. Bu zamana kadar olduğu gibi bundan sonra da yaşanacak gelişmeler teknolojinin el verdiği ölçüde var olacaktır. Otonom gemi teknolojileri de son dönemde oldukça ilgi çekmektedir. Son yıllarda kullanımına alışılan sürücüsüz kara taşıtları, denizcilikte de benzer beklentileri arttırmıştır. Otonom gemi teknolojileri temel geminin kendi durumunu değerlendirmesi, iletişim kurması ve karar verme yetenekleri olarak üç başlık altında incelenebilir. Bu noktada ihtiyaç duyulan şey, tıpkı insan gibi çevresinde olanları izleyip anlayabilen elektronik duyular ve bunları yorumlayan sistemler geliştirilmesidir. (Rolls-Royce, 2016)

- ***2.3.1.1. Sensörler ve Algılama***

Tanım olarak bakıldığında sensör, çevresinde olup biteni algılayan elektronik duyu organlarıdır (Wikipedia, 2019). Denizde insanların gözleriyle, kulaklarıyla algıladıkları birçok çevresel değişim günümüzde sensörler vasıtasıyla tespit edilebilmektedir. Sensör teknolojisi, otonom operasyonların birçok formunda kullanılmaktadır. Hemen hemen her koşulda ve sürekli olarak çalışan sensörler, otonominin gelişmesine önemli katkı sağlamaktadır. Ultra yüksek çözünürlüklü kameralar, gelişmiş radar sistemleri, termal algılayıcılar veya daha karmaşık yapıdaki çoklu sensörler, farklı amaçlarda en iyi sonuca ulaşmak için farklı kombinasyonlar haline kullanılabilir (Rolls-Royce, 2016). Otonom gemiler üzerine yürütülen çalışmalarda kullanılan bazı sensörler aşağıda verilmiştir.

- ***RADAR (RAdio Detection And Ranging)***

Döner bir anten vasıtasıyla çevreye radyo dalgaları gönderen ve dönen dalgaların yansımasına göre yön ve uzaklık algılaması yapan cihazlardır (Wikipedia, 2017). Birçok farklı türü olmasına rağmen denizcilikte genelde X Band (dalga boyu yaklaşık 3 cm) ve S Band (dalga boyu yaklaşık 10 cm) radarlar kullanılmaktadır.



Şekil 2.4: Örnek Bir Deniz Tipi RADAR Ekranı Görüntüsü (Jassal, 2016)

Radarlar uzak mesafe veya kısıtlı görüş gibi zorlu koşullarda algılama konusunda denizcilerin sıklıkla başvurduğu bir yöntemdir. Fakat çok yakın mesafelerde kullanılamamaktadırlar. Ayrıca radar görüntüleri detaylı olmadığı için tespit edilen cismin niteliğiyle ilgili bilgi vermemektedir. Şekil 2.4.'de görülen RADAR ekranındaki sarı ekolar çevrede bulunan gemilerden yansıyan sinyalleri temsil etmektedir. Fakat ekranda sadece lekeler şeklinde görünmekte olup detayları bilinmemektedir. Eko takip özelliği olan ARPA tip radarlar sayesinde denizciler çevrede gördükleri cisimlerin ne yöne ve hangi hızlarda hareket ettiklerini anlayabilirler.

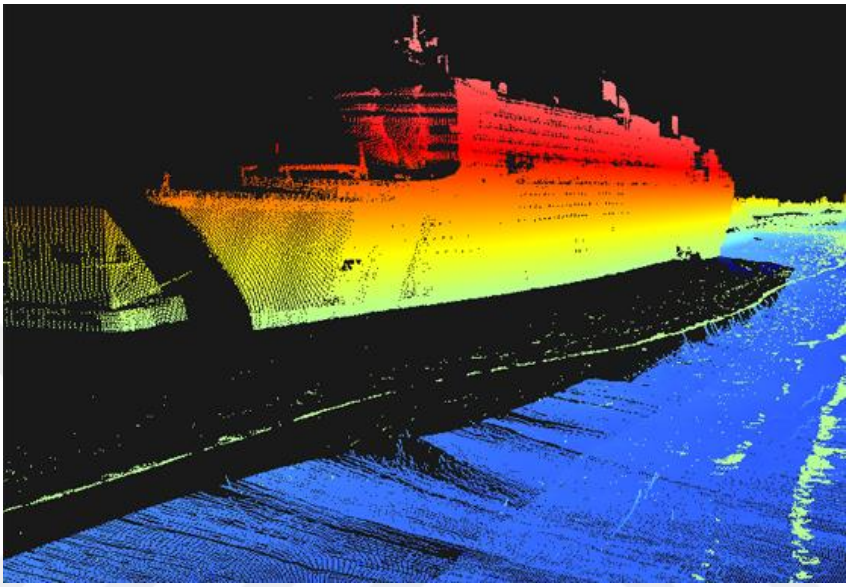
- ***LIDAR (LIght Detection And Ranging)***

LIDAR, lazer darbeleri gönderip yansıyan dalgaları ölçerek bir nesne veya yüzeyin uzaklığını ölçmeye yarayan cihazlardır. Çalışma mantığı radara benzer fakat radarda kullanılan radyo dalgaları yerine LIDAR'da lazer darbeleri yani ışık kullanılır. Uzaklığı ölçülecek nesne ya da yüzeye gönderilen lazer darbesinin gönderiliş zamanı ile nesneye çarpıp gelen yansımanın tekrar kaynağa ulaşma vakti arasındaki fark sayesinde uzaklık ölçülür. Dönen bir anten üzerine yerleştirilmiş çok sayıda lazer çevreye ışık saçarak geri yansıma süresini ölçme prensibiyle çalışırlar. Örneğin Şekil 2.5.'de gösterilen Velodyne HDL-64E S2 model LIDAR cihazı saniyede 10 kez dönen bir antene yerleştirilmiş 64 adet lazerden oluşmakta ve bir saniyede yaklaşık bir milyon noktadan ölçüm alabilmektedir. Radarın yakın mesafedeki cisimleri algılayamama ve saptanan cisimlerin detaylarını görememe gibi dezavantajlarını tamamlayıcı olarak LIDAR cihazları kullanılırlar.



Şekil 2.5: Velodyne HDL-64E Modeli Bir LIDAR Cihazı

LIDAR ile gönderilen ışık demetlerinin dalga boyu, su yüzeyinden yansımayacak biçimde ayarlanmıştır. Bu şekilde denizde kullanım ve çevredeki cisimlerin tespiti için son derece uygundur. Yapılan testlerde deniz üzerindeki şamandıralar ve çevrede uçan martılar gibi çok küçük nesneleri saptayarak iyi bir performans gösterir. Şekil 2.6.'da LIDAR cihazı ile elde edilmiş detaylı bir görsel verilmiştir.

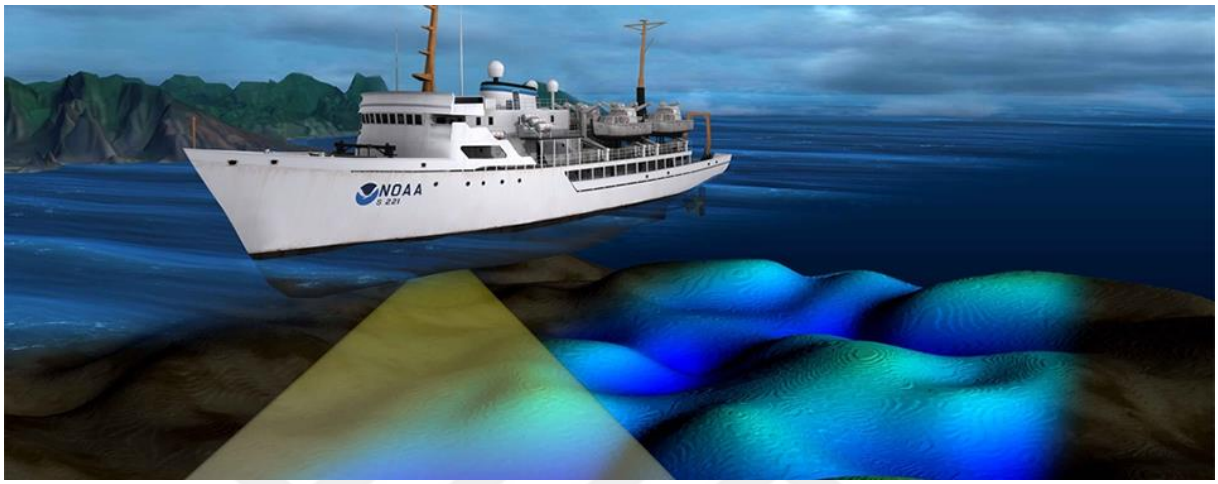


Şekil 2.6: Örnek Bir LIDAR Ekranı Görüntüsü

Deniz kullanımına özel geliştirilmiş LIDAR cihazları geminin çevresini belirlenmiş açısal sınırlarla çevrili hücrelere bölerek aynı hücreden olan dönüşleri saymakta ve belirgin tekrarlar olduğunda ekranda cisim gösterimi yapmaktadır.

- ***SONAR (SOund Navigation And Ranging)***

Sesin suda yayılma özelliğini kullanarak tarama yapan cihazdır (Wikipedia, 2018b). Radar ve Lidar benzeri bir prensip ile çalışan SONAR cihazı çevreye ses dalgaları gönderir ve geri dönen dalgaları dinler. Genel olarak su altındaki cisimleri taramak için kullanılırlar (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Örnek Bir SONAR Çalışma Prensibi

- ***Geniş Açılı Stereo Görüş Sistemleri***

NASA tarafından uzay araçlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş JPL geniş açılı stereo görüş sistemi, sancak ve iskeleye konumlanmış iki çift yüksek çözünürlüklü kameradan oluşmaktadır. Görüşü engelleyebilecek cisimlere karşı görüntüyü kalibre edebilecek stereo işleme sistemi kullanırlar. İnsan gözü benzeri bir yapısı olan bu sistem yardımıyla görüntü üzerinde derinlik haritası oluşturulabilir ve bu şekilde belirlenmiş rota görüntü üzerine işlenerek daha doğru takip edilir. (Elkins, vd., 2010)

- ***EO Visual 360 Cameras (360 Derece Elektro Optik Kameralar)***

Elektro Optik kameralar, günlük hayatta kullanılan kameralara benzer, yüksek çözünürlüklü ve 360 derecelik alandan görüntü alabilen kameralardır. Örnek bir JPL 360 kamera sisteminde kapalı bir muhafaza içinde aralarında 60'ar derece bulunan 6 adet kamera bulunur. Bu kameralardan alınan görüntüleri ise işleyip birleştirerek 360 derecelik kesintisiz bir görüntü sunar. Cihazın iki temel görevinden biri sabit bulunan bir sunucu görevi görerek çevredeki cisimlerin davranışlarını imgeleştirmektir. Bu yeteneğin temel işlevi elde edilen görüntünün, Radar, LIDAR, diğer gemiler veya kıyı istasyonları aracılığıyla elde edilen görüntülerle eşleştirilip tam bir saptama sağlamasıdır. İkinci işlevi ise 360 derecenin tamamı için otonom olarak gri tonlamalı görüntü analizi yapmaktır. Bu mod sayesinde sistem çeşitli algoritmalarla

görüntü işleme üzerine eğitilebilir ve bu sayede sürekli olarak gemi çevresinin görüntüsünü inceler, herhangi bir değişiklik olduğunda veya hedef saptandığında işaretleme ve takip yapabilir. (Elkins, vd., 2010)

- ***EO IR Cameras (Elektro Optik Kızılötesi Kameralar)***

Kızılötesi kameralar, 360 derece kameralarla aynı prensipte çalışan fakat gece görüşü için avantajlı olan kızılötesi kameralardır. Gece görüş sistemleri ortamdaki az sayıda fotonun elektronlara çevrilerek, kimyasal ve elektriksel olarak yükseltilmesi esasıyla çalışır.

- ***Rain Sensor***

Yağış sensörüdür. Bulunduğu çevrede yağış olup olmadığını veya ne kadar yağış olduğunu saptamaya yararlar.

- ***Aerosol Particle Sensor***

Havada serbest dolaşan partikülleri ölçen sensörlerdir.

- ***Humidity Sensor***

Nemlilik sensörüdür. Havada bulunan bağıl nemi ölçer. Hava durumu tahmini için kullanılır.

- ***Luminance Sensor***

Alınan ışık miktarını ölçen sensörlerdir.

Denizcilikte kullanılan çeşitli tipte sensörlerden bazılarının avantaj ve dezavatajları Tablo 2.1'de verilmiştir. Burada başlıklar altında yazılmamış birçok sensör de otonom sistemlerde kullanılmaktadır. Hareket sensörleri, basınç sensörleri, gaz dedektörleri gibi birçok sensör ihtiyaca yönelik olarak kullanılabilirler.

Tablo 2.1: Gemilerde Kullanılabilecek Bazı Sensörlerin Avantaj ve Dezavantajları (Elkins, Sellers ve Monach, 2010)

SENSÖRLER	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
RADAR	1- Uzun Mesafe Algılama	1- Hızlı Gerçekleşen Manevralarda Çarpık Veri
	2- Farklı Hava Koşullarında Kullanılabilir	2- Küçük ve Dinamik Hedefleri Tespit Sınırlılığı
	3- Yüksek Derinlik ve Doğruluk	3- Yüksek Dalgalara ve Suyun Yansıtıcı Özelliğine Duyarlı
LIDAR	1- Yakın Mesafede Başarılı Cisim Tanıma	1- Sensör Parazitleri ve Kalibrasyon Gerekliliği
	2- Yüksek Derinlik ve Doğruluk	2- Gemi Bünyesindeki Hareketlere Duyarlılık
SONAR	1- Görsel Kısıtlama Yok	1- Her Taramada Sınırlı Tespit
	2- Yüksek Derinlik ve Doğruluk	2- Yüzeye Yakın Parazitlerden Etkilenebilir
Görsel Sensörler	1- Yüksek Yanal ve Cephesel Görünüm	1- Düşük Derinlikte Çözünürlük ve Doğruluk
	2- Basit, Hafif ve Pratik Kullanım	2- Gerçek Zamanlı Uygulama Zorluğu
		3- Işık ve Hava Koşullarına Duyarlılık
Kızılötesi Sensörler	1- Karanlıkta Kullanım	1- Sadece Kapalı Alanda veya Akşamları Kullanım
	2- Düşük Enerji Tüketimi	2- Yüzey veya Mesafeye Bağlı Hatalı Gösterim
İvme Atalet Sensörleri	1- Küçük Boyu, Düşük Maliyet ve Düşük Enerji Tüketimi	1- Hata Birikimine Duyarlılık, Manyetik Alandan Etkilenme
Konum Sensörleri	1- Küçük Boyu, Düşük Maliyet ve Düşük Enerji Tüketimi	1- Kısıtlanmış veya Manyetik Alanlardan Etkilenme

- ***2.3.1.2. İletişim ve Uzak Bağlantı***

Otonom gemiler için önemli konulardan biri de, dışarıdan girdiye ihtiyaç duyması ve gerek duyulduğunda kontrol ekibiyle iletişim kurabilir yapıda olmasıdır. Bu iletişim çift yönlü, anlaşılabilir, sürekli ve çoklu sistemler tarafından da desteklenebilir yapıda olması gerekir. Gemide var olan tüm sensörlerin ve kontrol sistemlerinin, her zaman ve her koşulda, iletişim kurulabilir yapıda olması garanti altında olmalıdır (Rolls-Royce, 2016). Günümüzde yersel ve göksel sistemlerde çalışan birçok iletişim cihazı bulunmaktadır.

- ***2.3.1.3. Kontrol ve Karar Algoritmaları***

Otonom sistemler için seyir ve çatışmayı önleme, sensörlerden alınan bilgilerin ne şekilde kullanılacağı ve ne karar verileceği konusunda farklı algoritmalar içeren kontrol sistemleridir. Bu karar algoritmalarının arkasında ise mevcut kural ve uygulamalara uygunluk yatar. Kontrol algoritmalarının gelişimi ise kademeli bir şekilde, test ve canlandırmalarla güçlendirilerek ve üstüne koyarak ilerleyen bir yapıda olacaktır (Rolls-Royce, 2016). Otonom teknolojilerin geliştirilmesi konusunda yaygın yapılan yanlış makinelerden kusursuz performans beklemektir, ancak insan kontrolündeki gemilerde de aslında birçok hata ile karşılaşıldığı görülmektedir. Bu konuda doğru yaklaşım makinelerden kusursuz performans değil insana eşit veya daha iyisi beklemek olmalıdır.(Bertram, 2013)

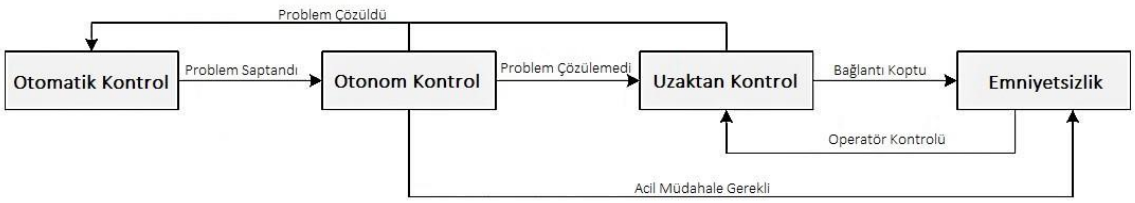
Günümüzde otonom gemi teknolojisinin temel bileşenlerinden sensörler ve iletişim donanımları önemli ölçüde gelişmiştir. Yeni cihazlar geliştirilebilecek olmasına rağmen günümüz teknolojisi de otonom gemiler için yeterli durumdadır. Otonom gemiler için eksik kalan ve geliştirilmesi gereken asıl konu sensör ve iletişim donanımlarını birleştiren, alınan verilerin analizini yaparak birleşik bir eylem planı hazırlayabilen zeki sistemler tasarlamaktır. (Prasad *vd.*, 2017)

Otonom gemi teknolojisinin geliştirilmesine yönelik akademik ve endüstriyel çalışmalar tüm hızıyla sürdürülmektedir. Sürdürülen bu çalışmalar, karar destek, rota planlama, görüntü işleme, sanal görüş, denetim ve mevzuat uyumluluğu gibi farklı alanlarda gelişim göstermektedir. Fakat günümüz teknolojisiyle çoklu sensör yapılarına ve diğer tüm gelişmelere rağmen özellikle hava koşullarını değerlendirme ve karar verme konularında hala insan desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. (Prasad *vd.*, 2017)

Günümüzde insanların kontrolünde olan gemilere bakıldığında bir seyir zabiti istediği rota ve hız için komut verir, serdümen veya oto pilot ise geminin dümen ve makinesini komutlara göre yönlendirir. Bu gemilerdeki zabitler hem bu cihazlardaki verileri hem de çevreyi sürekli kontrol etmek durumundadır. Dümen ise normal şartlarda oto pilot tarafından kontrol edilmekte, sadece manevralarda veya olası tehlike durumlarında manuel kontrole alınmaktadır. Bu durum gemilerin otomasyona geçiş sürecinde bazı adımların zaten atılmış olduğunun bir işaretidir. (Blanke, vd.,, 2017)

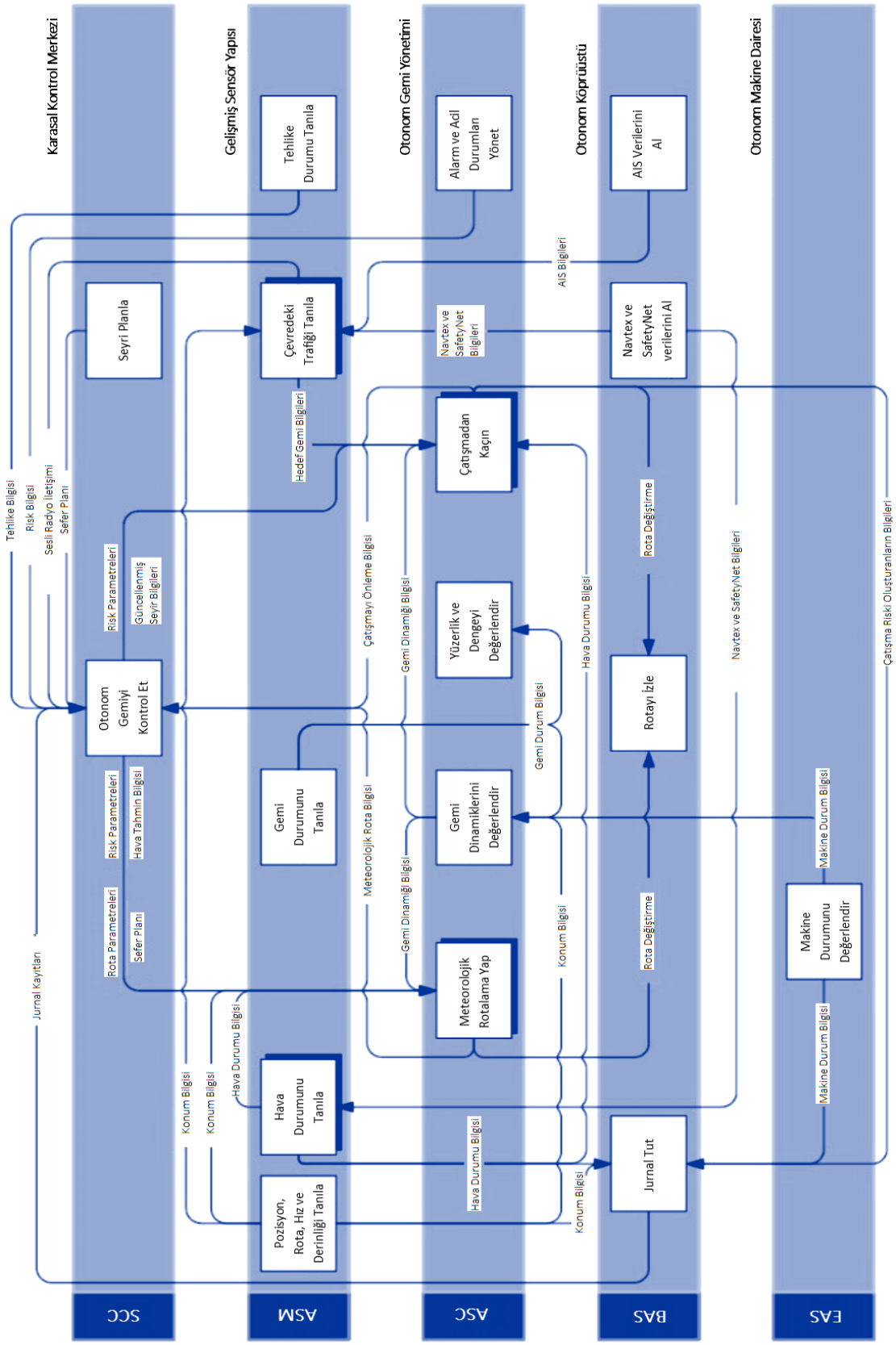
Tam otonomiye geçilebilmesi için ise gemide yapılan işler analiz edilmeli ve bu işleri başarıyla yapabilecek makineler tasarlanmalıdır. Yapılan birçok çalışma bu alt sistemleri tasarlamak üzere yoğunlaşmaktadır. Bu tezin de konusunu oluşturan çatışmayı önleme sistemleri en önemli konulardan birisi olarak öne çıkmaktadır.

Sistem tasarımları görüntü tanıma, rota izleme, çatışmayı önleme, manevra kontrolü, stabilite takip, yük operasyonları kontrolü, makine kontrolü, siber güvenlik kontrolü gibi sayısız alt sistemden ve bu sistemleri birbirine bağlayan kontrol mekanizmalarından oluşacaklardır. Bu tip sistemlerin temel çalışma prensibi otomatik sistemlerden alınan verileri, otonom sistemlerde değerlendirmek ve yine diğer otomatik sistemlere talimat vermek üzere kuruludur. Burada otomatik sistemler ile kastedilen, algıladığı bilgiyi olduğu gibi aktaran sensör sürücüleri veya aldığı komutu uygulayan motor sürücüleri gibi, sadece tasarlandığı şekilde işlerini yapan sistemlerdir. Otonom sistemler ile kastedilen ise aldığı veriyi yorumlayan ve yeni tecrübeler edinebilen zeki sistemlerdir. Sistemin çözemediği bir problem ile karşılaşıldığında ise müdahale edilebilmelidir. Şekil 2.8'de gösterildiği üzere genel çatı bu şekilde otonom, otomatik ve uzaktan kontrol sistemleri ve bunlara bağlı alt sistemlerden oluşur. (MUNIN, 2016c)



Şekil 2.8: MUNIN Projesi Otonom Operasyon Yapısı (MUNIN, 2016c)

Farklı kişi ve kurumlarca geliştirilen otonom sistemler, farklı sistem tasarımlarına sahiptir. Fakat bir çoğunda aynı temel işlemleri yapacak alt sistemler ve bu sistemlerden oluşan katmanlar bulunur. Kullanılan yapılar genel olarak gemideki iş bölümüne benzer bir ayrım barındırmaktadırlar. Örneğin tüm otonom sistemlerde gemideki gözcülük görevine benzer bir işi yapacak alt sistem bulunmalıdır. Bu sistem RADAR, LIDAR, IR kamera gibi sistemlerle çevresini sürekli izlemeli, gerektiğinde gözcünün seyir zabitine rapor verişine benzer şekilde diğer sistemlere veri göndermelidir. Bu ve buna benzer tüm alt sistemlerin verilerini işleyip karar veren sistemler ise yaygın olarak gemi zekası olarak adlandırılırlar. Gemi zekası birimi de diğer birimlerden aldığı verileri işleyerek yeni bir strateji belirlemelidir.

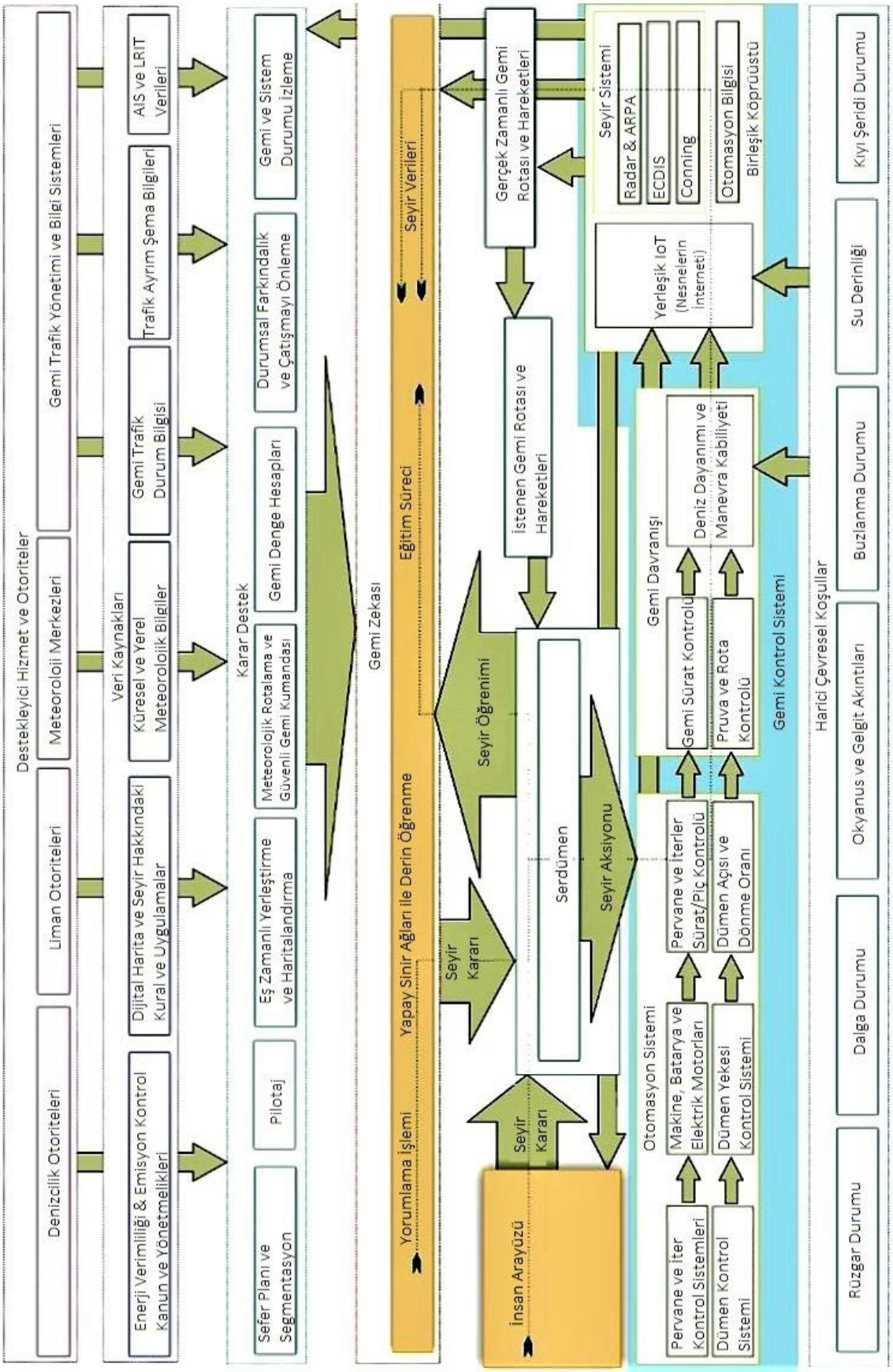


Şekil 2.9: MUNIN Projesi Otonom Kontrol Yapısı (MUNIN, 2016)

Şekil2.9'da gösterilen MUNIN projesine ait otonom kontrol yapısı incelendiğinde sistemin 5 katmana ayrıldığı ve her katmanda ilgili işler için tanımlı alt sistemler olduğu görülür. Katmanlar ve alt sistemlerle olan etkileşimleri aşağıda verilmiştir.

- **Otonom Makine Dairesi:** Gemi ana ve yardımcı makinelerini kontrol eden, performanslarını izleyen, gerektiğinde müdahale eden katmandır. Makine Kontrol Odası gibi düşünülebilir. Makine personelinin yaptığı işleri otonom olarak yapması istenilen birimdir.
- **Otonom Köprüüstü:** Geminin seyir sistemlerini kontrol eden katmandır. Gemide köprüüstü ekibinin yaptığı işleri yapması beklenir.
- **Otonom Gemi Yönetimi:** Geminin otonom yapısının temeli olan katmandır. Gemi zekası olarak öğrenme ve strateji belirleme işlerini yapar. Gemi kaptanı gibi kritik durumlarda karar alması beklenir.
- **Gelişmiş Sensör Yapısı:** Gemide bulunan algılama sistemlerinin dahil edildiği katmandır. Sensörleri aracılığıyla okuduğu verileri elektronik olarak anlamlı hale getirerek ilgili birimlere aktarması istenir.
- **Karasal Kontrol Merkezi:** Uzak bağlantı veya kontrole imkan tanıyan birimdir. Sefer talimatı veya seyir uyarıları gibi karasal bilgileri almak için gereklidir. Armatör şirketin kaptana sefer talimatı vermesi şeklinde düşünülebilir.

Bir insansız gemi projesi olan MUNIN kapsamındaki bu kontrol yapısı tamamen otonom değildir. Örneğin sensör yapısı katmanında gösterilen trafiği tanılama işi otomatik olarak yapılmaktadır fakat otonom değldir. Bir sistemin otonom olarak adlandırılabilmesi için önceden tasarlanmadığı durumlarla karşılaştığında da çözümler üretebilen, tecrübe kazanan ve yorumlayabilen bir yapıda olması gerekir. Bu şemaya bakıldığında çatışmayı önleme sistemi otonom olarak değerlendirilebilir fakat hava durumunu tanılamak otonom bir işlem olmayacaktır.



Şekil 2.10: Derin Öğrenme Sağlayan Otonom Kontrol Yapısı (Lokukaluge P. Perera, 2018)

Şekil 2.10'da gösterilen kontrol yapısı ise (Perera, 2018) tarafından hazırlanmıştır. Otonominin temeli olan makine öğrenimi için ortaya atılan bu sistemde MUNIN projesinden farklı bir yapı olmasına rağmen bazı noktalar ortaktır. Bu kontrol yapısı ve barındırdığı alt sistemlerle olan etkileşimleri aşağıda verilmiştir.

- **Otoriteler ve Destekleyici Hizmetler:** Bu katmanda denizcilik otoriteleri ve bilgi sistemlerinden veriler alınması beklenmektedir. Geminin uyması gereken kanun ve yönetmeliklerle ilgili düzenleyici veriler, seyir uyarıları, meteorolojik veriler, deniz trafik verileri, AIS ve LRIT verileri bu katmandan alınmaktadır. Dış kaynaktan alınan bu veriler işlenmek üzere karar destek katmanına iletilmektedir.
- **Karar Destek:** Bu katmanda alınan verilerin işlenerek mantıklı çıkarımlar yapılması beklenir. Sefer planı, pilotaj, çatışmayı önleme, stabilite hesapları gibi hesabi işler bu katmanda yapılmaktadır.
- **Gemi Zekası:** Yapay zekaya sahip bu katman geminin karar verici kısmını temsil eder. Karar destek katmanından alınan verileri yorumlayarak mantıklı çıkarımlar yapar, tecrübe kazanır, mevcut durumda yapılması gereken aksiyona karar verir.
- **Gemi Kontrol Sistemi:** Bu katmanın uygulayıcı görevi bulunur. Gemi Zekasının aldığı karara uygun hareketi gerçekleştirir. Makine kumandası, dümen donanımı kontrolü gibi fiili işler bu katmanda gerçekleştirilir. Yapılan işler hakkında gemi zekasına geri bildirimde bulunulur.
- **Harici Çevresel Koşullar:** Geminin çevresindeki koşullarıla ilgili veri toplayarak kontrol sistemine dolayısıyla gemi zekası katmanına bilgi akışı sağlar. Geminin dalga, akıntı, rüzgar, hava durumu gibi çevresel sensörleri bu katmana hizmet eder.

Örnek olarak gösterilen çalışmalar tam otonomik sistemler için yapılmış kontrol şemalarıdır. Fakat bu yapıların hayata geçirilebilmesi için önce alt sistemlerin tamamlanmış ve birbiriyle uyumlu çalışır olması gereklidir. Dolayısıyla yeni bir kontrol sistemi tasarlanabilmesi için alt sistemlerin de tasarlanması gerekir. Otonomi seviyelerinin yükselişi ancak bu şeilde sağlanabilir.

2.3.2. EMNİYET VE GÜVENLİK BAKIMINDAN OTONOM GEMİLER

Otonom veya uzaktan kontrollü gemiler, armatörlerin, deniz işletmecilerinin, bayrak devletlerinin, denizcilerin veya sektör içinde yer alan diğer tüm paydaşların kabulünü görebilmesi için en az geleneksel insanlı gemiler kadar emniyetli olduğunu kanıtlamak durumundadır. Otonom gemiler insan hatası kaynaklı riskleri azaltırken, yeni tehditler doğurmamalıdır. Bu bağlamda ortaya çıkan yenilikler hayata geçirilmeden önce çok yönlü olarak test edilmeli ve her ihtimale karşı çözümler düşünülmelidir. Denizcilik sektörü mevcut halde risk yönetiminin iyi yapıldığı sektörlerden birisidir. Fakat bununla birlikte yeni geliştirilen teknolojilerin ortaya çıkaracağı yeni ve değişen risklere karşı yeni yaklaşımlar da ortaya koyulmalıdır. (Levander, 2016)

Tüm elektronik seyir yardımcılarına rağmen her yıl çok sayıda çatışma ve karaya oturma kazası gerçekleşmektedir. Yapılan incelemeler 2011-2016 arası gerçekleşen kazaların %62sinde tetikleyici faktörün hala insan hatası olduğu görülmektedir (EMSA). Ayrıca insan hayatı söz konusu olduğunda gemide çalışmanın karada çalışmaktan daha riski olduğu bilinen bir gerçektir. Ölümle sonuçlanan kazalar karşılaştırıldığında gemide çalışmanın karada çalışmaktan 5 ile 16 kat daha tehlikeli olduğu ortaya çıkmıştır (Buzancic Primorac ve Parunov, 2016). Dolayısıyla emniyet söz konusu olduğunda otonom gemilerden kusursuz performans değil, insana eşit veya daha iyi performans göstermesi beklenmelidir.

Şüphesiz otonom gemiler için en önemli konulardan biri de siber saldırı tehdidi dir. Bu konuda geliştirilen birbirinden bağımsız uygulamalar arasından sisteme en uygun olanın veya uygun olanların bir kombinasyonunun seçimi gibi yöntemler planlanan önlemler arasındadır. (Rolls-Royce, 2016)

Yapılan çalışmalar doğrultusunda genel görüş ister insan hayatı, ister gemi ve yüklerin güvenliği isterse de çevre güvenliği konusunda olsun, otonom gemilerin kayıpları azaltacağı ve emniyet seviyesini önemli ölçüde arttıracağı yönündedir. (Blanke, vd., 2017)

2.3.3. YASAL MEVZUAT BAKIMINDAN OTONOM GEMİLER

İster uzaktan kontrollü ister tam otonom olsun, insansız gemilerin mevcut kuralları köklü bir değişime uğratacağına kesin gözüyle bakabiliriz. Günümüzde gemi seyri uluslararası, ulusal veya diğer özel kanunlara tabi şekilde sürdürülmektedir ve ilerleyen zamanlarda bu kanunların otonom gemileri de kapsaması beklenir. Genel olarak bu değişimlerin geleneksel kuralları toptan değiştirmeyip uyumlaştırma ile çözülmesi beklense de taraflara düşen sorumluluklar veya sigorta mevzuatları gibi özel konuların önemli ölçüde etkilenmesi kaçınılmazdır (Rolls-Royce, 2016).

İnsansız gemilerin yasal olarak nasıl sınıflandırılacakları, hangi mevcut kanunlara tabi olacakları, hangi yeni düzenlemelere ihtiyaç duyacakları henüz belli olmayan hükümlerdir. Herhangi bir kaza durumunda sorumlulukların nasıl paylaşılacağı veya otonom gemiler için sigorta poliçelerinin nasıl değişime uğrayacağı merak konusudur (Final ve June, 2015). Kanun değişimlerinin siyasi otoriteler kontrolünde olmasıyla birlikte bu konu üzerine çalışan özel kuruluşlar da ihtiyaca yönelik öneriler sunmaktadırlar fakat henüz kesinleşen bir konu bulunmamaktadır. Kaldı ki her otonom deniz aracının aynı yasal sorumluluğa tabi olması da beklenemez. Bu durumda otonomi seviyeleri ve gemi tiplerine göre yasal bir sınıflandırma yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

(Bureau Veritas, 2017) tarafından otonom gemiler için hazırlanan rehberde yasal sorumluluklar için bazı noktalara dikkat çekilmiştir. Buna göre Denizde Can Emniyeti Sözleşmesinde (SOLAS) yer alan hükümlerden bazıları gözden geçirilmek durumundadır.

- Seyir Emniyeti Bölümü – Kural 14: Personelle donatma
- Seyir Emniyeti Bölümü – Kural 15: Köprü üstü dizaynı, seyrüsefer sistem ve ekipmanların dizaynı ve yerleştirilmesi ve köprü üstü prosedürlerine ilişkin prensipler
- Seyir Emniyeti Bölümü – Kural 22: Köprüüstü görüş mesafesi
- Seyir Emniyeti Bölümü – Kural 24: Pruva ve/veya rota kontrol sistemleri
- Seyir Emniyeti Bölümü – Kural 33: Tehlike mesajları: yükümlülük ve prosedürler
- Seyir Emniyeti Bölümü – Kural 34: Güvenli seyir ve tehlikeli durumlardan kaçınmak
- Telsiz Haberleşmesi Bölümü – Kural 12: Vardiyalar

Ayrıca tehlike durumunda yardım yükümülükleri de tartışılması gereken hususlar olarak öne çıkmaktadır.

Aynı rehber dahilinde Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesine ait Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL) hükümlerinin otonom gemiler içinde bağlayıcı olması gerektiğinden söz edilmiştir. Otonom gemi kontrol sistemlerinin özellikle petrol kirliliği ve gaz emisyonları konusunda kurallara uygun şekilde tasarlanması gerekliliği vurgulanmıştır. Ayrıca otonom gemilerde tüm yağ yakıt defteri kayıtları elektronik olarak tutulacak ve saklanacaktır.

Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (DÇÖT) hükümleri ise iki temel konuda değişime uğramalıdır. Otonom gemiler gözcülük yapabilmeli ve yapılacak manevraya karar verebilmelidir. Ayrıca niyetinin karşı gemi tarafından anlaşılması veya karşı geminin kurallara uyup uymayacağının bilinmesi için iletişim kurabilir yapıda olmalıdırlar. Bu yeteneklerin gemide var olma zorunluluğuyla ilgili düzenlemeler sözleşmeye dahil edilmelidir.

Ayrıca gemiler tamamen insansız olsa dahi karasal kontrol gerekli olacaktır. Bu durumda insansız gemileri kumanda eden karadaki operatörler için de çeşitli eğitim ve sertifikalar erekecektir. Bu sebeple Gemi Adamlarının Eğitim, Belgelendirme ve Vardiya Tutma Standartları da (STCW) düzenlenmiş olmalıdır. (Bureau Veritas, 2017)

Konuyla ilgili araştırma ve geliştirme faaliyetleri sürerken, sektörün en yetkili makamı olan Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) otonom gemiler ile ilgili ilk adımı atmıştır. Konuyu Otonom Deniz Yüzeyi Gemileri (MASS) başlığı ile gündeme alan IMO, tanımlamalar ve otonomi seviyeleri dahil olmak üzere kapsam belirleme çalışmalarına onay vermiştir. Örgüt, ilk etapta SOLAS, COLREG, Tonnage, LoadLine, STCW, SAR sözleşmelerini gündeme almak üzere karar vermiştir. (IMO, 2018)

Konuyla ilgili uzmanlardan uluslararası deniz avukatı Torgeir Willumsen ise otonom gemilerin yasal ve ticari geleceğiyle ilgili biraz daha zamanın gerektiğini söylemektedir. Otonom gemilerin, hem yakıt tasarrufu sağlaması hem daha çok yük taşıması hem de kaza riskini önemli ölçüde azaltması sebebiyle hayatımıza gireceğini fakat bunun hemen olmayacağını belirtmektedir. Otonom gemilerle birlikte gelecek olan yasal değişimlerden sigortacılığa dikkat çeken Willumsen, mevcut istatistik bulunmayan otonom gemi teknolojisiyle ilgili neye göre risk üstlenileceğinin karmaşa yaratacağını belirtmektedir. (Willumsen, 2018)

2.3.4. OTONOM GEMİLER ÜZERİNE YÜRÜTÜLEN ÇALIŞMALAR

Günümüz teknolojisi emniyet ve çevresel konularda gemilerin performansını oldukça arttırmakta ve maliyetleri azaltarak daha verimli taşımacılığa imkan sağlamaktadır. Bu teknolojik imkanları kullanan bazı kurum ve kuruluşlar, otonom teknolojileri daha ileri noktalara taşıyarak bazı projeler geliştirmektedir. Bu projelerden bazıları araştırma ve geliştirme aşamasındayken bazıları ise deneme seyirleri yapmaktadırlar. Genellikle avrupa ülkelerinde yürütülmekte olan bu çalışmalardan öne çıkan bazı örnekler aşağıdaki gibidir.

