**T.C.**
**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**
**DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**
**DENİZCİLİKTE EMNİYET, GÜVENLİK VE ÇEVRE YÖNETİMİ**
**PROGRAMI**
**DOKTORA TEZİ**

# DENİZDE ÇATIŞMADAN KAÇINMA ROTASI PLANLAMA VE OPTİMİZASYONU

**Remzi FIŞKIN**

**Danışman**
**Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ATİK**

**İZMİR - 2019**

**DOKTORA**
**TEZ ONAY SAYFASI**

| | |
|---|---|
| **Üniversite** | : Dokuz Eylül Üniversitesi |
| **Enstitü** | : Sosyal Bilimler Enstitüsü |
| **Adı ve Soyadı** | : REMZİ FIŞKIN |
| **Öğrenci No** | : 2013800814 |
| **Tez Başlığı** | : Denizde Çatışmadan Kaçınma Rotası Planlama ve Optimizasyonu |

**Savunma Tarihi** : 22/07/2019

**Danışmanı** : Dr.Öğr.Üyesi Oğuz ATİK

**JÜRİ ÜYELERİ**

| **Ünvanı, Adı, Soyadı** | **Üniversitesi** | **İmza** |
|---|---|---|
| Dr.Öğr.Üyesi Oğuz ATİK | -Dokuz Eylül Üniversitesi | ..... |
| Prof.Dr.Selçuk NAS | -Dokuz Eylül Üniversitesi | ..... |
| Prof.Dr.Efendi NASİBOĞLU | -Dokuz Eylül Üniversitesi | ..... |
| Doç.Dr.Alper KILIÇ | - Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi | ..... |
| Doç.Dr.Faik Ozan DÜZBASTILAR | -Ege Üniversitesi | ..... |

REMZİ FIŞKIN tarafından hazırlanmış ve sunulmuş olan bu tez savunmada başarılı bulunarak oy birliği(✓) / oy çokluğu( ) ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr. Metin ARIKAN**
**Müdür**

## YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum "Denizde Çatışmadan Kaçınma Rotası Planlama ve Optimizasyonu" adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

..../..../.....

Remzi FIŞKIN

# ÖZET

**Doktora Tezi**

**Denizde Çatışmadan Kaçınma Rotası Planlama ve Optimizasyonu**

**Remzi FIŞKIN**

**Dokuz Eylül Üniversitesi**

**Sosyal Bilimler Enstitüsü**

**Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Denizcilikte Emniyet, Güvenlik ve Çevre Yönetimi Programı**

**Küresel ticaretin gelişimi ile birlikte denizyolu taşımacılığına olan talebe bağlı olarak ulusal ve uluslararası seyir rotaları giderek yoğunlaşmaktadır. Bu durum gemilerin çatışma riskinin artmasına neden olmaktadır. Denizde çatışma genellikle, manevra zamanlaması hataları, çatışma riski değerlendirme hataları ve çatışmadan kaçınma için gerekli olan stratejilerde eksiklikler gibi insan hatası kaynaklı nedenlerden dolayı meydana gelmektedir. İnsan kaynaklı bu hatalar seyir emniyetinin sağlanmasında otomasyon ve karar destek sistemlerinin önemini ortaya çıkarmaktadır. Buradan hareketle bu araştırma kapsamında, denizde çatışma riski içeren karşılaşma durumlarında çatışmadan kaçınma hareketinin uygulanmasında seyir zabitine referans olabilecek bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.**

**Bu araştırmada, denizde çatışma riski olduğu varsayılan durumlarda uluslararası denizde çatışmayı önleme kurallarına göre yol vermesi gereken geminin çatışmadan kaçınma hareketinin planlanması ve optimizasyonu hedeflenmiştir. Diğer taraftan, gemilerde genellikle tecrübe ve yetkinliğe dayalı olarak subjektif bir şekilde icra edilen çatışmadan kaçınma hareketini bir karar destek sistemi vasıtasıyla yöneterek bu hareket için kat edilen mesafenin minimize edilmesi amaçlanmıştır.**

**Araştırma sürecinde nitel ve nicel yöntemler birlikte kullanılmıştır. Nitel araştırma sürecinde görüşme yöntemi ile uzmanlardan elde edilen bulgular neticesinde, problem çözümü için oluşturulan matematiksel modelde yer alan değişken kısıtları ve senaryo testlerinin girdileri belirlenmiştir. Nicel araştırma**

**sürecinde ise Genetik Algoritma ve Bulanık Mantık yaklaşımları ile oluşturulmuş çözüm algoritması (*ColAv_GA*) ile problem çözümüne ulaşılmıştır. Geliştirilen algoritma otonom su üstü aracı (ASV) ile gerçek ortamda, köprüüstü seyir simülatörü ile sanal ortamda test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.**

**Bu araştırma kapsamında elde edilen çıktının seyir emniyetinin artmasına ve seyir maliyetlerinin azalmasına katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan oluşturulan algoritmanın otonom gemiler ve insansız su üstü araçları için çatışmadan kaçınma alt modülü olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.**

**Anahtar Kelimeler: Genetik Algoritma, Bulanık Mantık, Çatışmadan Kaçınma, Gemi, Optimizasyon.**

**ABSTRACT**

**Doctoral Thesis**

**Doctor of Philosophy (PhD)**

**Route Planning and Optimization for Maritime Collision Avoidance**

**Remzi FIŞKIN**

**Dokuz Eylül University**

**Graduate School of Social Sciences**

**Department of Marine Transportation Engineering**

**Maritime Safety, Security and Environmental Management Program**

**National and international sea routes are increasingly becoming busier with the development of global trade parallel to the demand for maritime transportation. These developments increase the risk of collision at sea. Collisions are frequently caused by human error such as maneuver timing mistakes, risk assessment failures and deficiencies in strategies for collision avoidance. These human related factors reveal the importance of the automation and decision support systems in providing safety of navigation. Thus, a decision support system has been developed in this study that can be reference to the ship operators in the implementation of the collision avoidance action in case of encountering a situation involving collision risk at sea.**

**This study aims to create a system to assist a navigator for planning the collision avoidance route of a give way vessel in accordance with the international regulations for preventing collision at sea. The study also aims to minimize the distance of the altered course to avoid collision, usually subjectively conducted based on personal experience and competence, by managing the process through a decision support system.**

**Qualitative and quantitative methods have been used in the study. In the qualitative research process, the variable constraints in the mathematical model of the solution algorithm and the inputs of the experimental tests have been determined based on the findings obtained from experts through interviews. In the quantitative research process of the study, the problem solution has been**

**reached with the developed solution algorithm *(ColAv_GA)* which has been formed by the Genetic Algorithm and Fuzzy Logic. The developed algorithm has been tested in virtual environment with bridge simulator and in real environment with autonomous surface vehicle (ASV) with satisfactory results.**

**The output of this research is expected to contribute the safety of navigation and decrease the navigation costs. The developed algorithm can be used as a collision avoidance sub-module for autonomous ships and unmanned surface vehicles.**

**Keywords: Genetic Algorithm, Fuzzy Logic, Collision Avoidance, Ship, Optimization.**

**DENİZDE ÇATIŞMADAN KAÇINMA ROTASI PLANLAMA VE OPTİMİZASYONU**

## İÇİNDEKİLER


TEZ ONAY SAYFASI ii
YEMİN METNİ iii
ÖZET iv
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMALAR xiv
TABLOLAR LİSTESİ xix
ŞEKİLLER LİSTESİ xxi
EKLER LİSTESİ xxvi

GİRİŞ 1

**BİRİNCİ BÖLÜM**
**OPTİMİZASYON, GENETİK ALGORİTMA VE BULANIK MANTIK**

1.1. OPTİMİZASYON KAVRAMI 4
1.1.1. Optimizasyonun Kısa Tarihçesi 4
1.1.2. Optimizasyon Problemlerinin Bileşenleri ve Karmaşıklığı 6
1.1.3. Optimizasyon Problemlerinin Türleri 8
1.1.4. Optimizasyon Algoritmalarının Sınıflandırılması 12
1.1.5. Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri 13
1.1.5.1. Öncelik Kuralına Dayalı Sezgisel Yöntemler 15
1.1.5.2. Çok Çözüm Türeten Sezgisel Yöntemler 16
1.1.6. Metasezgisel Optimizasyon Yöntemleri 16
1.1.6.1. Metasezgisellerin Kısa Tarihçesi 18
1.1.6.2. Metasezgisel Yöntemlerin Stratejileri ve Özellikleri 21
1.1.6.3. Metasezgisel Yöntemlerin Sınıflandırılması 22

1.2. GENETİK ALGORİTMA (GA) 23
1.2.1. Genetik Algoritmanın Tanımı ve Tarihsel Gelişimi 24
1.2.2. Genetik Algoritmanın Temel Kavramları 25
1.2.2.1. Gen 25
1.2.2.2. Kromozom (Birey) 26
1.2.2.3. Popülasyon 28
1.2.2.4. Uygunluk Değeri ve Uygunluk Fonksiyonu 29
1.2.3. Genetik Operatörler 29
1.2.3.1. Seçim 29
1.2.3.2. Çaprazlama 32
1.2.3.3. Mutasyon 34
1.2.4. Genetik Algoritmanın Çalışma Prensibi 35
1.2.5. Genetik Algoritmanın Avantajları ve Dezavantajları 37
1.2.6. Genetik Algoritmanın Diğer Yöntemlerden Farkı 39
1.2.7. Genetik Algoritmanın Performansını Etkileyen Faktörler 39
1.2.8. Genetik Algoritma ile Basit Bir Fonksiyon Optimizasyonu 40
1.3. BULANIK MANTIK 43
1.3.1. Bulanık Mantık Kavramı ve Kısa Tarihçesi 43
1.3.2. Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları 46
1.3.3. Bulanık Küme Teorisi 47
1.3.4. Bulanık Kural Tabanı 48
1.3.5. Üyelik Fonksiyonu Tipleri 49
1.3.6. Bulanık Çıkarım Sistemi (FIS) 52
1.3.6.1. Bulanık Çıkarım Sistemi Yapısı ve Çalışma Prensibi 52
1.3.6.2. Bulanık Çıkarım Sistemi Yöntemleri 56
1.3.6.2.1. Mamdani-Tip Bulanık Çıkarım Yöntemi 57
1.3.6.2.2. Sugeno-Tip Bulanık Çıkarım Yöntemi 58
1.3.6.2.3. Tsukamoto-Tip Bulanık Çıkarım Yöntemi 60
1.3.6.2.4. Mamdani ve Sugeno Yöntemlerinin Karşılaştırılması 60