- ***2.3.4.1. REVOLT***

ReVolt, Norveç ve Alman menşeili DNV-GL şirketinin 2012 yılında operasyonel profilini ortaya koyduğu otonom konteyner gemisi projesidir. Projenin teknik detayları ve planları hazırlanmış ve yapıma yakın zamanda başlanması beklenmektedir. Şekil 2.11'de geminin planlanan tasarımını gösterilmiştir.

ReVolt projesi temel olarak maliyetleri ve salınımları düşürmeyi hedeflemektedir. Tamamen elektrikli sistemlerle ve otonom olarak çalışması planlanan geminin ilk etapta kıyısal sefer yapması düşünülmektedir.

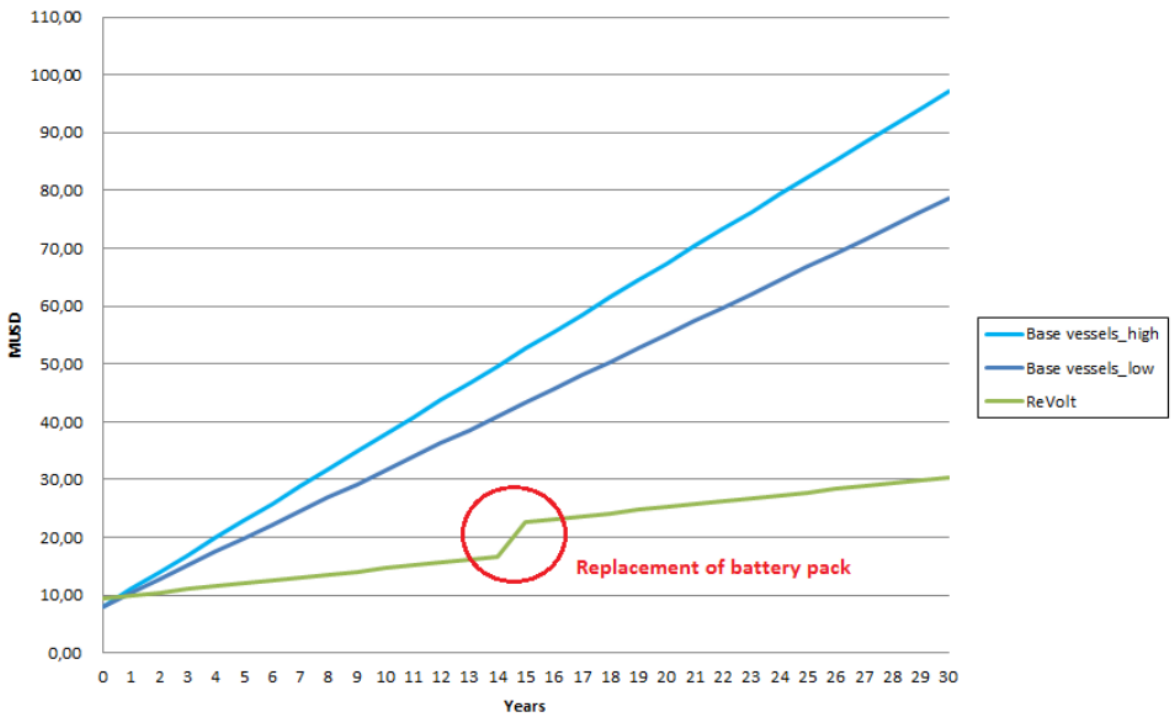


Şekil 2.11: ReVolt Tasarım Konsepti (Tvete, 2014)

Geminin tam boyu (LOA) 60,23 metre, dikmeler arası boyu (LBP) 57,23 metre, genişliği (B) 14,5 metre, yüklü draftı 5,02 metre, balastlı draftı ise 3,35 metre olarak planlanmıştır. Gemi, 6

knots ekonomik hızla veya 8,7 knots maksimum hızla, 100 deniz mili mesafede kıyısal seyir yapmak üzere tasarlanmıştır. Geminin baş kısmının yapısı balblı şekilde tercih edilmemiş olup düz kesim balta başlı olması uygun görülmüştür. Konteyner taşımak üzere tasarlanan ReVolt, 100 TEU ve 1250 DWT taşıma kapasitesine sahiptir. Güverteye yük alınması planlanmamış olup, 100 TEU sadece ambar içi kapasitedir. (Tvete, 2014)

İkişer kanatlı iki pervane ile donatılmış gemide ayrıca bir adet yön değiştirebilen başiter bulunmaktadır. Tüm bu makineleri tahrik etmek için kullanılan elektrik motorları kullanılmaktadır. Gemi, elektrik motorlarını tahrik etmek üzere 3000 kwh kapasiteli batarya barındırmaktadır. Ortalama olarak geminin liman operasyonu ve eşzamanlı batarya şarjı 4 saat sürmektedir. Fakat bir dezavantaj olarak limanlarda bataryalarını şarj edebilecek güçte elektrik bağlantısına ihtiyaç duymaktadır. (Tvete, 2014)



Şekil 2.12: ReVolt ve Normal Bir Geminin 30 Yıllık İşletim Maliyeti Karşılaştırması (Tvete, 2015)

ReVolt tam kapasiteyle yüklüyken, 6 knots ekonomik hızda, sakin sularda saatte 53 kW yani Toyota Yaris model bir otomobil kadar enerji tüketmektedir. Ağır hava şartlarında ise 6 knots hız ile ilerlemek için saatte 132 kW yani BMW X5 model bir otomobil kadar enerjiye ihtiyaç duymaktadır. ReVolt bu verimli enerji performansı ile geleneksel dizel makineli ve insanlı konteyner gemilerine göre 40 kat, aynı yükün kamyonlar aracılığıyla karayolu nakliyesine göre

ise 200 kat tasarruf sağlamaktadır. Şekil 2.12'de ReVolt projesine ait 30 senelik işletim maliyetleri gösterilmiştir. Geminin tek büyük masrafı olarak 15 senede bir batarya değişim maliyeti gösterilmiş olup, geri kalan zamanlarda geleneksel gemilerin çok altında bir maliyetle işletilmektedir. (Tvete, 2015)

- ***2.3.4.2. YARA BIRKELAND***

Yara Birkeland, şu anda yapım aşamasında olan ve 2019 yılı içinde suya indirilmesi planlanan bir otonom gemi projesidir. 25 milyon Amerikan dolarına mal olacağı tahmin edilen geminin 2019 yılında az sayıda personel ile deneme seyri yapması, 2020 yılında ise tam otonom olarak işletilmesi planlanmıştır. 25 milyon dolar maliyetin yaklaşık 16,7 milyon dolarının Norveç hükümeti desteğiyle karşılandığını belirten Yara şirketi yönetimi, özel sektörde yeni teknolojiler geliştirirken devlet desteğinin cesur hamleler yapmalarına olanak sağladığını belirtmektedir (World Maritime News, 2017). Yara Birkeland gemisinin deniz ve liman operasyonlarını otonom olarak yürüten ilk gemi olacağı düşünülmektedir. Gemi ismini üretici firma olan Yara International ve Norveçli bilim insanı Kristian Birkeland'dan almıştır. Marin Teknikk firması tarafından tasarlanan gemi, Norveçli VARD tersanesi tarafından inşa edilmektedir (Wikipedia, 2018a).

Esas olarak tarım ürünleri ve çelik üzerine çalışmakta olan Yara International şirketi tarafından başlatılan projenin otonom teknolojisi ise Kongsberg tarafından geliştirilmektedir (David, 2017). Otonom deniz kontrol sistemleri üzerine sektörde hâkimiyeti bulunan Rolls&Royce firması ve Yara Birkeland ile gücüne güç katan Kongsberg firmasının ortaklık anlaşması yapması ile teknoloji konusunda büyük bir ilerleme sağlanmıştır (Lie ve Hoff, 2018). Rolls&Royce firmasının AAWA projesi kapsamında sürdürmekte olduğu çalışmalar Kongsberg ile birleşmeden sonra Yara Birkeland projesine dâhil edilmiştir. Böylece araştırma geliştirme süreçleri hızlandırılmış olan geminin suya indirilme zamanı 2019 yılına kadar çekilebilmiştir. AAWA projesi daha öncesinde Rolls&Royce, Deltamarin, Inmarsat, DNV-GL, NAPA, Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi, Finlandiya Turku Üniversitesi, Tampere Teknoloji Üniversitesi ve Aboa Akademi tarafından yürütülmekteydi. (Jokioinen, 2016).

Yara International şirketi CEO'su Svein Tore Holsether, Yara Birkeland ile karasal kamyon trafiğinin önemli ölçüde azalacağını, buna bağlı olarak toz ve gürültü kirliliğinin düşeceğini, NOx ve CO2 salınımının daha alt seviyelere çekileceğini belirtmiştir. Yara Birkeland için

dünyadaki ilk sıfır emisyonlu otonom gemi olacağının belirtildiği tanıtım yazısında, Birleşmiş Milletlerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması konusunda Yara Birkeland'ın oyunun kurallarını değiştirecek bir rol üstlendiğinden bahsedilmektedir. (Skredderberget, 2018)



Şekil 2.13: Yara Birkeland Konsept Tasarımı (Skredderberget, 2018)

Şekil 2.13'de genel tasarımı görülen geminin tam boyunun (LOA) 80 metre, genişliğinin (B) 15 metre, yüklü draftının ise 5 metre olması planlanmıştır. Ekonomik hızı 6 knots olan geminin, maksimum hızı ise 10 knots olarak tasarlanmıştır. Kıyısal sefer yapması planlanan Yara Birkeland, 120 TEU ve 3200 DWT taşıma kapasitesine sahiptir. Gemide 2 adet hareketli pervane ve 2 adet tünel başiter bulunmaktadır. Tüm makineleri elektrikle tahrik edilen geminin enerjisi ise 7000 kwh güce sahip bataryalarından sağlanmaktadır. (Wikipedia, 2018a)

- ***2.3.4.3. Ağ Zekâsı ile İnsansız Deniz Seyri (MUNIN)***

MUNIN (Ağ Zekâsı ile İnsansız Deniz Seyri) projesi, Avrupa Birliği komisyonları tarafından ortak finanse edilen bir araştırma projesidir (MUNIN, 2016a). Projenin hedefi insansız bir gemi konsepti geliştirilmesi ve teknik, ekonomik ve yasal açıdan uygulanabilirliğinin belirlenmesidir. Bu bağlamda geliştirilecek olan teknolojilerin geleneksel denizcilikte de kullanılabilir ve ilerleyişini destekleyecek nitelikte olması hedeflenmektedir. İlk etapta ana hedefler denizcilikte işletim maliyetlerinin azaltılması, salınımların düşürülmesi yoluyla

çevresel iyileştirme ve denizde yaşanan kazaların önlenmesi olarak belirtilmiştir. Avrupa Birliği tarafından desteklenen projenin araştırma ve geliştirme faaliyetlerindeki ortakları Aptomar, Chalmers, Fraunhofer, Hochschule Wismar, Marinesoft, Marintek, Marorka ehf, İrlanda Cork Üniversitesi olarak belirtilmiştir. İnşa öncesi konsept tasarımı ve teknoloji geliştirme maliyeti 3,8 milyon avro olarak belirlenen proje için Avrupa birliği tarafından 2,9 milyon avro fon sağlanmıştır. (MUNIN, 2016b)



Şekil 2.14: MUNIN Projesi Karasal Destek Merkezi (MUNIN, 2016b)

Geleneksel denizcilikten tam otonomiye kademeli geçiş öngören MUNIN projesinde kapsayıcı bir yapı oluşturulmak istenmiştir (Burmeister, 2016). Otonom yapının gelişmiş sensör modülleri, açık deniz seyir sistemi, manevra kontrol sistemi, karasal destek merkezi (Şekil 2.14) gibi çok sayıda alt sistemden oluşması istenmiştir. Bu sayede sistemin değiştirilebilir, geliştirilebilir ve uyarlanabilir olması hedeflenmiştir (MUNIN, 2016b). Ayrıca MUNIN projesinde insansız bakım tutum ve siber güvenlik de dâhil olmak üzere ayrıntılı bir risk değerlendirme ve acil durum eylem araştırması da yapılmıştır. (Komianos, 2018)

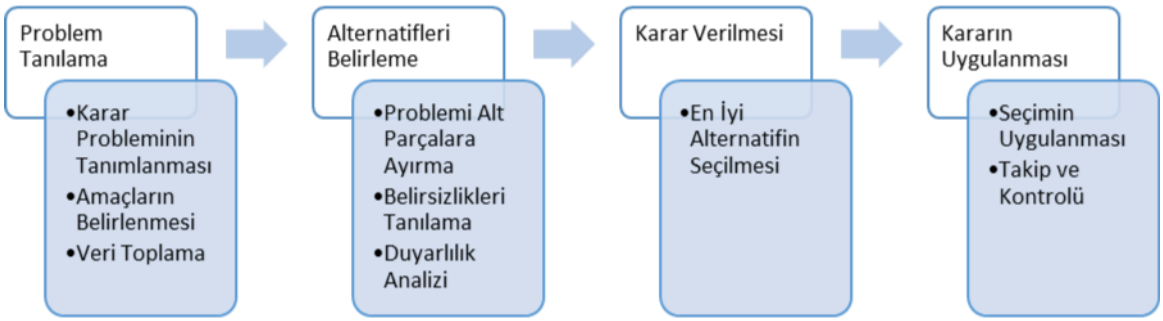
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. SINIRLI RASYONEL KARAR MODELİ

Karar verme, yönetim bilimi ve yönetsel süreçlerin en önemli unsuru olarak kabul edilmektedir (Tozlu, 2016). Birçok farklı yöntem ve modeli geliştirilen karar süreçleri temelde rasyonel karar verme ve sezgisel karar verme olarak iki ana grupla karşımıza çıkar. Rasyonel karar modeli, kantitatif yapıda olup, matematik, istatistik ve mühendislik yaklaşımlarını dikkate alırken, sezgisel karar modeli ise kalitatif yapıdadır ve bilişsel, sosyal psikolojiyi dikkate alır (Çil, 2013).

Adam Smith tarafından ortaya atılan rasyonel karar verme süreci, muhtemel sonuçların araştırılması ve bilgi toplanmasıyla başlar, sonrasında bu sorunlar tanımlanır ve sınıflandırılır (Anameriç, 2005). İçinde bulunulan şartların belirlenmesi ve kararların şekillendirilmesinde bu şartların göz önünde bulundurulması önem taşır.

Herbert A. Simon ise Adam Smith'den farklı olarak insanın karar sürecini ekonomik insan ve yönetsel insan olarak ayırarak, rasyonel ve sınırlı rasyonel karar modellerinin omurgasını oluşturur (Tozlu, 2016). Rasyonel karar veren ekonomik insan, ideal şartlara göre hareket eden nesnel bir yapı sergilerken; yönetsel insan, gerçekleri, sınırlılıkları ve içinde bulunulan şartların getirdiği kısıtları dikkate alır. Rasyonel karar modeli, problemin tanımlanması, alternatiflerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi, kararın verilmesi, uygulanması şeklinde ilerler. Burada insanların en çok yanıldığı konu, problemin tarif edilmesidir, problem net biçimde tarif edildiğinde alternatifler de berraklaşır (Çil, 2013). Alternatiflerin net olarak tanımlanabildiği ve çevresel etkilerin olmadığı durumlarda rasyonel karar modeli uygun olabilir fakat gerçek hayatta bu modelin uygulanabilirliği tartışma konusudur. Bu durumda sınırlı rasyonellik kavramı ortaya çıkmaktadır. Sınırlı rasyonellik ideal şartlara uygun, mutlak doğru alternatif yerine, içinde bulunulan koşullara uygun en tatminkâr seçeneği öne çıkarmaktadır. (Çil, 2013). Şekil 3.1'de rasyonel karar verme ile ilgili adımlar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Rasyonel Karar Verme Modeli (Çil, 2013)

İnsan beyninin sınırsız zihin ve işlem yeteneğine sahip olmamasından dolayı, rasyonellik her zaman gerçek hayatta tutarlı ve uyumlu olmayabilir. Bu kavrama sınırlı rasyonellik, orijinal adıyla "bounded rationality" denir (Simon, 1955). Sınırlı rasyonellikte kararlar en iyi olmak zorunda değildir fakat belirli kriterleri karşılıyor olmalıdır.

Bu çalışmada ortaya koyulan denizde çatışmayı önleme algoritması için sınırlı rasyonel karar modeli seçilmiştir. Çevredeki gemi sayısı, deniz durumu, geminin manevra yeteneği gibi gerçekler verilecek karar açısından bazı kısıtlamaları beraberinde getirmektedir. Şartlar aynı kaldığı sürece aynı girdilerden aynı çıktı elde edilmeli ama bununla beraber şartlar değişikliğe uğradığında karar alma kriterleri de farklılaşmalıdır.

3.2. DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEME ALGORİTMASI

Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğünde (DÇÖT) kuralların hangi gemilere ne şartlarda uygulanacağı, gemilerin hangi durumda birbirini görüyor varsayılacağı, gördüklerinde veya göremediklerinde nasıl davranacakları, hangi fenerlerle donatılacakları, hangi ses işaretleriyle anlaşacakları, hangi durumda yakın düşme tehlikesini varsayacakları ve tehlike durumunda ne yapmaları gerektiği açıklanmıştır.

Tüzüğe göre burada belirtilen kurallar açık denizde ve açık denizle bağlantılı olan ve açık deniz gemilerinin seyredebileceği tüm sularda uygulanacaktır. Yani boğaz veya körfezlerde uygulanacak fakat göllerde uygulanmayacaklardır.

DÇÖT, çatışmayı önlemenin temelini gözcülüğe dayandırmaktadır. Öyle ki Kural 5'te yer alan kısacık bir hüküm denizcilere büyük sorumluluklar yüklemektedir. Çünkü manevra, seyir kuralları, ses ve ışık işaretleri gibi tüm işaretleri doğru bir şekilde izleyip doğru şekilde yorumlamak ve bu yorumlara dayalı olarak doğru hareket etmek gözcülüğü temel almaktadır. Yani gözcülük bireysel değil, bir ekip çalışmasının sonucudur. (Yarkın, vd., 2004)

Fakat gelecekte eğer yapay zekâ tabanlı veya insansız gemiler ile deniz taşımacılığı yapılacağı ihtimalini düşünürsek, zabitler tarafından gözcülük yapılamayacağı için kuralların bugünkü şekliyle uygulanamayacağını da söyleyebiliriz. Günümüzde elektronik seyir yardımcıları gözcülük işini oldukça kolaylaştırmış olsa da bazen yalnızca insan gözünün seçebildiği nesnelerle karşılaşılabilmektedir. Ayrıca saptanan nesnenin ne olduğunu yorumlamak konusunda elektronik sistemler çok yetersizdir. Yani insan kadar başarılı gözcülük yapılabilmesi için çok uzun yollar kat edilmesi gerektiği aşikârdır. Fakat önceki bölümlerde de anlatıldığı üzere bu geçişin bir anda yapılması değil, adım adım ilerleyip üstüne koyarak, ihtiyaca göre ve geri dönüşlerle eksiklerin kapatılması şeklinde olması temel alınmalıdır.

Şu anda uygulanmakta olan gemi yönetim sisteminde elektronik seyir yardımcıları bilgi sağlamakta ve güverte seyir zabiti bu bilgilerden yararlanarak gemiyi kumanda etmektedir. Örneğin, köprüüstü vardiyası tutmakta olan bir zabit gözle gördüğü bir gemiyi radardan da saptayıp, CPA ve TCPA değerlerini ölçerek çapariz verip vermediğini kontrol edebilir, AIS cihazından bu geminin adına ve çağrı koduna bakabilir, VHF telsizden karşıdaki gemiye seslenerek yapılacak manevra konusunda mutabakat sağlayabilir. Bu durumda eğer zabit, köprüüstü yönetimi konusunda yeterli bilgi ve beceriye sahipse içinde bulunduğu durumdan başarıyla çıkacak ve çatışma tehlikesini önleyecektir.

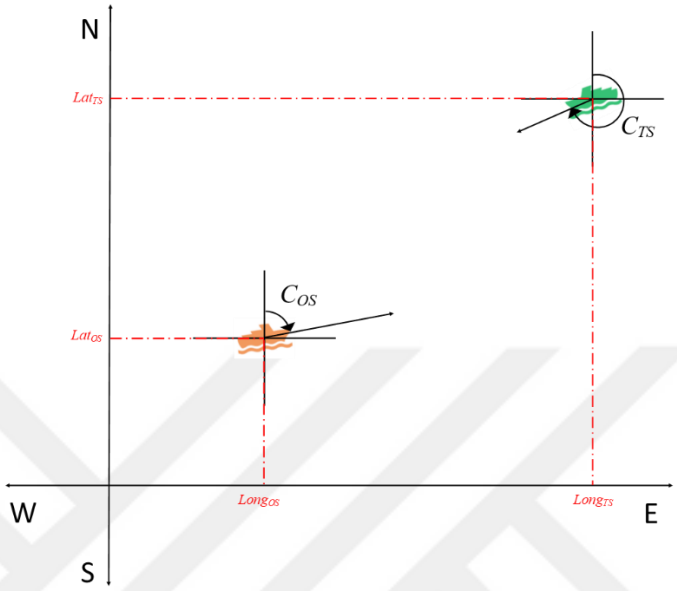
İşte bu çalışmanın temelini de "Köprüüstündeki zabit DÇÖT uyarınca yapması gereken manevrayı bilmiyor veya panikten dolayı uygulayamıyor olsaydı ne yapılabilirdi?" sorusu oluşturuyor. Şüphesiz ki tam otonomiye geçiş bir anda olmayacaktır. Hiç düşünülmemiş problemler çıkacak, hiç fark edilmemiş çözüm yöntemleri keşfedilecektir.

Bu çalışmada ortaya koyulan algoritma, çevredeki gemilere göre durumu değerlendirip, çoklu bir karşılaşmadan ne şekilde çıkılabileceğini matematiksel olarak hesaplayan ve mevcut çözümler arasından en uygun olanını seçen bir algoritmadır.

Bu algoritma, kendi gemimizin ve hedef gemilerin konumları, rotaları, hızlarını kullanarak hedef gemilerin kendi gemimizle olan ilişkilerini değerlendirmekte ve sonuç olarak rota değiştirmeye gerek olup olmadığını ve eğer gerek varsa yapılabilecek güvenli rota değişiminin ne olduğunu ortaya koymaktadır.

Gerekli konum, hız ve rota bilgileri mevcut teknolojiyle AIS cihazından sağlanabilir. AIS cihazı, 300 GRT üstü ve uluslararası sularda seyreden tüm gemiler için zorunludur. Bu açıdan çatışmayı önleme amaçlı kullanılabilirliği vardır. Fakat AIS cihazının, bozuk, kapalı veya güncellenmemiş olma ihtimali de göz önünde bulundurularak ikincil veri kaynakları kullanılmalıdır. Köprüüstü organizasyonu ve vardiyasının temelini olan gözcülük de sistemin bir bileşeni olarak kullanılabilir. Zabitin köprüüstünde vardiya tutarken radar ekranında görülen ekoların doğru biçimde işaretlemesi ve algoritma içinde tıpkı AIS verisi gibi radarda işaretlenen ekoların da değerlendirmeye alınması mümkün bir çözüm olabilir. Daha ileri aşama düşünülecek olursa, yapay zekâ tabanlı görsel nesne tanıma yazılımı ile tamamen elektronik gözcülük de sağlanabilir. Tabi ki bunlar biraz önce bahsedildiği gibi adım adım geliştirilecek sistemler olacaktır. Gemiler arası durumun ve yapılacak rota değişiminin güvenli olup

olmadığını saptarken, uluslararası kurallar kitabı olan DÇÖT esas alınmalıdır. Yani bir geminin hangi durumda ne şekilde davranması gerektiği DÇÖT kurallarına uygun olarak hesaplanmalıdır. Şekil 3.2'de birbirine yaklaşmakta olan örnek iki gemi gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Birbirine Yaklaşan Gemiler için Konum ve Rota Gösterimi

Bu hesaplamalar, bir kaç farklı bileşenden oluşur. Öncelikli adım karşıdaki geminin bize göre nispi kerterizini, konumu ve süratini hesaplamaktır. İkinci adımda ise bu bilgiler kullanılarak geminin CPA ve TCPA değerleri hesaplanır. Buna göre geminin tehlike yaratıp yaratmadığı görülmüş olur. Üçüncü adımda ise eğer gemi tehlike yaratıyorsa bunun nasıl bir tehlike olduğu saptanmalıdır. Yani bu geminin bize ne taraftan ve ne şekilde yaklaştığı sınıflandırılmalıdır. Dördüncü adımda hangi açı değişimlerinin bize güvenli geçiş yaptıracak limitin üstünde olduğu saptanmalıdır. Beşinci adımda, DÇÖT kurallarına göre yapılacak manevranın ne biçimde olduğunun tanımlanmasıdır. Son adım olan altıncı aşama ise güvenli geçişi ve DÇÖT kurallarını birlikte sağlayan çözüm kümesi içinden yapılması en makul olanın seçilmesidir.

3.2.1. KERTERİZ, KONUM VE HIZ HESAPLARI

Kendi gemimizin hareketi ile birlikte düşünüldüğünde hedef gemilerin konum, hız ve rota bilgileri olduğundan farklı ve kafa karıştırıcı şekilde görülebilir. Aslında kendi gemimizin de bir hareketi vardır ama bizde aynı şekilde gemiyle birlikte hareket ettiğimiz için bunu görmeyiz. Açık denizde karadaki gibi yollar, kaldırımlar, binalar, ağaçlar olmayıp, görünen tek şeyin sonsuz mavilik olması kendi gemimizin ve hedef geminin hareketini ayrı ayrı düşünüp, algılamayı daha da zorlaştırır. Geminin köprüüstünde seyir vardiyasında olan bir zabit, kendisini sabit duruyor diğer gemiyi hareket ediyormuş gibi görür. Bu durumda köprüüstündeki zabitin, hedef gemi yapıyormuş gibi gördüğü hareket aslında iki geminin vektörlerinin birbirinden çıkarılmasıyla elde edilen bağıl harekettir.

Yapılan hesaplamalarda AIS aracılığıyla alınan gemi bilgileri Tablo 3.1'deki sembollerle gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Birbirine Yaklaşan Gemilerin Bilgilerini Gösteren Semboller

	Kendi Gemimiz (Own Ship)	**Hedef Gemi (Target Ship)**	**Bağıl Hareket (Relative Motion)**
Boylam (Longtitude)	$Long_{OS}$	$Long_{TS}$	$Long_{TS}$
Enlem (Latitude)	Lat_{OS}	Lat_{TS}	Lat_{TS}
Hız (Speed)	v_{OS}	v_{TS}	v_R
Rota (Course)	C_{OS}	C_{TS}	C_R

Bu bilgiler bize gemi hareketlerini vektörel olarak ifade etme olanağı sunar. Yani bundan sonra kendi gemimizin hareketini *OS* ve hedef geminin hareketini de *TS* olarak gösterebiliriz.

Bağıl hareketi hesaplamak için hedef geminin vektöründen kendi gemimizin vektörünü çıkartmamız gerekir.

$$\vec{R} = \overrightarrow{TS} - \overrightarrow{OS} \tag{3.1}$$

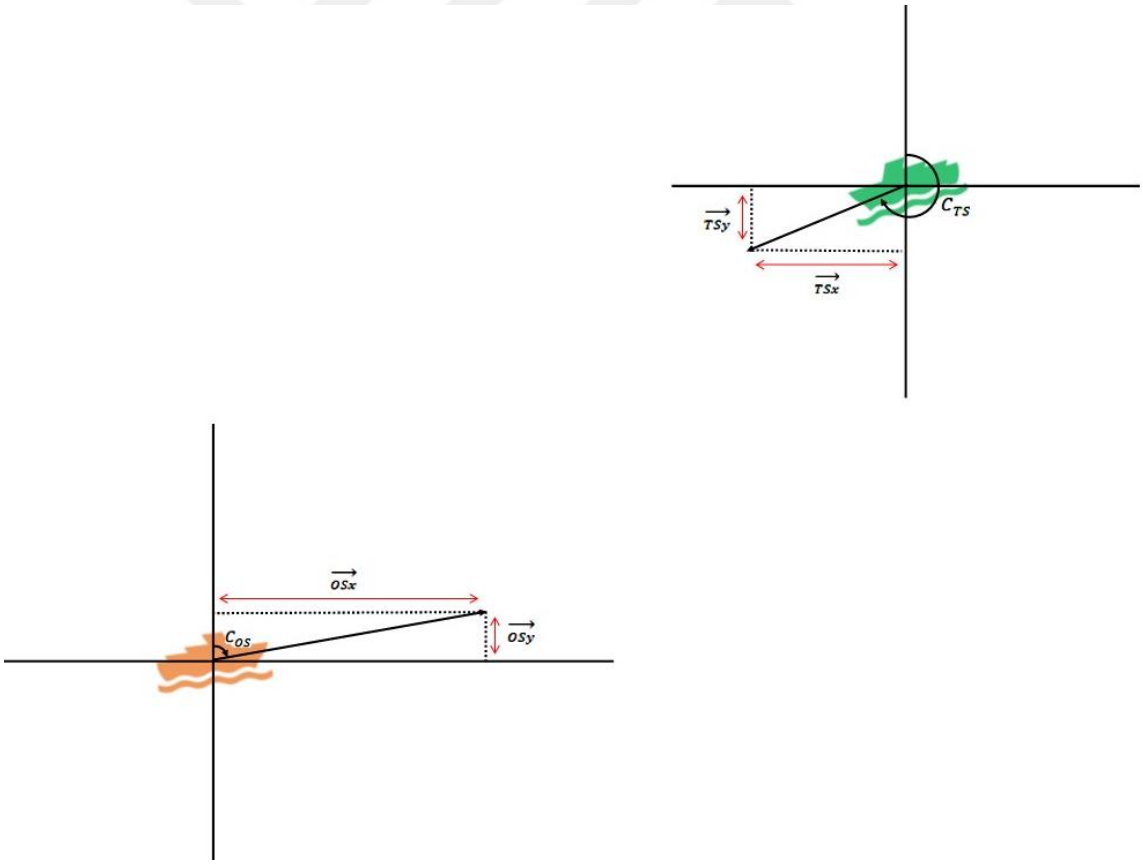
R: bileşke vektör, TS: hedef gemi vektörü, OS: kendi gemimizin vektörü

Bileşke vektörü hesaplamak için vektörlerin x ve y eksenlerindeki izdüşümlerini hesaplamak gerekir. Şekil 3.3'de örnek vektör izdüşümleri gösterilmiştir.

$$\overrightarrow{OS} = \overrightarrow{OS_x} + \overrightarrow{OS_y}$$

$$\overrightarrow{TS} = \overrightarrow{TS_x} + \overrightarrow{TS_y} \tag{3.2}$$

OS / TS: gemi hareket vektörleri, OSx / TSx: hareketin x eksenindeki izdüşümü, OSy / TSy: hareketin y eksenindeki izdüşümü



Şekil 3.3: Karşılaşan Gemilere Ait vektör İzdüşümleri

Bu izdüşümleri hesaplamak için vektörel büyüklüğü rotanın sinüs ve kosinüsü ile çarpmak gerekir.

$$\overrightarrow{OS_x} = \sin(C_{OS}) * v_{OS}$$

$$\overrightarrow{OS_y} = \cos(C_{OS}) * v_{OS}$$

$$\overrightarrow{TS_x} = \sin(C_{TS}) * v_{TS} \qquad (3.3)$$

$$\overrightarrow{TS_y} = \cos(C_{TS}) * v_{TS}$$

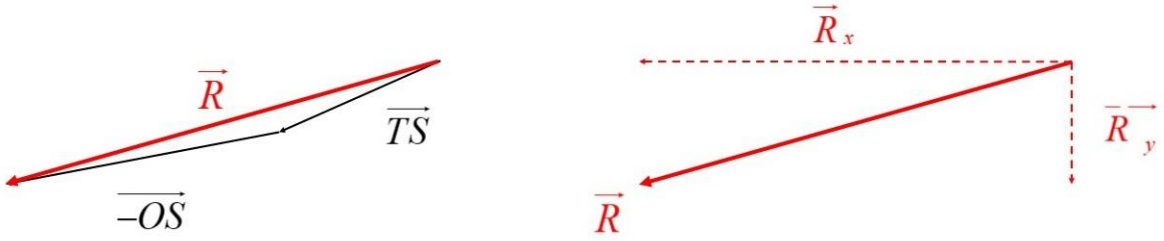
OS_x / OS_y / TS_x / TS_y: gemi hareketlerinin eksen izdüşümleri, C_{OS} / C_{TS}: gemilerin rotaları, v_{OS} / v_{TS}: gemilerin hızları

Dolayısıyla bileşke vektörü ve bağıl hareketi hesaplamak için gerekli parçaları elde etmiş olduk. Vektörel işlemler yapılırken kendi gemimizi sabit kabul ettiğimiz için Şekil 3.4'teki gibi kendi gemimizin vektörünü negatif olarak ele almalıyız. Bu halde bileşke vektörün eksenlerdeki izdüşümleri aşağıdaki gibi olur;

$$\overrightarrow{R_x} = \overrightarrow{TS_x} - \overrightarrow{OS_x}$$

$$\overrightarrow{R_y} = \overrightarrow{TS_y} - \overrightarrow{OS_y} \qquad (3.4)$$

$$\vec{R} = \overrightarrow{R_x} + \overrightarrow{R_y}$$



Şekil 3.4: Vektörel Toplam ile Bileşke Vektör Bulunması

Bu şekilde bizim gemimize yaklaşmakta olan diğer bir geminin bağıl hareket vektörü, yani kendi gemimizin köprüüstünden baktığımızda diğer geminin yapıyor görüneceği hareketin vektörü oluşturulmuştur. Bu bileşke vektörün eksen izdüşümlerinden vektörün büyüklüğü ve yönü hesaplanabilir. Bileşke vektörün büyüklüğü yani hız vektörü Pisagor bağıntısıyla hesaplanır. Bileşke rota ise ark tanjant formülü kullanılarak hesaplanır. Ancak 180°-270° arasındaki açıların tanjantı 000°-090° arasındaki açılarla ve 270°-360° arasındaki açıların tanjantı 090°-180° arasındaki açılarla aynı olduğu ve karışıklıklara sebep olabileceği için formüle düzeltici bir değişkeni eklemek daha doğru sonuç almamızı sağlayacaktır.

$$v_R = \sqrt{R_x^{\,2} + R_y^{\,2}} \tag{3.5}$$

$$\begin{aligned} C_R &= \phi + \arctan\left(\frac{R_x}{R_y}\right) \\ R_x < 0 &\Rightarrow \phi = 180° \\ R_x \geq 0 &\Rightarrow \phi = 0° \end{aligned} \tag{3.6}$$

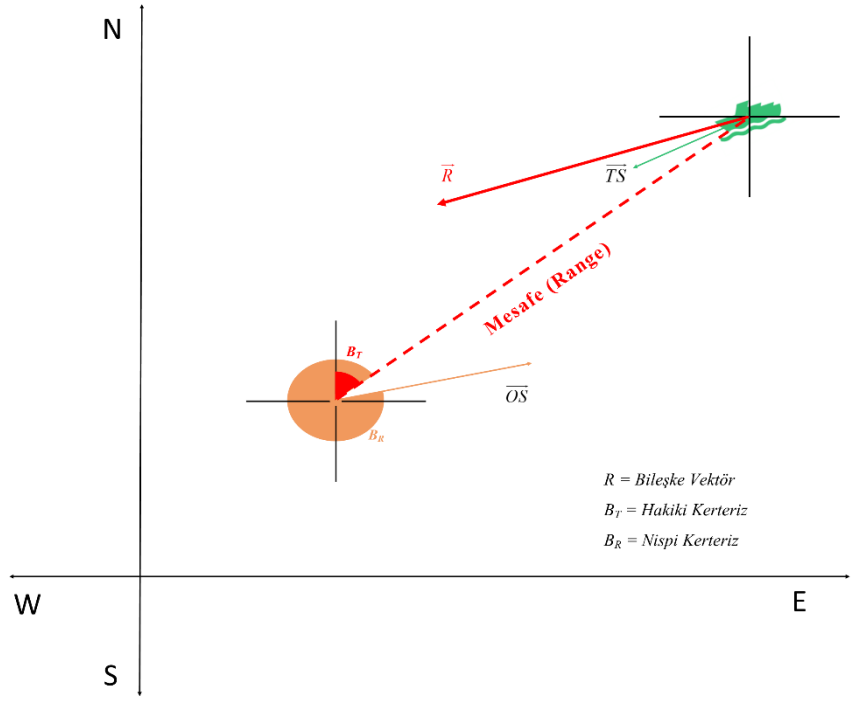
v_R: bileşke hız, C_R: bileşke rota, Φ: trigonometrik düzeltme

Gemilerin konumları arasındaki ilişki ise mesafe *(Range)* ve kerteriz *(B)* ile ifade edilir. Bu bilgiler, enlem farkı *(Lat_{DIFF})* ve boylam farkı *($Long_{DIFF}$)* yardımıyla hesaplanır. Kendi gemimiz ve hedef geminin enlemleri arasındaki fark bize dik üçgenin bir kenarını, boylamları arasındaki fark ise diğer kenarını verir. Geriye kalan iş, Pisagor teoremiyle hipotenüsü hesaplamaktır.

$$\begin{aligned} Long_{DIFF} &= Long_{TS} - Long_{OS} \\ Lat_{DIFF} &= Lat_{TS} - Lat_{OS} \\ Range &= \sqrt{\left(Lat_{DIFF}\right)^2 + \left(Long_{DIFF}\right)^2} \end{aligned} \tag{3.7}$$

Range: gemiler arası mesafe, Lat_{DIFF}: enlem farkı, $Long_{DIFF}$: boylam farkı

Kerteriz ise hakiki ve nispi olarak iki farklı şekilde tarif edilir. Hakiki kerteriz *(B_T , Bearing True)*, kuzey ile bizim konumumuzdan hedef geminin konumuna çizdiğimiz doğru arasında kalan saat yönündeki açı anlamına gelir. Nispi Kerteriz *(B_R , Bearing Relative)* ise bizim gemimizin pruva hattı ile gemilerin konumlarını birleştiren doğru arasında kalan açıyı ifade eder. Nispi kerteriz pratikte iskele ve sancak terimleriyle iki parçalı kullanılsa da biz bu hesaplamalarda pruva hattımızdan saat yönünde ilerledikçe artan tek yönlü açıyı referans alacağız. Kerterizi hesaplamak için konumları birleştiren doğrunun eğimi gereklidir. Eğim, trigonometri yardımıyla hesaplanır. Boylam farkının enlem farkına bölümünün ark tanjantı hakiki kerterizi verir. Gemiler arası mesafe ve kerterizin şematik gösterimi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5: Gemiler Arası Mesafe ve Kerteriz

Fakat burada tıpkı bileşke rota hesabında olduğu gibi tanjant değerlerinin ikisi de negatif mi yoksa ikisi de pozitif mi yoksa ters işaretli mi olduklarının önemi vardır. Çünkü çıkan eğim değeri 000°-090°arasındaki ve 180°-270° arasındaki değerler için aynı sonucu verecektir. Aynı şekilde 090°-180° arasındaki ve 270°-360° arasındaki değerler için de aynı sonucu verecektir. Burada bir ön koşula göre seçim yapmak gerekir. Hedef geminin bizim gemimize göre ne tarafta olduğunu net olarak tanımlamak için kerteriz formülü içine bir trigonometrik düzeltme değişkeni atayıp bu değişkeni, enlem ve boylam farkının pozitif veya negatif olmasına göre

farklı kabul edebiliriz. Değişkenimiz burada Φ olsun. Bu durumda hakiki kerteriz denklemi şöyle olur;

$$B_T = \phi + \arctan(\frac{Long_{DIFF}}{Lat_{DIFF}}) \tag{3.8}$$

$$Long_{DIFF} > 0 \Rightarrow \phi = 0$$
$$Long_{DIFF} < 0 \Rightarrow \phi = 180$$

B_T: hakiki kerteriz, Lat_{DIFF}: enlem farkı, $Long_{DIFF}$: boylam farkı, Φ: trigonometrik düzeltme

Nispi kerteriz ise hakiki kerterizin, rota ile toplanmasıyla elde edilir.

$$B_R = C_{OS} - B_T \tag{3.9}$$

B_R: nispi kerteriz, C_{OS}: kendi gemimizin rotası, B_T: hakiki kerteriz

Formülde elde edilen değerler, hedef geminin bizim gemimize göre konumunu belirten ifadelerdir. Fakat bazı durumlarda ise (yetişme gibi) bizim gemimizin hedef gemiye göre konumu önem kazanmaktadır. Hakiki kerteriz *(B_{TT}, Bearing True Target)* söz konusu olduğunda aynı doğrultuya karşı istikametten bakmak gerekir. Nispi kerterizde *(B_{RT}, Bearing Relative Target)* ise tersi alınan hakiki kerterizden hedef geminin rotasını çıkartmak gerekir.

$$B_{TT} = B_T - 180° \ (\text{MOD } 360)$$
$$B_{RT} = B_{TT} - C_{TS} \ (\text{MOD } 360) \tag{3.10}$$

B_{TT}: karşı hakiki kerteriz, B_T: hakiki kerteriz, B_{RT}: karşı nispi kerteriz, C_{TS}: hedef geminin rotası

3.2.2. CPA VE TCPA HESAPLARI

Gemiler arası hareket bağıl olarak ele alındığında düzlem üzerinde kendi gemimizi kendi koordinatlarımızda hareketsiz bir nokta ve hedef gemiyi de yine kendi koordinasyonunda bileşke vektör olarak gösteririz. Bu yöntem sayesinde hedef geminin bize göre nereden ve ne şekilde geçeceğini hesaplayabiliriz.

Gösterilen düzlemde iki köşesi gemilerin konumları olan bir üçgen oluşur. Bu üçgene çatışma üçgeni adı verilir. Çatışma üçgeninin ilk kenarı bileşke vektörün ilerlediği hat, ikinci kenarı gemiler arası mesafe, üçüncü kenarı ise kendi gemimizin olduğu konumun ilk kenara en yakın olduğu noktayı göstermesi üzere indirilen diktir. Yani hipotenüsü gemiler arası mesafe olan bir dik üçgen oluşur. Birinci ve ikinci kenar arasında kalan açı *(α)* da bir önceki bölümde verilenlerden çıkartılabilir. Yani çatışma üçgeninin iki açısı ve bir kenarını bilinmektedir. Üçgenin iç açıları toplamının 180° olduğunu da bildiğimize göre üçgenin diğer iç açısını da bulunabilir. Bütün iç açılarını ve bir kenarını bildiğimiz dik üçgenin ise tüm kenar uzunluklarını bulunabilir. Bu şekilde gemiler arası geçişin nasıl olacağı da saptanabilir.

Bir önceki bölümde hesapladığımız bileşke rota *(C_R)*, kuzeyden başlayarak saat yönündeki açıyı ifade eder. Gemiler arası hakiki kerteriz *(B_T)* ise kuzey ile gemilerin konumlarını birleştiren doğru arasında kalan saat yönündeki açıyı ifade eder. O halde bu iki açının farkı *(α)* çatışma üçgeninin iç açısı olacaktır. Fakat aralarındaki büyüklük ilişkisi bilinmediği için bu farkın mutlak değeri alınmalıdır. Üçgenin diğer iç açısı *(β)* ise bu açının *(α)*, 90'dan farkına eşittir.

$$\alpha = \left| C_R - B_T \right|$$
$$\beta = 90^\circ - \alpha \tag{3.11}$$

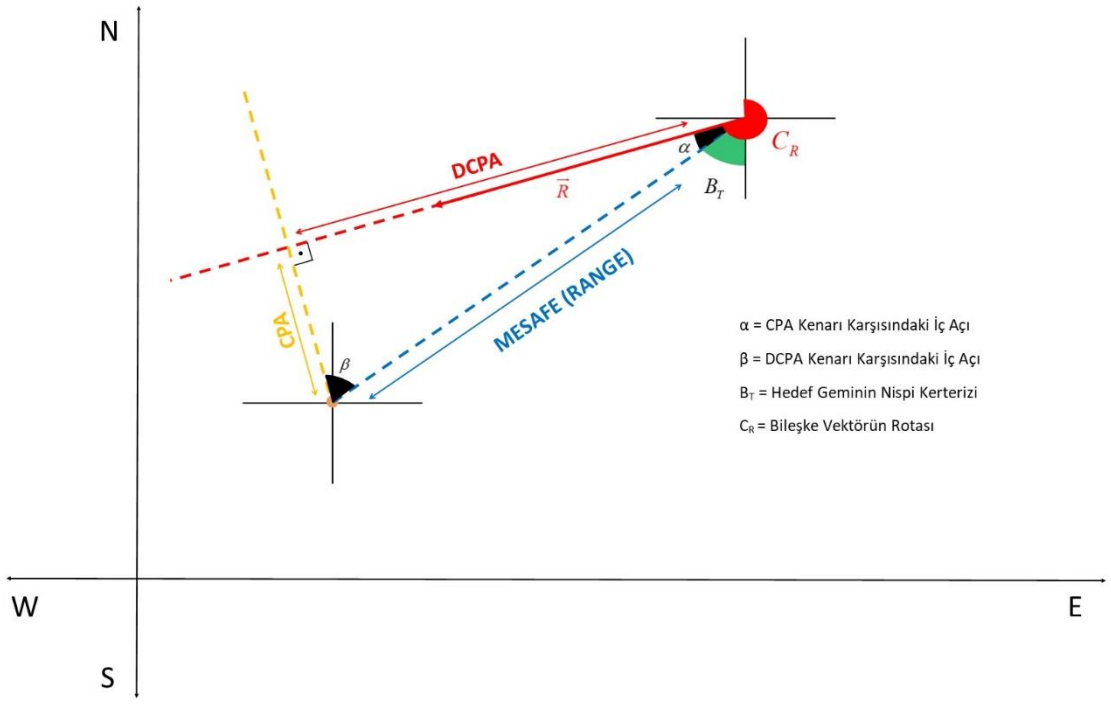
α, β: çatışma üçgeni iç açıları

Şu anda üçgenimizin tüm açılarını *(90°, α, β)* ve hipotenüsünü *(Range)* biliyoruz. Dolayısıyla diğer kenarlarını da hesaplayabiliriz. Bileşke vektörün ilerlemekte olduğu rotayı temsil eden kenar bizim için DCPA'yı yani gemilerin birbirine en yakın olacağı ana kalan mesafeyi ifade eder. Bileşke vektörün rotasına indirilen dikme ise CPA'i yani gemilerin birbirine en yakın olacakları anda aralarında kalacak mesafeyi ifade eder. Basit bir trigonometri formülü ile CPA, α açısının sinüsünün gemiler arası mesafe ile çarpımına ve DCPA ise α açısının kosinüsünün gemiler arası mesafe ile çarpımına eşittir. Böylece çatışma üçgenine ait tüm açı ve kenarlar hesaplanmış olur (Şekil 3.6).

$$CPA = Range * \sin(\alpha) \tag{3.12}$$

$$DCPA = Range * \cos(\alpha) = CPA * \cot(\alpha) \tag{3.13}$$

Range: gemiler arası mesafe, *α:* çatışma üçgeni iç açısı



Şekil 3.6: Yaklaşan Gemiler Arası Çatışma Üçgeni

TCPA kavramı ise gemilerin en yakın olacağı ana kalan zamanı ifade eder. Yani bileşke vektörün DCPA mesafesini ne kadar zamanda katedeceğini anlatmaktadır. Bu mesafeyi

katedecek vektörün hızı denklemde hesaplanmıştı. O halde TCPA'yı hesaplamak için DCPA kenarını, bileşke hıza bölmek gerekir.

$$TCPA = \frac{DCPA}{v_R} = \frac{CPA * \cot(\alpha)}{v_R} \tag{3.14}$$

v_R: bileşke hız, α: çatışma üçgeni iç açısı

Bu bölümde anlatılan CPA ve DCPA kavramlarının uzaklık fakat TCPA kavramının zaman bildirdiği karıştırılmamalıdır.

3.2.3. TEHLİKE SINIRLARININ BELİRLENMESİ

Açık denizde yaşanacak bir karşılaşma durumunun, çatışma tehlikesi sayılıp sayılmayacağı ve tehlike var kabul edilen durumlarda ne şekilde hareket edileceği DÇÖT'te tarif edilmiştir. Fakat bu kurallar kesin ve değişmez şekilde tanımlanmamıştır. Her gemi, kaptan veya her zabit, içinde bulunduğu koşullara göre farklı durum değerlendirmeleri yapabilir ve farklı çözümler uygulayabilir. Hava ve deniz durumu, görüş durumu, içinde bulunulan sudaki trafik durumu, kıyıya bulunan mesafe, gemilerin manevra karakteristikleri, zabitin tecrübe durumu gibi birçok etken bu kararları etkileyebilmektedir. Dolayısıyla alınan kararlar fazlasıyla öznellik göstermektedir.

DÇÖT Kural 7 altında çatışma tehlikesiyle ilgili şu hükümleri kapsamaktadır;

a) *"Her tekne, bir çatışma tehlikesinin olup olmadığını saptamak için, içinde bulunulan durum ve koşullara uygun olan eldeki araçların tümünü kullanacaktır. Herhangi bir kararsızlık durumunda, böyle bir tehlike olduğu varsayılacaktır."*
b) *"Radar aygıtı varsa ve çalışıyorsa, çatışma tehlikesinin çok önceden erken uyarısını sağlamak amacıyla radarla ardı ardına mevki koyulacak veya buna benzer radar ekranında görülen görüntülerin uygun biçimde gözlemleri yapılacak ve bu bağlamda uzun menzilli taramaları da içerecek tarzda, radar aygıtından gerektiği biçimde yararlanılacaktır."*
c) *"Varsayımlar, yetersiz bilgilere, özellikle de yetersiz radar verilerine dayandırılmayacaktır."*
d) *"Çatışma tehlikesinin varlığı saptanırken aşağıda belirtilen hususlar göz önünde bulundurulacaktır.*
    i. *Yaklaşan bir teknenin pusula kerterizinin belirgin derecede değişmemesi durumunda, tehlike varsayılacaktır.*
    ii. *Özellikle çok büyük bir tekneye veya çekilen bir yedeğe ya da yakın mesafede olan bir tekneye yaklaşırken, belirgin derecede kerteriz değişmesi görüldüğü durumlarda bile çatışma tehlikesi bazen var olabilir."*

Kuralda çatışma tehlikesinin ne zaman oluşacağı açıklanmamıştır. Burada gemilerin durumunu yakın düşme ve çatışma tehlikesi olarak iki farklı aşamada incelemek gerekir. Yakın düşme, çatışma olayı olmaksızın, iki geminin birbirine başka bir manevra yapamayacak kadar yakın

bulunmaları durumudur. Çatışma tehlikesi ise yakın düşmenin de ötesinde yeterli süre varken önlem alınmadığı için gemilerin bir diğeriyle aynı noktada buluştuğu/buluşacağı süreci belirtir. (Yarkın vd. 2004)

Kuralın d bendinde belirtilen çatışma tehlikesini saptama konusunda hedef geminin pusula kerterizinin belirgin derecede değişmemesi ön şart olarak sunulmuştur. Pusula kerterizinin değişmemesi, kendi bulunduğumuz geminin ve hedef geminin hareket vektörleri bileşkesinin bulunduğumuz konuma doğru geliyor olması demektir. Yani bir gemiye ait CPA değeri, sıfır veya sıfıra yakın bir değer aldığında pusula kerterizi değişmiyor veya çok az değişiyor demektir.

Burada belirleyici faktör, bize ne kadar mesafeden geçiş yapacak olan geminin çatışma tehlikesi teşkil ettiğini saptamaktır. Pusula kerterizi değişmediğinde (CPA=0 olduğunda) hedefteki gemi mutlak çatışmaya ilerliyor anlamındadır. Fakat pusula kerterizindeki küçük değişimler de çatışma tehlikesinin olmadığı anlamına gelmez. Ayrıca DÇÖT Kural 8'in d bendinde çatışmayı önleme hareketinin, gemilerin emniyetli mesafeden geçişiyle sonuçlanacak hareket olduğu belirtilmiş fakat sabit bir değer belirtilmemiştir. Güvenli mesafe, kendi gemimiz için gerektiğinde bir başka zorunlu manevrayı daha yapabilecek ve karşıdaki gemi için çatışma tehlikesi içinde olduğu endişesini yaratmayacak kadar geniş bir mesafe olmalıdır. Ayrıca kerteriz değişiminin gözlendiği yerin geminin neresinde olduğu ve geminin boyutlarının ne olduğu da yanıltıcı olabilir. Örneğin, kıç tarafta bulunan köprüüstünden alınan kerteriz sonucunda gemilerin 0,2 mil ile geçeceği öngörülmüş fakat bu mesafe geminin baş tarafına veya yedeklediği gemiye denk geliyor olabilir. Kuralda pusula kerterizinin belirgin derecede değişmiyor olması ibaresinin sebeplerinden birisi de budur.

Gemiler, çatışma tehlikesinden öte yakın düşmekten de kaçınmalıdır. Riski minimize etmek ve olası bir çatışma tehlikesinde kaçabilecek zaman ve denizalanı kalabilmesi adına her zaman limit CPA değeri üzerinde durulmalıdır. Limit değer, içinde bulunulan duruma göre değişebilmekle birlikte, emniyet - uygulanabilirlik çerçevesinde kabul edilebilecek değerler benzerlik göstermektedir. Örneğin, sakin koşullarda bir kuruyük gemisi için 1 mil veya trafiğin yoğun olduğu deniz alanındaki bir tanker için 2 mil gibi mesafeler kabul edilebilir.

TCPA ise olası bir çatışma tehlikesine kalan zamanı ifade eder. Yani uygulayacağımız çatışmayı önleme hareketi için ne kadar zamanımız kaldığını bu şekilde anlarız. TCPA

değerinin önemi iki farklı noktada ortaya çıkar. Bunlardan birincisi yapacağımız etkili kaçış manevrası için ne zaman harekete geçmemiz gerektiğini anlamamızı sağlar. Tehlikeli olduğunu düşündüğümüz bir gemiye karşı son anda yapacağımız bir kaçınma hareketi rotamızdan çok fazla sapmamızı gerektirebilir ama aynı gemi ile çatışmayı önlemek için erkenden yapılacak küçük bir açı değişimi de aynı etkiyi sağlayabilir. İkinci önemli unsur ise birden fazla gemi ile karşılaşıldığı durumlarda hangi gemi için daha önce harekete geçileceğini anlamamızı sağlamasıdır. TCPA değeri fazla olan gemi ile olan temasımız daha sonra gerçekleşeceği için, önce diğer gemi ile çatışmaktan kaçınmak daha doğru olacaktır. TCPA değeri belirlenmiş bir limitin üzerinde olanlar için ise kaçış manevrası yapılmayıp, yakınlaşmasını beklemek daha mantıklı olacaktır. Zira uzaktaki bir geminin sabit rota ve hızla ilerleyeceğini kestirmek zordur. Belki bizim tehlike çemberimize girmeden önce dönüş yapacak olabilir. Bu sebeple kaçınmak gereken gemilerin TCPA değeri için bir limit belirlemek gerekir. Bu limiti belirlerken en önemli faktörler denizalanının müsaitliği ve gemimizin manevra yeteneği olacaktır. Çünkü bir geminin 45 derecelik rota değişimi yapması 5 dakika alırken diğer bir geminin ki 2 dakika alabilir ya da bir gemi bu rota değişimi için manevraya başladığı konumdan itibaren 3 mil mesafeye ihtiyaç duyarken diğer bir gemi aynı manevrayı 1 mil mesafe de yapabilir. Bu karar kaptanın talimatları ve köprüüstündeki zabitin değerlendirmesi sonucunda belirlenip uygulanır.

Sonuç olarak CPA ve TCPA bir bütün olarak düşünülmeli ve beraber değerlendirilmelidir. CPA ve TCPA değerlerindeki artma ve azalmalar gemilerin aciliyet sıralamasında değişimlere sebep olabilir. Bunun için limit değerlerimizi kademeli olarak belirlemekte yarar vardır. Bu sınıflandırmalardaki limit değerler, gemiden gemiye ve durumdan duruma değişiklik gösterecektir. Fakat sınıflandırma biçimi her durum için fikir edinmekte yardımcı olacaktır. Algoritmanın kullanılacağı geminin kendi manevra karakteristikleri iyi olarak bilinmeli ve limit değerler buna göre belirlenmelidir. Öncelikle geminin emniyetli geçiş yapmış varsayılacağı mesafe sınırı *($CPA_{LİMİT}$)* ve eğer karşılaşma olacaksa değerlendirmeye alınması gereken zaman sınırı *($TCPA_{LİMİT}$)* belirlenmelidir. Yani geminin olağan şartlardaki CPA değeri hangi rakamın altına düştüğünde çapariz veriyor kabul edileceği ve geçişe ne kadar zaman kaldığında kaçış manevrası için değerlendirmeye alınacağı netleştirilmelidir. Fakat birden fazla gemiyle aynı anda karşılaşılması veya son anda ortaya çıkan beklenmedik manevralar gibi bazı durumlarda, bu sınırların ihlal edilebileceği ve bunun sadece bir üst sınır olduğu unutulmamalıdır. Mevcut CPA limitini koruyacak şekilde içinde bulunulan karşılaşmadan kurtaracak manevra bulunamıyorsa, limit kademeli olarak düşürülerek uygun mesafe saptanmalı ve kaçış manevrası

saptanabilmelidir. Buna bağlı olarak, geminin ne olursa olsun, kendi imkânlarıyla manevra yaparak kurtarabileceği ve daha altında olduğunda yakın düşmüş kabul edileceği mutlak yakınlaşma sınırı *(CPA$_{MUTLAK}$)* belirlenmeli ve algoritmanın yapacağı manevralarda ne olursa olsun bu mesafenin altına düşmemesi sağlanmalıdır. Daha sonra ise geminin manevra yeteneklerine göre, yapılması istenen manevra için maksimum kaç derecelik rota değişiminin *(Angle$_{MAX}$)* uygulanabilir olduğu belirlenmelidir.

Çevredeki gemiler, kendi karakteristiklerine göre belirlenen bu limitler doğrultusunda sınıflandırıldığında üç kümeye ayrılabilir. Bunlar "Tehlikesiz Geçiş", "Olası Tehlike" ve "Mutlak Tehlike" şeklinde adlandırılsın. Böylece mevcut rota ve hız ile devam edildiğinde yaşanacak olan geçişteki *CPA* değeri, *CPA$_{LİMİT}$* üzerinde olanlar "Tehlikesiz Geçiş" kümesine, *CPA$_{LİMİT}$* ve *CPA$_{MUTLAK}$* arasında olanlar "Olası Tehlike" kümesine, *CPA$_{MUTLAK}$* altında olanlar ise "Mutlak Tehlike" kümesine ayrılabilir ve TCPA değeri *TCPA$_{LİMİT}$* altında olanlar için kaçış manevrası arayışı başlatılabilir. "Olası Tehlike" veya "Mutlak Tehlike" kümeleri içinde birden fazla gemi bulunması durumunda ise TCPA değerine göre küçükten büyüğe sıralama yapılmalı ve ilk karşılaşılacak olan öncelikli değerlendirmeye alınmalıdır. Bu başlıkta belirlenen sınıflandırmalar aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} & CPA > CPA_{LİMİT} && \Rightarrow \text{"Tehlikesiz Geçiş"} \\ & CPA_{LİMİT} \geq CPA > CPA_{MUTLAK} \wedge TCPA_{LİMİT} > TCPA && \Rightarrow \text{"Olası Tehlike"} \\ & CPA_{MUTLAK} \geq CPA \wedge TCPA_{LİMİT} > TCPA && \Rightarrow \text{"Mutlak Tehlike"} \end{aligned} \tag{3.15}$$

Kaçış manevrası için öncelik tüm gemilerin tehlike olasılığı oluşturduğu anda değerlendirmeye alınıp tehlike büyümeden çözüm üretmek olmalıdır. Ancak karşıdaki geminin ani bir dönüş yapması veya yapması gereken manevrayı yapmaması durumunda üst kademe tehditler oluşabilir. Fakat çözümler kümesinden seçim kriterlerine göre uygun manevra seçildiğinde yakın düşme gerçekleşmeden engellenmiş olacaktır.

3.2.4. SEKTÖR VE KARŞI SEKTÖR SINIFLANDIRMASI

DÇÖT kapsamında çatışma tehlikesi ve çatışmadan kaçınma manevraları belirlenmiştir. Belirlenmiş bu manevralar arasından ne şekilde seçim yapılacağı ise hedef geminin yaklaşmakta olduğu yöne göre sınıflandırılmıştır.

Hedef gemiyle olan temasımızın ne şekilde olacağını anlamak için o gemi hakkında bazı bilgilere ihtiyaç duyarız. Bunlar hedef geminin bize göre ne tarafta bulunduğu ve ne tarafa doğru ilerlediğidir. Dış kaynaktan alınan konum, rota ve hız bilgileri yardımıyla hedef geminin bize göre ne tarafta yer aldığını hakiki kerteriz *(B_T)* ve nispi kerteriz *(B_R)* olarak hesaplamıştık. DÇÖT kapsamında hedef geminin bulunduğu sektör sınıflandırması yapmak için bizim işimize yarayacak olan değer bize göre nispi kerteriz *(B_R)* ve hedef gemiye göre bizim nispi kerterizimiz *(B_{RT})* olacaktır.

Hedef gemiyle ilgili bilinmesi gereken bir diğer bilgi ise ne tarafa doğru ilerlediğidir. Bu bilgi son derece önemlidir çünkü hedefin bize doğru mu yoksa uzaklaşır yönde mi ilerlediğini veya pruva pruvaya geçiş mi yapacak yoksa biz ona yetişen tekne konumunda mıyız gibi kritik ayrımları anlamamızı sağlar.

DÇÖT Kısım II'de birbirini gören teknelerin davranışları tanımlanmıştır. Yelkenli tekneler arasındaki davranışlar bu kuralların en başında diğerlerinden hariç tutulmuş ve Kural 12 – Yelkenli Tekneler başlığında ayrıca bahsedilmiştir. Manevra kabiliyetleri denk olan tekneler için ise temel olarak üç sınıflandırma yer alır. Bunlar Kural 13 - Yetişme, Kural 14 - Pruva Pruvaya Geliş Durumu ve Kural 15 - Aykırı Geçiş'tir. Bu üç sektör içinde karşılaşan gemilerin hangisinin ne şekilde sorumluluk altına yükleneceği ve sorumluluklarının ne olacağı da Kural 16 – Yol Veren Teknenin Davranışı ve Kural 17 – Yol Verilen Teknenin Davranışı altında belirtilmiştir. Manevra kabiliyeti arasında fark olan tekneler için üstünlük sıralaması ise Kural 18 – Tekneler Arası Sorumluluklar adı altında toplanmıştır.

Bu çalışmadaki algoritma yapısı için kuvvetle yürütülen iki teknenin karşılaşması durumunda aralarındaki ilişki ve yol verme yükümlülüklerini hesaplamak gerekir.

- ***3.2.4.1. Karşılaşma Sınıfları***

- ***Yetişme***

DÇÖT Kural 13 – Yetişme altında bu karşılaşma durumu şu şekilde tanımlanmıştır.

a) *"Bir tekneye yetişen diğer herhangi bir tekne bu Kuralların, Bölüm B. Kısım I ve Kısım II deki mevcut hükümlerine bakılmaksızın yetişilen teknenin yolundan çıkacaktır."*
b) *"Herhangi bir tekneye, kemeresinin 22.5 derece (2 kerte) den daha fazla gerisindeki herhangi bir yönden yaklaşan bir tekne, yani yetişmekte olduğu tek-neye göre, geceleyin o teknenin sadece pupa fenerini görüp borda fenerlerinden hiçbirini göremiyecek mevkide bulunan tekne "yetişen bir tekne" sayılacaktır."*
c) *"Bir tekne diğer bir tekneyi yetişip geçtiği hususunda herhangi bir tereddüde düştüğü takdirde, kendini yetişen tekne sayarak buna göre hareket edecektir."*
d) *"İki tekne arasındaki kerterizlerde sonraki herhangi bir değişim, yetişen tekneyi bu Kurallara göre, aykırı geçen bir tekne yapmayacak veya yetişilen tekne tam olarak geçilinceye ve neta oluncaya kadar, yetişen teknenin yükümlülüğünü kaldırmayacaktır."*

Kuralın b bendinde belirtildiği üzere yetişme durumunun açısal sınırları net olarak açıklanmıştır. Eğer bir tekne diğerine 112,5° - 247,5° sektörleri arasından arasından yaklaşıyorsa "yetişiyor" anlamına gelecektir. Bu çalışmada da tabii olarak kurala uygun şekilde aynı açısal değerler kabul edilmiştir. Gösterim ve hesaplama kolaylığı açısından 112,5° - 180° arası "OS" (Overtake Starboard Side) ve 180° - 247,5° arası "OP" (Overtake Port Side) olarak kabul edilmiştir.

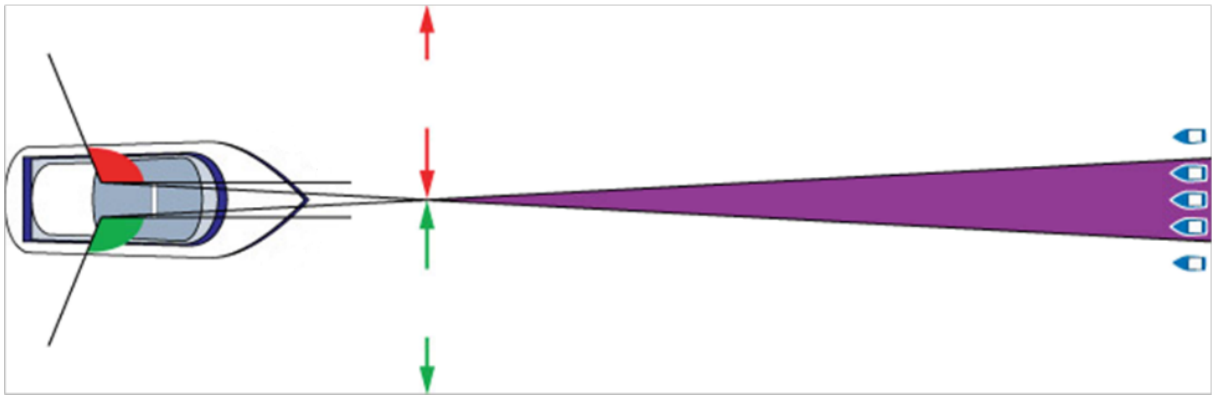
Hedef geminin, bizim gemimize yetişmesi durumu sektörel olarak ifade edilebilir. Fakat bizim gemimizin, hedef gemiye yetişmesi durumunu açısal bir sınıflandırmayla anlatamayız. Çünkü bu durumda hedef geminin değil bizim nerede olduğumuz önem kazanmaktadır. Yani bizim gemimiz hedef geminin nispi 112,5° - 247,5° sektörleri arasında bulunuyor olmalıdır. Gösterim ve hesaplama kolaylığı açısından bizim gemimizin, hedef gemiye göre 112,5° - 180° arası olması durumu "OTS" (Overtake Target Starboard Side) ve 180° - 247,5° arası "OTP" (Overtake Target Port Side) olarak kabul edilmiştir.

- ***Pruva Pruvaya Geliş Durumu***

DÇÖT Kural 14 – Pruva Pruvaya Geçiş Durumu altında bu karşılaşma durumu şu şekilde tanımlanmıştır.

a) *"Kuvvetle yürütülen iki teknenin, çatışma tehlikesi söz konusu edilecek surette, birbirlerine karşı veya karşıya yakın birer rota ile yaklaşmaları halinde, bu teknelerden her biri diğerinin iskelesinden geçmek üzere, rotasını sancağa değiştirecektir."*
b) *"Bir teknenin diğerini pruvasında veya pruvasına yakın ve gece silyon fenerlerini bir doğru üzerinde veya doğruya yakın bir halde ve/veya her iki borda fenerini birlikte gördüğü, gündüz ise, diğer tekneyi buna benzer bir durumda gördüğü zaman, yukardaki durumun mevcut olduğu varsayılacaktır."*
c) *"Böyle bir durumun varlığından tereddüte düşen bir tekne bu durumun hakikaten mevcut olduğunu varsayacak ve buna uygun olarak hareket edecektir."*

Bu kural gemilerin pruva pruvaya gelmesiyle ilgili net bir açısal sınır koymamakla birlikte çatışma tehlikesi oluşturacak surette karşı veya karşıya yakın bir rotayla yaklaşmalarını şart koşmuştur. Teknik olarak, Şekil 3.7'de de görüldüğü gibi bir geminin karşıdakinin borda fenerlerinin ikisini aynı anda görebildiği açısal dilim pruva hattının sancak ve iskele tarafına 3'er derecelik dar bir sektörden ibarettir (Yarkın, Baylan ve Yarkın, 2004). Fakat toplam 6° derecelik dilimin seçiminin uygulamada zor olması ve kuralda çatışma tehlikesi yaratan durumlarda tereddüte düşülmesi halinde olduğu varsayılacağı hükmü dikkate alınarak bu sınırın bir miktar daha yüksek tutulmasında fayda vardır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde pruva hattının iskele ve sancağında 10'ar derecelik sektörler kabul edildiği görülebilir (Zhao, Li ve Shi, 2016). Bu çalışmada da aynı şekilde 10'ar derecelik dilimler olmak üzere 350° - 010° arasındaki gemiler pruva pruvaya geliş sektörü içerisinde değerlendirilecektir.



Şekil 3.7: Pruva Pruvaya Geçiş Gösterimi

Gösterim ve hesaplama kolaylığı bakımından 350° - 000° arası "HP" (Head On Port Side) ve 000° - 010° arası ise "HS" (Head On Starboard Side) olarak kabul edilmiştir.

- ***Aykırı Geçiş***

DÇÖT Kural 15 – Aykırı Geçiş altında bu karşılaşma durumu şu şekilde tanımlanmıştır.

> *"Kuvvetle yürütülen iki teknenin çatışma tehlikesi doğuracak şekilde birbirini aykırı olarak geçmeleri halinde, diğer tekneyi sancak tarafından gören tekne onun yolundan çıkacak, koşullar elverdiği takdirde diğerinin pruvasından geçmekten kaçınacaktır." ("Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü," 1972)*

Kuralda görüldüğü üzere aykırı geçiş için sınır verilmemiş olmakla birlikte tanımlanmamış yönler bu sınıfta kabul edilmektedir. Yani 360° derecelik ufku gözönüne aldığımızda Pruva Pruvaya Geçiş Sektörü ve Yetişme Sektörü dışında kalan tüm tekneler aykırı geçiş kuralları doğrultusunda hareket etmek durumundadır. Bu durumda 010° – 112,5° arası ve 247,5° – 350° arası olmak üzere toplamda 205° derecelik sektör bu sınıfta değerlendirilir. Gösterim ve hesaplama kolaylığı açısından 010° – 112,5° arası "CS" (Crossing Starboard Side) ve 247,5° – 350° arası "CP" (Crossing Port Side) olarak kabul edilmiştir.

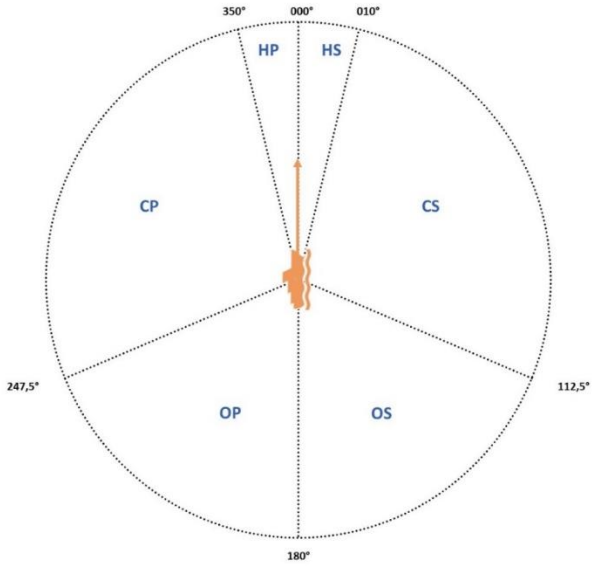
- ***3.2.4.2. Sektör Sınıfları***

Böylece hedef geminin nispi kerterizi algoritmada kullanılmak üzere, DÇÖT kuralları doğrultusunda Tablo 3.2'deki gibi altı sınıfa ayrılmıştır.

Tablo 3.2: Gemi Karşılaşmalarında Sektör Sınırları

SEKTÖR ADI	AÇISAL SINIRLAR
"HS"	$000° \leq B_R < 010°$
"CS"	$010° \leq B_R < 112{,}5°$
"OS"	$112{,}5° \leq B_R < 180°$
"OP"	$180° \leq B_R < 247{,}5°$
"CP"	$247{,}5° \leq B_R < 350°$
"HP"	$350° \leq B_R < 000°$

Şekil 3.8'de görüleceği üzere bu açısal sınırlar her geminin bir diğerini nerede gördüğünü anlamak bakımından önemlidir. Örneğin hedefteki bir gemi bizim için sancak tarafta olabilir fakat bizim gemimizin onun için ne tarafta bulunuyor olduğunu da hesaplamamız gerekir ki arada ki ilişki anlaşılabilsin. Gemilerin arasındaki ilişki ve manevra sınıflandırması da bu esasa göre yapılmalıdır.



Şekil 3.8: Gemi Çevresindeki Yaklaşma Sektörleri

Hesaplamalar ve sınıflandırmalar arasındaki tek fark kerterizlerin değişecek olmasıdır. Yani aynı durumda, bizim gemimizin hesabı için bizim köprüüstümüzden alınan nispi kerteriz, hedef geminin hesabı için onun köprüüstünden alınan nispi kerteriz önemlidir. Önceki başlıklarda da hesaplandığı üzere kendi gemimizden alınan hakiki kerteriz *(B_T)* ise, kendi gemimizden alınan nispi kerteriz *(B_R)* , hedef gemiden alınan hakiki kerteriz *(B_{TT})* ve hedef gemiden alınan nispi kerteriz *(B_{RT})* aşağıdaki gibi olur;

$$B_R = B_T - C_{OS}$$

$$B_{TT} = B_T - 180° \tag{3.16}$$

$$B_{RT} = B_{TT} - C_{TS}$$

B_R: nispi kerteriz, B_T: hakiki kerteriz, C_{OS}: gemimizin rotası, B_{TT}: karşı hakiki kerteriz, B_{RT}: karşı nispi kerteriz, C_{TS}: hedef gemi rotası

Hedef gemiden bizim gemimiz için alınan nispi kerteriz *(B_{RT})* ile bizim gemimizin hedef gemiye göre hangi sektör içinde yer aldığını saptayabiliriz. Bu kavram hesap kolaylığı açısından "karşı sektör" olarak adlandırılacaktır.

Çatışmayı önleme hareketi olması için önce çatışma tehlikesi olmalıdır yani gemiler birbirine yaklaşıyor olmalıdır. Dolayısıyla içinde bulunulan durumu iyi analiz etmek gerekir. Bir karşılaşma durumunda yapılması manevranın tespiti de yapılacak analizin sonucuyla ortaya çıkar.

3.2.5. MANEVRA SINIFLANDIRMASI VE TÜZÜĞE UYGUNLUK KONTROLÜ

Bir önceki bölümde hedef geminin konumu ve yönelimi sınıflandırıldı. Bu bölümde ise DÇÖT kuralları uyarınca bu sınıflara dâhil gemiler için yapılması uygun olan manevralar belirlenip kategorize edilecektir.

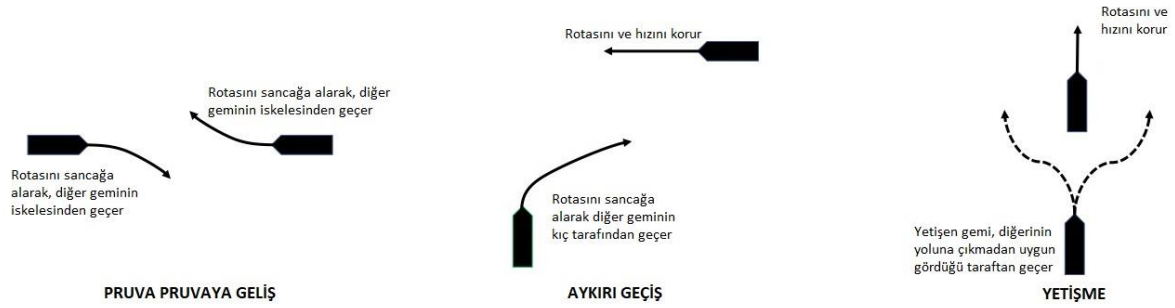
DÇÖT, birbirini gören tekneler için temel olarak üç farklı karşılaşma durumu belirlemiş ve bu karşılaşmalarda tarafları yol veren veya yol verilen olarak ayırmıştır. Yol veren ve yol verilen teknelerin ise uygulayacağı manevraları tanımlamıştır. Bu karşılaşmalara bakıldığında bir önceki başlıkta da anlatıldığı Kural 13 – Yetişme, Kural 14 – Pruva Pruvaya Geliş Durumu ve Kural 15 – Aykırı Geçiş başlıkları altında toplandığı görülmektedir.

Kural 13 – Yetişme'nin a bendine bakıldığında yetişen tekneyi "yol veren", yetişilen tekneyi ise "yol verilen" tekne olarak net biçimde tanımlamıştır. Bölüm B'nin kısım I (Her Türlü Görüş Koşullarında Teknelerin Yönetimi) ve kısım II (Birbirini Gören Teknelerin Davranışları) hükümlerine bakılmaksızın yetişen teknenin yetişilen teknenin yolundan çıkacağı belirtilmiş fakat herhangi bir geçiş tarafı vermemiştir. Yani DÇÖT'ün bu kuralı dahilinde emniyetli mesafeden geçiş yapıldığı takdirde ne taraftan geçildiğinin bir önemi yoktur fakat yetişilen teknenin emniyetli seyrine hiçbir şekilde engel olunmamalıdır. Bu kural uyarınca önceki bölümde yaptığımız sınıflandırmayı değerlendirecek olursak; bizim gemimiz hedef gemiye yaklaşıyor olmalı ve hedef geminin bizim gemimizi gördüğü kerteriz yani karşı sektör "OS" veya "OP" olmalıdır.

Kural 14 – Pruva Pruvaya Geliş Durumu'nun a bendine bakıldığında ise yol verilen tekne sınıflandırması yapılmayıp, her iki tekneye de yol verme sorumluluğu yüklendiğini görürüz. Kural birbirine bu açılardan çatışma tehlikesi oluşturacak biçimde yaklaşan teknelerin her birinin rotasını sancağa doğru değiştirmesini istemiştir. Bir diğer deyişle iskele iskeleye (kırmızı kırmızıya) geçiş yapılması istenmektedir. Bu şekilde iki tekneye de sorumluluk yüklenmesinin güzel tarafı gemilerden herhangi birisi kuralı aksatsa dahi emniyetli geçişin sağlanacak olmasıdır. Bu kural uyarınca önceki bölümde yaptığımız sınıflandırmayı değerlendirecek olursak; her iki geminin de diğerini pruvasında görüyor olmalıdır. Yani hem sektör hem de karşı sektör "HS" veya "HP" ise gemiler karşı karşıya geliyor demektir.

Kural 15 – Aykırı Geçiş'te ise teknelerin diğerini gördüğü taraf belirleyici rol oynamaktadır. İki gemi birbirlerine çatışma tehlikesi doğuracak biçimde aykırı geçiş sektörlerinden

yaklaştıklarında diğer gemiyi kendi sancak tarafında gören geminin “yol veren”, diğer gemiyi kendi iskele tarafında gören geminin ise “yol verilen” olmasına hükmedilmiş ve yol veren teknenin, yol verilen teknenin pruvasından olabildiğince geçmemesi istenmiştir. Bu karşılaşmalarda koşullar el verdiğince yol veren teknenin rotasını sancağa alarak emniyetli mesafeden geçmesinin uygun manevra olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3.9’da tüzüğe uygun geçişler gösterilmiştir. Kural uyarınca önceki bölümde yaptığımız sınıflandırmayı değerlendirecek olursak; burada sadece “CS” veya “CP” değil, “HS” ve “HP” sektörleri de işin içine girmektedir. Çünkü pruva pruvaya geliş ancak iki geminin aynı anda birbirini pruvasında kerteriz etmesiyle mümkündür fakat aykırı geçişte sancak tarafta olmak veya iskele tarafta olmak yeterli olmaktadır.



Şekil 3.9: DÇÖT Gereği Yapılması Gereken Manevralar

DÇÖT, “Yol Veren” ve “Yol Verilen” teknelerin davranışları içinde bazı hükümler getirmiştir. Kural 16 - Yol Veren Teknenin Davranışında “erken, belirgin ve iyice neta olmayı sağlayacak” manevra yapılması istenmiştir. Bu ifadeler, Kural 8 – Çatışmayı Önleme Hareketi’nin a bendinde belirtilen “yeterli süre içinde ve olumlu hareket” ve d bendinde belirtilen “emniyetli bir mesafeden geçmesi” kavramlarıyla özdeşlik göstermektedir (Yarkın, vd. 2004). Ne kadar erken veya ne kadar belirgin olmasıyla ilgili rakamsal ifadeler kullanılmamış olmasıyla birlikte yapılan manevranın 5° ‘den küçük olmaması denizde daha kolay fark edilmesini sağlayacaktır. Kural 17 – Yol Verilen Teknenin Davranışında ise çatışma tehlikesi doğuran bir karşılaşma durumunda yol veren teknenin hareketiyle uyumlu olması bakımından bazı sorumluluklar yüklenmiştir. Kuralın a bendinin i fıkrasında yol verilen teknenin “rota ve hızını koruması” istenmiştir. Yani yol veren teknenin davranışı, tehlikeyi atlatmak için yeterliyse; yol verilen taraf, karışıklığa sebep olmamak adına manevraya başlamış olan tarafın manevrasını bitirmesini beklemelidir. Fakat aynı kuralın a bendinin ii fıkrasında da eğer karşı tarafın üzerine düşen sorumluluğu (yol verme davranışı) yerine getirmediği fark edildiyse tehlikeyi önlemek üzere

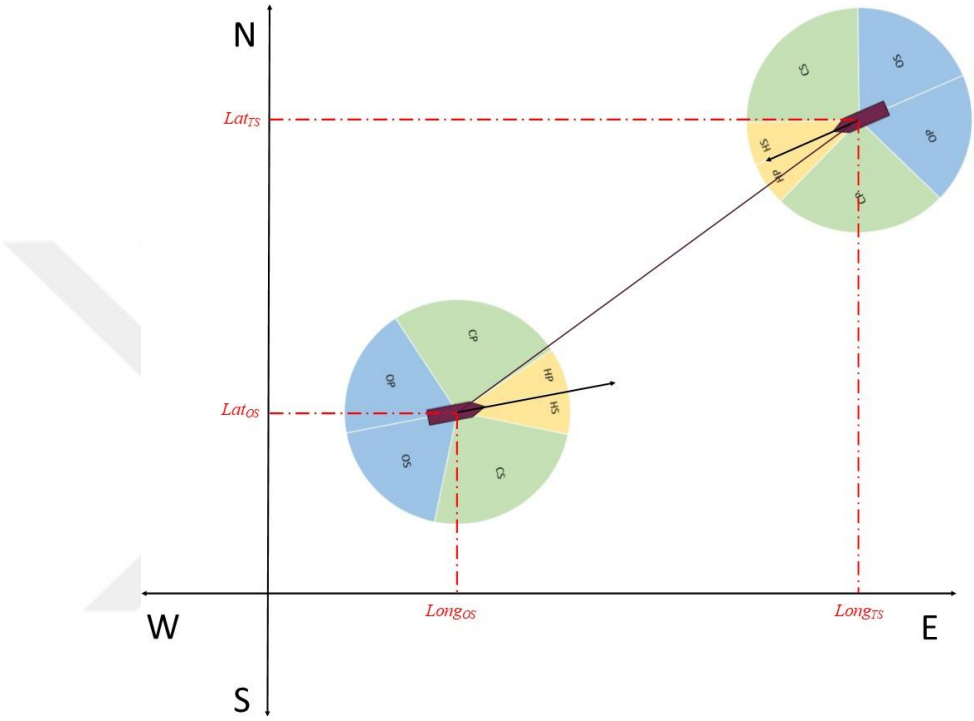
kendi manevrasını yapabileceği hükmü yer almaktadır. Benzer şekilde yine kuralın b bendinde eğer yol verilen tekne kendisini sadece karşı tarafın manevrası ile engellenemeyecek biçimde yakın düşmüş bulursa, çatışmayı engellemeye yardımcı olacak bir manevra yapabileceğini belirtilmiştir. DÇÖT'nün çatışmayı önleme hareketi genel çerçevede değerlendirildiğinde, ilk etapta en güvenli ve olağan seviyede kurallara uygun manevra yapılması istenmiş fakat olası aksiliklerde çatışmanın önüne geçmek amacıyla belirlenmiş kuralların ötesinde olumlu sonuç getirecek iyi bir manevranın uygulanmasına da müsaade edilmiştir. Şekil 3.10'da örnek bir karşılaşma ve gemilerin birbirlerini ne taraftan gördükleri gösterilmiştir.