## İKİNCİ BÖLÜM
## GEMİ MANEVRASINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE DENİZ KAZALARI


2.1 GEMİ MANEVRASINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER 62
2.1.1. Doğrudan Kumanda Edilebilen Faktörler 63
2.1.1.1. Ana Makine 64
2.1.1.2. Pervane ve Dümen Donanımı 66
2.1.1.3. Baş ve Kıç İterler 74
2.1.1.4. Römorkörler 75
2.1.1.5. Doğrudan Kumanda Edilebilen Diğer Faktörler 76
2.1.2. Dolaylı Kumanda Edilebilen Faktörler 77
2.1.2.1. Dönme Çemberi 77
2.1.2.2. Eylemsizlik (Süredurum) ve Momentum (Devinirlik) 79
2.1.2.3. Pivot Noktası (Dönüş Ekseni) 79
2.1.2.4. Dolaylı Kumanda Edilebilen Diğer Faktörler 80
2.1.3. Kumanda Edilemeyen Faktörler 81
2.1.3.1. Rüzgâr ve Akıntı Etkisi 82
2.1.3.2. Sığ Su Etkisi 86
2.1.3.3. Dar Su Etkisi 87
2.1.3.4. Gemilerin Karşılıklı Etkileşimi 89
2.2. DENİZ KAZALARI 91
2.2.1. Deniz Kazası Kavramı 93
2.2.2. Deniz Kazası Türleri 94
2.2.3. Deniz Kazalarının Sebepleri 97
2.2.3.1. İnsan Faktörü 97
2.2.3.2. Çevresel Faktörler 99
2.2.3.3. Teknik Hatalar ve Donanım Sorunları 100
2.2.3.4. Diğer Faktörler 100

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
## DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEMEDE YARDIMCI SİSTEMLER, HİZMETLER VE DÜZENLEMELER


3.1. DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEMEDE YARDIMCI SİSTEMLER 101
3.1.1. Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS) 101
3.1.2. Elektronik Harita Gösterim ve Bilgi Sistemi (ECDIS) 105
3.1.3. Otomatik Radar Plotlama Aygıtı (ARPA Radar) 108
3.1.4. Diğer Seyir Yardımcıları 111
3.2. DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEMEDE YARDIMCI HİZMETLER VE DÜZENLEMELER 114
3.2.1. Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmetleri 114
3.2.2. Gemi Trafik Hizmetleri (VTS) 116
3.2.3. Uluslararası Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (COLREG 72) 118


## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
## GENETİK ALGORİTMA VE BULANIK MANTIK TEMELLİ DENİZDE ÇATIŞMADAN KAÇINMA ROTASI OPTİMİZASYONU


4.1. ARAŞTIRMANIN MOTİVASYONU 121
4.2. ARAŞTIRMANIN AMACI 121
4.3. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ 122
4.4. ARAŞTIRMANIN ÖZGÜN DEĞERİ 123
4.5. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ 124
4.5.1. Literatür Taraması 124
4.5.1.1. Deterministik (Belirlenimci) Yaklaşım 127
4.5.1.2. Yapay Zekâ Yaklaşımı 129
4.5.1.2.1. Bulanık Mantık 131
4.5.1.2.2. Sezgisel ve Metasezgisel Yaklaşım 132
4.5.1.2.3. Yapay Sinir Ağları 134
4.5.1.3. Hibrit (Melez) Yaklaşım 135
4.5.1.4. Simülasyon Yaklaşımı 137

4.5.2. Araştırmanın Kavramsal Modeli 139
4.5.3. Araştırmanın Süreci 140
4.5.4. Nitel Araştırma Süreci 144
4.5.4.1. Araştırmanın Kısıtları 145
4.5.4.2. Örneklemin Belirlenmesi 146
4.5.4.3. Veri Toplama Yöntemi 148
4.5.4.4. Nitel Araştırmanın Geçerlik ve Güvenirliği 149
4.5.4.5. Nitel Verileri Analiz Yöntemi 150
4.5.4.6. Araştırma Soruları 152
4.5.4.7. Bulgular 153
4.5.5. Nicel Araştırma Süreci 159
4.5.5.1. Problem Tanımı 160
4.5.5.2. Algoritma Yapısı 162
4.5.5.2.1. Matematiksel Model 162
4.5.5.2.1.1. Amaç Fonksiyonu Modeli 162
4.5.5.2.1.2. Karar Değişkenleri 165
4.5.5.2.1.3. Değişken Kısıtları 166
4.5.5.2.1.4. Varsayımlar 169
4.5.5.2.2. Genetik Algoritma Yapısı 169
4.5.5.2.2.1. Genetik Gösterim ve Kromozom Yapısı 169
4.5.5.2.2.2. Başlangıç Popülasyonunun Belirlenmesi 170
4.5.5.2.2.3. Kromozomların Uygunluklarının Değerlendirilmesi 172
4.5.5.2.2.4. Yeniden Üreme (Seçim) İşlemi 172
4.5.5.2.2.5. Çaprazlama İşlemi 173
4.5.5.2.2.6. Mutasyon İşlemi 174
4.5.5.2.2.7. Sonlandırma Ölçütü 175
4.5.5.2.3. Bulanık Gemi Emniyet Alanı 178

4.5.5.3. Deneysel Bulgular 185
4.5.5.3.1. Sanal Çevre Uygulamaları: Köprüüstü Simülatörü Testleri 185
4.5.5.3.1.1. Pruva-Pruva (Head-on) Yaklaşma Örnek Senaryo Uygulaması 186
4.5.5.3.1.2. Kesişme (Crossing) Örnek Senaryo Uygulaması 194
4.5.5.3.1.3. Yetişip Geçme (Overtaking) Örnek Senaryo Uygulaması 200
4.5.5.3.2. Gerçek Çevre Uygulamaları: Otonom Suüstü Aracı (ASV) Testleri 207
4.5.5.3.2.1. Pruva-Pruva (Head-on) Yaklaşma Örnek Senaryo Uygulaması 210
4.5.5.3.2.2. Kesişme (Crossing) Örnek Senaryo Uygulaması 215
4.5.5.3.2.3. Yetişip Geçme (Overtaking) Örnek Senaryo Uygulaması 220
SONUÇ VE ÖNERİLER 226
KAYNAKÇA 231
EKLER

## KISALTMALAR

| | |
|---|---|
| **AIS** | Automatic Identification System |
| **AB** | Avrupa Birliği |
| **AMOS** | Centre for Autonomous Marine Operations and Systems |
| **ARPA** | Automatic Radar Plotting Aids |
| **ASV** | Autonomous Surface Vehicle |
| **AYN** | Azami Yaklaşma Noktası |
| **AYNM** | Azami Yaklaşma Noktasına Mesafe |
| **AYNZ** | Azami Yaklaşma Noktasına Zaman |
| **B** | Gemi Boyutu |
| **BAP** | Bilimsel Araştırma Projeleri |
| **BK** | Bandler and Kohout |
| **bknz.** | Bakınız |
| **BOA** | Bisector of Area |
| **CMA** | California Maritime Academy |
| **COG** | Course Over Ground |
| **COG** | Center of Gravity |
| **COLREGs** | International Regulation for Preventing Collisions at Sea |
| **COP** | Constraint Optimization Problem |
| **CSP** | Constraint Satisfaction Problem |
| **CTPA** | Collision Threat Parameters |
| **C_R** | Çaprazlama Oranı |
| **DEÜ** | Dokuz Eylül Üniversitesi |
| **dk** | Dakika |
| **DOP** | Doğrusal Olmayan Programlama |
| $\boldsymbol{D_{(os_ts)}(t)}$ | Gemiler Arası Uzaklık |
| **DP** | Doğrusal Programlama |
| **DP** | Dinamik Programlama |
| $\mathbf{E_{boyut}}$ | Evrensel Boyut |
| **EC** | Electronic Chart |
| **ECDIS** | Electronic Chart Display and Information System |

| | |
|---|---|
| **ECS** | Elektronik Harita Sistemi |
| **EMSA** | European Maritime Safety Agency |
| **ENC** | Electronic Navigational Charts |
| **ETA** | Estimated Time of Arrival |
| **EU** | European Union |
| **FIS** | Fuzzy Inference System |
| **FOP** | Free Optimization Problems |
| $\boldsymbol{f(x)}$ | Amaç Fonksiyonu |
| **G** | Gece-Gündüz Durumu |
| **GA** | Genetik Algoritma |
| **GMDSS** | Global Maritime Distress and Safety System |
| **GNNS** | Global Navigation Satellite System |
| **GPS** | Global Positioning System |
| **GRD** | Greatest Resource Demand |
| **GRPW** | Greatest Rank Positional Weight |
| **GT** | Groston |
| **GTH** | Gemi Trafik Hizmetleri |
| **GTHS** | Gemi Trafik Hizmetleri Sistemi |
| **GTYM** | Gemi Trafik Yönetim Merkezi |
| **GTYS** | Gemi Trafik Yönetim Sistemi |
| **G_S** | İterasyon Sayısı |
| **H** | Gemi Hızı |
| **IALA** | International Association of Lighthouse Authorities |
| **IHO** | International Hydrographic Organization |
| **IJME** | International Journal of Maritime Engineering |
| **IMO** | International Maritime Organization |
| **INAS** | International Network for Autonomous Ships |
| **ITU** | International Telecommunication Union |
| **K** | Zabitin Tecrübesi ve Yetkinliği |
| **KAİK** | Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu |
| **KEGM** | Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü |
| **KKA** | Karınca Kolonisi Algoritması |