Bu geçiş kurallarını önceki başlıkta yaptığımız sınıflandırmalara uygulayacak olursak hangi sektör ve karşı sektördeki teknelerin, ne şekilde manevra yapması gerektiğini saptayabiliriz. Çeşitli karşılaşma sınıflarında kendi gemimiz "OWN", hedef gemi "TARGET" kabul edilirse, yol verme durumu aşağıdaki Tablo 3.3'deki gibi olmalıdır;

Tablo 3.3: İki Geminin Karşılaşması Durumunda Sektöre Göre Yapılacak Manevralar

SEKTÖR	KARŞI SEKTÖR	İLGİLİ KURAL	YOL VEREN	YOL VERİLEN	OWN SHIP SORUMLULUĞU
HS	HS	Kural 14	OWN, TARGET	OWN, TARGET	Sancağa Manevra
HS	CS				Taraf Kuralı Yok
HS	OS	Kural 13	OWN	TARGET	Taraf Kuralı Yok
HS	OP	Kural 13	OWN	TARGET	Taraf Kuralı Yok
HS	CP	Kural 15	OWN	TARGET	Sancağa Manevra
HS	HP	Kural 14	OWN, TARGET	OWN, TARGET	Sancağa Manevra
CS	HS				Taraf Kuralı Yok
CS	CS				Taraf Kuralı Yok
CS	OS	Kural 13	OWN	TARGET	Taraf Kuralı Yok
CS	OP	Kural 13	OWN	TARGET	Taraf Kuralı Yok
CS	CP	Kural 15	OWN	TARGET	Sancağa Manevra
CS	HP	Kural 15	OWN	TARGET	Sancağa Manevra
OS	HS	Kural 13	TARGET	OWN	Rota ve Hız Koru
OS	CS	Kural 13	TARGET	OWN	Rota ve Hız Koru
OS	OS				Taraf Kuralı Yok
OS	OP				Taraf Kuralı Yok
OS	CP	Kural 13	TARGET	OWN	Rota ve Hız Koru
OS	HP	Kural 13	TARGET	OWN	Rota ve Hız Koru
OP	HS	Kural 13	TARGET	OWN	Rota ve Hız Koru
OP	CS	Kural 13	TARGET	OWN	Rota ve Hız Koru
OP	OS				Taraf Kuralı Yok
OP	OP				Taraf Kuralı Yok
OP	CP	Kural 13	TARGET	OWN	Rota ve Hız Koru
OP	HP	Kural 13	TARGET	OWN	Rota ve Hız Koru
CP	HS	Kural 15	TARGET	OWN	Rota ve Hız Koru
CP	CS	Kural 15	TARGET	OWN	Rota ve Hız Koru
CP	OS	Kural 13	OWN	TARGET	Taraf Kuralı Yok
CP	OP	Kural 13	OWN	TARGET	Taraf Kuralı Yok
CP	CP				Taraf Kuralı Yok
CP	HP				Taraf Kuralı Yok
HP	HS	Kural 14	OWN, TARGET	OWN, TARGET	Sancağa Manevra
HP	CS	Kural 15	TARGET	OWN	Rota ve Hız Koru
HP	OS	Kural 13	OWN	TARGET	Taraf Kuralı Yok
HP	OP	Kural 13	OWN	TARGET	Taraf Kuralı Yok
HP	CP				Taraf Kuralı Yok
HP	HP	Kural 14	OWN, TARGET	OWN, TARGET	Sancağa Manevra

Yukarıda anlatılan manevra biçimleri toparlandığında; yetişmede yol verilen teknenin rota ve süratini koruması, yol veren teknenin uygun gördüğü herhangi bir taraftan diğerinin yolundan çıkarak geçmesi, pruva pruvaya gelişte her iki geminin de rotasını sancağa alacak şekilde manevra yapması, aykırı geçişte yol verilen teknenin rota ve süratini koruması, yol veren teknenin ise rotasını sancağa alarak diğerinin kıçından geçmesi istenmiştir.



Şekil 3.10: İki Geminin Karşılaşmasında Sektör ve Karşı Sektör

Bir geminin rota değişimleri kurala uygun şekilde sınıflandırıldığında rota korumak, sancağa manevra ve iskeleye manevra şeklinde üç seçenek karşımıza çıkar. Bu manevralara her hangi bir kurala bağlı olunmayan durumları ifade etmek için bir seçenek daha eklemek gerekir. Yani toplamda uygulanabilecek manevralar Tablo 3.4'deki gibi rotasını sancağa almak (S), rotasını iskeleye almak (P), rotasını korumak (K) ve herhangi bir kurala bağlı olmayan manevralar (Z) olarak dörde ayrılabilir.

Tablo 3.4: Karşılaşma Türü ve Manevralar

KARŞILAŞMA	YOL VEREN	YOL VERİLEN
YETİŞME	Uygun taraftan geçecek (Z)	Rota ve süratini koruyacak
PRUVA PRUVAYA GELME	Her iki tekne sancağa alacak	Her iki tekne sancağa alacak
AYKIRI GEÇİŞ	Sancağa alacak (S)	Rota ve süratini koruyacak

Kendi gemimizin ilk rotası önceki başlıklarda C_{OS} olarak tanımlanmıştı. Yapılacak manevra sonrası yeni rota ise C_{OY} olsun. 360° lik ufukta eski ve yeni rotalar arasındaki farka göre yapılan manevranın yani rota değişiminin (C_{DIFF}) ne yönde olduğu anlaşılabilir. Dolayısıyla önceki paragrafta anlatılan sınıflandırma, rota değişimi (C_{DIFF}) için de yapılabilir (Tablo 3.5).

$$C_{DIFF} = C_{OY} - C_{OS} \ (\text{MOD } 360°) \tag{3.17}$$

C_{DIFF}: rota değişimi, C_{OY}: yeni rota, C_{OS}: kendi gemimizin rotası

Tablo 3.5: Yapılan Manevranın Matematiksel Gösterimi

MANEVRA TÜRÜ	KOŞUL
S	$000° < C_{DIFF} \leq 180°$
P	$180° < C_{DIFF} < 360°$
K	$C_{DIFF} = 0°$
Z	---YOK---

Bu durumda DÇÖT'e uygun yapılması gereken manevra sınıfı $(MS_{DÇÖT})$ ve yapılan rota değişiminin manevra sınıfı (MS_{OY}) birbirleriyle karşılaştırılarak yapılan manevranın DÇÖT'e uygun olup olmadığı saptanmış olur. Yani uygulanması gereken kural sancağa almakken (S), yapılan rota değişimi iskele tarafa (P) ise kurala uyulmamış fakat uygulanması gereken bir kural yokken (Z), iskele tarafa (P) alınmışsa bu DÇÖT açısından bir uyumsuzluk teşkil etmemiş olacaktır.

Sonuç olarak karşılaştırmalar yapıldığında Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğüne Uygunluk Faktörü *(TUF)* Tablo 3.6'daki gibi belirlenir;

Tablo 3.6: Yapılan Manevranın DÇÖT Uygunluk Gösterimi

DÇÖT Manevra Sınıfı ($MS_{DÇÖT}$)	**Geçiş Manevra Sınıfı (MS_Y)**	**Tüzüğe Uygunluk (*TUF*)**
S	S	UYGUN
S	P	DEĞİL
S	K	DEĞİL
K	S	DEĞİL
K	P	DEĞİL
K	K	UYGUN
Z	S	UYGUN
Z	P	UYGUN
Z	K	UYGUN

3.2.6. MANEVRA BİTİŞİ KONTROLÜ

Algoritmanın kararlı çalışması için, çevrede bulunan bir geminin çatışma tehlikesi oluşturduğu saptandığında takibe alınıp, gerekli uygulama yapılmalı, tehlike sona erdiğinde ise takipten çıkarılması gerekir. Takibe alırken dikkat edilmesi gereken ölçütler ve tehlikeli olan gemiye karşı uygulanacak yöntemler önceki bölümlerde anlatılmıştı, tehlikenin ne zaman biteceğine dair ölçütler ve takibin sonlandırmasında uygulanacak yöntemler ise bu bölümde anlatılacaktır. DÇÖT Kural 8 (Çatışmayı Önleme Hareketi) d bendinde aktarılan hükümler gereği, geçiş mesafesinin artmış olması sorumluluğu bitirmemekte, geçiş tamamlanıncaya kadar manevranın sürdürülmesi istenmektedir.

> *Kural 8 (d) – "Diğer bir tekne ile çatışmayı önlemek üzere girişilecek hareket, bu teknenin emniyetli bir mesafeden geçmesi ile sonuçlanacak harekettir. Hareketin etkili olup olmadığı diğer tekne tam olarak geçilinceye ve neta oluncaya kadar dikkatle kontrol edilecektir."*

Diğer teknenin tam olarak geçilmesi ifadesi, iki teknenin en yakın olacağı anın yani CPA'in geride bırakılmasını tanımlamaktadır. Bu durum aynı zamanda tehlikenin maksimum olduğu zamanın geride bırakılması demektir. Karşılaşılan tekne ile olan mesafe, CPA anından sonra artmaya başlayacağından, tehlike geride bırakılmış kabul edilebilir. Gemiler sabit rota ve hızlarla birbirleriyle çatışma tehlikesi oluşturacak biçimde yaklaştığında, geçiş yaparken birbirlerine en yakın olacakları mesafeye *(CPA)* kalan zaman *(TCPA)* giderek azalır. Yani TCPA yaklaşırken pozitif, CPA anında sıfır, uzaklaşırken ise negatif olmalıdır. Dolayısıyla TCPA'in negatif olması geminin geçildiği anlamına gelecektir.

Kuralda belirtilen bir diğer husus ise neta oluncaya kadar durumun kontrol edilmesidir. Neta olmak kavramı için açıklama yapılmamakla beraber, bahsi geçen hedef teknenin artık tehlike unsuru teşkil etmiyor olması beklenmektedir. Bu durum çoğu zaman CPA anının geride bırakılmasıyla özdeşlik gösterse de Kural 17'nin a(ii) veya b bendindeki gibi olağandışı durumlarda farklı değerlendirmek emniyet açısından yararlı olabilir. Örneğin sorumluluğun karşı gemide olduğu halde gereğinin yapılmaması veya yapılan manevranın tek başına yeterli olmaması veya son anda ortaya çıkan aksi bir durum sonucu emniyetli geçiş için istenen limit mesafeden daha yakın bir geçiş gerçekleştirildiyse, gemiler CPA anını geride bırakmasına rağmen hala birbirlerine çok yakın olabilirler. Burada neta olmak kavramı, sonradan ortaya çıkan duruma göre değil, en başta belirlenen limite göre takip edilmelidir. Yani limit CPA'ini

1 mil olarak belirlemiş olan bir gemi, sonradan oluşan bir durum sonucunda hedef gemiyle 0,6 mil mesafeden geçiş yaptıysa, aralarındaki mesafe 0,6 mil olduğunda gemi tam olarak geçilmiş olacak fakat gemiler uzaklaşmaya başlayıp aralarındaki mesafe 1 mile ulaştığında neta olacaktır. Bu iki şart birlikte sağlandığında ise manevra bitmiş kabul edilecek ve karşıdaki geminin çatışma tehlikesi bitmiş sayılacaktır.

Kesin olarak manevra bitmiş kabul edilebilmesi için kuralda geçen şartların matematiksel olarak ifade edilmesi gerekir. Bu şartlardan birincisi gemilerin en yakın olacağı anın gelip geçmiş olması, ikincisi ise aralarındaki mesafenin limit değerin üzerinde olmasıdır.

Geminin emniyetli geçiş limitleri için gerekli kurallar ve belirleme için kullanılacak yöntemler öneki başlıklarda anlatılmıştı. Belirlenmiş emniyetli geçiş mesafesi *($CPA_{LİMİT}$)* ise,

Şart 1: Geminin tam olarak geçilmesi;

$$TCPA<0$$

Şart 2: İyice neta olunması;

$$Range \geq CPA_{LİMİT}$$

Yukarıda mantıksal ön şartların ikisi birlikte sağlandığında gemi tam olarak geçilmiş ve iyice neta olunduğu anlamına gelir.

$$TCPA < 0 \ \wedge \ Range \geq CPA_{\text{limit}} \ \Rightarrow \ \text{Manevra biter} \qquad (3.18)$$

3.2.7. KÜME OLUŞTURMA VE KAÇIŞ ROTASI SEÇİMİ

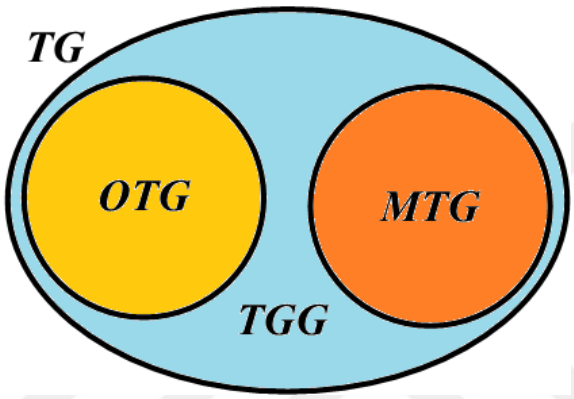
Bu zamana kadar algoritma dâhilinde neye istinaden, hangi bilgiye ihtiyaç duyulacağı açıklandı ve bu doğrultu da bazı değişkenler hesaplandı. Önce bu algoritma için dış kaynaktan alınması gereken bilgiler (konum, hız ve rota) belirlendi. Daha sonra bu bilgileri kullanarak hedef geminin/gemilerin nispi yani göreceli bazı özellikleri (kerteriz, bileşke hız, bileşke rota) hesaplandı. Bu bilgiler kullanılarak ise bir çatışma üçgeni oluşturuldu ve bu geminin/gemilerin çatışma riskini anlamak için gerekli değişkenler *(CPA, TCPA)* hesaplanarak, kendi gemimize göre hareketinin ne şekilde gerçekleşeceğini öngörüldü. Sonrasında yapılan öngörüleri değerlendirebilmek için bazı limitler gerektiğini ve bu limitlerin neye göre belirlenmesi gerektiği anlatıldı. Sonrasında çatışma veya yakın düşme tehlikesi teşkil ettiği belirlenen hedef gemilerin, bizim gemimize göre bulundukları sektörler ve bizim gemimizin hedef gemilere göre bulundukları karşı sektörler belirlendi ve mümkün olabilecek karşılaşmalar listelendi. Sonrasında ise mümkün karşılaşmaların her biri için DÇÖT uyarınca hangi gemilerin, ne şekilde manevra yapması gerektiği anlatılarak, yapılabilecek manevralar gruplandırıldı. Daha sonra ise yine kurallara göre yakın düşme veya çatışma tehlikesi teşkil ettiği tespit edilip takibe alınan gemilerin, ne zamana kadar takip edilip, ne zaman manevranın sonlandırılacağı ifade edildi. Bu başlıkta ise hesaplanan bilgiler kullanılarak, DÇÖT kuralları ve belirlenen limitler dâhilinde en uygulanabilir manevra seçilecektir. Bu çalışmada ortaya koyulan denizde çatışmayı önleme algoritması, uluslararası kurallara göre, geminin kabiliyetlerine uygun olarak, içinde bulunulan durumdan emniyetli biçimde çıkmayı sağlayacak manevrayı hesaplamaktadır.

Öncelikle çevredeki gemiler tehlike arz edip etmediklerine göre sınıflara ayrılmalıdırlar. Bu ayrım tehlike sınırlarının belirlenmesi başlığında anlatıldığı üzere gemimizin mevcut *(TCPA)* ve *(CPA)* değerlerinin, *($TCPA_{LİMİT}$), ($CPA_{LİMİT}$)* ve *(CPA_{MUTLAK})* sınırlarına göre karşılaştırılmasıyla elde edilir. Dış kaynaktan (AIS vb.) bilgileri alınan bütün gemiler önce Tüm Gemiler (TG) kümesinde toplanır. Daha sonra ise kriterlere uyanlar Tehlikesiz Geçen Gemiler (TGG) kümesi, Olası Tehlikeli Gemiler (OTG) kümesi ve Mutlak Tehlikeli Gemiler (MTG) kümesi olarak ayrıştırılır. Tehlike sınıflandırması yapılan gemiler Şekil 3.11'de şematik olarak gösterilmiştir.

Çevredeki gemi sayısı n ise;

$$TG = \{TS_1, TS_2, TS_3, ..., TS_n\}$$

$$\begin{aligned} &TCPA_n > TCPA_{LİMİT} \quad \vee \quad CPA_n > CPA_{LİMİT} && \Rightarrow \quad TS_n \in TGG \\ &TCPA_n \le TCPA_{LİMİT} \quad \wedge \quad CPA_{MUTLAK} < CPA_n \le CPA_{LİMİT} && \Rightarrow \quad TS_n \in OTG \\ &TCPA_n \le TCPA_{LİMİT} \quad \wedge \quad CPA_n \le CPA_{MUTLAK} && \Rightarrow \quad TS_n \in MTG \end{aligned} \tag{3.19}$$



Şekil 3.11: Hedef Gemi Tehlike Sınıflandırmasının Küme Gösterimi

Gemimizin içinde bulunduğu deniz alanını 2 boyutlu bir düzlem olarak düşünüldüğünde, çevrede 360° lik ufuk yer alır. Geminin manevra hassasiyeti, isteğe göre değiştirilebilmekle birlikte 1° lik farklarla rota değiştirmek kabul edilebilir ve uygulanabilirdir. Bu durumda 360 farklı manevra seçeneği karşımıza çıkar. Benzer şekilde 0,5° lik hassasiyetle 720 adet seçenekte oluşturulabilir. Bu çalışmada 360 seçenekli çözüm değerlendirilmiştir.

Algoritma, elde olan seçenekleri 360 elemanlı bir yeni rotalar kümesinde toplayıp, daha sonra bu yeni rotalar kümesini geminin manevra kabiliyeti, CPA limitleri ve uluslararası kuralların getirdiği kısıtlamalara göre süzerek, geminin emniyetli geçişini sağlayacak daha az elemanlı bir kümeye dönüştürmek ve sonuç olarak en güvenli ve uygulanabilir manevrayı seçmek üzerine kuruludur.

Çözümlerin değerlendirilebilmesi için 360 elemanlı yeni rotalar (YR) kümesindeki her bir rota için yeniden en yakın nokta hesabı yapmak ve 360 elemana karşılık gelen yeni CPA'ler hesaplamak gerekir. Öyleyse hız ve konum sabit kalıp, sadece rotanın değişmesi şartıyla aynı

işlemler tekrar uygulanır. Kafa karışıklığı oluşmaması açısından yeni rota *(C_{OY})*, yeni rotanın en yakın noktası *(CPA_Y)* olarak gösterilmiştir.

$$Y : 1 \rightarrow 360$$

$$(C_{OY}) = 1, 2, 3, ..., 360 \tag{3.20}$$

$$(CPA_Y) = CPA_1, CPA_2, CPA_3, ..., CPA_{360}$$

Burada önce *(CPA_Y)*'i tehlike durumuna göre *($CPA_{LİMİT}$)* veya *(CPA_{MUTLAK})* üzerine çıkaran Y değerleri elenerek daha küçük bir emniyetli geçiş rotaları kümesi (EGR) oluşturulur. (EGR) alt kümesi, tehlikeden kaçarken yeni bir tehlikeye sebep olmaması adına sadece tehlike teşkil eden gemiler için değil, çevredeki tüm gemiler için oluşturulmalıdır.

Tehlike Sınıfı, "Tehlikesiz Geçiş" iken;
$CPA_Y > CPA_{LİMİT} \Rightarrow Y \in \text{EGR}$

Tehlike Sınıfı, "Olası Tehlike" iken;
$CPA_Y > CPA_{LİMİT} \Rightarrow Y \in \text{EGR}$ (3.21)

Tehlike Sınıfı, "Mutlak Tehlike" iken;
$CPA_Y > CPA_{MUTLAK} \Rightarrow Y \in \text{EGR}$

Daha sonra geminin manevra kabiliyetine göre yapabileceği maksimum rota değişimini *($Angel_{MAX}$)* aşmayan elemanlar seçilmelidir. Bu durumda mevcut rota *(C_{OS})* ile yeni rota *(C_{OY})* arasındaki fark *(C_{DIFF})* önemlidir. Farkın negatif olması rota değişiminin iskele tarafa doğru pozitif olması ise sancak tarafa olduğu anlamına gelir. Bu şartı sağlayan değerler için daha küçük bir uygulanabilir rotalar kümesi (UR) oluşturulur.

$$Y : 1 \rightarrow 360$$

$$(C_{OY}) = 1, 2, 3, ..., 360 \tag{3.22}$$

$$\left| C_{OY} - C_{OS} \right| \leq Angel_{MAX} \Rightarrow Y \in \text{UR}$$

Daha sonra ise yeni rota uygulanması durumunda yapılacak geçişin DÇÖT kurallarına uygun olup olmadığı saptanmalıdır. Önceki başlıklarda anlatılan uygunluk kriteri manevra sınıflarıyla ifade edilmişti. Bizim gemimiz ve hedef geminin birbirini gördüğü açısal aralığa bağlı olarak DÇÖT'te tanımlanan manevralarla karşılaştırılmış ve uygun olup olmadığı saptanmıştı. Aynı şekilde yeni rotalar ile geçişin de tüzüğe uygunlukları test edilmelidir. Burada yeni rotanın manevra sınıfı ve DÇÖT manevra sınıfı karşılaştırılmalı, uygun olanlar ise tüzüğe uygun rotalar kümesi (TUR) oluşturulmalıdır.

$$
\begin{aligned}
&Y : 1 \rightarrow 360 \\
&(C_{OY}) = 1, 2, 3, ..., 360 \\
&(TUF_Y) = TUF_1, TUF_2, TUF_3, ..., TUF_{360} \\
&TUF_Y = "UYGUN" \;\; \Rightarrow \;\; Y \;\; \in \;\; \text{TUR}
\end{aligned}
\tag{3.23}
$$

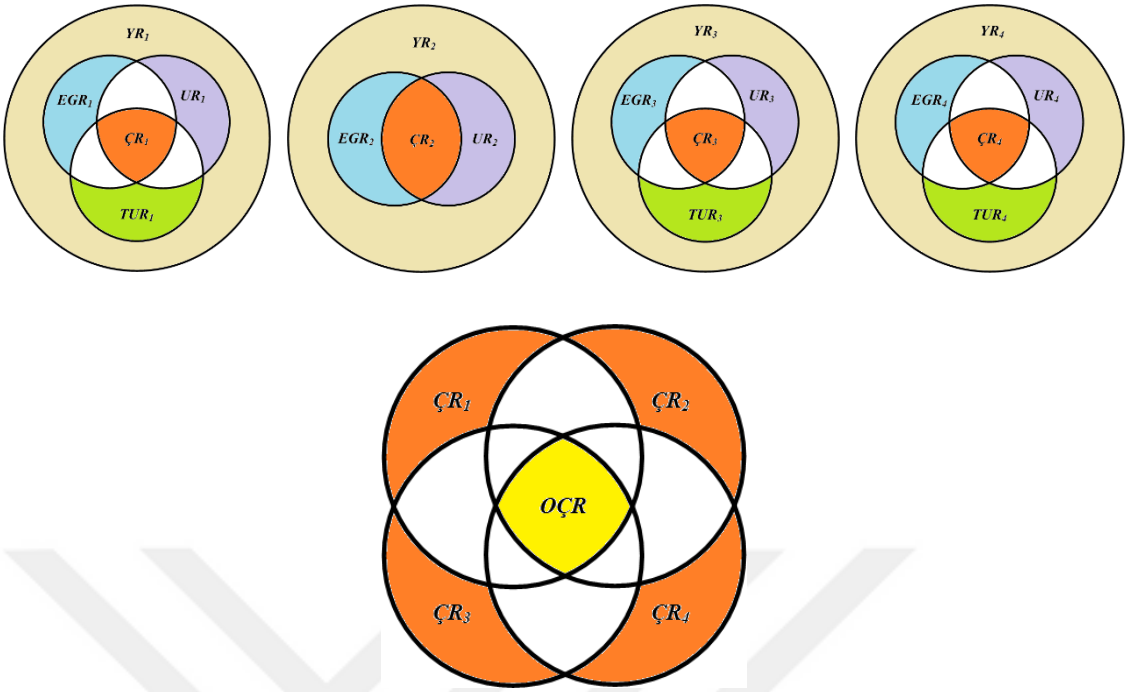
Yukarıda anlatılan elemeler yapıldıktan sonra Emniyetli Geçiş Rotaları (EGR), Uygulanabilir Rotalar (UR) ve Tüzüğe Uygun Rotalar (TUR) olarak 3 farklı rota kümesi elde etmiş olduk. Bu üç kümenin hepsi Yeni Rotalar (YR) kümesinin alt kümesidir. Gemimizin tehlike durumuna göre, eğer DÇÖT kuralları dikkate alınacaksa üç kümenin (EGR, UR, TUR) kesişim kümesi, DÇÖT kuralları dikkate alınmayacaksa iki kümenin (EGR, UR) kesişim kümesi dikkate alınmalıdır. Bu kesişim ise Çözüm Rotaları (ÇR) kümesi olarak adlandırılır. Çözüm Rotaları (ÇR) kümesi içindeki her eleman, gemimizin içinde bulunduğu karşılaşmadan çıkmasını sağlayacak rotalardan oluşmaktadır. Dolayısıyla seçilecek herhangi bir rota kaçış için yeterli olacaktır fakat zaman kazanmak açısından en az rota değişimi gerektireni seçmek daha hızlı sonuç alınmasını sağlar.

$$
\begin{aligned}
&\text{Tehlike Sınıfı, "Tehlikesiz Geçiş" ise;} \\
&\text{ÇR} = \text{EGR} \\
&\\
&\text{Tehlike Sınıfı, "Olası Tehlike" ise;} \\
&\text{ÇR} = \text{EGR} \cap \text{UR} \cap \text{TUR} \\
&\\
&\text{Tehlike Sınıfı, "Mutlak Tehlike" ise;} \\
&\text{ÇR} = \text{EGR} \cap \text{UR}
\end{aligned}
\tag{3.24}
$$

Geminin birden fazla gemiyle aynı anda karşılaşmasında yapılması gerekenler DÇÖT'nde belirtilmemiştir. Fakat yukarıda anlatılan kümelendirme işlemi, karşılaşılan her gemi için ayrı ayrı yapılacağından oluşturulacak farklı çözüm kümelerinin kesişimi bize ortak çözüm seçeneği sunar. Dolayısıyla çevredeki gemilerin tümü için hem emniyetle geçiş yapılacak hem uygulanması mümkün hem de kurallara uygun ortak bir çözüm geliştirilmiş olacaktır. Değerlendirmeye alınan gemiler 1'den n'e kadar numaralandırılırsa her bir gemi için oluşturulacak çözümler Çözüm Kümesi 1 (ÇR1), Çözüm Kümesi 2 (ÇR2), Çözüm Kümesi n (ÇRn) şeklinde oluşurlar. Sonrasında ise tüm gemiler için çözümlerin kesişimini kapsayan Ortak Çözüm Rotaları (OÇR) kümesi oluşturulur.

$$OÇR = ÇR_1 \cap ÇR_2 \cap ..... \cap ÇR_n \tag{3.25}$$

Örneğin gemimiz 4 hedef geminin bulunduğu bir karşılaşmada olsun. Bu gemilerden 2 numaralı olanın CPA'i mutlak tehlike sınırının altında, diğerlerinin ise mutlak ve olası tehlike sınırları arasında olsun. Bu durumda her gemi için çözüm rotaları kümelerinin (ÇR1, ÇR2, ÇR3, ÇR4) ve ortak çözüm rotaları (OÇR) kümesinin şematik küme gösterimi ise Şekil 3.12'deki gibi olacaktır;



Şekil 3.12: Çözüm Rotası Seçiminin Küme Gösterimi

Hiç bir ortak çözüm bulunamaması durumunda, CPA limiti %5'lik dilimler halinde kademeli olarak esnetilerek kesişim sağlanana kadar çözüm kümesi genişletilecektir. Eğer yeterli zaman ve denizalanı içerisinde ortak çözüm bulunamıyor ise CPA değerini önceden belirlenmiş olan mutlak sınırın altına düşürmeyecek şekilde, DÇÖT kuralları göz ardı edilerek çözüm kümesi genişletilecek ve emniyetli geçiş sağlanacaktır.

$$CPA_{LIMIT} \leftrightarrow CPA_{LIMIT} - ((CPA_{LIMIT} - CPA_{MUTLAK}) * 0,05) \tag{3.26}$$

Tehdit oluşturan gemiler sürekli takip ve kontrol edilecek, manevrası biten veya tehlike teşkil etmeyen gemiler ise ait olduğu alt kümeden çıkartılarak, tüm gemiler kümesine eklenecektir. Tüm algoritma ise sürekli kendini tekrar ederek hesapları baştan yapacak ve ortaya çıkan ani değişimleri de yakalamış olacaktır.

4. BULGULAR

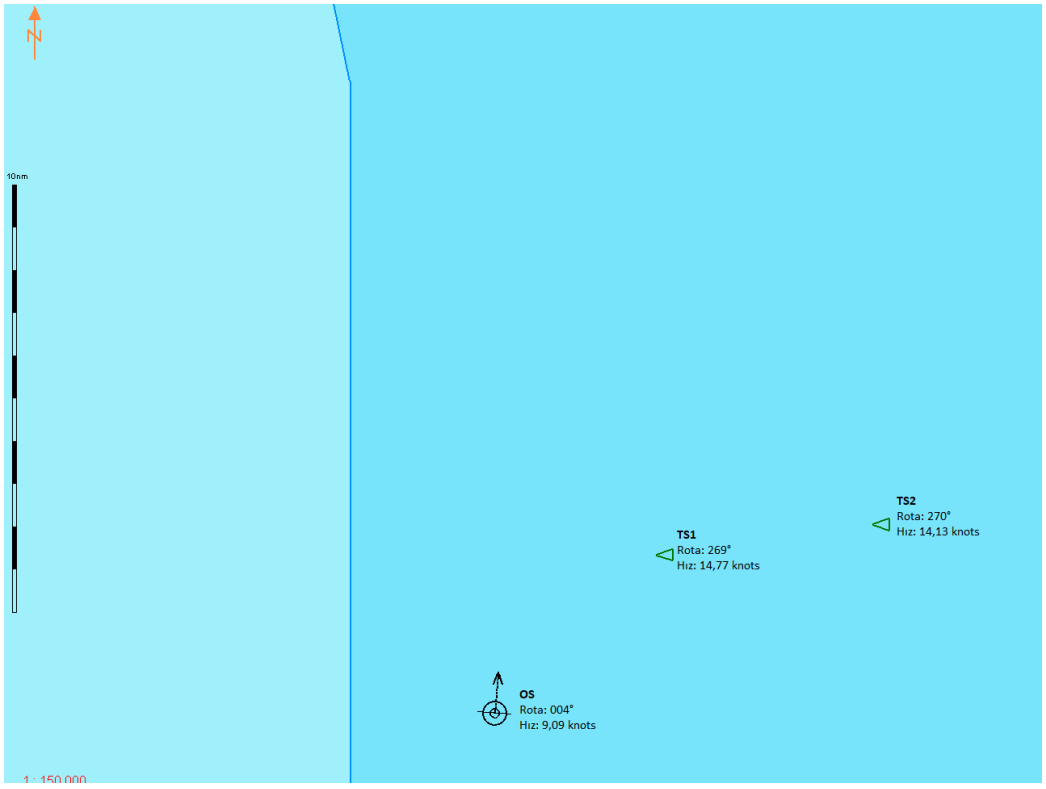
4.1. ALGORİTMANIN SINANMASI

Denizde çatışmayı önleme algoritması, bilimsel bir çalışmanın yapısı gereği her zaman sınanabilir ve geliştirilebilir olmalıdır.

4.1.1. SENARYO 1

İlk örnek olay senaryosu olarak 20 Ekim 2011 tarihinde Adriyatik Denizinde gerçekleşen ve 8 personelin hayatını kaybetmesiyle sonuçlanan Ankara Feribotu ve Reina 1 gemilerinin çatışması durumu ele alınmıştır. Bu kaza da aykırı geçiş söz konusu olup, aşırı özgüven ve zamanında etkin manevranın yapılmamış olması sebebiyle çatışma gerçekleşmiştir.

Kaza senaryosunda algoritmanın Reina 1 gemisinde çalıştırıldığı düşünülerek hesap yapılmıştır. Eldeki bilgiler ışığında gemilerin önceki konumları ve hızları hesaplanmış olup, algoritma var olsaydı zamanında manevranın ne şekilde gerçekleşeceği hesaplanmıştır. Şekil 4.1'de karşılaşmaya uygun şekilde simüle edilmiş ECDIS görüntüsü verilmiştir.

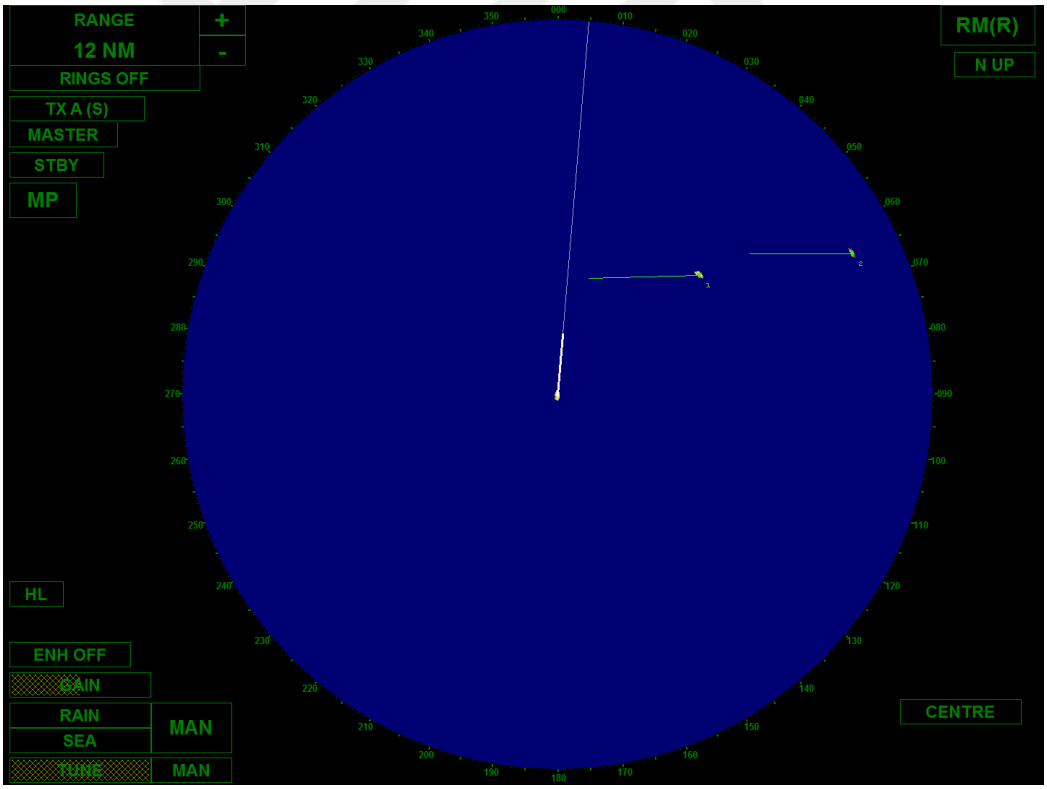


Şekil 4.1: Senaryo 1'deki Karşılaşmanın ECDIS Gösterimi

İlgili kaza raporuna göre çatışma Adriyatik denizinde Arnavutluk'a ait Durres limanı açıklarında 41° 15,78' K – 019° 01,19' D koordinatlarında saat 00:50'de gerçekleşmiştir. Kaza kayıtları incelendiğinde Ankara feribotunun Reina 1 gemisini gözlemlemeye başladığı anda aralarında 8,57 deniz mili mesafe bulunmaktadır (Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu, 2012). İlgili rapor ışığında gemilerin kaza öncesinde saat 00:20'deki durumlarının Tablo 4.1'deki gibi olduğu anlaşılmaktadır. Senaryoya ait simüle edilmiş radar görüntüsü Şekil 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Senaryo 1'deki Gemilere Ait Bilgiler

	GEMİ ADI	HIZ	ROTA	ENLEM	BOYLAM
OS	mv Reina 1	*9,09 kts*	*004°*	*41° 11,55' K*	*019° 01,23' D*
TS1	mf Ankara	*14,77 kts*	*269°*	*41° 15,91' K*	*019° 08,61' D*
TS2	Bilinmiyor	*14,13 kts*	*270°*	*41° 16,59' K*	*019° 15,07' D*



Şekil 4.2: Senaryo 1'deki Karşılaşmanın RADAR Görüntüsü

Algoritma hesaplamalarında kullanılacak olan limit değerler ise Tablo 4.2'deki gibi belirlenmiş olsun;

Tablo 4.2: Senaryo 1'e Ait Sınır Değerleri

	Gösterim	**Değer**
Olası Tehlike Sınırı	$CPA_{LİMİT}$	1 mil
Mutlak Tehlike Sınırı	CPA_{MUTLAK}	0,5 mil
Zaman Sınırı	$TCPA_{LİMİT}$	30 dakika
Maksimum Rota Değişimi	$Angel_{MAX}$	60 °

Algoritma akış şemasına göre tespit edilen tüm hedef gemiler TG kümesine eklenir. Bu durumda TG kümesi aşağıdaki gibi olur.

$$\mathrm{TG} = \{TS_1, TS_2\}$$

- ***4.1.1.1. Hedef Gemiler için CPA ve TCPA Hesaplanması***

Bir sonraki adımda ise TG kümesindeki tüm gemiler için *CPA* ve *TCPA* hesaplanır.

- ***OS ve TS1 için Yapılan Hesaplamalar***

TS_1 gemisi için *CPA* ve *TCPA* hesaplanması için öncelikle gemiler arasındaki bağıl hareketi temsil eden bileşke vektöre ait bileşke hız, bileşke rota değerleri hesaplanmalı daha sonra gemilerin konumları arasındaki enlem farkı ve boylam farkı hesaplanmalı daha sonra ise bu konum farkında yararlanarak gemiler arası mesafe ve kerterizler hesaplanmalıdır. Tüm bu yapılan hesapların sonucuyla da CPA ve TCPA değerleri hesaplanır.

İlk adımda OS gemisine ait vektörün izdüşümleri bulunur;

$$\overrightarrow{OS_x} = \sin(C_{OS}) * v_{OS}$$

$$\overrightarrow{OS_x} = \sin(4) * 9,09 = 0,634 \tag{4.1}$$

$$\overrightarrow{OS_y} = \cos(C_{OS}) * v_{OS}$$

$$\overrightarrow{OS_y} = \cos(4) * 9,09 = 9,068 \tag{4.2}$$

Daha sonra TS1 gemisine ait vektörün izdüşümleri bulunur;

$$\overrightarrow{TS1_x} = \sin(C_{TS1}) * v_{TS1}$$

$$\overrightarrow{TS1_x} = \sin(269) * 14,77 = -14,768 \tag{4.3}$$

$$\overrightarrow{TS1_y} = \cos(C_{TS1}) * v_{TS1}$$

$$\overrightarrow{TS1_y} = \cos(269) * 14,77 = -0,258 \tag{4.4}$$

Daha sonra OS ve TS1 gemilerine ait vektörlerin farklarından bileşke vektörün x ve y eksenlerindeki izdüşümleri hesaplanır.

$$R_x = TS1_x - OS_x$$

$$R_x = -14,768 - 0,634 = -15,402 \tag{4.5}$$

$$R_y = TS1_y - OS_y$$

$$R_y = -0,258 - 9,068 = -9,326 \tag{4.6}$$

Yukarıdaki işlemlerle bileşke vektörün izdüşümleri hesaplanmıştır. Bir sonraki adımda CPA ve TCPA hesabı için yukarıdaki bilgiler kullanılarak bileşke rota ve bileşke hız hesaplanmalıdır.

$$vR = \sqrt{R_x{}^2 + R_y{}^2}$$

$$vR = \sqrt{(-15,402)^2 + (-9,326)^2} = 18,005 \tag{4.7}$$

$$C_R = \theta + \arctan(\frac{R_x}{R_y})$$
$$R_x < 0 \Rightarrow \theta = 180°$$

$$C_R = 180 + \arctan(\frac{-15,402}{-9,326}) = 238,8° \tag{4.8}$$

Buna göre OS ve TS1 gemilerinin bileşke rotası 238,8° ve bileşke hızı 18,005 kts olarak hesaplanmıştır. Bir sonraki adımda ise gemilerin konumları arasındaki enlem ve boylam farkları ve gemiler arası mesafe hesaplanmalıdır. Bu hesaplama sırasında gemilerin hız birimlerinin knots olarak kullanıldığı için arasındaki mesafe de dakika cinsinden hesaplanmalıdır.

$$Lat_{DIFF} = Lat_{TS1} - Lat_{OS}$$

$$Lat_{DIFF} = 41°15,91'K - 41°11,55'K = 4,36' \tag{4.9}$$

$$Long_{DIFF} = Long_{TS1} - Long_{OS}$$

$$Long_{DIFF} = 019°08,61'D - 019°01,23'D = 7,38' \tag{4.10}$$

$$Range = \sqrt{(Lat_{DIFF})^2 + (Long_{DIFF})^2}$$

$$Range = \sqrt{(4,36)^2 + (7,38)^2} = 8,57nm \tag{4.11}$$

Daha sonra ise yine enlem ve boylam farkı kullanılarak hakiki kerteriz, nispi kerteriz, karşı hakiki kerteriz ve karşı nispi kerteriz hesapları yapılmalıdır.

$$B_T = \phi + \arctan(\frac{Long_{DIFF}}{Lat_{DIFF}})$$
$$Long_{DIFF} < 0 \Rightarrow \phi = 180 \tag{4.12}$$

$$B_T = \arctan(\frac{7,38}{4,36}) = 59,4°$$

$$B_R = B_T + C_{OS} \tag{4.13}$$

$$B_R = 59,4 + 4 = 63,4°$$

$$B_{TT} = B_T - 180 \quad (\text{MOD}360) \tag{4.14}$$

$$B_{TT} = 59,4 - 180 \quad (\text{MOD}360) \; = \; 239,4°$$

$$B_{RT} = B_{TT} - C_{TS1} \quad (\text{MOD}360) \tag{4.15}$$

$$B_{RT} = 239,4 - 269 \quad (\text{MOD}360) \; = \; 330,4°$$

Bu zamana kadar yapılan işlemler ve bulunan değerler ile iki gemi arasındaki CPA ve TCPA değerleri hesaplanabilir.

$$\alpha = |C_R - B_T| \tag{4.16}$$

$$\alpha = |238,8 - 59,4| = 179,4°$$

$$CPA = Range * \sin(\alpha) \tag{4.17}$$

$$CPA = 8,57 * \sin(179,4) = 0,09nm$$

$$TCPA = \frac{Range * \cos(\alpha)}{v_R} \tag{4.18}$$

$$TCPA = \frac{8,57 * \cos(179,4)}{18,005} = 0,48 \text{ saat} = 28,56 \text{ dakika}$$

- ***OS ve TS2 için Yapılan Hesaplamalar***

Aynı şekilde bu hesaplamalar TS_2 gemisi için de yapılmalıdır. *CPA* ve *TCPA* hesaplanması için öncelikle gemiler arasındaki bağıl hareketi temsil eden bileşke vektöre ait bileşke hız, bileşke rota değerleri hesaplanmalı daha sonra gemilerin konumları arasındaki enlem farkı ve boylam farkı hesaplanmalı daha sonra ise bu konum farkında yararlanarak gemiler arası mesafe ve kerterizler hesaplanmalıdır. Tüm bu yapılan hesapların sonucuyla da CPA ve TCPA değerleri hesaplanır.