| | |
|---|---|
| **KKT** | Karush–Kuhn–Tucker Teorisi |
| **LCBA** | Local Constraint Based Analysis |
| **LFT** | Latest Finish Time |
| **LNG** | Liquefied Petroleum Gas |
| **LRIT** | Long-Range Identification and Tracking |
| **LST** | Latest Start Time |
| **M** | Geminin Manevra Kabiliyeti |
| **MAIB** | Marine Accident Investigation Branch |
| **MATLAB** | Matrix Laboratory |
| **MBS** | Maritime Buoyage System |
| **MEB** | T.C. Milli Eğitim Bakanlığı |
| **MHz** | Megahertz |
| **MISO** | Çok Girişli Tek Çıkışlı |
| $\boldsymbol{m_i}$ | Çatışmadan Kaçınma Rotasının *i.* Bacağında Kat Edilen Mesafe |
| **MMSI** | Maritime Mobile Service Identity |
| **MOM** | Mean of Maxima |
| **MR** | Maritime Robotics |
| **MSC** | Maritime Safety Committee |
| **MSLK** | Minimum Slack |
| **MTS** | Most Total Successor |
| **MUNIN** | Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks |
| $\boldsymbol{m_{(wp_1_wp_2)}}$ | Çatışmadan Kaçınma Rotasının İlk Bacağının Uzunluğu |
| $\boldsymbol{m_{(wp_2_wp_3)}}$ | Çatışmadan Kaçınma Rotasının İkinci Bacağının Uzunluğu |
| $\boldsymbol{Mx_{toTS}}$ | Manevranın Uygulandığı Anda OS-TS Arası Mesafe |
| **M_R** | Mutasyon Oranı |
| **n** | Çatışmadan Kaçınma Rotasının wp Sayısı |
| **NC** | Navigational Chart |
| **Nm** | Nautical Mile (Deniz Mili) |
| **NP-Hard** | Non-Deterministic Polynomial Time |
| **NTNU** | Norwegian University of Science and Technology |
| **ODTÜ** | Orta Doğu Teknik Üniversitesi |

| | |
|---|---|
| **OS** | Kendi Gemimiz |
| **PIANC** | Permanent International Association of Navigation Congresses |
| $\mathbf{P_i}$ | Bireylerin Seçilme Olasılıkları |
| **PSO** | Parçacık Sürü Optimizasyonu |
| **P_S** | Popülasyondaki Birey Sayısı |
| $\boldsymbol{RB_{ts}}$ | TS'nin Nisbi Kerterizi |
| **RNC** | Raster Navigational Charts |
| **RoT** | Rate of Turn |
| **RSM** | Resource Scheduling |
| **S** | Meteorolojik Şartlar |
| $\mathbf{SD_{fuzzy}}$ | Bulanık Gemi Emniyet Alanı |
| **SIA** | Ship Intelligent Agent |
| **sn** | Saniye |
| **SOLAS** | Safety of Life at Sea |
| **SPT** | Shortest Processing Time |
| **T** | Trafik Durumu |
| **TA** | Tabu Arama |
| **TAM** | Table of Admissible Manoeuvers |
| **TB** | Tavlama Benzetimi |
| **TBGTH** | Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri |
| **TDK** | Türk Dil Kurumu |
| **TDMA** | Time Division Multiple Access |
| **TS** | Hedef Gemi |
| **TSK** | Sugeno-Tip Bulanık Çıkarım Yöntemi |
| **TUBİTAK** | Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu |
| $\boldsymbol{t_{(wp_0_wp_1)}}$ | Başlangıç Pozisyonundan Çatışmadan Kaçınma Rota Değişimi Pozisyonuna Kadar Seyir Süresi |
| $\boldsymbol{t_{(wp_1_wp_2)}}$ | Çatışmadan Kaçınma Rotasının İlk Bacağında Kat Edilen Süreyi |
| $\boldsymbol{t_{(wp_2_wp_3)}}$ | Çatışmadan Kaçınma Rotasının İkinci Bacağında Kat Edilen Süreyi |
| **UDHB** | T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı |
| **USV** | Unmanned Surface Vehicle |

| | |
|---|---|
| **UTC** | Universal Time Coordinated |
| **V** | Görüş Durumu |
| $\boldsymbol{V_{os}}$ | Hız (OS) |
| $\boldsymbol{V_{(os_ts)}}$ | Gemiler Arası Nisbi Hız |
| **VTS** | Vessel Traffic Services |
| **WABL** | Weighted Averaging Based on Levels |
| **WCS** | Worst Case Slack |
| $\boldsymbol{wp_0}$ | Başlangıç Noktası |
| $\boldsymbol{wp_1}$ | Çatışmadan Kaçınma Manevrasının Yapıldığı Nokta |
| $\boldsymbol{wp_2}$ | Orijinal Rotaya Dönüş Manevrasının Yapıldığı Nokta |
| $\boldsymbol{wp_3}$ | Orijinal Rotaya Giriş Manevrasının Yapıldığı Nokta |
| $\boldsymbol{x_{os}(t)}$ | t anındaki apsis (x) değeri (OS) |
| $\boldsymbol{x_{ts}(t)}$ | t anındaki apsis (x) değeri (TS) |
| **YAK** | Yapay Arı Kolonisi Algoritması |
| $\boldsymbol{y_{os}(t)}$ | t anındaki ordinat (y) değeri (OS) |
| $\boldsymbol{y_{ts}(t)}$ | t anındaki ordinat (y) değeri (TS) |
| $\boldsymbol{\phi_{os}}$ | Rota Açısı (OS) |
| $\boldsymbol{\phi_{(os_ts)}}$ | Gemilerin Rota Açıları Farkları |
| $\boldsymbol{\phi_{ts}}$ | Rota Açısı (TS) |
| $\boldsymbol{\Delta\Psi_1}$ | Çatışmadan Kaçınma Rota Değişimi |
| $\boldsymbol{\Delta\Psi_2}$ | Orijinal Rotaya Dönüş Rota Değişimi |
| $\boldsymbol{\Delta\Psi_3}$ | Orijinal Rotaya Giriş Rota Değişimi |

## TABLOLAR LİSTESİ


**Tablo 1:** Amaç Fonksiyonu ve Kısıt Varlığının Duruma Göre Optimizasyon Problemi Tipleri s. 8

**Tablo 2:** Başlangıç Popülasyonu ve Bireylerin Uygunluk Değerleri s. 41

**Tablo 3:** Çaprazlama İşlemi s. 42

**Tablo 4:** Mutasyon İşlemi ve Yeni Bireylerin Uygunluk Değerleri s. 43

**Tablo 5:** AIS Tarafından Sağlanan Veriler s. 102

**Tablo 6:** Farklı Kategorilere Göre Yapay Zekâ Tanımları s. 130

**Tablo 7:** Araştırma Süreci s. 142

**Tablo 8:** Araştırma Aşamalarının Türü, Amacı, Analiz Şekli ve Kapsamı s. 143

**Tablo 9:** Ön araştırma ve Keşifsel Araştırma Katılımcı Profili s. 147

**Tablo 10:** Geçerlik ve Güvenirlik Kapsamında Uygulanan Çalışmalar ve Yöntemler s. 150

**Tablo 11:** Temaların Kodlama İstatistikleri s. 153

**Tablo 12:** "Emniyet alanını belirlemede göz önünde tutulan ölçütler" Teması Analiz Özeti s. 154

**Tablo 13:** "Belirgin rota değişimi" Teması Analiz Özeti s. 155

**Tablo 14:** "Belirgin hız değişimi" Teması Analiz Özeti s. 155

**Tablo 15:** "Olabildiğince önceden manevra yapılması" Teması Analiz Özeti s. 156

**Tablo 16:** "Hedef gemiyi takibe başlama mesafesi" Teması Analiz Özeti s. 156

**Tablo 17:** "Neta kabul etme" Teması Analiz Özeti s. 157

**Tablo 18:** "Yol vermesi gereken geminin gerekli hareketi yapmaması" Teması Analiz Özeti s. 157

**Tablo 19:** "Emniyet alanı ihlalinde tolerans payı" Teması Analiz Özeti s. 158

**Tablo 20:** "Emniyet alanının belirlenmesinde karar verici" Teması Analiz Özeti s. 158

**Tablo 21:** Kromozom ve Gen Yapısı s. 170

**Tablo 22:** Başlangıç Popülasyonu Oluşturma Sözde Kodu s. 171

**Tablo 23:** Uygunluk Değeri Hesaplama Sözde Kodu s. 172

**Tablo 24:** Seçim İşlemi Sözde Kodu s. 173

**Tablo 25:** Çaprazlama İşlemi Sözde Kodu s. 174

**Tablo 26:** Mutasyon İşlemi Sözde Kodu s. 175
**Tablo 27:** Algoritmada Kullanılan GA Parametreleri s. 176
**Tablo 28:** Uygulanan Algoritmaya İlişkin Sözde Kod s. 177
**Tablo 29:** Bulanık Kuralların Ağırlık Katsayılarının Tanımlanması s. 185
**Tablo 30:** Pruva-Pruva Yaklaşma Örnek Senaryo Girdileri s. 186
**Tablo 31:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Program Çözümü s. 187
**Tablo 32:** Kesişme Örnek Senaryo Girdileri s. 194
**Tablo 33:** Kesişme Senaryosu: Algoritma Çözümü s. 195
**Tablo 34:** Yetişip Geçme Örnek Senaryo Girdileri s. 200
**Tablo 35:** Yetişip Geçme Senaryosu: Algoritma Çözümü s. 202
**Tablo 36:** Gerçek Çevre Uygulamalarında Kullanılan Teknelerin Teknik Özellikleri s. 208
**Tablo 37:** ASV ile Uygulanan Deneysel Test Sürecinin Aşamaları s. 209
**Tablo 38:** Pruva-Pruva Yaklaşma Örnek Senaryo Girdileri s. 210
**Tablo 39:** Pruva-Pruva Yaklaşma Örnek Senaryo: Optimal Çıktı s. 210
**Tablo 40:** Kesişme Örnek Senaryo Girdileri s. 215
**Tablo 41:** Kesişme Örnek Senaryo: Optimal Çıktı s. 215
**Tablo 42:** Yetişip Geçme Örnek Senaryo Girdileri s. 220
**Tablo 43:** Yetişip Geçme Senaryo: Optimal Çıktı s. 220