İlk adımda OS gemisine ait vektörün izdüşümleri bulunur;

$$\overrightarrow{OS_x} = \sin(C_{OS}) * v_{OS}$$

$$\overrightarrow{OS_x} = \sin(4) * 9,09 = 0,634 \tag{4.19}$$

$$\overrightarrow{OS_y} = \cos(C_{OS}) * v_{OS}$$

$$\overrightarrow{OS_y} = \cos(4) * 9,09 = 9,068 \tag{4.20}$$

Daha sonra TS2 gemisine ait vektörün izdüşümleri bulunur;

$$\overrightarrow{TS2_x} = \sin(C_{TS2}) * v_{TS2}$$

$$\overrightarrow{TS2_x} = \sin(270) * 14,13 = -14,13 \tag{4.21}$$

$$\overrightarrow{TS2_y} = \cos(C_{TS2}) * v_{TS2}$$

$$\overrightarrow{TS2_y} = \cos(270) * 14,13 = 0 \tag{4.22}$$

Daha sonra OS ve TS2 gemilerine ait vektörlerin farklarından bileşke vektörün x ve y eksenlerindeki izdüşümleri hesaplanır.

$$R_x = TS2_x - OS_x$$
$$R_x = -14,13 - 0,634 = -14,764 \tag{4.23}$$

$$R_y = TS2_y - OS_y$$
$$R_y = 0 - 9,068 = -9,068 \tag{4.24}$$

Yukarıdaki işlemlerle bileşke vektörün izdüşümleri hesaplanmıştır. Bir sonraki adımda CPA ve TCPA hesabı için yukarıdaki bilgiler kullanılarak bileşke rota ve bileşke hız hesaplanmalıdır.

$$vR = \sqrt{R_x{}^2 + R_y{}^2}$$
$$vR = \sqrt{(-14,764)^2 + (-9,068)^2} = 17,326 \tag{4.25}$$

$$C_R = \theta + \arctan(\frac{R_x}{R_y})$$
$$R_x < 0 \Rightarrow \theta = 180°$$
$$C_R = 180 + \arctan(\frac{-14,764}{-9,068}) = 238,4° \tag{4.26}$$

Buna göre OS ve TS2 gemilerinin bileşke rotası 238,4° ve bileşke hızı 17,326 kts olarak hesaplanmıştır. Bir sonraki adımda ise gemilerin konumları arasındaki enlem ve boylam farkları ve gemiler arası mesafe hesaplanmalıdır. Bu hesaplama sırasında gemilerin hız birimlerinin knots olarak kullanıldığı için arasındaki mesafe de dakika cinsinden hesaplanmalıdır.

$$Lat_{DIFF} = Lat_{TS2} - Lat_{OS}$$
$$Lat_{DIFF} = 41°16,59'K - 41°11,55'K = 5,04' \quad (4.27)$$

$$Long_{DIFF} = Long_{TS2} - Long_{OS}$$
$$Long_{DIFF} = 019°15,07'D - 019°01,23'D = 13,84' \quad (4.28)$$

$$Range = \sqrt{(Lat_{DIFF})^2 + (Long_{DIFF})^2}$$
$$Range = \sqrt{(5,04)^2 + (13,84)^2} = 14,73nm \quad (4.29)$$

Daha sonra ise yine enlem ve boylam farkı kullanılarak hakiki kerteriz, nispi kerteriz, karşı hakiki kerteriz ve karşı nispi kerteriz hesapları yapılmalıdır.

$$B_T = \phi + \arctan(\frac{Long_{DIFF}}{Lat_{DIFF}})$$
$$Long_{DIFF} < 0 \Rightarrow \phi = 180 \quad (4.30)$$

$$B_T = \arctan(\frac{13,84}{5,04}) = 70°$$

$$B_R = B_T - C_{OS}$$
$$B_R = 70 - 4 = 66° \quad (4.31)$$

$$B_{TT} = B_T - 180 \quad (\text{MOD}360)$$
$$B_{TT} = 70 - 180 \quad (\text{MOD}360) = 250° \quad (4.32)$$

$$B_{RT} = B_{TT} - C_{TS1} \quad (\text{MOD}360)$$
$$B_{RT} = 250 - 269 \quad (\text{MOD}360) \; = \; 341° \tag{4.33}$$

Bu zamana kadar yapılan işlemler ve bulunan değerler ile iki gemi arasındaki CPA ve TCPA değerleri hesaplanabilir.

$$\alpha = \left| C_R - B_T \right|$$
$$\alpha = \left| 238,4 - 70 \right| = 168,4° \tag{4.34}$$

$$CPA = Range * \sin(\alpha)$$
$$CPA = 14,73 * \sin(168,4) = 2,95nm \tag{4.35}$$

$$TCPA = \frac{Range * \cos(\alpha)}{v_R}$$
$$TCPA = \frac{14,73 * \cos(168,4)}{17,326} = 0,83 \text{ saat} = 49,9 \text{ dakika} \tag{4.36}$$

- ***4.1.1.2 YR Kümesi ve EGR Altkümelerinin Oluşturulması***

Çevredeki gemilerle çatışmaktan kaçınmak üzere yapılabilecek rotalar içinden seçim yapılabilmesi için Yeni Rotalar (YR) kümesi oluşturulmalıdır. Bu küme içinde rota değişim aralığı 1° kabul edildiği takdirde 360 eleman bulunacaktır. TG kümemizde yer alan her hedef gemi için 360'ar elemanlı bir YR kümesi oluşturulur ve bu kümelerde bulunan her eleman için CPA ve TCPA hesabı yapılır.

- ***TS1 için YR Kümesi ve EGR Altkümesinin Oluşturulması***

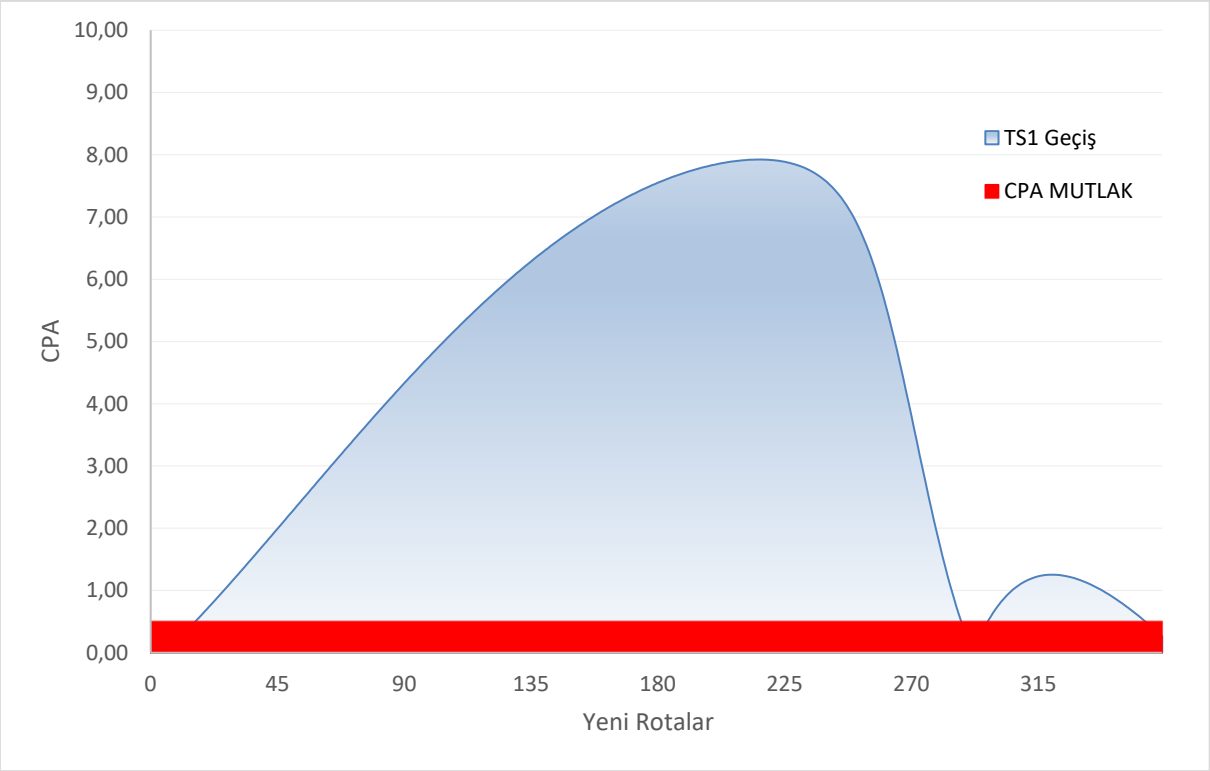
Bu durumda TS1 için Yeni Rotalar (YR) kümesi ve her bir elemana (rotaya) karşılık gelen CPA ve TCPA değerleri Tablo 4.3'deki gibi olacaktır;

Tablo 4.3: Senaryo 1'de TS1 için Yeni Rotalar ve CPA/TCPA Değerleri

ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA
1	0,2	29,2	61	2,8	21,0	121	5,7	16,7	181	7,5	14,3	241	7,6	30,4	301	0,7	60,0
2	0,2	29,0	62	2,8	20,9	122	5,7	16,7	182	7,6	14,3	242	7,5	31,5	302	0,8	58,9
3	0,1	28,8	63	2,9	20,8	123	5,8	16,6	183	7,6	14,3	243	7,5	32,7	303	0,8	57,9
4	0,1	28,6	64	2,9	20,7	124	5,8	16,5	184	7,6	14,3	244	7,4	33,9	304	0,9	56,9
5	0,0	28,4	65	3,0	20,6	125	5,9	16,5	185	7,6	14,3	245	7,4	35,2	305	0,9	55,9
6	0,0	28,2	66	3,1	20,5	126	5,9	16,4	186	7,6	14,3	246	7,3	36,6	306	1,0	55,0
7	0,0	28,0	67	3,1	20,4	127	5,9	16,4	187	7,7	14,3	247	7,3	38,1	307	1,0	54,1
8	0,1	27,8	68	3,2	20,4	128	6,0	16,3	188	7,7	14,3	248	7,2	39,6	308	1,0	53,2
9	0,1	27,6	69	3,2	20,3	129	6,0	16,3	189	7,7	14,3	249	7,1	41,2	309	1,1	52,3
10	0,2	27,4	70	3,3	20,2	130	6,1	16,2	190	7,7	14,3	250	7,0	42,9	310	1,1	51,5
11	0,2	27,2	71	3,3	20,1	131	6,1	16,2	191	7,7	14,3	251	7,0	44,6	311	1,1	50,7
12	0,3	27,0	72	3,4	20,0	132	6,1	16,1	192	7,7	14,3	252	6,9	46,5	312	1,2	49,9
13	0,3	26,9	73	3,4	20,0	133	6,2	16,1	193	7,7	14,4	253	6,8	48,3	313	1,2	49,1
14	0,4	26,7	74	3,5	19,9	134	6,2	16,0	194	7,8	14,4	254	6,7	50,3	314	1,2	48,4
15	0,4	26,5	75	3,5	19,8	135	6,2	15,9	195	7,8	14,4	255	6,6	52,3	315	1,2	47,6
16	0,5	26,4	76	3,6	19,7	136	6,3	15,9	196	7,8	14,4	256	6,4	54,3	316	1,2	46,9
17	0,5	26,2	77	3,6	19,6	137	6,3	15,8	197	7,8	14,5	257	6,3	56,4	317	1,2	46,2
18	0,6	26,0	78	3,7	19,6	138	6,4	15,8	198	7,8	14,5	258	6,2	58,5	318	1,2	45,6
19	0,6	25,9	79	3,7	19,5	139	6,4	15,7	199	7,8	14,6	259	6,0	60,6	319	1,2	44,9
20	0,7	25,7	80	3,8	19,4	140	6,4	15,7	200	7,8	14,6	260	5,9	62,7	320	1,3	44,3
21	0,7	25,6	81	3,8	19,3	141	6,5	15,6	201	7,8	14,7	261	5,7	64,8	321	1,3	43,7
22	0,8	25,4	82	3,9	19,3	142	6,5	15,6	202	7,8	14,8	262	5,6	66,8	322	1,3	43,1
23	0,8	25,3	83	3,9	19,2	143	6,5	15,5	203	7,9	14,9	263	5,4	68,8	323	1,2	42,6
24	0,9	25,1	84	4,0	19,1	144	6,6	15,5	204	7,9	14,9	264	5,2	70,8	324	1,2	42,0
25	0,9	25,0	85	4,0	19,0	145	6,6	15,5	205	7,9	15,0	265	5,0	72,6	325	1,2	41,5
26	1,0	24,9	86	4,1	19,0	146	6,6	15,4	206	7,9	15,1	266	4,8	74,3	326	1,2	40,9
27	1,0	24,7	87	4,1	18,9	147	6,7	15,4	207	7,9	15,2	267	4,6	75,9	327	1,2	40,4
28	1,1	24,6	88	4,2	18,8	148	6,7	15,3	208	7,9	15,3	268	4,4	77,4	328	1,2	39,9
29	1,1	24,5	89	4,2	18,7	149	6,7	15,3	209	7,9	15,5	269	4,2	78,7	329	1,2	39,5
30	1,2	24,3	90	4,3	18,7	150	6,8	15,2	210	7,9	15,6	270	4,0	79,9	330	1,2	39,0
31	1,2	24,2	91	4,3	18,6	151	6,8	15,2	211	7,9	15,7	271	3,8	80,9	331	1,2	38,5
32	1,3	24,1	92	4,4	18,5	152	6,8	15,1	212	7,9	15,9	272	3,6	81,7	332	1,1	38,1
33	1,3	23,9	93	4,4	18,5	153	6,9	15,1	213	7,9	16,1	273	3,4	82,4	333	1,1	37,7
34	1,4	23,8	94	4,5	18,4	154	6,9	15,0	214	7,9	16,2	274	3,2	82,8	334	1,1	37,3
35	1,4	23,7	95	4,5	18,3	155	6,9	15,0	215	7,9	16,4	275	3,0	83,1	335	1,1	36,9
36	1,5	23,6	96	4,6	18,3	156	6,9	15,0	216	7,9	16,6	276	2,7	83,2	336	1,1	36,5
37	1,5	23,4	97	4,6	18,2	157	7,0	14,9	217	7,9	16,9	277	2,5	83,2	337	1,0	36,1
38	1,6	23,3	98	4,7	18,1	158	7,0	14,9	218	7,9	17,1	278	2,3	83,0	338	1,0	35,7
39	1,6	23,2	99	4,7	18,1	159	7,0	14,8	219	7,9	17,4	279	2,1	82,6	339	1,0	35,3
40	1,7	23,1	100	4,8	18,0	160	7,1	14,8	220	7,9	17,6	280	1,9	82,1	340	1,0	35,0
41	1,7	23,0	101	4,8	17,9	161	7,1	14,8	221	7,9	17,9	281	1,7	81,5	341	0,9	34,6
42	1,8	22,9	102	4,9	17,9	162	7,1	14,7	222	7,9	18,2	282	1,6	80,8	342	0,9	34,3
43	1,8	22,8	103	4,9	17,8	163	7,1	14,7	223	7,9	18,6	283	1,4	80,0	343	0,9	34,0
44	1,9	22,6	104	5,0	17,7	164	7,2	14,7	224	7,9	18,9	284	1,2	79,1	344	0,8	33,7
45	1,9	22,5	105	5,0	17,7	165	7,2	14,6	225	7,9	19,3	285	1,0	78,1	345	0,8	33,3
46	2,0	22,4	106	5,0	17,6	166	7,2	14,6	226	7,9	19,7	286	0,9	77,1	346	0,8	33,0
47	2,0	22,3	107	5,1	17,5	167	7,2	14,6	227	7,9	20,2	287	0,7	76,0	347	0,8	32,7
48	2,1	22,2	108	5,1	17,5	168	7,3	14,5	228	7,9	20,6	288	0,6	74,9	348	0,7	32,4
49	2,1	22,1	109	5,2	17,4	169	7,3	14,5	229	7,9	21,1	289	0,5	73,8	349	0,7	32,2
50	2,2	22,0	110	5,2	17,4	170	7,3	14,5	230	7,8	21,7	290	0,3	72,6	350	0,7	31,9
51	2,3	21,9	111	5,3	17,3	171	7,3	14,5	231	7,8	22,2	291	0,2	71,4	351	0,6	31,6
52	2,3	21,8	112	5,3	17,2	172	7,4	14,4	232	7,8	22,8	292	0,1	70,2	352	0,6	31,3
53	2,4	21,7	113	5,4	17,2	173	7,4	14,4	233	7,8	23,5	293	0,0	69,0	353	0,5	31,1
54	2,4	21,6	114	5,4	17,1	174	7,4	14,4	234	7,8	24,2	294	0,1	67,9	354	0,5	30,8
55	2,5	21,5	115	5,4	17,1	175	7,4	14,4	235	7,7	24,9	295	0,2	66,7	355	0,5	30,6
56	2,5	21,4	116	5,5	17,0	176	7,4	14,3	236	7,7	25,7	296	0,3	65,5	356	0,4	30,3
57	2,6	21,3	117	5,5	16,9	177	7,5	14,3	237	7,7	26,5	297	0,4	64,4	357	0,4	30,1
58	2,6	21,2	118	5,6	16,9	178	7,5	14,3	238	7,7	27,4	298	0,5	63,2	358	0,3	29,9
59	2,7	21,2	119	5,6	16,8	179	7,5	14,3	239	7,6	28,3	299	0,6	62,1	359	0,3	29,6
60	2,7	21,1	120	5,7	16,8	180	7,5	14,3	240	7,6	29,3	300	0,6	61,0	360	0,3	29,4

Bir geçişin emniyetli kabul edilebilmesi için en yakın geçiş mesafesinin yani *CPA*'in istenilen değerin üzerinde olması istenir. Bu durumda her gemi kendi içinde bulunduğu tehlike sınıfına göre değerlendirilmelidir. TS1 için oluşturulan Yeni Rotalar (YR) kümesi elemanlarından

CPA>0,5 mil şartını sağlayanlar Emniyetli Geçiş Rotaları 1 (EGR1) alt kümesine dâhil edilmelidir.



Şekil 4.3: TS1 için Yeni Rotalar ve CPA Değerleri

Şekil 4.3'te yatay eksende yapılabilecek manevraları temsilen 360 yeni rota, dikey eksende ise bu rotaların uygulanması halinde TS1 ile oluşacak yeni CPA değeri gösterilmiştir. Şekildeki kırmızı hat, emniyetli geçiş için minimum sınır kabul edilecek olan CPA_{MUTLAK} değeri yani 0,5 mildir. Bu durumda 0,5 mil altında kalan alanlar emniyetsiz kabul edilir. TS1 gemisine ait eğrinin altında ve kırmızı çizginin üzerinde kalan alan ise emniyetli geçiş yapılacak rotaları temsil eder. Yani Tablo 4.3'te görülen CPA değerlerinden de anlaşılacağı üzere 018°-288° ve 299°-350° arasındaki rotalar TS1 için Emniyetli Geçiş Rotaları 1 (EGR1) altkümesine eklenmektedir.

$$EGR1: \left\{ \begin{matrix} 016, 019, 020, ..., 288 \\ \\ 299, 300, 301, ..., 350 \end{matrix} \right\} \tag{4.37}$$

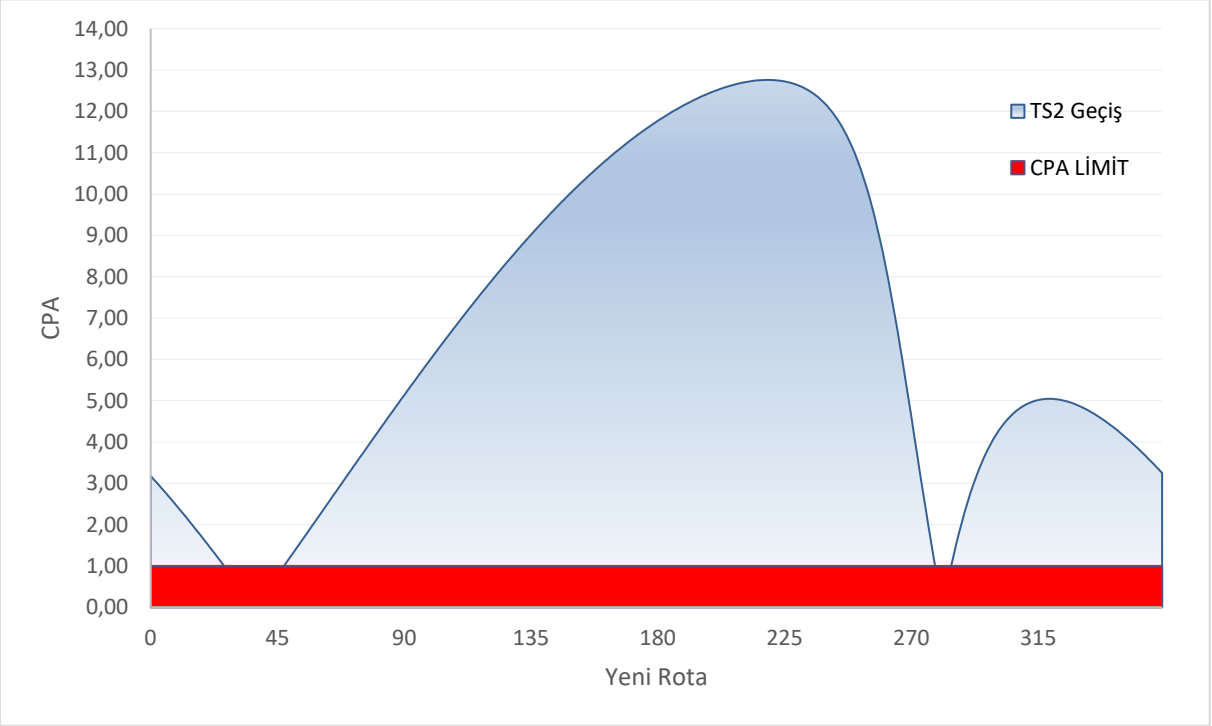
- ***TS2 için YR Kümesi ve Altkümelerinin Oluşturulması***

TS2 gemisi için oluşturulan YR kümesi ise Tablo 4.4'deki gibi olacaktır;

Tablo 4.4: Senaryo 1'de TS2 için Yeni Rotalar ve CPA/ TCPA Değerleri

ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA
1	3,2	51,0	61	2,2	38,8	121	7,8	33,4	181	11,8	31,9	241	12,1	65,9	301	4,2	108
2	3,1	50,6	62	2,3	38,7	122	7,9	33,3	182	11,8	31,9	242	12,1	68,1	302	4,3	105
3	3,0	50,3	63	2,4	38,6	123	8,0	33,3	183	11,9	32,0	243	12,0	70,4	303	4,4	103
4	2,9	50,0	64	2,5	38,4	124	8,1	33,2	184	11,9	32,0	244	11,9	72,8	304	4,5	101
5	2,9	49,7	65	2,6	38,3	125	8,1	33,2	185	11,9	32,1	245	11,8	75,4	305	4,5	99,2
6	2,8	49,4	66	2,7	38,2	126	8,2	33,1	186	12,0	32,1	246	11,7	78,1	306	4,6	97,3
7	2,7	49,1	67	2,8	38,1	127	8,3	33,0	187	12,0	32,2	247	11,6	81,0	307	4,7	95,4
8	2,6	48,8	68	2,9	38,0	128	8,4	33,0	188	12,1	32,3	248	11,4	84,0	308	4,7	93,6
9	2,6	48,5	69	3,0	37,9	129	8,5	32,9	189	12,1	32,4	249	11,3	87,2	309	4,8	91,9
10	2,5	48,2	70	3,1	37,7	130	8,6	32,9	190	12,1	32,5	250	11,1	90,5	310	4,8	90,3
11	2,4	47,9	71	3,2	37,6	131	8,6	32,8	191	12,2	32,6	251	11,0	94,0	311	4,9	88,7
12	2,3	47,6	72	3,3	37,5	132	8,7	32,8	192	12,2	32,7	252	10,8	97,6	312	4,9	87,1
13	2,2	47,4	73	3,4	37,4	133	8,8	32,7	193	12,2	32,8	253	10,6	101	313	4,9	85,7
14	2,1	47,1	74	3,5	37,3	134	8,9	32,7	194	12,3	32,9	254	10,4	105	314	5,0	84,2
15	2,1	46,9	75	3,6	37,2	135	8,9	32,6	195	12,3	33,0	255	10,2	109	315	5,0	82,9
16	2,0	46,6	76	3,7	37,1	136	9,0	32,6	196	12,3	33,2	256	10,0	113	316	5,0	81,5
17	1,9	46,4	77	3,8	37,0	137	9,1	32,5	197	12,4	33,3	257	9,7	118	317	5,0	80,3
18	1,8	46,1	78	3,9	36,9	138	9,2	32,5	198	12,4	33,4	258	9,4	122	318	5,0	79,0
19	1,7	45,9	79	4,0	36,8	139	9,2	32,4	199	12,4	33,6	259	9,2	126	319	5,0	77,9
20	1,6	45,7	80	4,1	36,7	140	9,3	32,4	200	12,5	33,8	260	8,9	130	320	5,0	76,7
21	1,5	45,4	81	4,2	36,6	141	9,4	32,3	201	12,5	34,0	261	8,5	135	321	5,0	75,6
22	1,5	45,2	82	4,3	36,5	142	9,5	32,3	202	12,5	34,2	262	8,2	139	322	5,0	74,5
23	1,4	45,0	83	4,4	36,4	143	9,5	32,2	203	12,5	34,4	263	7,9	143	323	5,0	73,5
24	1,3	44,8	84	4,5	36,3	144	9,6	32,2	204	12,6	34,6	264	7,5	147	324	5,0	72,5
25	1,2	44,6	85	4,6	36,2	145	9,7	32,1	205	12,6	34,8	265	7,1	151	325	5,0	71,6
26	1,1	44,3	86	4,7	36,1	146	9,7	32,1	206	12,6	35,1	266	6,7	154	326	5,0	70,6
27	1,0	44,1	87	4,8	36,0	147	9,8	32,1	207	12,6	35,4	267	6,3	157	327	5,0	69,7
28	0,9	43,9	88	4,9	35,9	148	9,9	32,0	208	12,6	35,6	268	5,9	160	328	4,9	68,9
29	0,8	43,7	89	4,9	35,9	149	10,0	32,0	209	12,7	35,9	269	5,5	163	329	4,9	68,0
30	0,7	43,6	90	5,0	35,8	150	10,0	32,0	210	12,7	36,3	270	5,0	165	330	4,9	67,2
31	0,6	43,4	91	5,1	35,7	151	10,1	31,9	211	12,7	36,6	271	4,6	166	331	4,9	66,4
32	0,5	43,2	92	5,2	35,6	152	10,2	31,9	212	12,7	37,0	272	4,2	168	332	4,8	65,7
33	0,5	43,0	93	5,3	35,5	153	10,2	31,9	213	12,7	37,3	273	3,7	168	333	4,8	64,9
34	0,4	42,8	94	5,4	35,4	154	10,3	31,8	214	12,7	37,8	274	3,3	169	334	4,8	64,2
35	0,3	42,6	95	5,5	35,3	155	10,3	31,8	215	12,7	38,2	275	2,8	169	335	4,7	63,5
36	0,2	42,5	96	5,6	35,2	156	10,4	31,8	216	12,7	38,6	276	2,4	168	336	4,7	62,8
37	0,1	42,3	97	5,7	35,2	157	10,5	31,8	217	12,8	39,1	277	2,0	168	337	4,6	62,2
38	0,0	42,1	98	5,8	35,1	158	10,5	31,7	218	12,8	39,6	278	1,6	166	338	4,6	61,6
39	0,1	41,9	99	5,9	35,0	159	10,6	31,7	219	12,8	40,2	279	1,2	165	339	4,5	61,0
40	0,2	41,8	100	6,0	34,9	160	10,7	31,7	220	12,8	40,8	280	0,8	163	340	4,5	60,4
41	0,3	41,6	101	6,1	34,8	161	10,7	31,7	221	12,8	41,4	281	0,4	161	341	4,4	59,8
42	0,4	41,5	102	6,2	34,8	162	10,8	31,7	222	12,8	42,0	282	0,0	159	342	4,4	59,2
43	0,5	41,3	103	6,2	34,7	163	10,8	31,7	223	12,8	42,7	283	0,3	156	343	4,3	58,7
44	0,6	41,1	104	6,3	34,6	164	10,9	31,6	224	12,7	43,5	284	0,6	154	344	4,3	58,1
45	0,7	41,0	105	6,4	34,5	165	11,0	31,6	225	12,7	44,2	285	1,0	151	345	4,2	57,6
46	0,8	40,8	106	6,5	34,5	166	11,0	31,6	226	12,7	45,1	286	1,3	148	346	4,2	57,1
47	0,9	40,7	107	6,6	34,4	167	11,1	31,6	227	12,7	46,0	287	1,5	145	347	4,1	56,6
48	1,0	40,5	108	6,7	34,3	168	11,1	31,6	228	12,7	46,9	288	1,8	142	348	4,1	56,2
49	1,1	40,4	109	6,8	34,2	169	11,2	31,6	229	12,7	47,9	289	2,1	139	349	4,0	55,7
50	1,2	40,3	110	6,9	34,2	170	11,2	31,6	230	12,7	48,9	290	2,3	136	350	3,9	55,2
51	1,3	40,1	111	7,0	34,1	171	11,3	31,6	231	12,6	50,1	291	2,6	134	351	3,9	54,8
52	1,4	40,0	112	7,0	34,0	172	11,3	31,6	232	12,6	51,3	292	2,8	131	352	3,8	54,4
53	1,5	39,8	113	7,1	33,9	173	11,4	31,6	233	12,6	52,5	293	3,0	128	353	3,7	54,0
54	1,6	39,7	114	7,2	33,9	174	11,4	31,7	234	12,5	53,9	294	3,2	125	354	3,7	53,5
55	1,6	39,6	115	7,3	33,8	175	11,5	31,7	235	12,5	55,3	295	3,3	122	355	3,6	53,2
56	1,7	39,4	116	7,4	33,7	176	11,5	31,7	236	12,4	56,8	296	3,5	120	356	3,5	52,8
57	1,8	39,3	117	7,5	33,7	177	11,6	31,7	237	12,4	58,4	297	3,7	117	357	3,5	52,4
58	1,9	39,2	118	7,6	33,6	178	11,6	31,8	238	12,3	60,1	298	3,8	115	358	3,4	52,0
59	2,0	39,0	119	7,7	33,5	179	11,7	31,8	239	12,3	62,0	299	3,9	112	359	3,3	51,7
60	2,1	38,9	120	7,7	33,5	180	11,7	31,8	240	12,2	63,9	300	4,1	110	360	3,2	51,3

TS2 gemisi ise mevcut şartlarda tehlikesiz geçiş yapan bir gemi olduğu için oluşturulan Yeni Rotalar (YR) kümesi elemanlarından CPA>1 mil şartını sağlayanlar Emniyetli Geçiş Rotaları 2 (EGR2) alt kümesine dâhil edilmelidir.



Şekil 4.4: TS2 için Yeni Rotalar ve CPA Değerleri

Şekil 4.4'de yatay eksende yapılabilecek manevraları temsilen 360 yeni rota, dikey eksende ise bu rotaların uygulanması halinde TS2 ile oluşan yeni CPA değeri gösterilmiştir. Şekildeki turuncu hat, emniyetli geçiş için minimum sınır kabul edilecek olan $CPA_{LİMİT}$ değeri yani 1 mildir. Bu durumda 1 mil altında kalan alanlar emniyetsiz kabul edilir. TS2 gemisine ait eğrinin altında ve turuncu çizginin üzerinde kalan alan ise emniyetli geçiş yapılacak rotaları temsil eder. Yani Tablo 4.4'de görülen CPA değerlerinden de anlaşılacağı üzere 000°-026°, 049°-279° ve 286°-360° arasındaki rotalar TS2 için Emniyetli Geçiş Rotaları 2 (EGR2) altkümesine eklenmektedir.

$$\text{EGR2}: \begin{Bmatrix} 001, 002, 003, \ldots\ldots\ldots, 026 \\ 049, 050, 051, \ldots\ldots\ldots, 279 \\ 286, 287, 288, \ldots\ldots\ldots, 360 \end{Bmatrix} \tag{4.38}$$

- *4.1.1.3. Tüzüğe Uygun Rotaların Belirlenmesi ve TUR Altkümesi Oluşturulması*

Bu aşamada ise ihtimal dâhilinde olan yeni rotaların her birinin tüzüğe uygunluğu hesaplanmalıdır. Bu hesaplama için Bölüm 3.2.5.'teki adımlar izlenir. Önce 360 yeni rotanın her biri için gemilerin birbirini göreceği sektör ve karşı sektör hesaplanır. Daha sonra ise bu tip bir karşılaşma durumunda tüzüğe göre yapılması gereken manevra sınıfı belirlenir. Böylece gemi için önerilecek yeni rotanın DÇÖT kurallarına uygun olup olmadığı saptanır. TS1 gemisi için hesaplanan tüzüğe uygunluk faktörleri Tablo 4.5'deki gibidir;

Tablo 4.5: Yeni Rotaların TS1 için DÇÖT Uygunlukları

ROTA	DÇÖT	ROTA	DÇÖT	ROTA	DÇÖT	ROTA	DÇÖT	ROTA	DÇÖT	ROTA	DÇÖT
1	DEGIL	61	UYGUN	121	UYGUN	181	DEGIL	241	DEGIL	301	DEGIL
2	DEGIL	62	UYGUN	122	UYGUN	182	DEGIL	242	DEGIL	302	DEGIL
3	DEGIL	63	UYGUN	123	UYGUN	183	DEGIL	243	DEGIL	303	DEGIL
4	DEGIL	64	UYGUN	124	UYGUN	184	DEGIL	244	DEGIL	304	DEGIL
5	UYGUN	65	UYGUN	125	UYGUN	185	DEGIL	245	DEGIL	305	DEGIL
6	UYGUN	66	UYGUN	126	UYGUN	186	DEGIL	246	DEGIL	306	DEGIL
7	UYGUN	67	UYGUN	127	UYGUN	187	DEGIL	247	DEGIL	307	DEGIL
8	UYGUN	68	UYGUN	128	UYGUN	188	DEGIL	248	DEGIL	308	DEGIL
9	UYGUN	69	UYGUN	129	UYGUN	189	DEGIL	249	DEGIL	309	DEGIL
10	UYGUN	70	UYGUN	130	UYGUN	190	DEGIL	250	DEGIL	310	DEGIL
11	UYGUN	71	UYGUN	131	UYGUN	191	DEGIL	251	DEGIL	311	DEGIL
12	UYGUN	72	UYGUN	132	UYGUN	192	DEGIL	252	DEGIL	312	DEGIL
13	UYGUN	73	UYGUN	133	UYGUN	193	DEGIL	253	DEGIL	313	DEGIL
14	UYGUN	74	UYGUN	134	UYGUN	194	DEGIL	254	DEGIL	314	DEGIL
15	UYGUN	75	UYGUN	135	UYGUN	195	DEGIL	255	DEGIL	315	DEGIL
16	UYGUN	76	UYGUN	136	UYGUN	196	DEGIL	256	DEGIL	316	DEGIL
17	UYGUN	77	UYGUN	137	UYGUN	197	DEGIL	257	DEGIL	317	DEGIL
18	UYGUN	78	UYGUN	138	UYGUN	198	DEGIL	258	DEGIL	318	DEGIL
19	UYGUN	79	UYGUN	139	UYGUN	199	DEGIL	259	DEGIL	319	DEGIL
20	UYGUN	80	UYGUN	140	UYGUN	200	DEGIL	260	DEGIL	320	DEGIL
21	UYGUN	81	UYGUN	141	UYGUN	201	DEGIL	261	DEGIL	321	DEGIL
22	UYGUN	82	UYGUN	142	UYGUN	202	DEGIL	262	DEGIL	322	DEGIL
23	UYGUN	83	UYGUN	143	UYGUN	203	DEGIL	263	DEGIL	323	DEGIL
24	UYGUN	84	UYGUN	144	UYGUN	204	DEGIL	264	DEGIL	324	DEGIL
25	UYGUN	85	UYGUN	145	UYGUN	205	DEGIL	265	DEGIL	325	DEGIL
26	UYGUN	86	UYGUN	146	UYGUN	206	DEGIL	266	DEGIL	326	DEGIL
27	UYGUN	87	UYGUN	147	UYGUN	207	DEGIL	267	DEGIL	327	DEGIL
28	UYGUN	88	UYGUN	148	UYGUN	208	DEGIL	268	DEGIL	328	DEGIL
29	UYGUN	89	UYGUN	149	UYGUN	209	DEGIL	269	DEGIL	329	DEGIL
30	UYGUN	90	UYGUN	150	UYGUN	210	DEGIL	270	DEGIL	330	DEGIL
31	UYGUN	91	UYGUN	151	UYGUN	211	DEGIL	271	DEGIL	331	DEGIL
32	UYGUN	92	UYGUN	152	UYGUN	212	DEGIL	272	DEGIL	332	DEGIL
33	UYGUN	93	UYGUN	153	UYGUN	213	DEGIL	273	DEGIL	333	DEGIL
34	UYGUN	94	UYGUN	154	UYGUN	214	DEGIL	274	DEGIL	334	DEGIL
35	UYGUN	95	UYGUN	155	UYGUN	215	DEGIL	275	DEGIL	335	DEGIL
36	UYGUN	96	UYGUN	156	UYGUN	216	DEGIL	276	DEGIL	336	DEGIL
37	UYGUN	97	UYGUN	157	UYGUN	217	DEGIL	277	DEGIL	337	DEGIL
38	UYGUN	98	UYGUN	158	UYGUN	218	DEGIL	278	DEGIL	338	DEGIL
39	UYGUN	99	UYGUN	159	UYGUN	219	DEGIL	279	DEGIL	339	DEGIL
40	UYGUN	100	UYGUN	160	UYGUN	220	DEGIL	280	DEGIL	340	DEGIL
41	UYGUN	101	UYGUN	161	UYGUN	221	DEGIL	281	DEGIL	341	DEGIL
42	UYGUN	102	UYGUN	162	UYGUN	222	DEGIL	282	DEGIL	342	DEGIL
43	UYGUN	103	UYGUN	163	UYGUN	223	DEGIL	283	DEGIL	343	DEGIL
44	UYGUN	104	UYGUN	164	UYGUN	224	DEGIL	284	DEGIL	344	DEGIL
45	UYGUN	105	UYGUN	165	UYGUN	225	DEGIL	285	DEGIL	345	DEGIL
46	UYGUN	106	UYGUN	166	UYGUN	226	DEGIL	286	DEGIL	346	DEGIL
47	UYGUN	107	UYGUN	167	UYGUN	227	DEGIL	287	DEGIL	347	DEGIL
48	UYGUN	108	UYGUN	168	UYGUN	228	DEGIL	288	DEGIL	348	DEGIL
49	UYGUN	109	UYGUN	169	UYGUN	229	DEGIL	289	DEGIL	349	DEGIL
50	UYGUN	110	UYGUN	170	UYGUN	230	DEGIL	290	DEGIL	350	DEGIL
51	UYGUN	111	UYGUN	171	UYGUN	231	DEGIL	291	DEGIL	351	DEGIL
52	UYGUN	112	UYGUN	172	DEGIL	232	DEGIL	292	DEGIL	352	DEGIL
53	UYGUN	113	UYGUN	173	DEGIL	233	DEGIL	293	DEGIL	353	DEGIL
54	UYGUN	114	UYGUN	174	DEGIL	234	DEGIL	294	DEGIL	354	DEGIL
55	UYGUN	115	UYGUN	175	DEGIL	235	DEGIL	295	DEGIL	355	DEGIL
56	UYGUN	116	UYGUN	176	DEGIL	236	DEGIL	296	DEGIL	356	DEGIL
57	UYGUN	117	UYGUN	177	DEGIL	237	DEGIL	297	DEGIL	357	DEGIL
58	UYGUN	118	UYGUN	178	DEGIL	238	DEGIL	298	DEGIL	358	DEGIL
59	UYGUN	119	UYGUN	179	DEGIL	239	DEGIL	299	DEGIL	359	DEGIL
60	UYGUN	120	UYGUN	180	DEGIL	240	DEGIL	300	DEGIL	360	DEGIL

Eğer olağanüstü bir durum yoksa gemilerin yakın düştükleri gemilerle geçiş pozisyonları Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğünde tarif edildiği şekilde olmalıdır. Fakat tüzüğün 17. kuralının b maddesinde belirtildiği üzere, kendisini çatışmanın önüne geçilemeyecek kadar yakın bulan tekne, çatışmayı önlemeye yardımcı olacak en iyi hareketi yapmalıdır. Dolayısıyla Mutlak Tehlikeli Gemiler (MTG) kümesine aldığımız TS1 gemisi için tüzüğe uygunluk şartı aranmayacaktır. Mevcut durumda senaryodaki diğer gemi olan TS2 gemisi de zaten tehlikesiz geçiş yapmakta olduğu için tüzüğe uygunluk şartı aranmayacaktır. Dolayısıyla bu senaryo için yapılacak kaçış manevrasının tüzüğe uygunluk sağlaması gerekmez.