## ŞEKİLLER LİSTESİ


| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 1:** | Optimizasyon Problemi Alt Bileşenleri | s. 7 |
| **Şekil 2:** | Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması | s. 9 |
| **Şekil 3:** | Global ve Lokal Optimumlar | s. 11 |
| **Şekil 4:** | Optimizasyon Algoritmaları Sınıfları | s. 13 |
| **Şekil 5:** | Bazı Önemli Metasezgisel Algoritmalar ve Ortaya Çıkış Tarihleri | s. 20 |
| **Şekil 6:** | Algoritma Tasarımında Çeşitlendirme ve Yoğunlaştırma Stratejilerinin Yeri | s. 22 |
| **Şekil 7:** | Gen, Kromozom ve Popülasyon Yapısı | s. 28 |
| **Şekil 8:** | Rulet Çarkı Seçimi | s. 31 |
| **Şekil 9:** | Turnuva Seçimi Yöntemi | s. 32 |
| **Şekil 10:** | Çaprazlama Yöntemleri | s. 34 |
| **Şekil 11:** | Mutasyon Yöntemleri | s. 35 |
| **Şekil 12:** | Genetik Algoritma Akış Şeması | s. 37 |
| **Şekil 13:** | Yaş Uzayında "Genç" Kavramının Klasik Kümede ve Bulanık Kümede Gösterimi | s. 48 |
| **Şekil 14:** | Üyelik Fonksiyonu Bölümleri | s. 50 |
| **Şekil 15:** | Üçgen Üyelik Fonksiyonu | s. 51 |
| **Şekil 16:** | Yamuk Üyelik Fonksiyonu | s. 51 |
| **Şekil 17:** | Gauss Üyelik Fonksiyonu | s. 52 |
| **Şekil 18:** | Bulanık Çıkarım Sistemi (FIS) Aşamaları | s. 53 |
| **Şekil 19:** | Ağırlık Merkezi Yöntemi | s. 54 |
| **Şekil 20:** | En Büyük Değerlerin Ortalaması Yöntemi | s. 55 |
| **Şekil 21:** | Ağırlık Merkezi Yöntemi | s. 56 |
| **Şekil 22:** | İki Girdili ve İki Kurallı Basit Bir Mamdani-Tip Çıkarım Sistemi | s. 58 |
| **Şekil 23:** | Sugeno-Tip Bulanık Çıkarım Sistemi | s. 59 |
| **Şekil 24:** | Tsukamoto-Tip Bulanık Çıkarım Sistemi | s. 60 |
| **Şekil 25:** | Gemi Manevrasına Etki Eden Faktörler | s. 63 |
| **Şekil 26:** | İki Zamanlı Dizel Tip Gemi Makinesi | s. 65 |
| **Şekil 27:** | Sabit Adım Pervane | s. 67 |
| **Şekil 28:** | Değişken Adım Pervane | s. 68 |

**Şekil 29:** Dümen Üzerindeki Kuvvet Bileşenleri s. 69
**Şekil 30:** Konvansiyonel Dümen Tipleri s. 70
**Şekil 31:** 45º'den Az ve Fazla Dümen Açılarında Suda Oluşan Akış Durumu s. 70
**Şekil 32:** Modern Dümen Donanımları s. 71
**Şekil 33:** Azipod Sistemi s. 72
**Şekil 34:** Voith Sistemi s. 73
**Şekil 35:** Kovan Sistemi s. 73
**Şekil 36:** Azimuth Sistemi s. 74
**Şekil 37:** İter Sistemi s. 75
**Şekil 38:** Römorkör s. 76
**Şekil 39:** Dönme Çemberi s. 78
**Şekil 40:** Pivot Noktası s. 80
**Şekil 41:** Hareketsiz Bir Gemi Üzerindeki Rüzgâr Etkisi s. 83
**Şekil 42:** İleri Yol Alan Bir Gemi Üzerindeki Rüzgâr Etkisi s. 84
**Şekil 43:** Tornistan Hareket Eden Bir Gemi Üzerindeki Rüzgâr Etkisi s. 84
**Şekil 44:** Derin Suda ve Sığ Suda Dönme Hareketi s. 86
**Şekil 45:** Bank Emmesi ve Bank Püskürtmesi Etkisi s. 88
**Şekil 46:** Dar Suyolunda Gemilerin Karşılıklı Geçişlerinde Etkileşimleri s. 89
**Şekil 47:** Dar Suyolunda Gemilerin Yetişip Geçme Durumunda Etkileşimleri s. 90
**Şekil 48:** Gemi Manevrasına Etki Eden Tüm Faktörler s. 91
**Şekil 49:** Dünya Ticaret Filosu Yıllık Büyüme Oranları s. 92
**Şekil 50:** Yıllara Göre Rapor Edilen Deniz Kazası s. 93
**Şekil 51:** Deniz Kazaları Dağılımı (2011-2016) s. 96
**Şekil 52:** İnsan Unsurunun Bağlı Olduğu Faktörler s. 98
**Şekil 53:** Deniz Kazalarının Kök Nedenleri s. 99
**Şekil 54:** Sınıf-B ve Sınıf-A tipi AIS s. 104
**Şekil 55:** ENC ve RNC Tip Seyir Haritaları s. 107
**Şekil 56:** ARPA Radar Ekranı s. 110
**Şekil 57:** Bölgelere Göre Kullanılan Şamandıra Sistemleri s. 112
**Şekil 58:** Deniz Şamandıra Sistemleri s. 113

**Şekil 59:** Geliş Açılarına Göre Karşılaşma Tipleri s. 120
**Şekil 60:** Çözüm Yaklaşımlarının Farklı Boyutlara Göre Karşılaştırması s. 127
**Şekil 61:** Çatışmadan Kaçınma Manevrası Örneği: Szlapczynski (2007) s. 129
**Şekil 62:** SIA'nın Temel Yapısı s. 138
**Şekil 63:** Araştırmanın Kavramsal Modeli s. 139
**Şekil 64:** Nitel Verilerin Analizinde İzlenen Adımlar s. 151
**Şekil 65:** Tüm Verilerin Kelime Ağacı Analizi s. 159
**Şekil 66:** Problemin Karar Değişkenleri s. 166
**Şekil 67:** Çözüm Algoritması Akış Diyagramı s. 178
**Şekil 68:** Bulanık Çıkarım Sistemi Model Yapısı s. 180
**Şekil 69:** Zabitin Tecrübesi ve Yetkinliği (K) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu s. 180
**Şekil 70:** Meteorolojik Şartlar (S) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu s. 181
**Şekil 71:** Gemi Boyutu (B) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu s. 181
**Şekil 72:** Gemi Hızı (H) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu s. 182
**Şekil 73:** Geminin Manevra Kabiliyeti (M) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu s. 182
**Şekil 74:** Trafik Durumu (T) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu s. 183
**Şekil 75:** Gece Gündüz Durumu (G) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu s. 183
**Şekil 76:** Görüş Durumu (V) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu s. 184
**Şekil 77:** Gemi Emniyet Alanı Yarıçapı (R) Çıktı Değişkeni Üyelik Fonksiyonu s. 184
**Şekil 78:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Her Çalıştırmada Algoritmanın Çözüme Ulaşma Süresi s. 187
**Şekil 79:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Program Arayüzü s. 188
**Şekil 80:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Senaryo Gemileri s. 188
**Şekil 81:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Gemilerin Harita Üzerindeki Konumları s. 189
**Şekil 82:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması 1 s. 190
**Şekil 83:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması 2 s. 191

**Şekil 84:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü Optimal Çatışmadan Kaçınma Rotası Uzunluğu s. 192
**Şekil 85:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Gemiler Arası Anlık Mesafe s. 193
**Şekil 86:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Bulanık Emniyet Alanı Hesabı s. 193
**Şekil 87:** Kesişme Senaryosu: Her Çalıştırmada Algoritmanın Çözüme Ulaşma Süresi s. 194
**Şekil 88:** Kesişme Senaryosu: Senaryo Gemileri s. 195
**Şekil 89:** Kesişme Senaryosu: Gemilerin Harita Üzerindeki Konumları s. 196
**Şekil 90:** Kesişme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması s. 197
**Şekil 91:** Kesişme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması s. 197
**Şekil 92:** Kesişme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü Optimal Çatışmadan Kaçınma Rotası Uzunluğu s. 199
**Şekil 93:** Kesişme Senaryosu: Gemiler Arası Anlık Mesafe s. 200
**Şekil 94:** Yetişip Geçme Senaryosu: Her Çalıştırmada Algoritmanın Çözüme Ulaşma Süresi s. 201
**Şekil 95:** Yetişip Geçme Senaryosu: Gemilerin Harita Üzerindeki Konumları s. 203
**Şekil 96:** Yetişip Geçme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması 1 s. 204
**Şekil 97:** Yetişip Geçme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması 2 s. 205
**Şekil 98:** Yetişip Geçme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü Optimal Çatışmadan Kaçınma Rotası Uzunluğu s. 206
**Şekil 99:** Yetişip Geçme Senaryosu: Gemiler Arası Anlık Mesafe s. 207
**Şekil 100:** Telemetron (ASV) s. 208
**Şekil 101:** Munkholmen II s. 208
**Şekil 102:** Deneysel Testlerin Uygulandığı Bölge s. 209
**Şekil 103:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Sanal OS (ASV) ve Sanal TS Yörüngeleri (Simülasyon Testi) s. 211

**Şekil 104:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Telemetron ve Sanal TS Yörüngeleri (Sanal TS ile Alan Testi) s. 212
**Şekil 105:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Sanal TS ile Alan Testi) s. 213
**Şekil 106:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Telemetron ve Munkholmen II Yörüngeleri (Munkholmen II ile Alan Testi) s. 214
**Şekil 107:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Munkholmen II ile Alan Testi) s. 215
**Şekil 108:** Kesişme Senaryosu: Sanal OS (ASV) ve Sanal TS Yörüngeleri (Simülasyon Testi) s. 217
**Şekil 109:** Kesişme Senaryosu: Telemetron ve Sanal TS Yörüngeleri (Sanal TS ile Alan Testi) s. 218
**Şekil 110:** Kesişme Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Sanal TS ile Alan Testi) s. 218
**Şekil 111:** Kesişme Senaryosu: Telemetron ve Munkholmen II Yörüngeleri (Munkholmen II ile Alan Testi) s. 219
**Şekil 112:** Kesişme Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Munkholmen II ile Alan Testi) s. 220
**Şekil 113:** Yetişip Geçme Senaryosu: Sanal OS (ASV) ve Sanal TS Yörüngeleri (Simülasyon Testi) s. 222
**Şekil 114:** Yetişip Geçme Senaryosu: Telemetron ve Sanal TS Yörüngeleri (Sanal TS ile Alan Testi) s. 223
**Şekil 115:** Yetişip Geçme Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Sanal TS ile Alan Testi) s. 224
**Şekil 116:** Yetişip Geçme Senaryosu: Telemetron ve Munkholmen II Yörüngeleri (Munkholmen II ile Alan Testi) s. 225
**Şekil 117:** Yetişip Geçme Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Munkholmen II ile Alan Testi) s. 225

## EKLER LİSTESİ


**EK 1:** Norveç'te Gerçekleştirilen Araştırma Sürecine İlişkin Detaylar ek s. 1

**EK 2:** Katılımcı Bilgilendirme ve Görüşme Formu ek s. 3

**EK 3:** Bulanık Kurallar ek s. 6

**EK 4:** FIS Kural Yüzeyleri ek s. 10

**EK 5:** Senaryo Örnekleri ek s. 12

**EK 6:** Senaryo Araçların Başlangıç Pozisyonları ek s. 13

**EK 7:** Yapılan Görüşmelerin Özet Metni ek s. 14

# GİRİŞ

Gelişen teknoloji gemilerde seyir ekipmanlarının artmasına, yoğun deniz trafiği de seyir zabitlerinin kritik zamanlarda karar vermede zorluklar yaşamasına sebep olmaktadır. Bu durum kaza riskini de beraberinde getirmektedir. 2017 yılında Avrupa Deniz Emniyeti Kuruluşu (EMSA) tarafından 2011-2016 yılları arasını kapsayan 16539 deniz kazası rapor edilmiş ve bu kazalardan %30'u "çok ciddi kaza" olarak kayıtlara geçmiştir. Yapılan değerlendirilmelerde bu kazaların %60 oranında insan hatası sonucu olduğu ortaya çıkmıştır. Kaza istatistikleri de göstermektedir ki kazalara büyük oranda insan hatası sebebiyet vermektedir. Bu araştırma, gemilerin çatışma riski içeren karşılaşma durumlarında seyir zabitinin karar verme aşamasında optimal çatışmadan kaçınma rotasını belirlemesine destek olarak gemiyi emniyetli bir şekilde sevk etmesine yardımcı olacak bir sistem geliştirmeyi hedeflemektedir.

Araştırmanın problemi; pratikte tecrübe ve yetkinliğe dayalı olarak subjektif bir şekilde uygulanan çatışmadan kaçınma hareketinin bir karar destek sistemi vasıtasıyla uygulanması, manevra için kat edilen mesafenin minimuma çekilerek zaman ve yakıt tasarrufu sağlaması ve seyir emniyetinin arttırılması olarak belirlenmiştir. İlgili literatür incelendiğinde araştırma konusuna paralel uluslararası çalışmalar mevcuttur. Özellikle son yıllarda araştırmacıların gemilerin otomasyonu üzerine artan ilgisi, seyir otomasyonunun bir alt modülü olabilecek çatışmayı önleme rotası planlama konusuna da yönelmelerini sağlamıştır. Uluslararası projeksiyonda her ne kadar konu ile ilgili çalışmalar yürütülse de Türkiye bazında benzer bir çalışma veya araştırma yapılmamış olması araştırma konusunun önemini arttırmaktadır.

Nitel ve nicel araştırma yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bu araştırma dört bölümden oluşmaktadır.

Araştırmanın birinci bölümünde genel olarak optimizasyon kavramı ele alınmıştır. Optimizasyonun kısa tarihçesi, optimizasyon problemlerinin bileşenleri ve türleri, optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması ve optimizasyon teknikleri açıklanmıştır. Buna ek olarak araştırmada kullanılan yöntemlere (Genetik Algoritma (GA), Bulanık Mantık) ait teorik detaylar verilmiştir.

Araştırmanın ikinci bölümünde gemi manevrasına etki eden faktörler ve deniz kazaları üzerine detaylar paylaşılmıştır. Gemi manevrasında doğrudan/dolaylı olarak

kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin neler olduğu ve bu faktörlerin gemi manevrasına olan etkileri açıklanmıştır. Diğer taraftan deniz kazası kavramı, türleri ve sebepleri istatistiksel veriler ile desteklenerek sunulmuştur.

Araştırmanın üçüncü bölümünde denizde çatışmayı önlemede yardımcı sistemler, hizmetler ve düzenlemeler detaylandırılmıştır. Denizde çatışma riski içeren karşılaşma durumlarında operatöre destek sağlayan Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS), Elektronik Harita Gösterim ve Bilgi Sistemi (ECDIS) ve Otomatik Radar Plotlama Aygıtı (ARPA Radar) gibi seyir yardımcıları tanıtılmıştır. Buna ek olarak kılavuzluk ve römorkörcülük hizmetleri ve gemi trafik hizmetleri (VTS) gibi denizde çatışmayı önlemede yardımcı hizmetler de açıklanmıştır. Diğer taraftan, denizde trafik düzenini sağlayan uluslararası sözleşme (Uluslararası Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (COLREG 72)) hakkında detaylar verilmiştir.

Araştırmanın dördüncü bölümünde ilk olarak, ilgili literatürde yer alan çalışmalarından bahsedilmiştir. Mevcut yaklaşımlar ve modeller deterministik, yapay zekâ, hibrit ve simülasyon olmak üzere dört grup altında toplanarak açıklanmıştır. Daha sonra araştırmanın amacına yönelik gerçekleştirilen nitel ve nicel araştırmalara yer verilmiştir. Bu doğrultuda araştırmanın motivasyonu, amacı, önemi, özgün değeri, kavramsal modeli, araştırma süreçleri ve araştırmaya ait deneysel bulgular detaylı olarak paylaşılmıştır. Nitel araştırma sürecinde görüşme yöntemi kullanılarak elde edilen bulgular neticesinde, problem çözümü için oluşturulan matematiksel modelde yer alan değişken kısıtları ve senaryo testlerinin girdileri belirlenmiştir. Nicel araştırma sürecinde ise GA ve bulanık mantık yaklaşımları ile oluşturulmuş çözüm algoritması (*ColAv_GA*) ile problem çözümüne ulaşılmış ve elde edilen sonuçlar otonom su üstü aracı (ASV) ile gerçek ortamda, köprüüstü seyir simülatörü ile sanal ortamda test edilmiştir.

Araştırmanın bir projeye dönüştürülmesi ve desteklenmesi amacıyla "Denizde Çatışmadan Kaçınma Rotası Planlama ve Optimizasyonu" başlığı ile Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Lisansüstü Tez Projeleri proje türü altında başvuru yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda desteklenmesi konusunda 2017.KB.SOS.005 proje numarası ile kabul edilerek projeye başlanmış ve planlandığı üzere 12 ay süre sonunda 11.10.2018 tarihinde başarıyla sonlandırılmıştır. Bunun yanında, yurt dışında benzer çalışmalar yapan kişi ve kurumlar ile birlikte bir

süreliğine araştırma yapmanın tez çalışmasına katkı sağlayacağı düşüncesiyle Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) 2214-A Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı'na başvuru yapılmıştır. Başvuru, yapılan değerlendirme sonucunda, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (Norwegian University of Science and Technology - NTNU)'nde 29.10.2018 – 03.03.2019 tarihleri arasında araştırma yapmak üzere kabul edilerek desteklenmiş ve bu süre aralığında ilgili kurumun ev sahipliğinde araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

# BİRİNCİ BÖLÜM
# OPTİMİZASYON, GENETİK ALGORİTMA VE BULANIK MANTIK

## 1.1. OPTİMİZASYON KAVRAMI

Optimizasyon, elde edilmek istenen amaç doğrultusunda belirlenen kısıtlar içinde en iyi çözüme ulaşma olarak ifade edilmektedir (Satar, 2015: 6). Diğer bir ifade ile en iyiye ulaşma süreci olarak tanımlanmaktadır (Cunkaş, 2006: 1). Türk Dil Kurumu (TDK) ise optimizasyon kavramını, *en uygun duruma getirme, mümkün olan en iyi duruma getirme* olarak tanımlamaktadır. Optimizasyon kavramı her alanda karşılaşılan ve gerekli görülen bir kavramdır. İş planlamadan endüstriyel tasarım, tatil planlamadan günlük rutin işlere kadar her türlü faaliyetin içinde yer almaktadır (Yang, 2008: 3).

Bir optimizasyon problemi genel olarak matematiksel bir ifadeyle denklem (1), (2), (3), (4) ile tanımlanmaktadır.

$$\min f_i(x),\ (i = 1, \dots., n) \tag{1}$$

$$g_j(x)\ \geq 0,\ \ (j = 1, \dots..J) \tag{2}$$

$$h_k(x) =\ 0,\ \ (k = 1, \dots \dots K) \tag{3}$$

$$x = (x_1, x_1, \dots \dots, x_n) \tag{4}$$

Burada *f(x)* fonksiyonu amaç fonksiyonunu, *x* karar veya tasarım değişkenini *g(x) ve h(x)* ise eşitsizlik ve eşitlik kısıtlarını ifade etmektedir (Yang vd., 2013: 4). Bir problem birden fazla çözüm içerebilir ve bu çözümler arasında kıyaslama yapabilecek ölçütlerin olması gerekmektedir. Bu noktada, amaç fonksiyonunun amaca uygun (minimum ya da maksimum) oluşturulması ve karar değişkenlerinin alacağı değerlerin kısıtları belirlenmelidir (Satar, 2015: 6).

### 1.1.1. Optimizasyonun Kısa Tarihçesi

Optimizasyon problemi çalışmalarının çok eskiye dayandığı düşünülmektedir. Antik Yunan matematikçilerinin birçok optimizasyon problemine çözüm bulduğu

bilinmektedir (Yang, 2010b: 4). Örneğin, M.Ö. 75'li yıllarda *Heron*, ışığın iki nokta arasında kat ettiği yolun en kısa yol olduğunu ispat etmiştir. M.Ö. 250'li yıllarda *Pappus*, balpeteği hipotezini ileri sürerek arıların balpeteği yapılarından yola çıkarak, en küçük yüzey alanda en büyük hacmin elde edilebilmesinin altıgen form ile mümkün olabileceği ispatlamıştır. Bunun yanında, eşit çevre uzunlukları ve eşit yüzey alanına sahip düzenli geometrik şekiller içinde kürenin, maksimum hacme sahip şekil olduğunu kanıtlamıştır. (Kiranyaz vd., 2014: 15). M.Ö. 300'lü yıllarda *Euclid*, tüm dikdörtgenler arasında karenin dörtkenarının da aynı uzunluğu sahip olması nedeniyle en büyük alanı kapladığını ispatlamıştır (Toscano, 2013: 21). 900'lü yılların sonunda İranlı matematikçi, fizikçi ve optik mühendisi *Ibn Sahl*, mühendislik alanında ilk optimizasyon uygulamalarından biri olarak kabul edilen optimum mercek formunu hesaplamıştır (Rashed, 1990: 466; Kiranyaz vd., 2014: 15; Zghal vd., 2007: 3). 1600'lü yılların başında *Descartes* koordinat sistemi olarak da anılan kartezyen sistemini geliştirmiştir. Daha sonra analitik geometri sistemini ortaya atan *Descartes* tanjant doğrusu problemini çözmüştür. Bu gelişmenin herhangi bir fonksiyonun maksimum veya minimum değerini bulmak için ilk adım olduğu kabul edilmektedir. 1700'lü yılların başında *Euler* mekanik alanında önemli gelişmeler sağlamıştır. Uygulamalı ve teorik mekaniği kullanarak gemi tahrik problemini ele almış ve itme kuvveti için optimal gemi dizaynı önerilerinde bulunmuştur. Bunun yanında hidrostatik prensibini de ortaya atmıştır (Kiranyaz vd., 2014: 21).