4.1.1.4. Yeni Rotalar için Gerekli Sapmanın Hesaplanması ve UR Altkümesi Oluşturulması

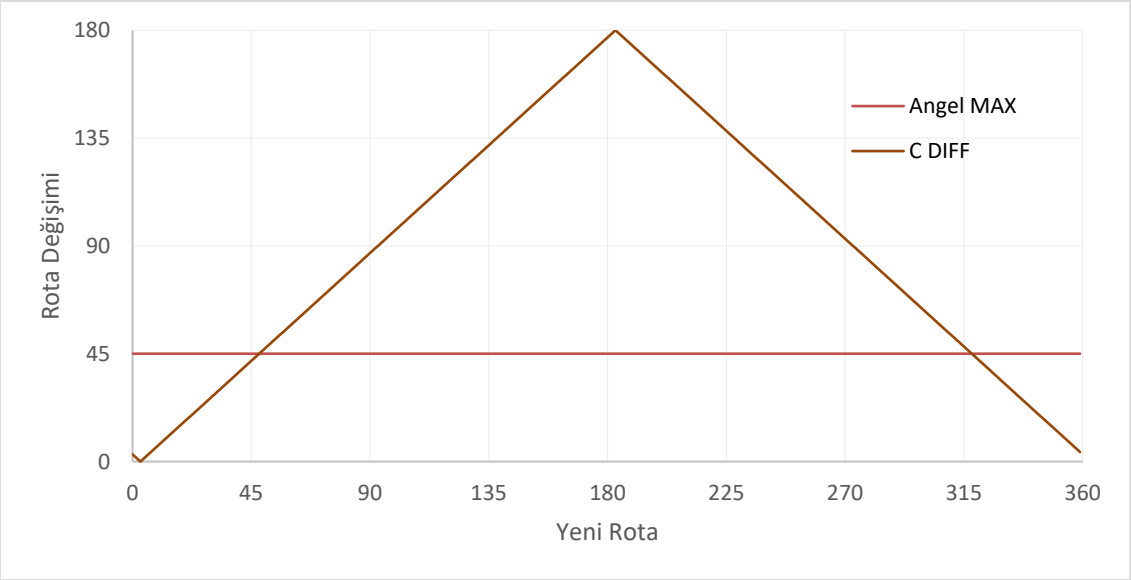
Yeni Rotalar kümesindeki 360 rotanın uygulanabilirliğini belirlemek üzere mevcut rotadan ne kadar sapılacağı hesaplanarak, maksimum sapmanın altında kalanlar seçilmelidir. Fakat burada sapmanın iskele tarafa veya sancak tarafa doğru olması birsey değiştirmeyeceği için 360 derecelik düzlem 180 iskeleye ve 180 sancağa şeklinde düşünülmelidir. Oluşturulan kümelerde sancağa yapılacak manevralar pozitif (+), iskeleye ise negatif (-) olarak gösterilmiştir. Tablo 4.7'de yeni rotaları uygulamak için yapılması gereken rota değişimleri verilmiştir.

Tablo 4.6: Senaryo 1'de Yeni Rotalar için Gerekli Rota Değişimleri

ROTA	DEGISIM	ROTA	DEGISIM	ROTA	DEGISIM	ROTA	DEGISIM	ROTA	DEGISIM	ROTA	DEGISIM
1	-3	61	57	121	117	181	177	241	-123	301	-63
2	-2	62	58	122	118	182	178	242	-122	302	-62
3	-1	63	59	123	119	183	179	243	-121	303	-61
4	0	64	60	124	120	184	180	244	-120	304	-60
5	1	65	61	125	121	185	-179	245	-119	305	-59
6	2	66	62	126	122	186	-178	246	-118	306	-58
7	3	67	63	127	123	187	-177	247	-117	307	-57
8	4	68	64	128	124	188	-176	248	-116	308	-56
9	5	69	65	129	125	189	-175	249	-115	309	-55
10	6	70	66	130	126	190	-174	250	-114	310	-54
11	7	71	67	131	127	191	-173	251	-113	311	-53
12	8	72	68	132	128	192	-172	252	-112	312	-52
13	9	73	69	133	129	193	-171	253	-111	313	-51
14	10	74	70	134	130	194	-170	254	-110	314	-50
15	11	75	71	135	131	195	-169	255	-109	315	-49
16	12	76	72	136	132	196	-168	256	-108	316	-48
17	13	77	73	137	133	197	-167	257	-107	317	-47
18	14	78	74	138	134	198	-166	258	-106	318	-46
19	15	79	75	139	135	199	-165	259	-105	319	-45
20	16	80	76	140	136	200	-164	260	-104	320	-44
21	17	81	77	141	137	201	-163	261	-103	321	-43
22	18	82	78	142	138	202	-162	262	-102	322	-42
23	19	83	79	143	139	203	-161	263	-101	323	-41
24	20	84	80	144	140	204	-160	264	-100	324	-40
25	21	85	81	145	141	205	-159	265	-99	325	-39
26	22	86	82	146	142	206	-158	266	-98	326	-38
27	23	87	83	147	143	207	-157	267	-97	327	-37
28	24	88	84	148	144	208	-156	268	-96	328	-36
29	25	89	85	149	145	209	-155	269	-95	329	-35
30	26	90	86	150	146	210	-154	270	-94	330	-34
31	27	91	87	151	147	211	-153	271	-93	331	-33
32	28	92	88	152	148	212	-152	272	-92	332	-32
33	29	93	89	153	149	213	-151	273	-91	333	-31
34	30	94	90	154	150	214	-150	274	-90	334	-30
35	31	95	91	155	151	215	-149	275	-89	335	-29
36	32	96	92	156	152	216	-148	276	-88	336	-28
37	33	97	93	157	153	217	-147	277	-87	337	-27
38	34	98	94	158	154	218	-146	278	-86	338	-26
39	35	99	95	159	155	219	-145	279	-85	339	-25
40	36	100	96	160	156	220	-144	280	-84	340	-24
41	37	101	97	161	157	221	-143	281	-83	341	-23
42	38	102	98	162	158	222	-142	282	-82	342	-22
43	39	103	99	163	159	223	-141	283	-81	343	-21
44	40	104	100	164	160	224	-140	284	-80	344	-20
45	41	105	101	165	161	225	-139	285	-79	345	-19
46	42	106	102	166	162	226	-138	286	-78	346	-18
47	43	107	103	167	163	227	-137	287	-77	347	-17
48	44	108	104	168	164	228	-136	288	-76	348	-16
49	45	109	105	169	165	229	-135	289	-75	349	-15
50	46	110	106	170	166	230	-134	290	-74	350	-14
51	47	111	107	171	167	231	-133	291	-73	351	-13
52	48	112	108	172	168	232	-132	292	-72	352	-12
53	49	113	109	173	169	233	-131	293	-71	353	-11
54	50	114	110	174	170	234	-130	294	-70	354	-10
55	51	115	111	175	171	235	-129	295	-69	355	-9
56	52	116	112	176	172	236	-128	296	-68	356	-8
57	53	117	113	177	173	237	-127	297	-67	357	-7
58	54	118	114	178	174	238	-126	298	-66	358	-6
59	55	119	115	179	175	239	-125	299	-65	359	-5
60	56	120	116	180	176	240	-124	300	-64	360	-4

İçinde bulunulan durumdan emniyetli biçimde çıkabilmek için önerilecek kaçış rotası (C_K), gemimizin manevra karakteristiklerine uygun ve pratikte uygulanabilir olmalıdır. Tek seferde kolaylıkla yapılabilecek rota değişimi her gemi için farklılık gösterebilir. Bu senaryo için bu değer ($Angel_{MAX}$) 60° olarak ele alınmıştır. Yeni rotanın uygulanabilir olup olmadığının saptanabilmesi için rotadaki sapmanın (C_{DIFF}) hesaplanması gerekir. Eğer rotadaki sapma

miktarının (C_{DIFF}) mutlak değeri, yapılabilecek maksimum rota değişimi ($Angel_{MAX}$) değerinden küçük ise rota uygulanabilir kabul edilir.



Şekil 4.5: Senaryo 1 için Yeni Rotaları ve Yapılması Gereken Rota Değişimi

Şekil 4.5'te dikey eksen ise belirtilen rotaya ulaşmak için rotadan ne kadar sapılması gerektiğini göstermektedir. Yeşil olan çizgi gerekli rota değişimini, turuncu olan hat ise geminin manevra karakteristikleri doğrultusunda yapılabilecek maksimum rota değişimini göstermektedir. Dolayısıyla yeşil çizginin üstünde ve turuncu çizginin altında kalan alan uygulanabilir rotaları temsil eder. Bu rotalar Tablo 4.7'den anlaşılabileceği gibi 001°-064° ve 304°-360° aralığındaki rotalar olur.

$$\text{UR:}\begin{Bmatrix} 001, 002, 003, ..., 064 \\ 304, 320, 321, ..., 360 \end{Bmatrix} \tag{4.39}$$

- ***4.1.1.5. Gemilerin Tehlike Sınıflarına Ayrılması***

Hedef gemiler için gerekli hesaplamalar yapıldıktan ve yeni rotalar kümeleri oluşturulduktan sonra gemilerin tehlike sınıflarına ayrılması ve ait oldukları sınıfa göre yeni rotalar arasından elemeler yapılması gerekir. Bu aşamada gemilerin tehlike durumları değerlendirilerek Mutlak Tehlike, Olası Tehlike veya Tehlikesiz Geçiş olarak sınıflandırılması gerekir. Senaryo için sınır değerler Tablo 4.8'de belirtilmiştir. Bu sınıflandırmaların yapılabilmesi için belirleyici değerler gemilere ait anlık *CPA*, *TCPA* ve kullanıcı tarafından belirlenecek CPA_{MUTLAK}, $CPA_{LİMİT}$ ve $TCPA_{LİMİT}$ değerleridir. Bu durumda gemilerin hesaplanan değerleri ve senaryo için önceden belirlenen sınırlar şu şekildedir.

Tablo 4.7: Senaryo 1'deki Gemilerin Tehlike Sınıflandırması

Mutlak Tehlikeli Gemiler (MTG)		**Olası Tehlikeli Gemiler (OTG)**		**Tehlikesiz Geçen Gemiler (TGG)**	
CPA ≤ 0,5 mil	*TCPA ≤ 30 dk*	*CPA ≤ 1 mil*	*TCPA ≤ 30 dk*	*1 mil < CPA*	
TS1 CPA = 0,09 mil TCPA = 28,6 dk				**TS2** CPA = 2,95 mil TCPA = 49,9 dk	

Bölüm 3.2.7'de anlatıldığı üzere mutlak tehlike sayılabilmesi için geminin mevcut durumdaki *CPA* değerinin CPA_{MUTLAK}'tan küçük olması *TCPA* değerinin de $TCPA_{LİMİT}$'ten küçük olması gerekir. Bu durumda TS1 gemisinin bu şartı sağladığı görülür yani TS1 gemisi mutlak tehlike kümesine dâhil edilir. TS2 gemisinin *CPA* değeri ise $CPA_{LİMİT}$ değerinin üstünde olduğu için tehlikesiz geçiş kümesine alınır.

- ***4.1.1.6. ÇR ve OÇR Alt Kümelerinin Oluşturulması ve Kaçış Rotası Seçimi***

- ***Çözüm Rotaları (ÇR) Alt Kümesi***

Bu aşamada bu zamana kadar oluşturulan Emniyetli Geçiş Rotaları ve Uygulanabilir Rotalar alt kümelerinin kesişimleri ile her gemiye ait çözüm rotaları alt kümeleri oluşturulmalıdır. TS1 gemisi için oluşturulan Çözüm Rotaları 1 (ÇR1) alt kümesi, Emniyetli Geçiş Rotaları 1 (EGR1) ve Uygulanabilir Rotalar (UR) alt kümelerinin kesişim kümesinden meydana gelir. TS2 gemisi için oluşturulan Çözüm Rotaları 2 (ÇR2) alt kümesi ise Emniyetli Geçiş Rotaları 2 (EGR2) ve Uygulanabilir Rotalar (UR) alt kümelerinin kesişim kümesinden meydana gelir.

$$ÇR1 = EGR1 \cap UR \tag{4.40}$$

$$ÇR1: \begin{Bmatrix} 016, 019, ..., 064 \\ 304, 305, ..., 350 \end{Bmatrix}$$

$$ÇR2 = EGR2 \cap UR \tag{4.41}$$

$$ÇR2: \begin{Bmatrix} 001, 002, ..., 026 \\ 049, 050, ..., 064 \\ 304, 305, ..., 360 \end{Bmatrix}$$

- ***Ortak Çözüm Rotaları (OÇR) Kümesinin Oluşturulması ve***

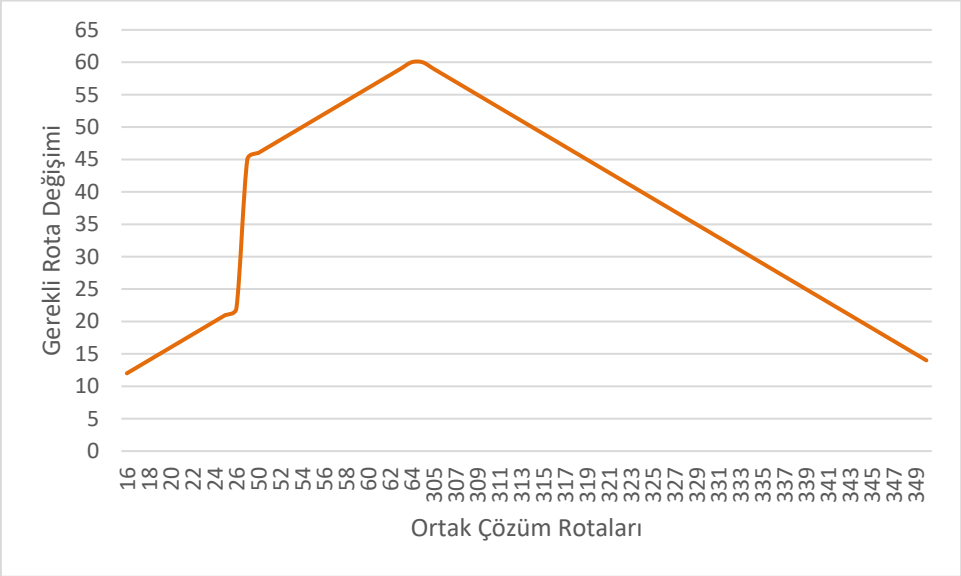
Şimdiki aşamada bu zamana kadar her hedef gemi için oluşturulmuş çözüm rotalarını birleştirerek tüm gemilerden neta geçişi sağlayacak ortak çözüm rotaları bulunur. Ortak Çözüm Rotası (OÇR) kümesi için senaryoda bulunan tüm gemiler için bulunan Çözüm Rotası (ÇR) kümelerinin kesişim kümesi alınmalıdır. Bu senaryoda iki gemi olduğu için sadece ÇR1 ve ÇR2 kümeleri ile ortak çözümler hesaplanır.

$$OÇR = ÇR1 \cap ÇR2 \tag{4.42}$$

$$OÇR: \begin{Bmatrix} 016, 019, ..., 026 \\ 049, 050, ..., 064 \\ 304, 305, ..., 350 \end{Bmatrix}$$

- ***Kaçış Rotası (C_K) Seçimi***

Burada (OÇR) kümesi içinde bulunan tüm rotalar mevcut durumda neta geçiş sağlayan rotalardır. Bu rotalar arasından en az rota değişimi gerektiren ise Kaçış Rotası (C_K) olarak seçilir. Tablo halinde ifade etmek gerekirse ortak çözüm rotaları kümesindeki elemanlar ve gerekli rota değişimleri aşağıdaki gibi olur.



Şekil 4.6: Ortak Çözüm Rotalarını ve Rota Değişimleri

Şekil 4.6'da yatay eksen OÇR kümesindeki rotaları, dikey eksen ise gerekli rota değişimini ifade etmektedir. Bu durumda grafikteki eğrinin en alt noktası Kaçış Rotası (CK) olur. Yani bu senaryo için denizde çatışmayı önleme algoritmasının önerdiği kaçış rotası CK=016° olur.

4.1.2. SENARYO 2

Senaryo 2'de hedef gemi sayısı üçe çıkarılmıştır. Bu gemilerden iki tanesi ile aykırı geçiş, bir tanesi ile de pruva pruvaya geçiş durumu söz konusudur. Bu senaryo yaşanmış bir kazadan alınmamış olup, gemiler ve bilgiler hayali olarak üretilmiştir. Senaryo 2'deki karşılaşmaya ait simüle edilmiş elektronik harita görüntüsü Şekil 4.7'de ve simüle edilmiş radar ekranı görüntüsü Şekil 4.8'de verilmiştir.

Örnek senaryodaki gemiler ve durum bilgileri ise Tablo 4.9'daki gibidir.

Tablo 4.8: Senaryo 2'deki Gemilere Ait Bilgiler

	HIZ	ROTA	ENLEM	BOYLAM
OS	*13,2 kts*	*115°*	*37° 14,1' K*	*011° 49,6'D*
TS1	*15,3 kts*	*027°*	*37° 06,5 K*	*011° 52,5'D*
TS2	*9,4 kts*	*272°*	*37° 14,3' K*	*012° 05,0'D*
TS3	*9,4 kts*	*190°*	*37° 16,8' K*	*011° 54,5'D*

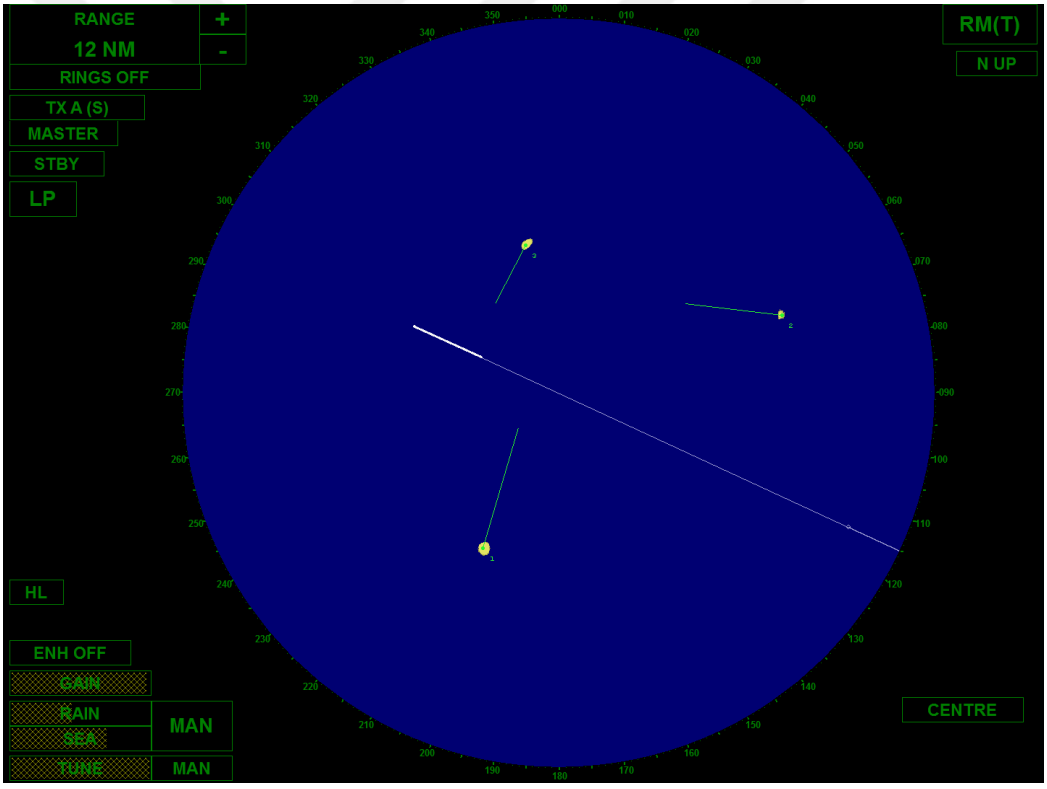


Şekil 4.7: Senaryo 2'deki Karşılaşmanın ECDIS Gösterimi

Algoritma için uygulanacak sınır değerler ise Senaryo 1 ile aynı seçilmiş ve Tablo 4.10'daki gibidir.

Tablo 4.9: Senaryo 2'ye Ait Sınır Değerleri

	Gösterim	Değer
Olası Tehlike Sınırı	$CPA_{LİMİT}$	1 mil
Mutlak Tehlike Sınırı	CPA_{MUTLAK}	0,5 mil
Zaman Sınırı	$TCPA_{LİMİT}$	30 dakika
Maksimum Rota Değişimi	$Angel_{MAX}$	60 °



Şekil 4.8: Senaryo 2'deki Karşılaşmanın RADAR Görüntüsü

Bu bilgiler ile algoritmayı adım adım uygulamaya başlayabiliriz. İlk adım olarak saptanan gemilerin, Tüm Gemiler (TG) kümesine eklenmesiyle başlanır.

$$TG:\{TS_1, TS_2, TS_3\}$$

- ***4.1.2.1. Hedef Gemiler için CPA ve TCPA Hesaplanması***

- ***OS ve TS1 için Yapılan Hesaplamalar***

TS1 gemisi ile olan karşılaşma CPA ve TCPA hesaplanması için öncelikle gemiler arasındaki bağıl hareketi temsil eden bileşke vektöre ait bileşke hız ve bileşke rota değerleri hesaplanmalı daha sonra gemilerin konumları arasındaki enlem farkı ve boylam farkı hesaplanmalı daha sonra ise bu konum farkından yararlanarak gemiler arası mesafe ve kerterizler hesaplanmalıdır. Tüm bu yapılan hesapların verdiği sonuçlar yardımıyla da CPA ve TCPA hesaplanır.

O halde ilk adımda OS gemisine ait hareket vektörünün izdüşümleri bulunur;

$$\overrightarrow{OS_x} = \sin(115) * 13,2 = 11,96$$
$$\overrightarrow{OS_y} = \cos(115) * 13,2 = -5,58 \tag{4.43}$$

Daha sonra TS1 gemisine ait hareket vektörünün izdüşümleri bulunur;

$$\overrightarrow{TS1_x} = \sin(27) * 15,3 = 6,95$$
$$\overrightarrow{TS1_y} = \cos(27) * 15,3 = 13,63 \tag{4.44}$$

Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre ise bileşke vektör hesaplanır;

$$\overrightarrow{R_x} = (6,95) - (11,96) = -5,01$$
$$\overrightarrow{R_y} = (13,63) - (-5,58) = 19,21 \tag{4.45}$$

Bileşke vektörün izdüşümleri kullanılarak ise bileşke hız ve bileşke rota hesaplanır;

$$v_R = \sqrt{(-5,01)^2 + (19,21)^2} = 19,85$$
$$C_R = \arctan(\frac{R_x}{R_y}) = 345,4° \tag{4.46}$$

Buraya kadar yapılan hesaplamalarda gemiler arası bağıl harekete ait vektörün bileşke rotası 345,4° ve bağıl hızın 19,85 knots olduğu hesaplanmıştır. Bu bize gemimizi sabit kabul

ettiğimizde TS1 gemisini yapıyor göreceğimiz hareketi temsil eder. Sonraki adımda gemiler arası enlem ve boylam farkı hesaplanır;

$$\begin{aligned} \text{Lat}_{\text{DIFF}} &= 37° 06{,}5' \text{ K} - 37° 14{,}1' \text{ K} = -07{,}6' \\ \text{Long}_{\text{DIFF}} &= 011° 52{,}5' \text{ K} - 011° 49{,}6' \text{ K} = 2{,}9' \end{aligned} \tag{4.47}$$

Hesaplanan enlem ve boylam farkları aracılığıyla ise gemiler arası mesafe ve hakiki kerteriz hesaplanır;

$$\begin{aligned} Range &= \sqrt{(-7,6)^2 + (2,9)^2} = 8{,}1 \text{ nm} \\ B_T &= 180 + \arctan(\frac{2,9}{-7,6}) = 159{,}1° \\ B_R &= 159{,}1° + 115° = 274{,}1° \\ B_{TT} &= 159{,}1° + 180° = 339{,}1° \\ B_{RT} &= 339{,}1° - 027° = 312{,}1° \end{aligned} \tag{4.48}$$

Yapılan bu hesaplamalar doğrultusunda OS ve TS1 arasındaki karşılaşmanın CPA ve TCPA hesaplaması ise aşağıdaki gibi olur;

$$\begin{aligned} \alpha &= \left|345,4° - 159,1°\right| = 186,3° \equiv 6,3° \\ CPA &= 8,1 * \sin(6,3°) = 0,89nm \\ TCPA &= \frac{8,1 * \cos(6,3°)}{19,85} = 24,3dk \end{aligned} \tag{4.49}$$

- ***OS ve TS2 için Yapılan Hesaplamalar***

TS2 gemisi ile olan karşılaşma CPA ve TCPA hesaplanması için öncelikle gemiler arasındaki bağıl hareketi temsil eden bileşke vektöre ait bileşke hız ve bileşke rota değerleri hesaplanmalı daha sonra gemilerin konumları arasındaki enlem farkı ve boylam farkı hesaplanmalı daha sonra ise bu konum farkından yararlanarak gemiler arası mesafe ve kerterizler hesaplanmalıdır. Tüm bu yapılan hesapların verdiği sonuçlar yardımıyla da CPA ve TCPA hesaplanır.

O halde ilk adımda OS gemisine ait hareket vektörünün izdüşümleri bulunur;

$$\overrightarrow{OS_x} = \sin(115) * 13,2 = 11,96$$
$$\overrightarrow{OS_y} = \cos(115) * 13,2 = -5,58 \tag{4.50}$$

Daha sonra TS1 gemisine ait hareket vektörünün izdüşümleri bulunur;

$$\overrightarrow{TS2_x} = \sin(272) * 9,4 = -9,39$$
$$\overrightarrow{TS2_y} = \cos(272) * 9,4 = 0,33 \tag{4.51}$$

Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre ise bileşke vektör hesaplanır;

$$\overrightarrow{R_x} = (-9,39) - (11,96) = -21,35$$
$$\overrightarrow{R_y} = (0,33) - (-5,58) = 5,91 \tag{4.52}$$

Bileşke vektörün izdüşümleri kullanılarak ise bileşke hız ve bileşke rota hesaplanır;

$$v_R = \sqrt{(-21,35)^2 + (5,91)^2} = 22,15$$
$$C_R = \arctan(\frac{-21,35}{5,91}) = -74,5 = 285,5° \text{ (MOD360)} \tag{4.53}$$

Buraya kadar yapılan hesaplamalarda gemiler arası bağıl harekete ait vektörün bileşke rotası 285,5° ve bağıl hızın 22,15 knots olduğu hesaplanmıştır. Bu bize gemimizi sabit kabul ettiğimizde TS1 gemisini yapıyor göreceğimiz hareketi temsil eder. Sonraki adımda gemiler arası enlem ve boylam farkı hesaplanır;

$$\text{Lat}_{\text{DIFF}} = 37° \ 14{,}3' \text{ K} - 37° \ 14{,}1' \text{ K} = 0{,}2'$$
$$\text{Long}_{\text{DIFF}} = 012° \ 05{,}0' \text{ K} - 011° \ 49{,}6' \text{ K} = 15{,}4' \quad (4.54)$$

Hesaplanan enlem ve boylam farkları aracılığıyla ise gemiler arası mesafe ve hakiki kerteriz hesaplanır;

$$Range = \sqrt{(0,2)^2 + (15,4)^2} = 15,4 \text{ nm}$$

$$B_T = \arctan(\frac{15,4}{0,2}) = 89,2°$$

$$B_R = 89,2° + 115° = 204,2° \quad (4.55)$$

$$B_{TT} = 89,2° + 180° = 269,2°$$

$$B_{RT} = 269,2° - 272° = 257,2°$$

Yapılan bu hesaplamalar doğrultusunda OS ve TS2 arasındaki karşılaşmanın CPA ve TCPA hesaplaması ise aşağıdaki gibi olur;

$$\alpha = |285,5° - 89,2°| = 196,3° \equiv 16,3°$$

$$CPA = 15,4 * \sin(16,3°) = 4,32nm \quad (4.56)$$

$$TCPA = \frac{15,4 * \cos(16,3°)}{22,15} = 40,0dk$$

- ***OS ve TS3 için Yapılan Hesaplamalar***

TS3 gemisi ile olan karşılaşma CPA ve TCPA hesaplanması için öncelikle gemiler arasındaki bağıl hareketi temsil eden bileşke vektöre ait bileşke hız ve bileşke rota değerleri hesaplanmalı daha sonra gemilerin konumları arasındaki enlem farkı ve boylam farkı hesaplanmalı daha sonra ise bu konum farkından yararlanarak gemiler arası mesafe ve kerterizler hesaplanmalıdır. Tüm bu yapılan hesapların verdiği sonuçlar yardımıyla da CPA ve TCPA hesaplanır.

O halde ilk adımda OS gemisine ait hareket vektörünün izdüşümleri bulunur;

$$\overrightarrow{OS_x} = \sin(115) * 13,2 = 11,96$$
$$\overrightarrow{OS_y} = \cos(115) * 13,2 = -5,58 \quad (4.57)$$

Daha sonra TS1 gemisine ait hareket vektörünün izdüşümleri bulunur;

$$\overrightarrow{TS3_x} = \sin(190) * 9,4 = -1,63$$
$$\overrightarrow{TS3_y} = \cos(190) * 9,4 = -9,25 \quad (4.58)$$

Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre ise bileşke vektör hesaplanır;

$$\overrightarrow{R_x} = (-1,63) - (11,96) = -13,65$$
$$\overrightarrow{R_y} = (-9,25) - (-5,58) = -3,67 \quad (4.59)$$

Bileşke vektörün izdüşümleri kullanılarak ise bileşke hız ve bileşke rota hesaplanır;

$$v_R = \sqrt{(-13,65)^2 + (-3,67)^2} = 14,13$$
$$C_R = 180 + \arctan(\frac{-13,65}{-3,67}) = 254,9° \quad (4.60)$$

Buraya kadar yapılan hesaplamalarda gemiler arası bağıl harekete ait vektörün bileşke rotası 254,9° ve bağıl hızın 14,13 knots olduğu hesaplanmıştır. Bu bize gemimizi sabit kabul ettiğimizde TS3 gemisini yapıyor göreceğimiz hareketi temsil eder. Sonraki adımda gemiler arası enlem ve boylam farkı hesaplanır;

$$\text{Lat}_{\text{DIFF}} = 37° 16,8' \text{ K} - 37° 14,1' \text{ K} = 2,7'$$
$$\text{Long}_{\text{DIFF}} = 011° 54,5' \text{ K} - 011° 49,6' \text{ K} = 4,9' \quad (4.61)$$

Hesaplanan enlem ve boylam farkları aracılığıyla ise gemiler arası mesafe ve hakiki kerteriz hesaplanır;

$$Range = \sqrt{(2,7)^2 + (4,9)^2} = 5,6 \text{ nm}$$

$$B_T = \arctan(\frac{4,9}{2,7}) = 61,1°$$

$$B_R = 61,1° + 115° = 176,1° \tag{4.62}$$

$$B_{TT} = 61,1° + 180° = 241,1°$$

$$B_{RT} = 241,1° - 190° = 51,1°$$

Yapılan bu hesaplamalar doğrultusunda OS ve TS3 arasındaki karşılaşmanın CPA ve TCPA hesaplaması ise aşağıdaki gibi olur;

$$\alpha = |254,9° - 61,1°| = 193,8° \equiv 13,8°$$

$$CPA = 5,6 * \sin(13,8°) = 1,33nm \tag{4.63}$$

$$TCPA = \frac{5,6 * \cos(13,8°)}{14,13} = 23,1dk$$

Böylece tüm hedef gemilerin karşılaşmalarına dair gerekli bilgiler hesaplanmış olur.

- ***4.1.2.2. YR Kümesi ve EGR Altkümelerinin Oluşturulması***

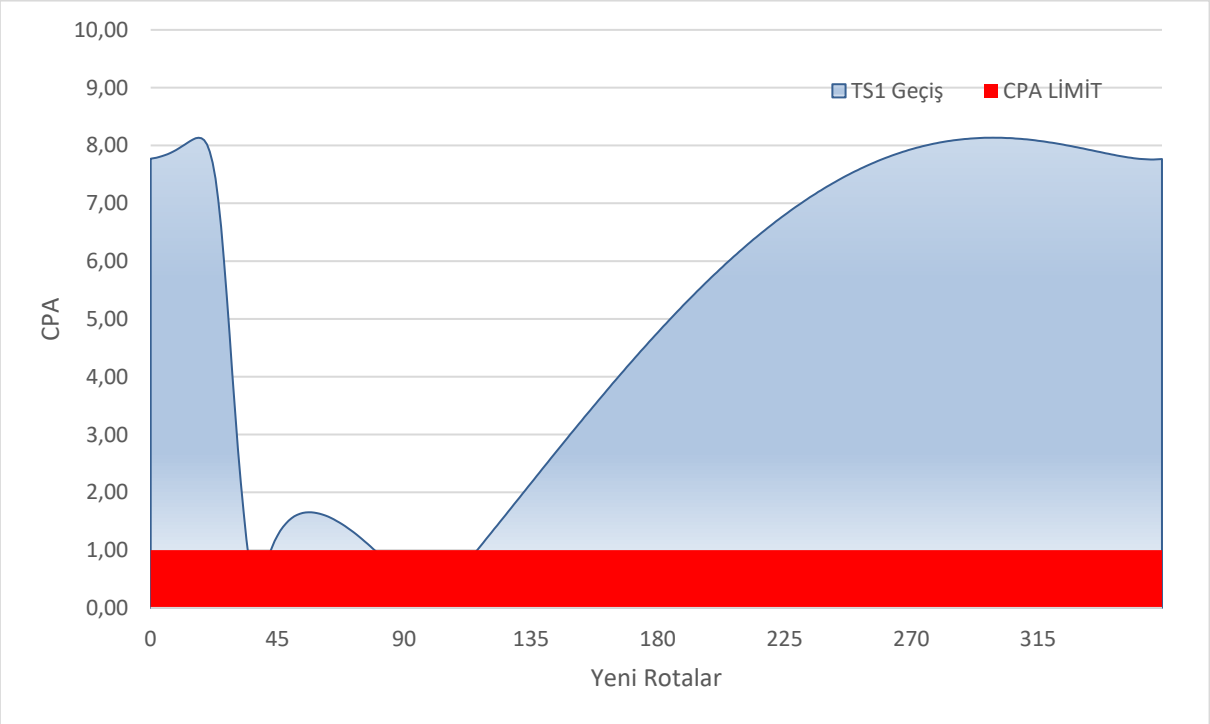
Çatışmaktan kaçınmak üzere rota seçimi yapılabilmesi için Yeni Rotalar (YR) kümesi oluşturulmalıdır. Bu küme içinde rota değişim aralığı 1° kabul edildiği takdirde 360 eleman bulunacaktır. TG kümemizde yer alan her hedef gemi için 360'ar elemanlı bir YR kümesi oluşturulur ve bu kümelerde bulunan her eleman için CPA ve TCPA hesabı yapılır.

- ***TS1 için YR Kümesi ve EGR Altkümesi Oluşturulması***

Tablo 4.10: Senaryo 2'de TS1 için Yeni Rotalar ve CPA/ TCPA Değerleri

ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA
1	7,8	21,4	61	1,6	55,8	121	1,2	23,1	181	4,8	14,2	241	7,3	8,0	301	8,1	0,2
2	7,8	22,0	62	1,6	54,4	122	1,3	22,9	182	4,8	14,1	242	7,3	7,9	302	8,1	0,3
3	7,8	22,5	63	1,6	53,0	123	1,4	22,7	183	4,9	14,0	243	7,3	7,7	303	8,1	0,5
4	7,8	22,9	64	1,6	51,7	124	1,4	22,5	184	4,9	13,9	244	7,4	7,6	304	8,1	0,7
5	7,8	23,3	65	1,6	50,5	125	1,5	22,3	185	5,0	13,8	245	7,4	7,5	305	8,1	0,9
6	7,8	23,6	66	1,5	49,3	126	1,6	22,1	186	5,0	13,7	246	7,4	7,4	306	8,1	1,1
7	7,8	23,9	67	1,5	48,2	127	1,6	21,9	187	5,1	13,6	247	7,5	7,3	307	8,1	1,3
8	7,9	24,0	68	1,5	47,2	128	1,7	21,7	188	5,1	13,5	248	7,5	7,2	308	8,1	1,5
9	7,9	23,9	69	1,4	46,2	129	1,7	21,5	189	5,2	13,4	249	7,5	7,1	309	8,1	1,7
10	7,9	23,6	70	1,4	45,2	130	1,8	21,3	190	5,2	13,3	250	7,5	7,0	310	8,1	2,0
11	8,0	23,1	71	1,4	44,3	131	1,9	21,1	191	5,3	13,2	251	7,6	6,9	311	8,1	2,2
12	8,0	22,1	72	1,3	43,5	132	1,9	20,9	192	5,3	13,0	252	7,6	6,7	312	8,1	2,4
13	8,0	20,8	73	1,3	42,6	133	2,0	20,8	193	5,4	12,9	253	7,6	6,6	313	8,1	2,6
14	8,0	18,8	74	1,3	41,8	134	2,0	20,6	194	5,4	12,8	254	7,6	6,5	314	8,1	2,8
15	8,1	16,0	75	1,2	41,1	135	2,1	20,4	195	5,5	12,7	255	7,6	6,4	315	8,1	3,1
16	8,1	12,3	76	1,2	40,3	136	2,2	20,3	196	5,5	12,6	256	7,7	6,3	316	8,1	3,3
17	8,1	7,3	77	1,2	39,6	137	2,2	20,1	197	5,6	12,5	257	7,7	6,2	317	8,1	3,6
18	8,1	0,8	78	1,1	38,9	138	2,3	19,9	198	5,6	12,4	258	7,7	6,1	318	8,1	3,8
19	8,1	7,7	79	1,1	38,3	139	2,3	19,8	199	5,7	12,3	259	7,7	5,9	319	8,1	4,1
20	8,1	18,5	80	1,0	37,7	140	2,4	19,6	200	5,7	12,2	260	7,7	5,8	320	8,1	4,3
21	8,0	31,9	81	1,0	37,1	141	2,5	19,4	201	5,8	12,1	261	7,8	5,7	321	8,0	4,6
22	7,9	48,3	82	0,9	36,5	142	2,5	19,3	202	5,8	12,0	262	7,8	5,6	322	8,0	4,8
23	7,7	67,6	83	0,9	35,9	143	2,6	19,1	203	5,9	11,9	263	7,8	5,5	323	8,0	5,1
24	7,4	89,3	84	0,8	35,4	144	2,6	19,0	204	5,9	11,8	264	7,8	5,3	324	8,0	5,4
25	7,1	112,4	85	0,8	34,9	145	2,7	18,8	205	5,9	11,7	265	7,8	5,2	325	8,0	5,7
26	6,6	135,2	86	0,7	34,3	146	2,8	18,7	206	6,0	11,6	266	7,9	5,1	326	8,0	6,0
27	6,0	155,9	87	0,7	33,9	147	2,8	18,5	207	6,0	11,5	267	7,9	5,0	327	8,0	6,3
28	5,4	172,5	88	0,6	33,4	148	2,9	18,4	208	6,1	11,4	268	7,9	4,8	328	8,0	6,6
29	4,7	184,0	89	0,6	32,9	149	2,9	18,2	209	6,1	11,3	269	7,9	4,7	329	8,0	6,9
30	4,0	190,1	90	0,5	32,5	150	3,0	18,1	210	6,2	11,2	270	7,9	4,6	330	8,0	7,2
31	3,4	191,2	91	0,5	32,0	151	3,1	18,0	211	6,2	11,1	271	7,9	4,5	331	8,0	7,5
32	2,7	188,4	92	0,4	31,6	152	3,1	17,8	212	6,2	11,0	272	7,9	4,3	332	7,9	7,8
33	2,2	182,8	93	0,4	31,2	153	3,2	17,7	213	6,3	10,9	273	8,0	4,2	333	7,9	8,2
34	1,6	175,5	94	0,3	30,8	154	3,2	17,5	214	6,3	10,8	274	8,0	4,1	334	7,9	8,5
35	1,2	167,2	95	0,3	30,4	155	3,3	17,4	215	6,4	10,7	275	8,0	3,9	335	7,9	8,9
36	0,8	158,6	96	0,2	30,1	156	3,4	17,3	216	6,4	10,6	276	8,0	3,8	336	7,9	9,2
37	0,4	150,1	97	0,2	29,7	157	3,4	17,1	217	6,5	10,5	277	8,0	3,6	337	7,9	9,6
38	0,1	141,9	98	0,1	29,3	158	3,5	17,0	218	6,5	10,4	278	8,0	3,5	338	7,9	10,0
39	0,2	134,1	99	0,0	29,0	159	3,5	16,9	219	6,5	10,3	279	8,0	3,4	339	7,9	10,4
40	0,4	126,9	100	0,0	28,6	160	3,6	16,7	220	6,6	10,2	280	8,0	3,2	340	7,9	10,8
41	0,6	120,2	101	0,1	28,3	161	3,7	16,6	221	6,6	10,1	281	8,0	3,1	341	7,9	11,2
42	0,8	114,0	102	0,1	28,0	162	3,7	16,5	222	6,6	9,9	282	8,1	2,9	342	7,8	11,6
43	0,9	108,3	103	0,2	27,7	163	3,8	16,4	223	6,7	9,8	283	8,1	2,8	343	7,8	12,1
44	1,0	103,1	104	0,2	27,4	164	3,8	16,2	224	6,7	9,7	284	8,1	2,7	344	7,8	12,5
45	1,2	98,3	105	0,3	27,1	165	3,9	16,1	225	6,8	9,6	285	8,1	2,5	345	7,8	13,0
46	1,3	93,8	106	0,4	26,8	166	3,9	16,0	226	6,8	9,5	286	8,1	2,4	346	7,8	13,4
47	1,3	89,8	107	0,4	26,5	167	4,0	15,9	227	6,8	9,4	287	8,1	2,2	347	7,8	13,9
48	1,4	86,0	108	0,5	26,2	168	4,1	15,7	228	6,9	9,3	288	8,1	2,0	348	7,8	14,4
49	1,5	82,6	109	0,5	26,0	169	4,1	15,6	229	6,9	9,2	289	8,1	1,9	349	7,8	14,9
50	1,5	79,4	110	0,6	25,7	170	4,2	15,5	230	6,9	9,1	290	8,1	1,7	350	7,8	15,4
51	1,6	76,4	111	0,6	25,4	171	4,2	15,4	231	7,0	9,0	291	8,1	1,6	351	7,8	15,9
52	1,6	73,6	112	0,7	25,2	172	4,3	15,3	232	7,0	8,9	292	8,1	1,4	352	7,8	16,4
53	1,6	71,1	113	0,8	24,9	173	4,3	15,2	233	7,0	8,8	293	8,1	1,2	353	7,8	17,0
54	1,6	68,7	114	0,8	24,7	174	4,4	15,0	234	7,1	8,7	294	8,1	1,1	354	7,8	17,5
55	1,6	66,5	115	0,9	24,4	175	4,4	14,9	235	7,1	8,6	295	8,1	0,9	355	7,8	18,1
56	1,7	64,4	116	0,9	24,2	176	4,5	14,8	236	7,1	8,5	296	8,1	0,7	356	7,8	18,6
57	1,7	62,5	117	1,0	24,0	177	4,6	14,7	237	7,2	8,4	297	8,1	0,6	357	7,8	19,2
58	1,7	60,6	118	1,1	23,7	178	4,6	14,6	238	7,2	8,3	298	8,1	0,4	358	7,8	19,8
59	1,6	58,9	119	1,1	23,5	179	4,7	14,5	239	7,2	8,2	299	8,1	0,2	359	7,8	20,3
60	1,6	57,3	120	1,2	23,3	180	4,7	14,4	240	7,3	8,1	300	8,1	0,0	360	7,8	20,9

Bir geçişin emniyetli kabul edilebilmesi için en yakın geçiş mesafesinin yani *CPA*'in istenilen değerin üzerinde olması istenir. Bu durumda her gemi kendi içinde bulunduğu tehlike sınıfına göre değerlendirilmelidir. TS1 için oluşturulan Yeni Rotalar (YR) kümesi elemanlarından CPA>1 mil şartını sağlayanlar Emniyetli Geçiş Rotaları 1 (EGR1) alt kümesine dâhil edilmelidir.