Tüm bu öncü çalışmaların devamında, matematikte büyük keşiflerin ve gelişmelerin yaşandığı dönem olan (Törün, 2008: 1) 1900'lü yıllarda da optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesine devam edilmiştir. İlk yinelemeli optimizasyon tekniği olarak bilinen Newton–Raphson metodu, *Isaac Newton*, *Joseph Raphson*, *Thomas Simpson* ve *Jean-Baptiste-Joseph Fourier* tarafından geliştirilmiştir (Ypma, 1995: 531; Kiranyaz vd., 2014: 22). *Augustin-Louis Cauchy* diferansiyel denklemler üzerine çalışmış ve diferansiyel denklemin minimumunu bulmada türev tabanlı bir metot geliştirmiştir (Lemarechal, 2012: 253). *Carl Friedrich Gauss* denklem kümelerinin yaklaşık çözümlerini bulan en küçük kareler yaklaşımı öne sürmüştür. Bu metot hata karelerin toplamını minimize ederek en iyiye yakın değere ulaşmayı amaçlamaktadır (Öztürk ve Türkay, 2005: 264).

20.yy birçok optimizasyon tekniğinin ortaya çıktığı dönem olmuştur. Bu dönemde 1917 yılında *Harris Hancock* tarafından, optimizasyon üzerine ilk kitap olarak kabul edilen *Maxima ve Minima* yayınlanmıştır (Yang, 2010b: 6). 1939 yılında Rus matematikçi *Leonid Vitaliyevich Kan* tarafından, önemli optimizasyon tekniklerinden biri olan Doğrusal Programlama (DP) yöntemi geliştirilmiştir. Yine 1939 yılında *William Karush,* Doğrusal Olmayan Programlama (DOP) diğer bir ifade ile Doğrusal Olmayan Optimizasyon yöntemini ileri sürmüştür. Bu yöntem *Harold William Kuhn* ve *Albert William Tucker'*ın DOP kullanarak optimal sonuç üreten çalışmalarını bir konferans bildirisi olarak sunmaları ile yaygın olarak tanınmaya başlanmıştır. Bu sebeple Karush–Kuhn–Tucker (KKT) teorisi olarak da bilinmektedir (Kiranyaz vd., 2014: 24). 1950'li yıllarda *Richard Ernest Bellman,* karmaşık problemleri parçalara ayırarak daha basit problemlere dönüştüren bir yaklaşımla optimal sonuç üreten Dinamik Programlama (DP) üzerine ilk yayını yapmıştır (Patır, 2009: 64).

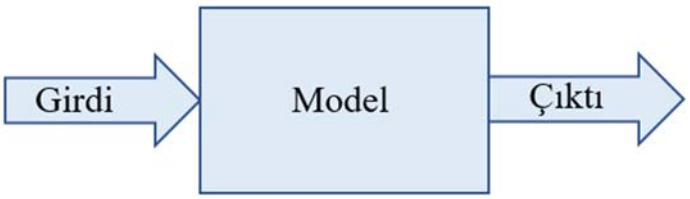
Buraya kadar tanımlanmış olan tüm optimizasyon yöntemleri deterministik yaklaşım temelinde oluşturulan yöntemlerdir. Diğer taraftan özellikle 1900'lü yılların ikinci yarısından itibaren stokastik (olasılıksal) bir yaklaşım üzerine inşa edilmiş optimizasyon yöntemleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Stokastik yöntemler problem özelinde belirlenmiş olan amaç fonksiyonu ve kısıtlar çerçevesinde rastgele aramalar yaparak en iyi sonuca ulaşmayı hedefleyen yöntemlerdir (Kiranyaz vd., 2014: 25). *Herbert Ellis Robbins* ve *Sutton Monro* (1951) tarafından geliştirilen Robbins-Monro algoritması ve *Jacob Wolfowitz* ve *Jack Kiefer* (1952) tarafından geliştirilen Kiefer-Wolfowitz algoritması ilk stokastik optimizasyon yöntemleri olarak ortaya çıkmıştır (Gemmrich, 2012: 39).

### 1.1.2. Optimizasyon Problemlerinin Bileşenleri ve Karmaşıklığı

Optimizasyon problemleri girdi verileri, çıktı verileri ve model olmak üzere üç alt bileşenden oluşmaktadır. Şekil 1'de gösterildiği üzere model, girdi ve çıktı arasında yer alan çözüm sürecidir. Modeli ve verileri tanımak sonuca ulaşmada son derece önemlidir. Diğer taraftan bir problem çözümünün zorluğu sadece modele değil, bunun

yanında arama uzayı içinde yer alan uygunluk fonksiyonun özelliklerine de bağlıdır (Yang vd., 2013: 76).

**Şekil 1:** Optimizasyon Problemi Alt Bileşenleri




Kaynak: Yang vd., 2013: 76.

Optimizasyon problemleri içerdiği karar değişkeni yapısına göre sürekli (continuous), kesikli (discrete) ve karma olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Kesikli optimizasyon problemleri aynı zamanda kombinatoryal olarak da ifade edilmektedir. Sürekli optimizasyon problemlerinde karar değişkenleri reel sayı değerleri, kesikli optimizasyon problemlerinde ise tam sayı değerleri almaktadır (Eiben ve Smith, 2015: 9).

Optimizasyon problemlerinde problemin içinde yer alan amaç sayısı önemlidir. Amaç sayısına göre tek amaçlı ve çok amaçlı (çok kriterli) olmasına bağlı olarak problemin karmaşıklığı da değişmektedir. Çok amaçlı problemlerde çözüme ulaşmak tek amaçlı problemlere göre daha zordur. Örneğin, çok amaçlı bir problemde, amaçlardan birinin maksimize, diğerinin minimize edilmeye çalışılması problemi daha karmaşık hale getirmektedir. Bunun yanında, çok amaçlı problemlerde çözüm modeli belirlenirken amaç fonksiyonun oluşturulması da zor olabilir. Bu tür problemlerde bir çözümün tüm amaçlara göre en iyi olması çok mümkün değildir ve ideal çözümler olarak nitelendirilir. Tek çözüm yerine çözüm kümesi yer alır ve bu çözümler, Pareto (baskın) çözümler olarak ifade edilmektedir (Kaya ve Fığlalı, 2016: 9.)

Optimizasyon problemlerinde değişken kısıtlarının belirlenmesi de problemin karmaşıklığını etkileyen bir diğer husustur. Farklı kısıt koşullarına göre optimizasyon problemleri, serbest optimizasyon problemleri (FOPs), koşul tatmin problemleri (CSPs) ve kısıtlı optimizasyon problemleri (COPs) olmak üzere farklılık göstermektedir. Eğer problem herhangi bir değişken kısıtına sahip değilse FOP, belirli

kısıtların sağlanması gerekiyorsa CSP, amaç fonksiyonun en iyi değerini veren kısıtlar mevcut ise COP olarak ifade edilmektedir. Tablo 1'de amaç fonksiyonu ve kısıt varlığının duruma göre optimizasyon problemi tipleri gösterilmektedir (Eiben ve Smith, 2015: 7).

**Tablo 1:** Amaç Fonksiyonu ve Kısıt Varlığının Duruma Göre Optimizasyon Problemi Tipleri

| | **Amaç Fonksiyonu** | |
|---|---|---|
| **Kısıtlar** | Var | Yok |
| Var | COP | CSP |
| Yok | FOP | - |

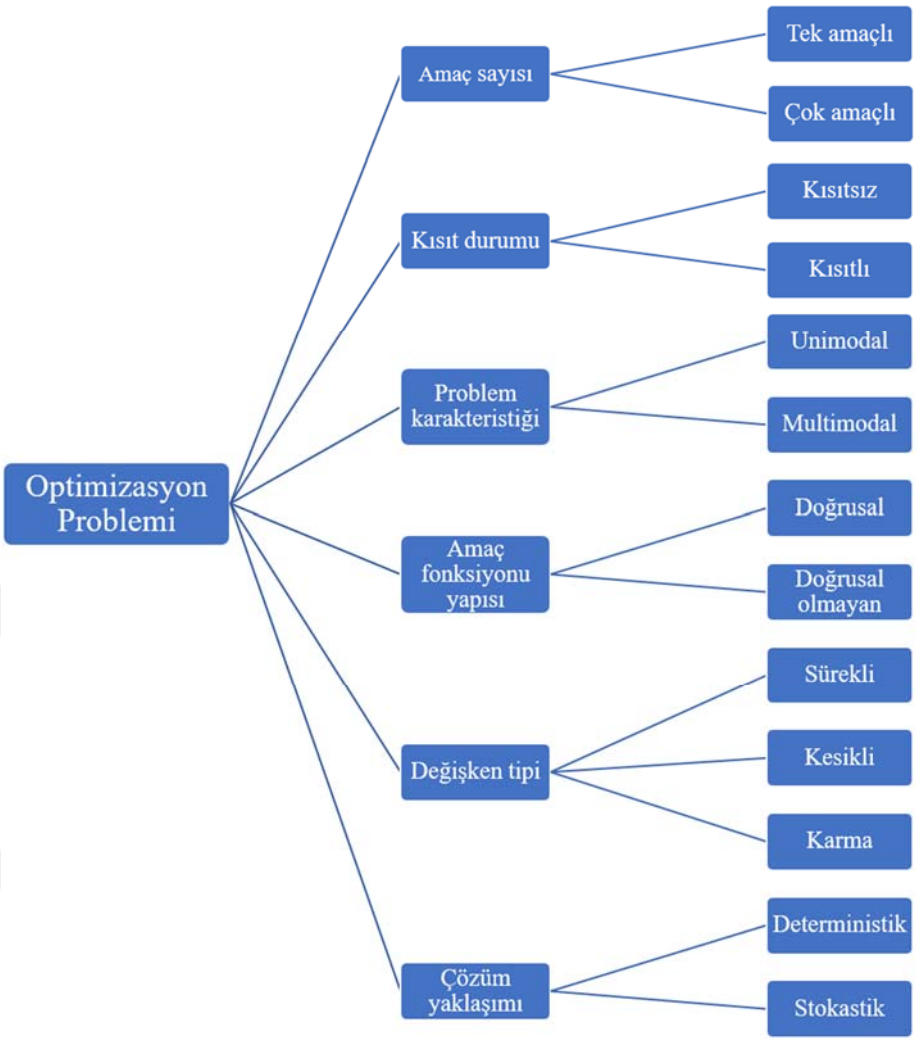
Kaynak: Eiben ve Smith, 2015: 7.

Optimizasyon problemlerinde sonuca ulaşmada zaman kavramı da önemli bir husustur. Optimizasyon problemlerinin çözümü için ilk yazılmış programlar, kapsamlı arama yaparak, yani karar değişkenlerinin tüm kombinasyonlarını deneyerek, sonuca ulaşmaya çalışırlardı ve bu sebeple çok zaman harcarlardı. Bu durum, gerçek hayat problemleri çözümleri için kullanılabilir ve uygulanabilir olmalarına olanak vermiyordu. İlerleyen süreçte kabul edilebilir zaman içinde çözüm üretebilen yaklaşımlar için çaba harcanmaya başlandı ve böylelikle sezgisel yaklaşımlar ortaya çıkmış oldu (Yang vd., 2013: 78).

### 1.1.3. Optimizasyon Problemlerinin Türleri

Literatürde optimizasyon problemleri şekil 2'de gösterildiği üzere, amaç sayısına göre, kısıt sayısına göre, problem karakteristiği göre, amaç fonksiyonu yapısına göre, değişken tipine göre ve çözüm yaklaşımı tipi göre sınıflandırılmaktadır.

**Şekil 2:** Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması




Kaynak: Yang, 2010b: 18.

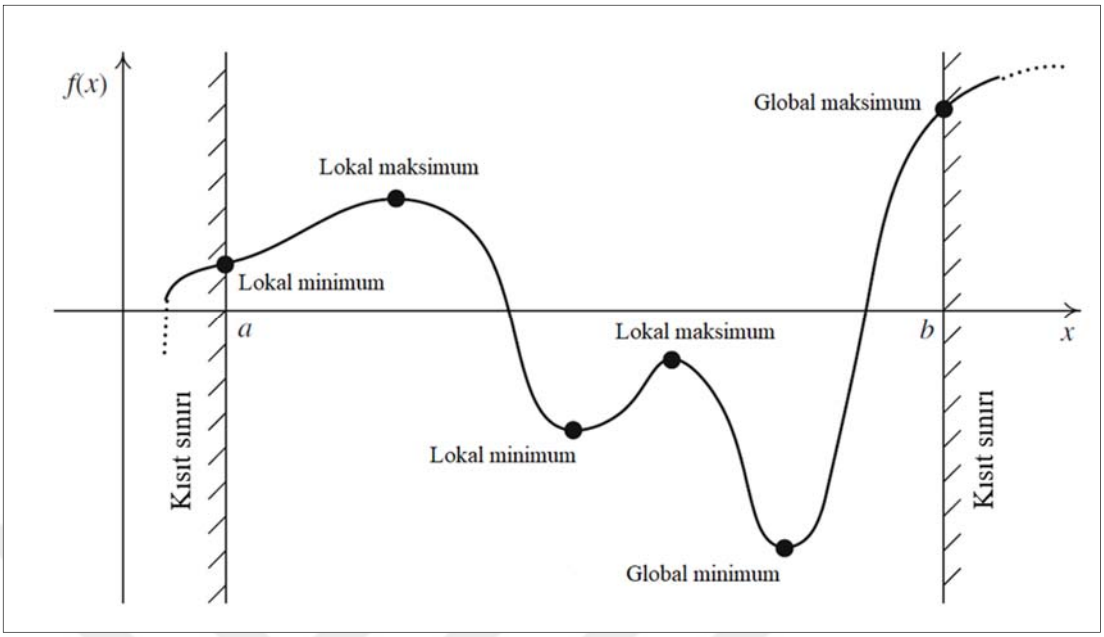
Optimizasyon problemleri hedeflenen amaç sayısına göre tek amaçlı *(single-objective)* ve çok amaçlı *(multi-objective)* olarak sınıflandırılmaktadır. Tek amaçlı optimizasyon problemlerinde tek amaç fonksiyonu vardır ve bu amaç fonksiyonunun maksimum veya minimum en iyi sonucu aranır. Bu tür optimizasyon problemleri karar vericilere problemin en iyi sonucu hakkında bilgi sağlayabilir fakat alternatif çözüm kümesi sunamadığı için dezavantaja sahiptir. Çok amaçlı optimizasyon problemleri ise çok nitelikli *(multi-attribute)* ve çok kriterli *(multi-objective)* olarak da isimlendirilmektedir. Çoğu gerçek hayat problemi çok amaçlı problemdir. Bu tür problemlerde birden fazla amaç fonksiyonu vardır ve her amaç fonksiyonu için optimal sonucun elde edilmesi amaçlanır. Örneğin, bir araba motoru üretiminde, yakıt

verimliliğini maksimize etmek, emisyon değerini minimize etmek ve motor sesi seviyesini minimize etmek gibi aynı problem içinde üç adet amaç fonksiyonu olabilir (Savic, 2002: 8; Yang, 2010b: 17).

Optimizasyon problemleri kısıt durumuna göre kısıtlı (constrained) ve kısıtsız (unconstrained) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kısıtsız optimizasyonda, karar değişkenlerinden hiçbiri diğer değişkenler üzerinde sınırlayıcı etki oluşturmadan en iyi sonucu ortaya çıkarmaktadır. Diğer taraftan optimizasyon problemlerinin çoğunda değişkenlerin çözüm değerlerinin belirlenmiş kısıtları sağlaması gerekmektedir. Bu durumda karar değişkenleri arasında kısıtlayıcı bir bağ oluşur. Bu tip problemler ise kısıtlı optimizasyon problemleri olarak tanımlanır (Görmüş, 2018: 1).

Optimizasyon problemlerini problem karakteristiğine göre tek modlu (unimodal) ve çok modlu (multimodal) olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Fonksiyonda bir adet minimum veya maksimum var ise unimodal olarak tanımlanır. Bu durumda tek optimum nokta olacağı için yerel optimum aynı zamanda global optimumdur. Multimodal problemler de ise birden fazla maksimum veya minimum değerler vardır. Bunlardan biri global optimum, diğerleri ise yerel optimumdur (Özkış, 2013: 12). Bu noktada global/lokal maksimum/minimum kavramlarını açıklamak yerinde olacaktır. Optimizasyon problemlerinde tüm aday çözümlerin içinde optimum sonucun arandığı ve bulunduğu düzleme arama uzayı denir. Bu aday çözümler içinde yer alan en iyi değerler global maksimum veya global minimum olarak, en iyi değere yakın değerlere ise lokal maksimum veya lokal minimum olarak isimlendirilir (Hosny, 2010: 17). Şekil 3'te arama uzayında yer alan global ve lokal optimumlar gösterilmektedir.

**Şekil 3:** Global ve Lokal Optimumlar




Kaynak: Kulkarni vd., 2017: 4.

Optimizasyon problemlerini fonksiyon yapısına göre doğrusal (linear) ve doğrusal olmayan (non-linear) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kısıtlarından en az birinin veya amaç fonksiyonun doğrusal olmaması durumunda problem, doğrusal olmayan problem sınıfına girmektedir. Eğer bütün kısıtlar ve amaç fonksiyonu doğrusal yapıda ise problem, doğrusal problem olarak kabul edilir (Yang, 2010b: 18). Gerçek hayatta yer alan çoğu problemin kısıtlarında ve amaç fonksiyonunda doğrusal ilişki gözlemlemenin zor olduğu ifade edilmektedir (Aras, 2011: 2).

Optimizasyon problemleri veri tipine göre kesikli (discrete), sürekli (continuous) ve karma (mixed) olmak üzere gruplandırılmaktadır (Yang, 2010b: 19; Koç, 2016: 3). Bir problemin karar değişkenleri tamsayı değerlerden oluşuyorsa kesikli optimizasyon problemi, kesirli (reel) değerlerden oluşuyorsa sürekli optimizasyon problemi olarak kabul edilmektedir. Kesikli problemler aynı zamanda kombinatoryal optimizasyon problemleri olarak da ifade edilmektedir. Atama problemi, sırt çantası problemi, küme kapsama problemi, araç rotalama problemi, gezgin satıcı problemi gibi gerçek hayat problemleri bu sınıfa girmektedir. Bu tür problemlerin çözümünde sezgisel yöntemlerin uygulanabilirliği oldukça yüksektir (Çetin, 2007: 2-5).