Şekil 4.9: Senaryo 2, TS1 için Yeni Rotalar ve CPA Değerleri

Şekil 4.9'da yatay eksende yapılabilecek manevraları temsilen 360 yeni rota, dikey eksende ise bu rotaların uygulanması halinde TS1 ile oluşacak yeni CPA değeri gösterilmiştir. Şekildeki turuncu hat, emniyetli geçiş için minimum sınır kabul edilecek olan CPALİMİT değeri yani 1 mildir. Bu durumda 1 mil altında kalan alanlar emniyetsiz kabul edilir. TS1 gemisine ait eğrinin altında ve turuncu çizginin üzerinde kalan alan ise emniyetli geçiş yapılacak rotaları temsil eder. Yani Tablo4.11'de görülen CPA değerlerinden de anlaşılacağı üzere 001°-035°, 045°-079° ve 118°-360° arasındaki rotalar TS1 için Emniyetli Geçiş Rotaları 1 (EGR1) altkümesine eklenmektedir.

$$\text{EGR1}: \begin{Bmatrix} 001, 002, ..., 035 \\ 045, 046, ..., 079 \\ 118, 119, ..., 360 \end{Bmatrix} \tag{4.64}$$

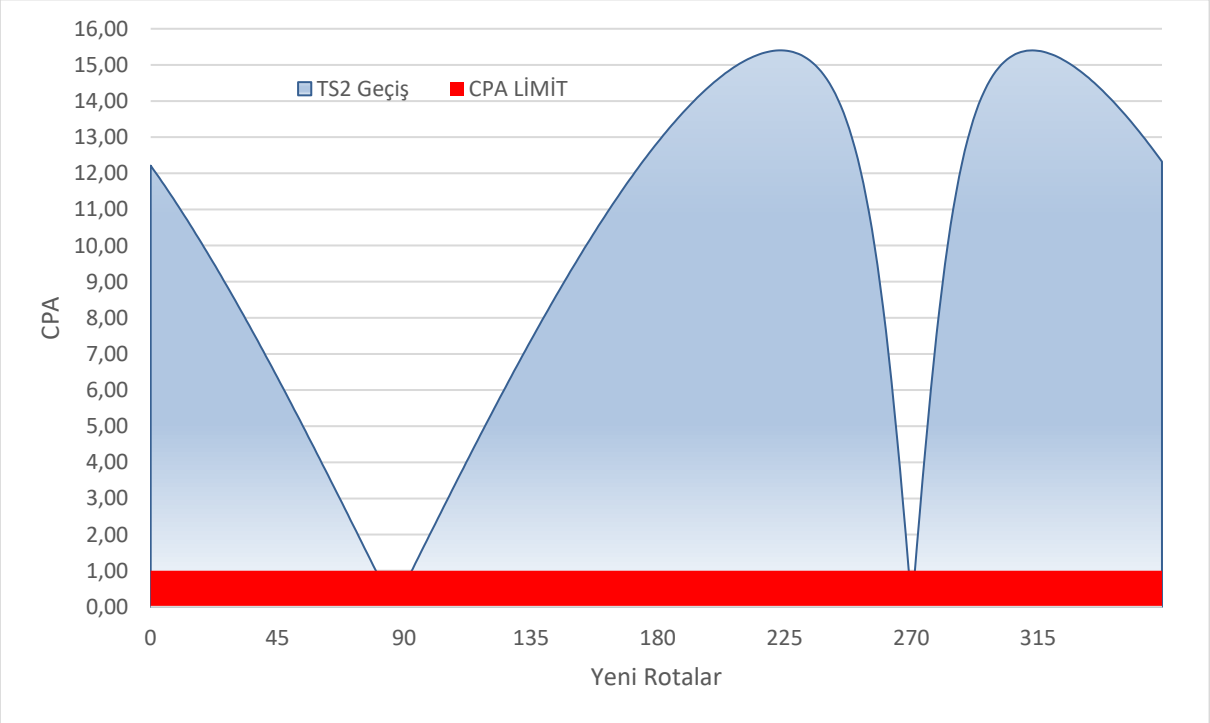
- ***TS2 için YR Kümesi ve EGR Altkümesi Oluşturulması***

TS2 gemisi için oluşturulan yeni rotalar kümesi ve her elemana karşılık gelen CPA ve TCPA değerleri ise Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11: Senaryo 2'de TS2 için Yeni Rotalar ve CPA/ TCPA Değerleri

ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA
1	12,2	35,0	61	4,1	40,9	121	5,2	39,7	181	12,9	31,1	241	14,6	41,5	301	14,8	37,2
2	12,1	35,3	62	3,9	40,9	122	5,3	39,7	182	13,0	30,8	242	14,5	45,4	302	14,9	33,2
3	12,0	35,5	63	3,8	40,9	123	5,5	39,6	183	13,1	30,5	243	14,4	49,7	303	15,0	29,4
4	11,9	35,7	64	3,6	40,9	124	5,6	39,5	184	13,1	30,2	244	14,2	54,2	304	15,1	25,8
5	11,8	35,9	65	3,5	40,9	125	5,8	39,5	185	13,2	29,9	245	14,0	58,9	305	15,2	22,5
6	11,7	36,1	66	3,3	40,9	126	5,9	39,4	186	13,3	29,5	246	13,9	64,0	306	15,2	19,3
7	11,5	36,3	67	3,2	41,0	127	6,1	39,3	187	13,4	29,2	247	13,7	69,3	307	15,3	16,3
8	11,4	36,5	68	3,0	41,0	128	6,2	39,3	188	13,5	28,8	248	13,5	75,0	308	15,3	13,5
9	11,3	36,7	69	2,9	41,0	129	6,4	39,2	189	13,6	28,5	249	13,2	81,0	309	15,3	10,9
10	11,2	36,9	70	2,7	41,0	130	6,5	39,1	190	13,7	28,1	250	13,0	87,3	310	15,4	8,4
11	11,1	37,0	71	2,6	41,0	131	6,7	39,0	191	13,8	27,7	251	12,7	94,0	311	15,4	6,1
12	10,9	37,2	72	2,4	41,0	132	6,8	39,0	192	13,9	27,3	252	12,4	101,1	312	15,4	3,9
13	10,8	37,3	73	2,2	41,0	133	7,0	38,9	193	13,9	26,8	253	12,1	108,5	313	15,4	1,8
14	10,7	37,5	74	2,1	41,0	134	7,1	38,8	194	14,0	26,4	254	11,7	116,3	314	15,4	0,2
15	10,6	37,6	75	1,9	41,0	135	7,2	38,7	195	14,1	26,0	255	11,3	124,4	315	15,4	2,0
16	10,5	37,8	76	1,8	41,0	136	7,4	38,6	196	14,2	25,5	256	10,9	132,9	316	15,4	3,8
17	10,3	37,9	77	1,6	41,0	137	7,5	38,5	197	14,2	25,0	257	10,5	141,7	317	15,4	5,4
18	10,2	38,1	78	1,5	41,0	138	7,7	38,4	198	14,3	24,5	258	10,0	150,7	318	15,4	7,0
19	10,1	38,2	79	1,3	41,0	139	7,8	38,3	199	14,4	24,0	259	9,5	159,9	319	15,3	8,5
20	9,9	38,3	80	1,1	41,0	140	7,9	38,2	200	14,5	23,4	260	8,9	169,3	320	15,3	9,9
21	9,8	38,4	81	1,0	41,0	141	8,1	38,1	201	14,5	22,9	261	8,3	178,7	321	15,3	11,3
22	9,7	38,5	82	0,8	41,0	142	8,2	38,0	202	14,6	22,3	262	7,6	188,0	322	15,3	12,5
23	9,6	38,7	83	0,7	41,0	143	8,3	37,9	203	14,6	21,7	263	7,0	197,1	323	15,2	13,7
24	9,4	38,8	84	0,5	41,0	144	8,5	37,8	204	14,7	21,0	264	6,2	205,9	324	15,2	14,9
25	9,3	38,9	85	0,4	41,0	145	8,6	37,7	205	14,8	20,4	265	5,5	214,1	325	15,1	16,0
26	9,2	39,0	86	0,2	40,9	146	8,8	37,6	206	14,8	19,7	266	4,6	221,6	326	15,1	17,0
27	9,0	39,1	87	0,0	40,9	147	8,9	37,5	207	14,9	19,0	267	3,8	228,3	327	15,0	18,0
28	8,9	39,2	88	0,1	40,9	148	9,0	37,4	208	14,9	18,3	268	2,9	233,9	328	15,0	19,0
29	8,8	39,2	89	0,3	40,9	149	9,2	37,3	209	15,0	17,5	269	2,0	238,2	329	14,9	19,9
30	8,6	39,3	90	0,4	40,9	150	9,3	37,1	210	15,0	16,7	270	1,1	241,3	330	14,9	20,7
31	8,5	39,4	91	0,6	40,9	151	9,4	37,0	211	15,1	15,9	271	0,2	242,8	331	14,8	21,5
32	8,3	39,5	92	0,7	40,8	152	9,5	36,9	212	15,1	15,0	272	0,7	242,9	332	14,8	22,3
33	8,2	39,6	93	0,9	40,8	153	9,7	36,8	213	15,2	14,1	273	1,7	241,4	333	14,7	23,1
34	8,1	39,7	94	1,1	40,8	154	9,8	36,6	214	15,2	13,2	274	2,6	238,5	334	14,6	23,8
35	7,9	39,7	95	1,2	40,8	155	9,9	36,5	215	15,2	12,2	275	3,5	234,1	335	14,6	24,4
36	7,8	39,8	96	1,4	40,8	156	10,1	36,3	216	15,3	11,1	276	4,4	228,5	336	14,5	25,1
37	7,6	39,9	97	1,5	40,7	157	10,2	36,2	217	15,3	10,1	277	5,2	221,7	337	14,4	25,7
38	7,5	39,9	98	1,7	40,7	158	10,3	36,0	218	15,3	8,9	278	6,0	213,9	338	14,4	26,3
39	7,4	40,0	99	1,8	40,7	159	10,4	35,9	219	15,3	7,7	279	6,8	205,4	339	14,3	26,9
40	7,2	40,1	100	2,0	40,6	160	10,5	35,7	220	15,4	6,5	280	7,5	196,2	340	14,2	27,4
41	7,1	40,1	101	2,1	40,6	161	10,7	35,6	221	15,4	5,2	281	8,2	186,7	341	14,1	28,0
42	6,9	40,2	102	2,3	40,6	162	10,8	35,4	222	15,4	3,9	282	8,9	176,9	342	14,0	28,5
43	6,8	40,2	103	2,5	40,5	163	10,9	35,2	223	15,4	2,4	283	9,5	167,0	343	14,0	28,9
44	6,6	40,3	104	2,6	40,5	164	11,0	35,0	224	15,4	0,9	284	10,1	157,1	344	13,9	29,4
45	6,5	40,3	105	2,8	40,5	165	11,1	34,8	225	15,4	0,6	285	10,6	147,3	345	13,8	29,8
46	6,3	40,4	106	2,9	40,4	166	11,3	34,7	226	15,4	2,3	286	11,1	137,7	346	13,7	30,3
47	6,2	40,4	107	3,1	40,4	167	11,4	34,5	227	15,4	4,0	287	11,5	128,5	347	13,6	30,7
48	6,1	40,5	108	3,2	40,4	168	11,5	34,3	228	15,4	5,9	288	11,9	119,5	348	13,5	31,1
49	5,9	40,5	109	3,4	40,3	169	11,6	34,1	229	15,4	7,8	289	12,3	110,9	349	13,4	31,5
50	5,8	40,5	110	3,5	40,3	170	11,7	33,9	230	15,3	9,8	290	12,6	102,7	350	13,3	31,8
51	5,6	40,6	111	3,7	40,2	171	11,8	33,6	231	15,3	12,0	291	12,9	94,9	351	13,2	32,2
52	5,5	40,6	112	3,8	40,2	172	11,9	33,4	232	15,3	14,2	292	13,2	87,5	352	13,1	32,5
53	5,3	40,6	113	4,0	40,1	173	12,0	33,2	233	15,2	16,6	293	13,5	80,5	353	13,0	32,8
54	5,2	40,7	114	4,1	40,1	174	12,1	33,0	234	15,2	19,2	294	13,7	73,9	354	12,9	33,1
55	5,0	40,7	115	4,3	40,0	175	12,3	32,7	235	15,1	21,8	295	13,9	67,6	355	12,8	33,4
56	4,9	40,7	116	4,4	40,0	176	12,4	32,5	236	15,1	24,6	296	14,1	61,8	356	12,7	33,7
57	4,7	40,8	117	4,6	39,9	177	12,5	32,2	237	15,0	27,6	297	14,3	56,2	357	12,6	34,0
58	4,6	40,8	118	4,8	39,9	178	12,6	32,0	238	14,9	30,8	298	14,4	51,0	358	12,5	34,3
59	4,4	40,8	119	4,9	39,8	179	12,7	31,7	239	14,8	34,1	299	14,6	46,1	359	12,4	34,5
60	4,2	40,8	120	5,1	39,8	180	12,8	31,4	240	14,7	37,7	300	14,7	41,6	360	12,3	34,8

TS2 gemisi ise mevcut şartlarda tehlikesiz geçiş yapan bir gemi olduğu için oluşturulan Yeni Rotalar (YR) kümesi elemanlarından CPA>1 mil şartını sağlayanlar Emniyetli Geçiş Rotaları 2 (EGR2) alt kümesine dâhil edilmelidir.



Şekil 4.10: Senaryo 2, TS2 için Yeni Rotalar ve CPA Değerleri

Şekil 4.10'da önceki grafiklerde olduğu gibi yatay eksende yapılabilecek manevraları temsilen 360 yeni rota, dikey eksende ise bu rotaların uygulanması halinde TS2 ile oluşacak yeni CPA değeri gösterilmiştir. Şekildeki turuncu hat, emniyetli geçiş için minimum sınır kabul edilen CPALİMİT değeri yani 1 mildir. Bu durumda 1 mil altında kalan alanlar emniyetsiz kabul edilir. TS2 gemisine ait eğrinin altında ve turuncu çizginin üzerinde kalan alan ise emniyetli geçiş yapılacak rotaları temsil eder. Yani 4.12'de görülen CPA değerlerinden de anlaşılacağı üzere 001°-080°, 094°-270° ve 273°-360° arasındaki rotalar TS2 için Emniyetli Geçiş Rotaları 2 (EGR2) altkümesine eklenir.

$$\text{EGR2}:\begin{Bmatrix} 001, 002, ..., 080 \\ 094, 095, ..., 270 \\ 273, 274, ..., 360 \end{Bmatrix} \tag{4.65}$$

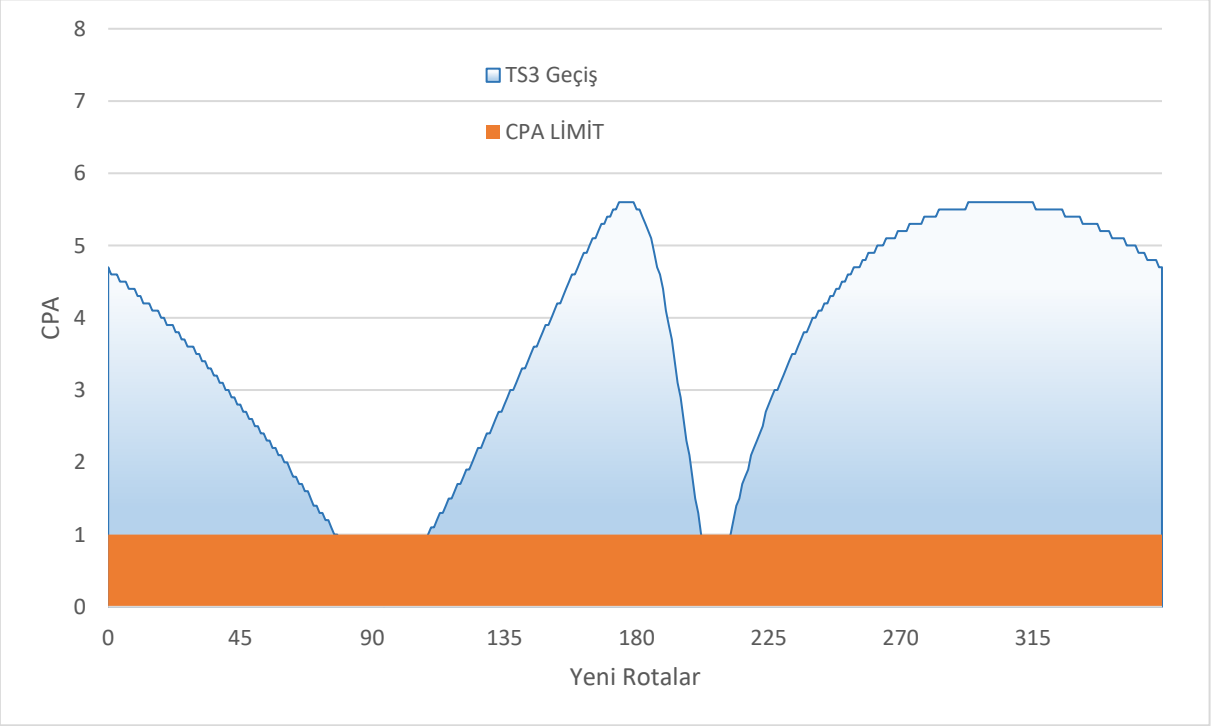
- ***TS3 için YR Kümesi ve EGR Altkümesi Oluşturulması***

TS2 gemisi için oluşturulan yeni rotalar kümesi ve her elemana karşılık gelen CPA ve TCPA değerleri ise Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.12: Senaryo 2'de TS3 için Yeni Rotalar ve CPA/ TCPA Değerleri

ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA	ROTA	CPA	TCPA
1	4,7	8,2	61	2,0	15,3	121	1,7	24,2	181	5,5	12,9	241	4,0	23,0	301	5,6	0,7
2	4,6	8,4	62	2,0	15,4	122	1,8	24,4	182	5,5	17,4	242	4,0	22,3	302	5,6	0,5
3	4,6	8,5	63	1,9	15,6	123	1,9	24,6	183	5,4	22,0	243	4,1	21,6	303	5,6	0,3
4	4,6	8,6	64	1,8	15,7	124	1,9	24,7	184	5,3	26,9	244	4,1	21,0	304	5,6	0,1
5	4,5	8,7	65	1,8	15,8	125	2,0	24,9	185	5,2	31,8	245	4,2	20,3	305	5,6	0,1
6	4,5	8,8	66	1,7	15,9	126	2,1	25,1	186	5,1	36,7	246	4,2	19,7	306	5,6	0,3
7	4,5	9,0	67	1,7	16,1	127	2,2	25,3	187	4,9	41,7	247	4,3	19,1	307	5,6	0,4
8	4,4	9,1	68	1,6	16,2	128	2,2	25,5	188	4,7	46,5	248	4,3	18,5	308	5,6	0,6
9	4,4	9,2	69	1,6	16,3	129	2,3	25,7	189	4,6	51,1	249	4,4	17,9	309	5,6	0,8
10	4,4	9,3	70	1,5	16,4	130	2,4	25,8	190	4,4	55,4	250	4,4	17,3	310	5,6	1,0
11	4,3	9,4	71	1,4	16,6	131	2,4	26,0	191	4,1	59,4	251	4,5	16,8	311	5,6	1,2
12	4,3	9,6	72	1,4	16,7	132	2,5	26,2	192	3,9	63,0	252	4,5	16,2	312	5,6	1,3
13	4,2	9,7	73	1,3	16,8	133	2,6	26,4	193	3,7	66,1	253	4,6	15,7	313	5,6	1,5
14	4,2	9,8	74	1,3	17,0	134	2,7	26,5	194	3,4	68,7	254	4,6	15,2	314	5,6	1,7
15	4,2	9,9	75	1,2	17,1	135	2,7	26,7	195	3,1	70,9	255	4,7	14,7	315	5,6	1,8
16	4,1	10,0	76	1,2	17,2	136	2,8	26,9	196	2,9	72,5	256	4,7	14,2	316	5,6	2,0
17	4,1	10,1	77	1,1	17,4	137	2,9	27,0	197	2,6	73,7	257	4,7	13,8	317	5,5	2,2
18	4,1	10,3	78	1,0	17,5	138	3,0	27,2	198	2,3	74,4	258	4,8	13,3	318	5,5	2,3
19	4,0	10,4	79	1,0	17,6	139	3,0	27,4	199	2,1	74,6	259	4,8	12,9	319	5,5	2,5
20	4,0	10,5	80	0,9	17,8	140	3,1	27,5	200	1,8	74,5	260	4,9	12,5	320	5,5	2,7
21	3,9	10,6	81	0,9	17,9	141	3,2	27,7	201	1,5	74,1	261	4,9	12,0	321	5,5	2,8
22	3,9	10,7	82	0,8	18,0	142	3,3	27,8	202	1,3	73,3	262	4,9	11,6	322	5,5	3,0
23	3,9	10,8	83	0,7	18,2	143	3,3	27,9	203	1,0	72,4	263	5,0	11,2	323	5,5	3,1
24	3,8	10,9	84	0,7	18,3	144	3,4	28,1	204	0,8	71,2	264	5,0	10,8	324	5,5	3,3
25	3,8	11,1	85	0,6	18,5	145	3,5	28,2	205	0,5	69,8	265	5,0	10,4	325	5,5	3,4
26	3,7	11,2	86	0,6	18,6	146	3,6	28,3	206	0,3	68,3	266	5,1	10,1	326	5,5	3,6
27	3,7	11,3	87	0,5	18,7	147	3,6	28,4	207	0,1	66,7	267	5,1	9,7	327	5,4	3,7
28	3,6	11,4	88	0,4	18,9	148	3,7	28,4	208	0,1	65,1	268	5,1	9,4	328	5,4	3,9
29	3,6	11,5	89	0,4	19,0	149	3,8	28,5	209	0,3	63,4	269	5,1	9,0	329	5,4	4,0
30	3,6	11,6	90	0,3	19,2	150	3,9	28,5	210	0,5	61,6	270	5,2	8,7	330	5,4	4,2
31	3,5	11,8	91	0,2	19,3	151	3,9	28,5	211	0,7	59,9	271	5,2	8,3	331	5,4	4,3
32	3,5	11,9	92	0,2	19,5	152	4,0	28,5	212	0,9	58,1	272	5,2	8,0	332	5,4	4,5
33	3,4	12,0	93	0,1	19,6	153	4,1	28,5	213	1,0	56,4	273	5,2	7,7	333	5,3	4,6
34	3,4	12,1	94	0,1	19,8	154	4,2	28,4	214	1,2	54,7	274	5,3	7,4	334	5,3	4,7
35	3,3	12,2	95	0,0	19,9	155	4,2	28,3	215	1,4	53,0	275	5,3	7,1	335	5,3	4,9
36	3,3	12,3	96	0,1	20,1	156	4,3	28,2	216	1,5	51,4	276	5,3	6,8	336	5,3	5,0
37	3,2	12,5	97	0,1	20,2	157	4,4	28,0	217	1,7	49,7	277	5,3	6,5	337	5,3	5,2
38	3,2	12,6	98	0,2	20,4	158	4,5	27,8	218	1,8	48,2	278	5,3	6,2	338	5,3	5,3
39	3,1	12,7	99	0,3	20,5	159	4,6	27,5	219	1,9	46,6	279	5,4	5,9	339	5,2	5,4
40	3,1	12,8	100	0,3	20,7	160	4,6	27,2	220	2,1	45,2	280	5,4	5,6	340	5,2	5,6
41	3,0	12,9	101	0,4	20,8	161	4,7	26,8	221	2,2	43,7	281	5,4	5,3	341	5,2	5,7
42	3,0	13,0	102	0,5	21,0	162	4,8	26,3	222	2,3	42,3	282	5,4	5,1	342	5,2	5,8
43	2,9	13,2	103	0,5	21,2	163	4,9	25,8	223	2,4	41,0	283	5,4	4,8	343	5,1	6,0
44	2,9	13,3	104	0,6	21,3	164	4,9	25,1	224	2,5	39,6	284	5,5	4,5	344	5,1	6,1
45	2,8	13,4	105	0,7	21,5	165	5,0	24,4	225	2,7	38,4	285	5,5	4,3	345	5,1	6,2
46	2,8	13,5	106	0,7	21,6	166	5,1	23,5	226	2,8	37,2	286	5,5	4,0	346	5,1	6,4
47	2,7	13,6	107	0,8	21,8	167	5,1	22,5	227	2,9	36,0	287	5,5	3,8	347	5,1	6,5
48	2,7	13,7	108	0,9	22,0	168	5,2	21,4	228	3,0	34,8	288	5,5	3,5	348	5,0	6,6
49	2,6	13,9	109	0,9	22,1	169	5,3	20,1	229	3,0	33,7	289	5,5	3,3	349	5,0	6,8
50	2,6	14,0	110	1,0	22,3	170	5,3	18,6	230	3,1	32,7	290	5,5	3,1	350	5,0	6,9
51	2,5	14,1	111	1,1	22,5	171	5,4	17,0	231	3,2	31,6	291	5,5	2,8	351	5,0	7,0
52	2,5	14,2	112	1,1	22,6	172	5,4	15,1	232	3,3	30,6	292	5,5	2,6	352	4,9	7,1
53	2,4	14,3	113	1,2	22,8	173	5,5	13,1	233	3,4	29,7	293	5,5	2,4	353	4,9	7,3
54	2,4	14,5	114	1,3	23,0	174	5,5	10,7	234	3,5	28,7	294	5,6	2,2	354	4,9	7,4
55	2,3	14,6	115	1,3	23,2	175	5,6	8,2	235	3,5	27,8	295	5,6	1,9	355	4,8	7,5
56	2,3	14,7	116	1,4	23,3	176	5,6	5,4	236	3,6	27,0	296	5,6	1,7	356	4,8	7,6
57	2,2	14,8	117	1,5	23,5	177	5,6	2,3	237	3,7	26,1	297	5,6	1,5	357	4,8	7,8
58	2,2	14,9	118	1,5	23,7	178	5,6	1,1	238	3,8	25,3	298	5,6	1,3	358	4,8	7,9
59	2,1	15,1	119	1,6	23,9	179	5,6	4,8	239	3,8	24,5	299	5,6	1,1	359	4,7	8,0
60	2,1	15,2	120	1,7	24,0	180	5,6	8,7	240	3,9	23,8	300	5,6	0,9	360	4,7	8,1

TS3 gemisi de mevcut şartlarda tehlikesiz geçiş yapan bir gemi olduğu için oluşturulan Yeni Rotalar (YR) kümesi elemanlarından CPA>1 mil şartını sağlayanlar Emniyetli Geçiş Rotaları 3 (EGR3) alt kümesine dâhil edilmelidir.



Şekil 4.11: Senaryo 2, TS3 için Yeni Rotalar ve CPA Değerleri

Şekil 4.11'de turuncu hat, emniyetli geçiş için minimum sınır kabul edilecek olan $CPA_{LİMİT}$ değeri yani 1 mildir. Bu durumda 1 mil altında kalan alanlar emniyetsiz kabul edilir. TS3 gemisine ait eğrinin altında ve turuncu çizginin üzerinde kalan alan ise emniyetli geçiş yapılacak rotaları temsil eder. Yani Tablo 4.13'de görülen CPA değerlerinden de anlaşılacağı üzere 001°-077°, 111°-202° ve 214°-360° arasındaki rotalar TS3 için Emniyetli Geçiş Rotaları 3 (EGR3) altkümesine eklenir.

$$EGR3:\begin{Bmatrix}001,002,.....,077\\111,112,.....,202\\214,215,.....,360\end{Bmatrix} \tag{4.66}$$

- ***4.1.2.3. Tüzüğe Uygun Rotaların Belirlenmesi ve TUR Altkümesi Oluşturulması***

Bu aşamada ise ihtimal dâhilinde olan yeni rotaların her birinin tüzüğe uygunluğu hesaplanmalıdır. Bu hesaplama için Bölüm 3.2.5.'teki adımlar izlenir. Yeni rotaların tüzüğe uygunlukları TS1 için Tablo 4.14'te, TS2 için Tablo 4.15'te, TS3 için ise Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.13: Senaryo 2'de TS1 için Yeni Rotalar ve DÇÖT Uygunlukları

ROTA	DÇÖT	ROTA	DÇÖT	ROTA	DÇÖT	ROTA	DÇÖT	ROTA	DÇÖT	ROTA	DÇÖT
1	DEGIL	61	DEGIL	121	UYGUN	181	UYGUN	241	UYGUN	301	DEGIL
2	DEGIL	62	DEGIL	122	UYGUN	182	UYGUN	242	UYGUN	302	DEGIL
3	DEGIL	63	DEGIL	123	UYGUN	183	UYGUN	243	UYGUN	303	DEGIL
4	DEGIL	64	DEGIL	124	UYGUN	184	UYGUN	244	UYGUN	304	DEGIL
5	DEGIL	65	DEGIL	125	UYGUN	185	UYGUN	245	UYGUN	305	DEGIL
6	DEGIL	66	DEGIL	126	UYGUN	186	UYGUN	246	UYGUN	306	DEGIL
7	DEGIL	67	DEGIL	127	UYGUN	187	UYGUN	247	UYGUN	307	DEGIL
8	DEGIL	68	DEGIL	128	UYGUN	188	UYGUN	248	UYGUN	308	DEGIL
9	DEGIL	69	DEGIL	129	UYGUN	189	UYGUN	249	UYGUN	309	DEGIL
10	DEGIL	70	DEGIL	130	UYGUN	190	UYGUN	250	UYGUN	310	DEGIL
11	DEGIL	71	DEGIL	131	UYGUN	191	UYGUN	251	UYGUN	311	DEGIL
12	DEGIL	72	DEGIL	132	UYGUN	192	UYGUN	252	UYGUN	312	DEGIL
13	DEGIL	73	DEGIL	133	UYGUN	193	UYGUN	253	UYGUN	313	DEGIL
14	DEGIL	74	DEGIL	134	UYGUN	194	UYGUN	254	UYGUN	314	DEGIL
15	DEGIL	75	DEGIL	135	UYGUN	195	UYGUN	255	UYGUN	315	DEGIL
16	DEGIL	76	DEGIL	136	UYGUN	196	UYGUN	256	UYGUN	316	DEGIL
17	DEGIL	77	DEGIL	137	UYGUN	197	UYGUN	257	UYGUN	317	DEGIL
18	DEGIL	78	DEGIL	138	UYGUN	198	UYGUN	258	UYGUN	318	DEGIL
19	DEGIL	79	DEGIL	139	UYGUN	199	UYGUN	259	UYGUN	319	DEGIL
20	DEGIL	80	DEGIL	140	UYGUN	200	UYGUN	260	UYGUN	320	DEGIL
21	DEGIL	81	DEGIL	141	UYGUN	201	UYGUN	261	UYGUN	321	DEGIL
22	DEGIL	82	DEGIL	142	UYGUN	202	UYGUN	262	UYGUN	322	DEGIL
23	DEGIL	83	DEGIL	143	UYGUN	203	UYGUN	263	UYGUN	323	DEGIL
24	DEGIL	84	DEGIL	144	UYGUN	204	UYGUN	264	UYGUN	324	DEGIL
25	DEGIL	85	DEGIL	145	UYGUN	205	UYGUN	265	UYGUN	325	DEGIL
26	DEGIL	86	DEGIL	146	UYGUN	206	UYGUN	266	UYGUN	326	DEGIL
27	DEGIL	87	DEGIL	147	UYGUN	207	UYGUN	267	UYGUN	327	DEGIL
28	DEGIL	88	DEGIL	148	UYGUN	208	UYGUN	268	UYGUN	328	DEGIL
29	DEGIL	89	DEGIL	149	UYGUN	209	UYGUN	269	UYGUN	329	DEGIL
30	DEGIL	90	DEGIL	150	UYGUN	210	UYGUN	270	UYGUN	330	DEGIL
31	DEGIL	91	DEGIL	151	UYGUN	211	UYGUN	271	UYGUN	331	DEGIL
32	DEGIL	92	DEGIL	152	UYGUN	212	UYGUN	272	DEGIL	332	DEGIL
33	DEGIL	93	DEGIL	153	UYGUN	213	UYGUN	273	DEGIL	333	DEGIL
34	DEGIL	94	DEGIL	154	UYGUN	214	UYGUN	274	DEGIL	334	DEGIL
35	DEGIL	95	DEGIL	155	UYGUN	215	UYGUN	275	DEGIL	335	DEGIL
36	DEGIL	96	DEGIL	156	UYGUN	216	UYGUN	276	DEGIL	336	DEGIL
37	DEGIL	97	DEGIL	157	UYGUN	217	UYGUN	277	DEGIL	337	DEGIL
38	DEGIL	98	DEGIL	158	UYGUN	218	UYGUN	278	DEGIL	338	DEGIL
39	DEGIL	99	DEGIL	159	UYGUN	219	UYGUN	279	DEGIL	339	DEGIL
40	DEGIL	100	DEGIL	160	UYGUN	220	UYGUN	280	DEGIL	340	DEGIL
41	DEGIL	101	DEGIL	161	UYGUN	221	UYGUN	281	DEGIL	341	DEGIL
42	DEGIL	102	DEGIL	162	UYGUN	222	UYGUN	282	DEGIL	342	DEGIL
43	DEGIL	103	DEGIL	163	UYGUN	223	UYGUN	283	DEGIL	343	DEGIL
44	DEGIL	104	DEGIL	164	UYGUN	224	UYGUN	284	DEGIL	344	DEGIL
45	DEGIL	105	DEGIL	165	UYGUN	225	UYGUN	285	DEGIL	345	DEGIL
46	DEGIL	106	DEGIL	166	UYGUN	226	UYGUN	286	DEGIL	346	DEGIL
47	DEGIL	107	DEGIL	167	UYGUN	227	UYGUN	287	DEGIL	347	DEGIL
48	DEGIL	108	DEGIL	168	UYGUN	228	UYGUN	288	DEGIL	348	DEGIL
49	DEGIL	109	DEGIL	169	UYGUN	229	UYGUN	289	DEGIL	349	DEGIL
50	DEGIL	110	DEGIL	170	UYGUN	230	UYGUN	290	DEGIL	350	DEGIL
51	DEGIL	111	DEGIL	171	UYGUN	231	UYGUN	291	DEGIL	351	DEGIL
52	DEGIL	112	DEGIL	172	UYGUN	232	UYGUN	292	DEGIL	352	DEGIL
53	DEGIL	113	DEGIL	173	UYGUN	233	UYGUN	293	DEGIL	353	DEGIL
54	DEGIL	114	DEGIL	174	UYGUN	234	UYGUN	294	DEGIL	354	DEGIL
55	DEGIL	115	DEGIL	175	UYGUN	235	UYGUN	295	DEGIL	355	DEGIL
56	DEGIL	116	UYGUN	176	UYGUN	236	UYGUN	296	DEGIL	356	DEGIL
57	DEGIL	117	UYGUN	177	UYGUN	237	UYGUN	297	DEGIL	357	DEGIL
58	DEGIL	118	UYGUN	178	UYGUN	238	UYGUN	298	DEGIL	358	DEGIL
59	DEGIL	119	UYGUN	179	UYGUN	239	UYGUN	299	DEGIL	359	DEGIL
60	DEGIL	120	UYGUN	180	UYGUN	240	UYGUN	300	DEGIL	360	DEGIL

Bu senaryoda sadece TS1 gemisi olası tehlike oluşturduğu için diğer gemiler de tüzüğe uygun olma şartı aranmaz. TS1 gemisi için tüzüğe uygunluk durumu ise Tablo 4.14'de belirtildiği şekildedir. Tüzüğe uygun rotalar Şekil 4.12'de turuncu renk ile gösterilmiştir.



Şekil 4.12: Senaryo 2, TS1 için Yeni Rotaların Tüzüğe Uygunlukları

$$TUR1:\{116,117,.....,271\} \tag{4.67}$$

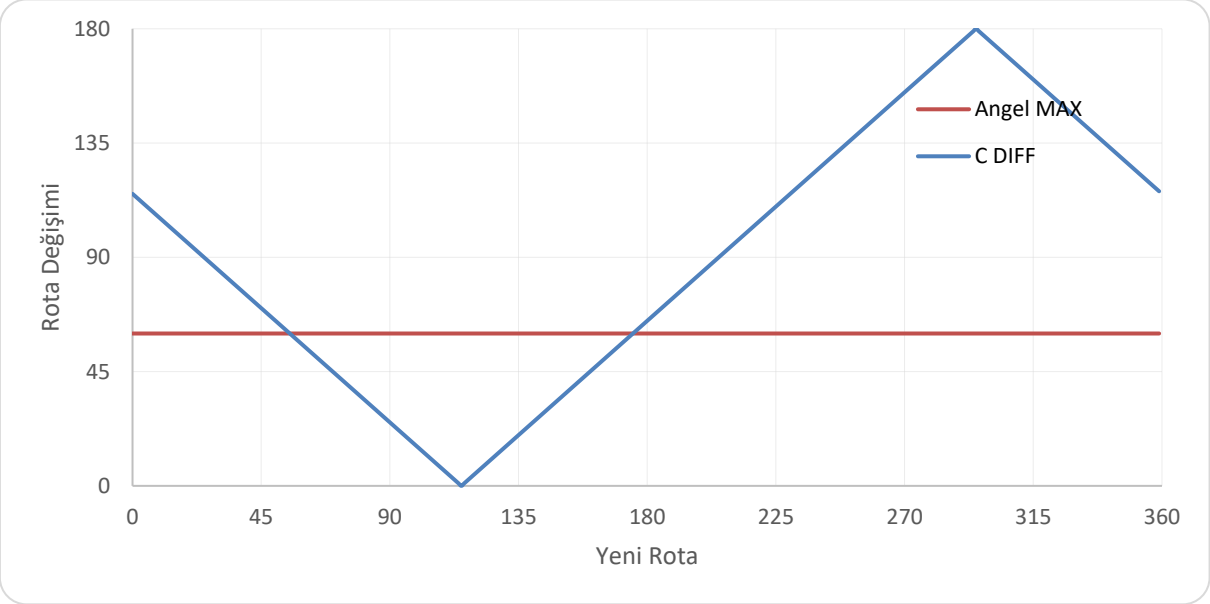
- ***4.1.2.4. Yeni Rotalar için Gerekli Sapmanın Hesaplanması ve UR Altkümesi Oluşturulması***

Yeni Rotalar kümesindeki 360 rotanın uygulanabilirliğini belirlemek üzere mevcut rotadan ne kadar sapılacağı hesaplanarak, maksimum sapmanın altında kalanlar seçilmelidir. Fakat burada sapmanın iskele tarafa veya sancak tarafa doğru olması birsey değiştirmeyeceği için 360 derecelik düzlem 180 iskeleye ve 180 sancağa şeklinde düşünülmelidir. Oluşturulan kümelerde sancağa yapılacak manevralar pozitif (+), iskeleye ise negatif (-) olarak gösterilmiştir. Tablo 4.17'de yeni rotaları uygulamak için yapılması gereken rota değişimleri verilmiştir.

Tablo 4.14: Senaryo 2'de Yeni Rotalar için Gerekli Rota Değişimleri

ROTA	DEGISIM	ROTA	DEGISIM	ROTA	DEGISIM	ROTA	DEGISIM	ROTA	DEGISIM	ROTA	DEGISIM
1	-114,0	61	-54,0	121	6,0	181	66,0	241	126,0	301	-174,0
2	-113,0	62	-53,0	122	7,0	182	67,0	242	127,0	302	-173,0
3	-112,0	63	-52,0	123	8,0	183	68,0	243	128,0	303	-172,0
4	-111,0	64	-51,0	124	9,0	184	69,0	244	129,0	304	-171,0
5	-110,0	65	-50,0	125	10,0	185	70,0	245	130,0	305	-170,0
6	-109,0	66	-49,0	126	11,0	186	71,0	246	131,0	306	-169,0
7	-108,0	67	-48,0	127	12,0	187	72,0	247	132,0	307	-168,0
8	-107,0	68	-47,0	128	13,0	188	73,0	248	133,0	308	-167,0
9	-106,0	69	-46,0	129	14,0	189	74,0	249	134,0	309	-166,0
10	-105,0	70	-45,0	130	15,0	190	75,0	250	135,0	310	-165,0
11	-104,0	71	-44,0	131	16,0	191	76,0	251	136,0	311	-164,0
12	-103,0	72	-43,0	132	17,0	192	77,0	252	137,0	312	-163,0
13	-102,0	73	-42,0	133	18,0	193	78,0	253	138,0	313	-162,0
14	-101,0	74	-41,0	134	19,0	194	79,0	254	139,0	314	-161,0
15	-100,0	75	-40,0	135	20,0	195	80,0	255	140,0	315	-160,0
16	-99,0	76	-39,0	136	21,0	196	81,0	256	141,0	316	-159,0
17	-98,0	77	-38,0	137	22,0	197	82,0	257	142,0	317	-158,0
18	-97,0	78	-37,0	138	23,0	198	83,0	258	143,0	318	-157,0
19	-96,0	79	-36,0	139	24,0	199	84,0	259	144,0	319	-156,0
20	-95,0	80	-35,0	140	25,0	200	85,0	260	145,0	320	-155,0
21	-94,0	81	-34,0	141	26,0	201	86,0	261	146,0	321	-154,0
22	-93,0	82	-33,0	142	27,0	202	87,0	262	147,0	322	-153,0
23	-92,0	83	-32,0	143	28,0	203	88,0	263	148,0	323	-152,0
24	-91,0	84	-31,0	144	29,0	204	89,0	264	149,0	324	-151,0
25	-90,0	85	-30,0	145	30,0	205	90,0	265	150,0	325	-150,0
26	-89,0	86	-29,0	146	31,0	206	91,0	266	151,0	326	-149,0
27	-88,0	87	-28,0	147	32,0	207	92,0	267	152,0	327	-148,0
28	-87,0	88	-27,0	148	33,0	208	93,0	268	153,0	328	-147,0
29	-86,0	89	-26,0	149	34,0	209	94,0	269	154,0	329	-146,0
30	-85,0	90	-25,0	150	35,0	210	95,0	270	155,0	330	-145,0
31	-84,0	91	-24,0	151	36,0	211	96,0	271	156,0	331	-144,0
32	-83,0	92	-23,0	152	37,0	212	97,0	272	157,0	332	-143,0
33	-82,0	93	-22,0	153	38,0	213	98,0	273	158,0	333	-142,0
34	-81,0	94	-21,0	154	39,0	214	99,0	274	159,0	334	-141,0
35	-80,0	95	-20,0	155	40,0	215	100,0	275	160,0	335	-140,0
36	-79,0	96	-19,0	156	41,0	216	101,0	276	161,0	336	-139,0
37	-78,0	97	-18,0	157	42,0	217	102,0	277	162,0	337	-138,0
38	-77,0	98	-17,0	158	43,0	218	103,0	278	163,0	338	-137,0
39	-76,0	99	-16,0	159	44,0	219	104,0	279	164,0	339	-136,0
40	-75,0	100	-15,0	160	45,0	220	105,0	280	165,0	340	-135,0
41	-74,0	101	-14,0	161	46,0	221	106,0	281	166,0	341	-134,0
42	-73,0	102	-13,0	162	47,0	222	107,0	282	167,0	342	-133,0
43	-72,0	103	-12,0	163	48,0	223	108,0	283	168,0	343	-132,0
44	-71,0	104	-11,0	164	49,0	224	109,0	284	169,0	344	-131,0
45	-70,0	105	-10,0	165	50,0	225	110,0	285	170,0	345	-130,0
46	-69,0	106	-9,0	166	51,0	226	111,0	286	171,0	346	-129,0
47	-68,0	107	-8,0	167	52,0	227	112,0	287	172,0	347	-128,0
48	-67,0	108	-7,0	168	53,0	228	113,0	288	173,0	348	-127,0
49	-66,0	109	-6,0	169	54,0	229	114,0	289	174,0	349	-126,0
50	-65,0	110	-5,0	170	55,0	230	115,0	290	175,0	350	-125,0
51	-64,0	111	-4,0	171	56,0	231	116,0	291	176,0	351	-124,0
52	-63,0	112	-3,0	172	57,0	232	117,0	292	177,0	352	-123,0
53	-62,0	113	-2,0	173	58,0	233	118,0	293	178,0	353	-122,0
54	-61,0	114	-1,0	174	59,0	234	119,0	294	179,0	354	-121,0
55	-60,0	115	0,0	175	60,0	235	120,0	295	180,0	355	-120,0
56	-59,0	116	1,0	176	61,0	236	121,0	296	-179,0	356	-119,0
57	-58,0	117	2,0	177	62,0	237	122,0	297	-178,0	357	-118,0
58	-57,0	118	3,0	178	63,0	238	123,0	298	-177,0	358	-117,0
59	-56,0	119	4,0	179	64,0	239	124,0	299	-176,0	359	-116,0
60	-55,0	120	5,0	180	65,0	240	125,0	300	-175,0	360	-115,0

İçinde bulunulan durumdan emniyetli biçimde çıkabilmek için önerilecek kaçış rotası (C_K), gemimizin manevra karakteristiklerine uygun ve pratikte uygulanabilir olmalıdır. Tek seferde kolaylıkla yapılabilecek rota değişimi her gemi için farklılık gösterebilir. Bu senaryo için bu değer ($Angel_{MAX}$) 60° olarak ele alınmıştır.



Şekil 4.13: Senaryo 2 için Yeni Rotaları ve Rota Değişimleri

Şekil 4.13'de dikey eksen ise belirtilen rotaya ulaşmak için rotadan ne kadar sapılması gerektiğini göstermektedir. Yeşil olan çizgi gerekli rota değişimini, turuncu olan hat ise geminin manevra karakteristikleri doğrultusunda yapılabilecek maksimum rota değişimini göstermektedir. Dolayısıyla yeşil çizginin üstünde ve turuncu çizginin altında kalan alan uygulanabilir rotaları temsil edecektir. Bu rotalar tablodan da anlaşılacağı gibi 055°-175° aralığındaki rotalar olmaktadır.

$$UR:\{055,056,.....,175\} \tag{4.68}$$

- ***4.1.2.5. Gemilerin Tehlike Sınıflarına Ayrılması***

Hedef gemiler için gerekli hesaplamalar yapıldıktan ve yeni rotalar kümeleri oluşturulduktan sonra gemilerin tehlike sınıflarına ayrılması ve ait oldukları sınıfa göre yeni rotalar arasından elemeler yapılması gerekir. Bu aşamada gemilerin tehlike durumları değerlendirilerek Mutlak Tehlike, Olası Tehlike veya Tehlikesiz Geçiş olarak sınıflandırılması gerekir. Senaryo için sınır değerler belirtilmiştir. Bu sınıflandırmaların yapılabilmesi için belirleyici değerler gemilere ait anlık *CPA*, *TCPA* ve kullanıcı tarafından belirlenecek CPA_{MUTLAK}, $CPA_{LİMİT}$ ve $TCPA_{LİMİT}$ değerleridir. Bu durumda gemilerin hesaplanan değerleri ve senaryo için önceden belirlenen sınırlar Tablo 4.18'deki gibidir.

Tablo 4.15: Senaryo 2'deki Gemilerin Tehlike Sınıflandırması

Mutlak Tehlikeli Gemiler (MTG)		**Olası Tehlikeli Gemiler (OTG)**		**Tehlikesiz Geçen Gemiler (TGG)**	
CPA ≤ 0,5 mil	*TCPA ≤ 30 dk*	*CPA ≤ 2 mil*	*TCPA ≤ 30 dk*	*2 mil < CPA*	
		TS1 CPA = 0,89 mil TCPA = 24 dk		**TS2** CPA = 4,30 mil TCPA = 40 dk **TS3** CPA = 1,33 mil TCPA = 23 dk	

Bölüm 3.2.7'de anlatıldığı üzere mutlak tehlike sayılabilmesi için geminin mevcut durumdaki *CPA* değerinin CPA_{MUTLAK}'tan küçük olması *TCPA* değerinin de $TCPA_{LİMİT}$'ten küçük olması gerekir. Senaryo 2'de bu şartı sağlayan herhangi bir hedef gemi bulunmadığı için MTG kümesi boş bırakılacaktır. Geçiş yapan gemilerin Olası Tehlikeli sayılabilmesi için ise *CPA* değerinin $CPA_{LİMİT}$'ten küçük olması, *TCPA* değerinin de $TCPA_{LİMİT}$'ten küçük olması gerekir. Bu şartlar değerlendirildiğinde ise TS1 Gemisinin sağladığı görülür. Yani TS1 gemisi Olası Tehlikeli Gemiler (OTG) kümesine dâhil edilir. Bu şartları sağlamayan gemilerin ise tehlikesiz geçiş yaptıkları kabul edilir. Yani TS2 ve TS3 gemileri Tehlikesiz Geçen Gemiler (TGG) kümesine alınır.

- ***4.1.2.6. ÇR ve OÇR Alt Kümelerin Oluşturulması ve Kaçış Rotası Seçimi***

- ***Çözüm Rotaları (ÇR) Alt Kümesi***

Bu aşamada bu zamana kadar oluşturulan Emniyetli Geçiş Rotaları, Tüzüğe Uygun Rotalar ve Uygulanabilir Rotalar alt kümelerinin kesişimleri ile her gemiye ait çözüm rotaları alt kümeleri oluşturulmalıdır. TS1 gemisi Olası Tehlikeli sınıfında olduğu için oluşturulan Çözüm Rotaları 1 (ÇR1) alt kümesi, Emniyetli Geçiş Rotaları 1 (EGR1), Tüzüğe Uygun Rotalar 1 (TUR1) ve Uygulanabilir Rotalar (UR) alt kümelerinin kesişim kümesinden meydana gelir. TS2 gemisi tehlikesiz geçiş yaptığı için tüzüğe uygunluk aranmaz ve oluşturulan Çözüm Rotaları 2 (ÇR2) alt kümesi, Emniyetli Geçiş Rotaları 2 (EGR2) ve Uygulanabilir Rotalar (UR) alt kümelerinin kesişim kümesinden meydana gelir. TS3 gemisi içinde yine tüzüğe uygunluk aranmaz ve oluşturulan Çözüm Rotaları 3 (ÇR3) alt kümesi ise Emniyetli Geçiş Rotaları 3 (EGR3) ve Uygulanabilir Rotalar (UR) alt kümelerinin kesişim kümesinden meydana gelir.

$$ÇR1=EGR1 \cap TUR1 \cap UR$$

$$ÇR1:\{118,119,.....,175\} \tag{4.69}$$

$$ÇR2=EGR2 \cap UR$$

$$ÇR2:\begin{Bmatrix}055,056,.....,080\\094,095,.....,175\end{Bmatrix} \tag{4.70}$$

$$ÇR3=EGR3 \cap UR$$

$$ÇR3:\begin{Bmatrix}055,056,.....,077\\111,112,.....,175\end{Bmatrix} \tag{4.71}$$

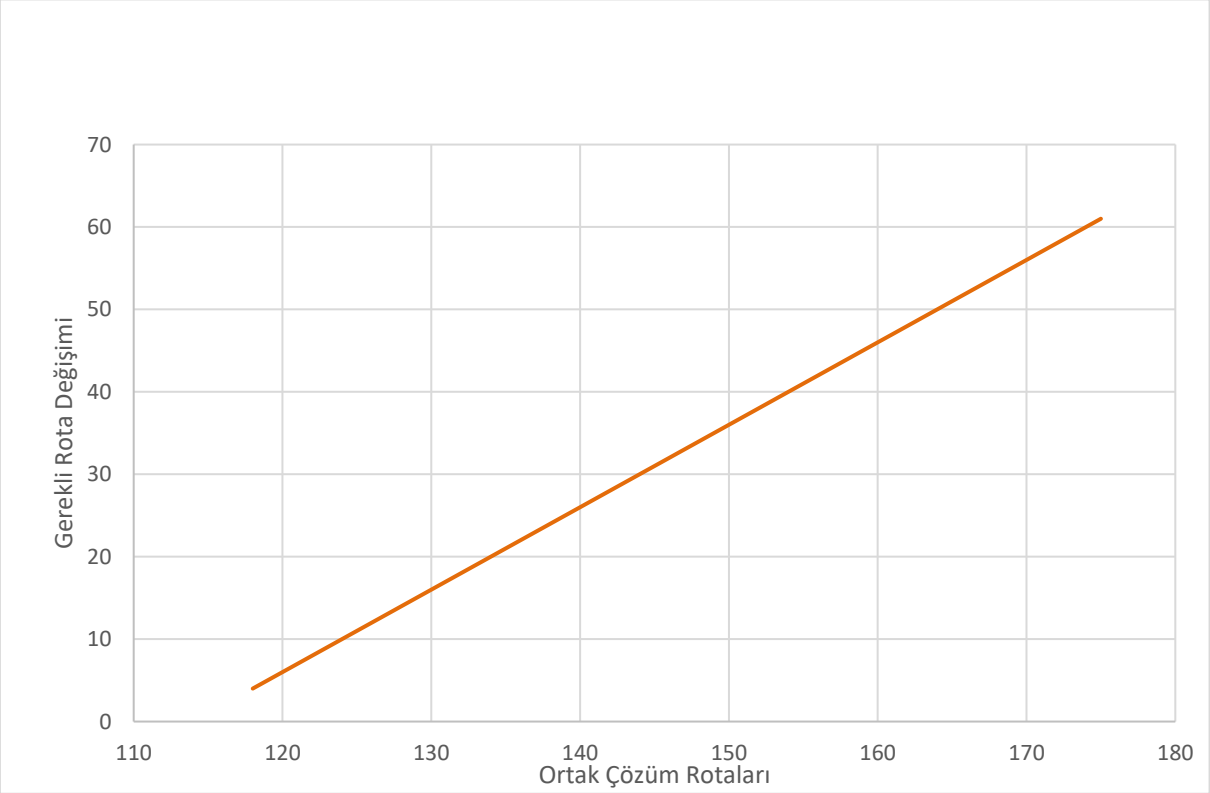
- ***Ortak Çözüm Rotaları (OÇR) Kümesinin Oluşturulması ve Kaçış Rotası (C_K) Seçimi***

Şimdiki aşamada bu zamana kadar her hedef gemi için oluşturulmuş çözüm rotalarını birleştirerek tüm gemilerden neta geçişi sağlayacak ortak çözüm rotaları bulunacaktır. Ortak Çözüm Rotası (OÇR) kümesi için senaryoda bulunan tüm gemiler için bulunan Çözüm Rotası (ÇR) kümelerinin kesişim kümesi alınmalıdır. Bu senaryoda iki gemi olduğu için ÇR1, ÇR2 ve ÇR3 kümeleri ile ortak çözümler hesaplanır.

$$OÇR = ÇR1 \cap ÇR2 \cap ÇR3$$

$$OÇR:\{118,119,.....,175\} \tag{4.72}$$

Burada (OÇR) kümesi içinde bulunan tüm rotalar mevcut durumda neta geçiş sağlayan rotalardır. Bu rotalar arasından en az rota değişimi gerektiren ise Kaçış Rotası (C_K) olarak seçilir. Tablo halinde ifade etmek gerekirse ortak çözüm rotaları kümesindeki elemanlar ve gerekli rota değişimleri aşağıdaki gibi olur.



Şekil 4.14: Senaryo 2 Ortak Çözüm Rotalarını ve Rota Değişimleri

Şekil 4.14'de yatay eksen OÇR kümesindeki rotaları, dikey eksen ise gerekli rota değişimini ifade etmektedir. Bu durumda grafikteki yeşil eğrinin en alt noktası Kaçış Rotası (CK) olur. Yani bu senaryo için denizde çatışmayı önleme algoritmasının önerdiği kaçış rotası CK=118° olur.

4.2. ALGORİTMA SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Denizde çatışmayı önlemek üzere oluşturulmuş olan algoritma, önceki başlıklarda detayları verilen iki farklı senaryo ile değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde algoritma basamaklarına uygun olarak önce gemilerin konum, rota ve hızlarına bağlı olarak hareket vektörleri, daha sonra bu vektörler arası ilişkiyi ortaya koyan CPA ve TCPA değerleri hesaplanmıştır. Bu ilişkiye bağlı olarak ise gemi geçişlerinin birbirleri için tehlike oluşturup oluşturmadığı ve eğer oluşturuyorsa, ne kadar tehlikeli olduğunun ayrımı yapılmıştır. Bu aşamaya kadar yapılan işlemler durum tespitine yöneliktir. Bundan sonra yapılanlar ise kaçış rotasının seçimi için gerekli işlemlerdir. Düzlem üzerinde bulunulan konumda izlenen rotadan sapılabilecek 360 yeni rota için kümeler oluşturulmuş ve bu kümelerin eleanları çeşitli kriterlere göre elemelere tabi tutulmuştur. Önce hedef gemiler ile emniyetli geçişi sağlayacak olan yeni rotalar bulunmuştur. Sonra hangi rotaların Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğünde belirtilen kurallara uygun olduğu belirlenmiştir. Daha sonra ise geminin manevra karakteristikleri doğrultusunda uygulanması mümkün olan rotalar belirlenmiştir. Bu kriterlerin tümünü, tüm gemiler için sağlayan yeni rotalar Ortak Çözüm Rotaları adlı yeni bir kümede gruplanmıştır. Bu küme içindeki tüm yeni rotalar gemimizin hem emniyetli hem de kurallara uygun geçişini mümkün kılmaktadır. Uygulama kolaylığı açısından en kolay olan yani ilk rota ile arasındaki fark en az olan ise Kaçış Rotası olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada örnek olay olarak alınan ilk senaryoda geminin iki hedef gemiyle aykırı geçişi söz konusudur. Hedef gemilerden ilki mutlak çatışma tehlikesi oluşturmakta diğeri ise ilk geminin daha ötesinde ve yaklaşık bir rotayla tehlikesiz geçiş yapmaktadır. Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü, Kural 15'e göre hedef gemiyi kendi sancağında gören teknenin diğerine yol vermesi beklenmektedir. Yani gemimizin, iki hedef geminin de yolundan çekilmesi istenmektedir. Fakat bu senaryoda bizim gemimiz (OS) ile ilk hedef gemi (TS1) arasındaki geçiş mutlak tehlikeli kategorisindedir. Belirlenen limitlerin altında kalan geçiş mesafesinden dolayı yine aynı tüzüğün 17. Kuralı gereği çatışmadan kaçınmak üzere gerekli görülen en iyi manevra yapılmalıdır. Bu sebeple kurallara uygun olma kriteri bu senaryo için değerlendirmeye alınmamıştır. Önce gemiler için yeni rotalara karşılık gelen CPA ve TCPA değerleri hesaplanarak emniyetli geçişi sağlayanlar gruplandırılmıştır. Daha sonra ise geminin manevra karakteristiğine göre ise mevcut durumda uygulaması mümkün olan rotalar gruplandırılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda her iki gemi için de hem emniyetli hem de uygulanabilir rotalar

belirlenmiştir. Belirlenen 74 adet çözüm rotası arasından en kolay uygulanabilecek olan 016° ise kaçış rotası olarak seçilmiştir.

Senaryo dahilinde bakıldığında algoritma tarafından önerilen 016° rotası uygulandığı takdirde gemimizin, hedef gemilerin kıç tarafından ilk gemi ile minimum mesafesi 5 gomina, ikinci gemi ile minimum mesafesi ise 2 mil olacak şekilde geçeceği görülmektedir. Bu geçiş mutlak çatışma rotasında ilerleyen ilk gemi ile çatışmanın önlenmesi adına tatmin edici bir mesafe anlamına gelmektedir. İlk rota olan 004° ile yeni rota olan 016° arasındaki ilişkiye bakıldığında ise rotanın sadece 12° sancağa alınması gerektiğini görürüz. Uygulanabilirlik açısından da herhangi bir problem oluşturmayan çözüm rotası, şart aranmamış olmasına rağmen, tüzükte belirtilen kurallara uygun şekilde hedef gemilerin kıç tarafından geçecek biçimdedir. Dolayısıyla algoritma tarafından hesaplanan ve önerilen çözüm rotasının içinde bulunulan yakın düşme durumunda tatmin edici sonuçlar verdiği söylenebilir.

İkinci senaryoda ise gemimizin, üç farklı hedef gemiyle karşılaştığı hayali bir senaryo ele alınmıştır. Bu senaryoda dört gemi bir çemrein çevresinden merkeze doğru galir gibi birbirlerine yaklaşmaktadır. Burada gemimiz, ilk hedef gemiyi (TS1) sancağında görecek şekilde aykırı geçiş yapmaktadır. İkinci hedef gemiyle (TS2) ise pruva pruvaya geçiş durumu söz konusudur. Üçüncü hedef gemiyi (TS3) ise iskele tarafında görecek şekilde aykırı geçiş söz konusudur. Buradda kural gereği gemimizin ilk ve ikinci hedef gemiye yol vermesi, üçüncü hedef geminin ise bizim gemimize yol vermesi gerekmektedir. Yine aynı şekilde gemilerin kendi arasında da benzer bir ilişki söz konusudur. Dolayısıyla kurallara uygun geçiş yapılması için tüm gemilerin rotasını emniyetli geçiş yapabilecek kadar sancağa alması gerekir. Senaryomuzda diğer gemilerin herhangi bir kural uygulamadan rotalarını korudukları varsayılmıştır. Fakat bahsigeçen karşılaşmada manevra yapsalar da herhangi bir değişim olmayacaktır. Algoritma akışı doğrultusunda öncelikle tüm gemiler için CPA ve TCPA hesaplanmış, geçişler tehlike durumlarına göre sınıflandırılmıştır. Burada ilk hedef geminin (TS1) olası tehlikeli geçiş, ikinci ve üçüncü hedef gemilerin (TS2 ve TS3) ise tehlikesiz geçiş yaptığı saptanmıştır. Buna göre önce tüm gemiler için emniyetli geçişi sağlayacak rotalar hesaplanmıştır. Sonra bu gemiler ile yapılacak geçiş için hangi rotaların tüzükte beliritlen geçiş kurallarına uygun olacağı yani sancağa dönüş olacağı belirlenmiştir. Sonra ise geminin manevra karakteristiği doğrultusunda uygulanabilir olan rotalar gruplandırılmıştır. Daha sonra ise oluşturulan emniyetli geçiş sağlayan, tüzüğe uygun ve uygulanabilir rotalardan ortak olanları

çözüm rotaları kümesi olarak ayrılmıştır. Çözüm rotaları kümesinde yer 58 farklı rotadan en kolay uygulanabilecek olan 118° ise kaçış rotası olarak seçilmiştir.

Senaryo şartlarına göre değerlendirildiğinde seçilen kaçış rotası 118° uygulandığı takdirde birinci hedef gemi (TS1) ile 1,1 mil, ikinci hedef gemi (TS2) ile 4,8 mil, üçüncü hedef gemi (TS3) ile ise 1,5 mil geçiş mesafesi sağlamaktadır. Bu değerler gemi için belirlenmiş limit değer olan 1 milin üzerinde olduğu için emniyetli kabul edilecektir. Uygulanabilirlik açısından değerlendirilirse ilk rota olan 115° ile algoritmanın önerdiği çözüm rotası olan 118° arasında 3° fark olduğu yani kolaylıkla uygulanabileceği görülür. Yapılan 3° değişim sancağa doğru olduğu için kural anlamında da tüzüğe uygunluk sağlanmış olur. Yani aykırı geçişten dolayı yol verme yükümlülüğü bulunan ilk hedef geminin kıç tarafından, pruva pruvaya geçiş için manevra yapılması gereken ikinci hedef geminin ise iskele tarafından geçecek şekilde sancağa manevra yapılmış olur.

Örnek olarak gösterilen iki senaryoda da algoritmanın önerdiği kaçış rotaları, denizde çatışmayı önlemeyi başarmış ve içinde bulunulan karşılaşma durumundan emniyetle çıkmayı sağlamıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Gelişen teknoloji ile dünya giderek değişmektedir. Bu değişim hayatımızın her alanını etkilediği gibi küresel deniz ticaretini de etkilemektedir. Yüzyıllardır süregelen değişim, sanayi devrimi sonrası hızlanmış olup günümüzde yapay zekâ ve otonomi gibi kavramlarla giderek insanların yerini dahi alabilecek teknolojilerle devam etmektedir.

Otonomi kavramı temel olarak insan beyni gibi değişen ve gelişen, tecrübe kazanan, üretilirken tanımlanmamış durumlarla karşılaştığında dahi zekice kararlar alabilen sistemleri niteler. Denizcilikte verilecek birtakım görevleri insanlardan daha iyi yapmayı vadeden otonom sistemler, sektör otoriteleri tarafından giderek daha fazla ilgi çekici hale geliyorlar. Dolayısıyla otonom sistemler üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri de büyük bir hızla ilerlemektedir. Bu doğrultuda uzmanlar önümüzdeki birkaç on yılda insansız gemileri okyanuslarda sıklıkla kullanacağımızı öngörmektedirler.

Otonom gemilerin hayatımıza girişi için birkaç seviyeden oluşan sıralı bir ilerleyiş genel kabul görmektedir. Bu ilerleyiş tarihte gördüğümüz tamamen insan kontrolündeki geleneksel gemilerle başlamış, bugün kullandığımız elektronik seyir yardımcılarıyla donatılmış, vardiyasız makine daireleri olan seviyelere ulaşmıştır. Bundan sonraki adımlarda ise vardiyasız köprüüstü, uzaktan kontrollü gemiler ve nihayetinde otonom gemilerle devam edecektir.

Otonom gemi sistemleri genel anlamda sensör donanımları, iletişim donanımları ve kontrol sistemleri olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlardan en çok gelişime ihtiyaç duyulan alan ise kontrol sistemleridir. Gemiler çok sayıda işin aynı zamanda yapıldığı, çok karmaşık yapılardır. Tamamen otonom yapı sağlanabilmesi için bu karmaşık yapıyı oluşturan her ayrıntının ayrı ayrı tasarlanması gerekir. Bir geminin tam otonom olması için önce otonom rota izleme, otonom çatışmayı önleme, otonom yanaşma kalkış manevrası gibi sistemlerinin olması gerekir. Konu üzerine yürütülen çalışmalarda da çoğunlukla hem bu tip alt sistemlerin tasarımları hem de genel veri akış şemaları üzerine araştırmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada otonom gemi seyri anlaşılabilmesi adına temel kavramlar açıklanmış, otonom gemilerin temel yapılarından bahsedilmiş, otonom gemiler üzerine teknoloji, emniyet ve yasal mevzuat konularını içeren bir bakış sunulmuş ve yürütülen bazı çalışmaların genel hatları ele alınmıştır. Otonom gemiler üzerine yapılmış, özellikle bu teze benzer konuları ele alan

çalışmaları kapsayan bir literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra yönetsel insanın düşünce biçimini ele alan sınırlı rasyonel karar modeli doğrultusunda denizde çatışmayı önleme algoritması ortaya koyulmuştur. Köprüüstündeki zabitin yakın düşme tehlikesindeki düşünce yapısını örnek alan bu algoritmayla hem gemilerin emniyetli geçişini hem de denizde çatışmayı önleme tüzüğünde belirtilen uluslararası kuralları hem de geminin manevra kabiliyetini göz önünde bulundurarak yakın düşme veya çatışma durumunu önlemeye yönelik kaçış rotası önerisinde bulunan bir karar destek sistemi hedeflenmiştir. Daha sonra ortaya koyulan bu algoritma biri yaşanmış bir kaza olmak üzere iki farklı senaryo ile sınanmıştır. Yapılan sınamalar sonucunda algoritmanın önerdiği rotalar çatışmayı önleme konusunda tatmin edici sonuçlar vermektedir.

Gelişen teknoloji ile denizcilik sektörünün büyük değişimler geçireceğine kesin gözüyle bakılmaktadır. Otonom gemilere doğru ilerleyen bu yolda değişimin gerisinde kalmamak için değişimin parçası olmak gerekir. Gelecek on yıllarda Türk ve Dünya denizciliğinin parçası olmak için ise şu anda harekete geçilmelidir. Teknolojiler kadar otonom gemiler ile yapılacak ticaretin kuralları da bugün şekillenmektedir. Türk denizciliğinin geleceği adına bugünün denizcileri bu bilince sahip yetişmelidir. Denizcilik ve bilişim ayrı disiplinler olarak düşünülmemeli, Türkiye'de de otonom sistemler araştırılması ve geliştirilmesi için çalışmalara ağırlık verilmelidir.

KAYNAKLAR

Anameriç, H. (2005) 'Yönetim Bilgi Sistemlerinin Yönetim Fonksiyonları Üzerine Etkisi', *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 452, pp. 25–43. Available at: http://dtcfdergisi.ankara.edu.tr/index.php/dtcf/article/download/1192/1060.

Bertram, V. (2013) 'Towards Unmanned Ships', pp. 1–52.

Blaich, M. *vd.* (2012) 'Fast grid based collision avoidance for vessels using A* search algorithm', *2012 17th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, MMAR 2012*, pp. 385–390. doi: 10.1109/MMAR.2012.6347858.

Blanke, M., Henriques, M. ve Bang, J. (2017) 'A pre-analysis on autonomous ships', pp. 1–27.

Bureau Veritas (2017) 'Guidelines for Autonomous Shipping', 33(December). Available at: http://www.bureauveritas.jp/news/pdf/641-NI_2017-12.pdf.

Burmeister, H.-C. (2016) 'Autonomous Navigation Results from the MUNIN Testbed', in *Autonomous Ship Technology Symposium*. Amsterdam: Fraunhofer CML. doi: 10.1007/978-3-319-17885-1_100094.

Buzancic Primorac, B. ve Parunov, J. (2016) 'Review of statistical data on ship accidents', *Maritime Technology and Engineering 3*, (3 – Guedes Soares & Santos (Eds)), pp. 809–814. Available at: https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1468312217-0-ch094.pdf.

Campbell, S. ve Naeem, W. (2012) *A rule-based heuristic method for COLREGS-compliant collision avoidance for an unmanned surface vehicle, IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*. IFAC. doi: 10.3182/20120919-3-IT-2046.00066.

Campbell, S., Naeem, W. ve Irwin, G. W. (2012) 'A review on improving the autonomy of unmanned surface vehicles through intelligent collision avoidance manoeuvres', *Annual Reviews in Control*. Elsevier Ltd, 36(2), pp. 267–283. doi: 10.1016/j.arcontrol.2012.09.008.

Chiang, H.-T. L. ve Tapia, L. (2018) 'COLREG-RRT : A RRT-based COLREGS-Compliant Motion Planner for Surface Vehicle Navigation', *Ieee Robotics and Automation Letters*, 3(3), pp. 2024–2031. doi: 10.1109/LRA.2018.2801881.

Çil, İ. (2013) *Karar Teorisi ve Analizi*.

Cordon, J. R., Mestre, J. M. ve Walliser, J. (2015) 'Human factor: the key element of maritime accidents', in *Human factor: the key element of maritime accidents*. doi: 10.13140/RG.2.1.2435.1769.

David, M. (2017) *World's First Autonomous Ship to Launch in 2018, fortune.com*. Available at: http://fortune.com/2017/07/22/first-autonomous-ship-yara-birkeland/ (Accessed: 28 April 2019).

'Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü' (1977) in *Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü*. 4th edn. IMEAK Deniz Ticaret Odası. Available at:

http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/2.5.714561.pdf.

Elkins, L., Sellers, D. ve Monach, W. R. (2010) 'The Autonomous Maritime Navigation (AMN) Project: Field Tests, Autonomous and Cooperative Behaviors, Data Fusion, Sensors, and Vehicles', *Journal of Field Robotics*, 27(6), pp. 790–818. doi: 10.1002/rob.

Final, M. ve June, E. (2015) 'Legal framework for unmanned vessels', (314286). Available at: http://www.unmanned-ship.org.

Gürses, B. (2013) *E-Seyir, E-Seyrin Bileşenleri ve Ülkemizdeki E-Seyir Kullanıcı İhtiyaçlarının Belirlenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.

He, Y. *vd.* (2017) 'Quantitative analysis of COLREG rules and seamanship for autonomous collision avoidance at open sea', *Ocean Engineering*. Elsevier Ltd, 140(April), pp. 281–291. doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.05.029.

IMO (2018) 'IMO takes first steps to address autonomous ships', 2, pp. 99–100. Available at: http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/08-MSC-99-MASS-scoping.aspx.

İnce, S. T. (2012) *GEMİ ÇARPIŞMASININ NÜMERİK YÖNTEMLERLE ANALİZİ VE SİMÜLASYONU*. Yıldız Teknik Üniversitesi.

International Maritime Organization (2018) *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs)*. Available at: http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/COLREG.aspx.

Jalón-Monzón, A. *vd.* (2018) '360-Degree Visual Detection and Target Tracking on an Autonomous Surface Vehicle', *Archivos Espanoles de Urologia*, 71(5), pp. 486–494. doi: 10.1002/rob.

Jassal, R. (2016) *Marine radar: How best to set up to have it plot perfect targets on screen*. Available at: https://www.myseatime.com/blog/detail/marine-radar-how-best-to-set-up-to-have-a-perfect-targets-on-screen (Accessed: 25 April 2019).

Johansen, T. A., Cristofaro, A. ve Perez, T. (2016) 'Ship Collision Avoidance Using Scenario-Based Model Predictive Control**This work was supported by the Research Council of Norway, Statoil, DNV GL and Sintef through the Centers of Excellence funding scheme, Project number 223254 - Centre for Autonomous M', *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier B.V., 49(23), pp. 14–21. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.10.315.

Jokioinen, E. (2016) 'AAWA Position Paper: Remote and Autonomous Ships - The next steps', pp. 3–14. Available at: http://www.rolls-royce.com/~/media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf.

Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu (2012) *M/F ANKARA ile M/V REINA 1 Gemilerinin Çatışmasına İlişkin Deniz Kazası İnceleme Raporu*.

Kim, D.-G., Jeong, J.-S. ve Park, G.-K. (2011) 'A Study on Ship Collision Avoidance Algorithm by COLREG', *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, 21(3), pp. 290–295. doi: 10.5391/jkiis.2011.21.3.290.

Komianos, A. (2018) 'The Autonomous Shipping Era. Operational, Regulatory, and Quality Challenges', *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 12(2), pp. 335–348. doi: 10.12716/1001.12.02.15.

Larson, J. *vd.* (2007) 'Advances in Autonomous Obstacle Avoidance for Unmanned Surface Vehicles', *AUVSI Unmanned Systems North America*, pp. 1–15. doi: 10.1117/12.663798.

Levander, O., Innovation, V. P. ve Marine, R. (2016) 'Towards autonomous ships'.

Lie, R. ve Hoff, J. E. (2018) *KONGSBERG HAS ENTERED INTO AGREEMENT TO ACQUIRE ROLLS-ROYCE COMMERCIAL MARINE*, *Kongsberg*. Available at: https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2018/kongsberg-has-entered-into-agreement-to-acquire-rolls-royce-commercial-marine/ (Accessed: 4 May 2019).

Liu, Z. *vd.* (2016) 'Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges', *Annual Reviews in Control*. Elsevier Ltd, 41, pp. 71–93. doi: 10.1016/j.arcontrol.2016.04.018.

Mou, J. M., Tak, C. van der ve Ligteringen, H. (2010) 'Study on collision avoidance in busy waterways by using AIS data', *Ocean Engineering*. Elsevier, 37(5–6), pp. 483–490. doi: 10.1016/j.oceaneng.2010.01.012.

MUNIN (2016a) *Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks*. Available at: http://www.unmanned-ship.org/munin/ (Accessed: 4 May 2019).

MUNIN (2016b) 'Research in maritime autonomous systems project results and technology potentials', p. 12. Available at: http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2016/02/MUNIN-final-brochure.pdf.

MUNIN (2016c) *The Autonomous Ship*. Available at: http://www.unmanned-ship.org/munin/about/the-autonomus-ship/ (Accessed: 1 March 2019).

Naeem, W., Irwin, G. W. ve Yang, A. (2012) 'COLREGs-based collision avoidance strategies for unmanned surface vehicles', *Mechatronics*. Elsevier Ltd, 22(6), pp. 669–678. doi: 10.1016/j.mechatronics.2011.09.012.

Öhland, S. ve Stenman, A. (2017) 'Interaction Between Unmanned Vessels and COLREGS'. Available at: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/125252/Ohland_Sebastian-Stenman_Axel.pdf?sequence=1.

Perera, L. P. *vd.* (2012) *A navigation and control platform for real-time manoeuvring of autonomous ship models, IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*. IFAC. doi: 10.3182/20120919-3-IT-2046.00079.

Perera, L. P. *vd.* (2015) 'Experimental Evaluations on Ship Autonomous Navigation and Collision Avoidance by Intelligent Guidance', *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. IEEE, 40(2), pp. 374–387. doi: 10.1109/JOE.2014.2304793.

Perera, L. P. (2018) 'Autonomous Ship Navigation Under Deep Learning and the Challenges in COLREGs', in *Volume 11B: Honoring Symposium for Professor Carlos Guedes Soares on*

Marine Technology and Ocean Engineering. UiT The Arctic University of Norway. doi: 10.1115/OMAE2018-77672.

Perera, L. P., Carvalho, J. P. ve Guedes Soares, C. (2011) 'Fuzzy logic based decision making system for collision avoidance of ocean navigation under critical collision conditions', *Journal of Marine Science and Technology*, 16(1), pp. 84–99. doi: 10.1007/s00773-010-0106-x.

Prasad, D. K. *vd.* (2017) 'Maritime situational awareness using adaptive multi-sensor management under hazy conditions', p. 11. doi: ffff.

Rolls-Royce (2016) 'Autonomous ships: The next step', *Ship Intelligence Marine*, (Autonomous ships, The next step), p. 7. Available at: http://www.rolls-royce.com/~/media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/rr-ship-intel-aawa-8pg.pdf.

Rylander, R., Swedish, V. ve Man, Y. (2016) 'Autonomous safety on vessels', *Swedish Maritime Competence Centre, Lighthouse Reports*. Available at: https://www.lighthouse.nu/sites/www.lighthouse.nu/files/attachments/autonomous_safety_on_vessels_-_webb.pdf.

Simon, H. A. (1955) 'A Behavioral Model of Rational Choice', *Quarterly Journal of Economics*, pp. 99–118.

Skredderberget, A. (2018) *The first ever zero emission, autonomous ship, Knowledge Grows*. Available at: https://www.yara.com/knowledge-grows/game-changer-for-the-environment/%0AThe (Accessed: 28 April 2019).

Statheros, T., Howells, G. ve McDonald-Maier, K. (2008) 'Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques', *Journal of Navigation*, 61(1), pp. 129–142. doi: 10.1017/S037346330700447X.

Sügen, Y. (2007) *Yeni Kaptanın Kılavuzu*. Akademi Denizcilik.

T.C. Resmi Gazete (1978) 'TBMM Bakanlar Kurulu', pp. 5–50. Available at: http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/16273.pdf.

Topçu, O. (2015) 'Intelligent Autonomous Systems (Akıllı Otonom Sistemler)', (June).

Tozlu, A. (2016) 'Karar Verme Yaklaşımları Üzerinde Herbert Simon Hegemonyası', *Sayıştay Dergisi*, 102, pp. 27–45.

TTK (2012) 'Türk Ticaret Kanunu [6102]', in *Deniz Ticareti*.

Tunçay, S. (2003) *Düzlem ve Elektronik Seyir Kitabı*. Yalova: Deniz Harp Okulu Komutanlığı.

Tvete, H. A. (2014) 'the Next Revolt', *DNV-GL Magazine Maritime Impact*, (2), pp. 18–23. Available at: https://www.dnvgl.com/publications/maritime-impact-02-2014-11807.

Tvete, H. A. (2015) *Unmanned Vessels – the DNV GL ReVolt Project*. Berlin.

US NOAA (2019) *Hydrographic Surveying, National Ocean Service*. Available at:

https://oceanservice.noaa.gov/navigation/hydro/ (Accessed: 25 April 2019).

Vagushchenko, L. L., Vagushchenko, A. L. ve Aleksishin, A. V (2012) 'THE CRITERION OF EFFECTIVENESS OF ANTI-COLLISION MANOEUVRES'.

Wikipedia (2017) *RADAR*, *Vikipedi Özgür Ansiklopedi*. Available at: https://tr.wikipedia.org/wiki/Radar (Accessed: 25 April 2019).

Wikipedia (2018a) *MV Yara Birkeland*, *Vikipedi Özgür Ansiklopedi*. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=MV_Yara_Birkeland (Accessed: 28 April 2019).

Wikipedia (2018b) *SONAR*, *Vikipedi Özgür Ansiklopedi*. Available at: https://tr.wikipedia.org/wiki/Sonar (Accessed: 25 April 2019).

Wikipedia (2019) *Sensör*, *Vikipedi Özgür Ansiklopedi*. Available at: https://tr.wikipedia.org/wiki/Sensör (Accessed: 25 April 2019).

Willumsen, T. (2018) 'A legal reality check for autonomous shipping in 2018', pp. 1–7. Available at: http://www.seatrade-maritime.com/news/asia/a-reality-check-for-autonomous-shipping-in-2018.html.

World Maritime News (2017) *Norway Provides Grant for Construction of Yara Birkeland*. Available at: https://worldmaritimenews.com/archives/231229/norway-provides-grant-for-construction-of-yara-birkeland/ (Accessed: 28 April 2019).

Yarkın, D. Ş., Baylan, S. B. ve Yarkın, D. B. (2004) *Yorum ve Açıklamalarıyla Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü*.

Yüksel, G. K. *vd.* (2016) 'Optik Görüntülerden Çıkarılan Silüetler Sayesinde Gemi Tanıması ve Sınıflandırması Ship Recognition and Classification Using Silhouettes Extracted From Optical Images', pp. 2–5.

Zhao, Y., Li, W. ve Shi, P. (2016) 'A Real-Time Collision Avoidance Learning System for Unmanned Surface Vessels', *Neurocomputing*. Elsevier, 182, pp. 255–266. doi: 10.1016/j.neucom.2015.12.028.

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Mehmet Ali BAHÇE
Doğum Yeri	Fatih / İSTANBUL
Doğum Tarihi	04.06.1991
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0544 244 33 88
E-Posta Adresi	mehmetali_bahce@yahoo.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	01.07.2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği
Programı	Tezli Yüksek Lisans Programı

Makale ve Bildiriler

- Ticari Gemilerde Kullanılan Kontrol Sistemleri Üzerine Bir İnceleme (Yayın Yeri: International Conference On Innovative Engineering Applications , 2018)
- Deniz Taşımacılığında Yenilenebilir Enerji Kullanımı (Yayın Yeri: International Engineering And Natural Sciences Conference (IENSC) , 2018)
- Marmara Adası'nın Denizyolu Taşımacılığındaki Önemi ve Ekonomik Potansiyeli (Yayın Yeri: Uluslararası Bandırma ve Çevresi Sempozyumu UBS'18 , 2018)
- 2017 Yılındaki Olumsuz Hava Koşullarının Bandırma Limanı ve Gemi Trafiğine Etkisi (Yayın Yeri: Uluslararası Bandırma ve Çevresi Sempozyumu UBS'18 , 2018)