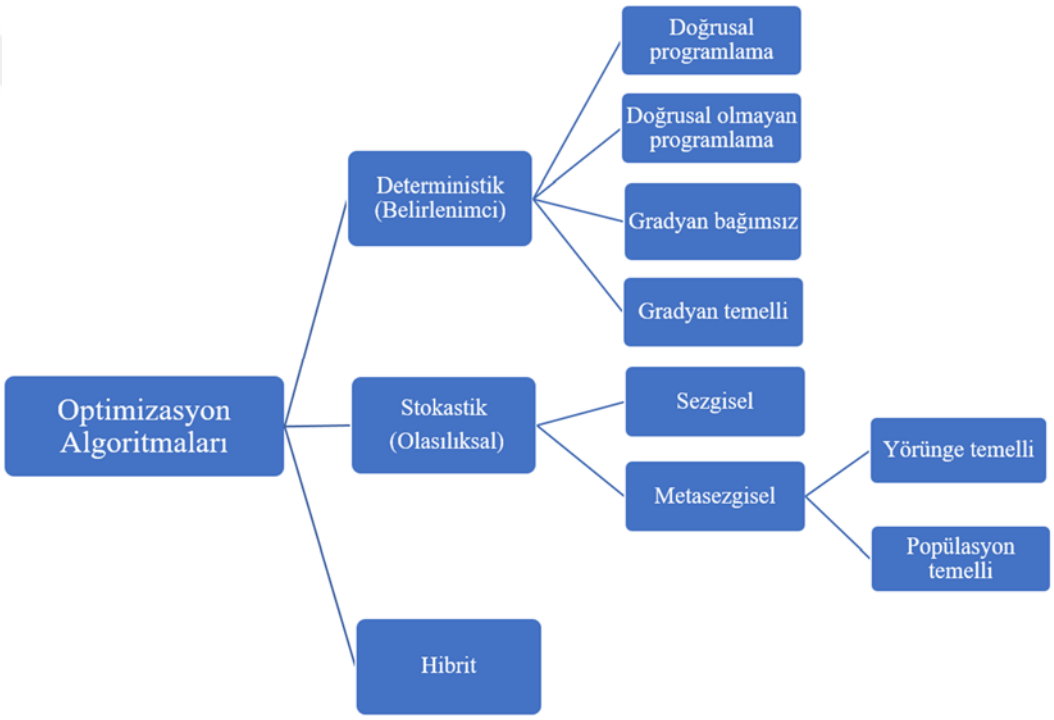
Karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve problem kısıtlarının aldığı değerlerde hiçbir belirsizliğin olmadığı problemler deterministik problemler olarak ifade edilmektedir. Bu tür problemlerde karar değişkenleri kümesi, amaç fonksiyonu ve kısıtların aldığı değerler kesin ve tam olarak tanımlanmaktadır. Fakat gerçek dünya problemlerinde bazı parametreler belirli bir dereceye kadar belirsizdir. Eğer bir problemin karar değişkeni, amaç fonksiyonu ve kısıtlarından herhangi birinde belirsizlik var ise bu problem stokastik optimizasyon problemi olarak kabul edilmektedir (Yang, 2010b: 19).

### 1.1.4. Optimizasyon Algoritmalarının Sınıflandırılması

Optimizasyon problemlerinin çözümünde uygulanan optimizasyon algoritmaları belirli bir problem için etkin sonuçlar üretebilmektedir. Bu sebeple farklı türde optimizasyon problemleri için farklı optimizasyon tekniklerinin uygulanması gerekir (Kıran, 2014: 4). Genel olarak optimizasyon algoritmaları şekil 4'te gösterildiği üzere deterministik, stokastik ve hibrit olarak sınıflandırılmaktadır. Deterministik yöntemeler belli bir problem için her uygulanışta tekrar eden sonuçlar vermektedir (Akkoyunlu ve Engin, 2011: 140). Bu tip yöntemler sıkı ve kesin işlem süreci takip ederler ve model sonucu değerleri tekrar edilebilirdir (Yang, 2010a: 3). Deterministik bir yönteme örnek olarak, her çalıştırmada aynı başlama noktasından aynı yörüngeyi takip eden tepe tırmanma (hill-climbing) algoritması gösterilebilir. Çoğu geleneksel ve klasik algoritma deterministik yaklaşıma sahiptir. Gradyan temelli, gradyan bağımsız, doğrusal programlama ve doğrusal olmayan programlama yöntemleri deterministik temelli çalışmaktadır. Diğer taraftan stokastik yöntemler ise çoğu zaman rastgeleliğe sahip olan yöntemlerdir. Örnek olarak Genetik Algoritma (GA) gösterilebilir. GA'da belli bir problem çözümünde, elde edilen sonuçlar çok farklı olmasa da amaç fonksiyonunu temsil eden popülasyon dizileri her çalıştırmada farklı dizilmektedir. Stokastik yöntemler aralarında belirgin bir fark olmasa da sezgisel ve metasezgisel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sezgisel kavramı, "bulmak" ya da "deneme yanılma ile keşfetme" olarak tanımlanmaktadır. Sezgisel algoritmalar üzerinde yapılan gelişmeler sonucu ise metasezgisel algoritmalar ortaya çıkmıştır. Burada 'meta' ifadesi, ileri veya yüksek seviye anlamına gelmektedir. Metasezgiseller

genel olarak basit sezgisel yöntemlerden daha iyi performans vermektedir. Bu yöntemler, makul ve kabul edilebilir süre içinde en iyi sonuçtan ziyade en iyiye yakın bir sonuç elde edilmesi amaçlanan problemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Üçüncü bir optimizasyon algoritması tipi ise, en az farklı iki algoritmanın birlikte kullanımı sonucu ortaya çıkan hibrit algoritmalardır. Bu yönteme, rastgele başlangıç noktalı tepe tırmanma algoritması örnek gösterilebilir. Temel amaç deterministik bir yöntem kullanmaktır, fakat her çalıştırmada başlangıç farklı noktalardan gerçekleştirilerek rastgelelik sağlanmaktadır (Yang, 2010b: 21).

**Şekil 4:** Optimizasyon Algoritmaları Sınıfları




Kaynak: Yang vd., 2010b: 21.

### 1.1.5. Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri

Yunanca kökenli bir kelime olan (*heuriskein*) sezgisel kavramı; bulmak, keşfetmek anlamına gelmektedir (Marti ve Reinelt, 2011: 17). Buluşsal veya araştırmaya yönelik anlamına da gelen bu kavram (Ergün, 2004: 20) TDK'ya göre *"sezgi ile ilgili, sezgiye dayanan"* olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyon problemlerinde bir çözüm yöntemi olarak ise sezgisel kavramı; makul bir zaman dilimi

içinde karmaşık bir probleme rassal arama ve deneme yanılma prensibi ile kabul edilebilir ve pratik çözümler üretebilen bir çözüm stratejisi olarak ifade edilmektedir (Yang vd., 2010b: 7). Sezgisel yöntemler probleme özgüdür ve her problem için özel olarak tasarlanmaktadırlar (Du ve Swamy, 2016: 9).

Gerçek hayatta etkin bir şekilde çözülmesi gereken çok sayıda ve türde problem vardır. Bu problemler için en iyi olmasalar bile en iyiye yakın çözümler üretebilecek etkin yöntemlerin geliştirilmesi önemlidir. Özellikle polinom zamanlı olmayan-zor (NP-zor) problemler için optimal sonuçlar elde etmek oldukça zordur (Marti ve Reinelt, 2011: 17). Örneğin çok şehirli bir gezgin satıcı problemi NP-zor bir problemdir ve 25 şehirli bir problemin çözümü için tüm permütasyonları deneyen bir algoritmanın 270 milyar yıl çalışması gerekmektedir (Boyacı, 2016). Bu sebeple, bu tür problemler için problem boyutuna ve işlem sürecine bağlı olarak genellikle optimale yakın çözüm hesaplamaları yeterli görülmektedir. Sezgisel yöntemler kabul edilebilir zaman diliminde iyi çözümler üretebilen yöntemler olarak bu tür problemlerin çözümü için kullanılmaktadır (Marti ve Reinelt, 2011: 17).

Sezgisel yöntemler en iyi sonucu garanti etmezler. Kesin çözümler üreten yaklaşımlarda yer alan belirsizliklerden ziyade sezgisel yöntemlerde yer alan belirsizlikler kabul edilebilirdir. Çünkü daha pratik ve uygulanabilir oldukları için algoritma yapıları revize edilebilir ve böylelikle performansları arttırılabilir. Fakat önerdikleri yaklaşık çözümlerin gerçek kalitesini değerlendirmek mümkün olmayabilir. (Romanycia ve Pelletier, 1985: 47).

Zor ve karmaşık problemler için iyi sonuçlar bulma ihtiyacını karşılayan sezgisel yöntemleri kullanmanın nedenleri ve diğer yöntemlere göre avantajları şu şekilde sıralanabilir (Marti ve Reinelt, 2011: 18):

- En iyiye yakın çözümler üretebilmesi
- Esnek ve değişken yapıda olması
- Makul bir süre içinde çözümler üretmesi
- Çok yüksek donanım sistemlerine ihtiyaç duymaması

#### 1.1.5.1. Öncelik Kuralına Dayalı Sezgisel Yöntemler

Öncelik kuralına dayalı sezgisel yöntemler, kullanılan öncelik kuralı ve çizelgenin oluşturulma metodu olmak üzere iki boyuta sahiptirler (Baş, 2015: 14). Bu yöntemler çözüme ulaşmak amacıyla tüm faaliyetleri tanımlanmış olan öncelik kurallarına göre atamaktadırlar. Öncelik ilişkileri ve kısıtları açısından kabul edilebilir bir çözüm üretildikten sonra ise algoritma sonlandırılmaktadır (Erdal, 2007: 17). Literatürde çok sayıda öncelik kuralı bulunmaktadır. Bu öncelik kuralları şu şekilde sıralanabilir (Balkaya, 2011: 24; Ulusoy, 2002: 8; Klein, 2000: 627; Erdal, 2007: 17):

- En kısa işlem süresi (*shortest processing time* - SPT):
- En çok sayıda toplam ardıl (*most total successor* - MTS)
- En geç başlama zamanı (*latest start time* - LST)
- En geç bitirme zamanı (*latest finish time* - LFT)
- En büyük kaynak talebi (*greatest resource demand* - GRD)
- En kısa bolluk süresi (*(minimum slack* - MSLK)
- En büyük konumsal ağırlık (*greatest rank positional weight* - GRPW)
- Yerel kısıt tabanlı analiz (*local constraint based analysis* - LCBA)
- En kötü alternatif bolluk (*worst case slack* - WCS)
- Kaynak çizelgeleme metodu (*resource scheduling* - RSM)
- Rastgele (Random)

Sezgisel yöntemlerde kullanılan öncelik kuralları projenin kapsamına, değişken ve kaynak sayısına göre farklılık göstermekte (Özkan, vd., 2006: 11) ve farklı ölçütlere bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Öncelik kuralının belirlenmesinde kullanılan bilginin türü; ağ, zaman ve kaynağa dayalı kurallar ve üst-alt sınır kuralları olarak ayrılmaktadır. Alt sınır kuralları, amaç fonksiyonu değerinin alt sınırının hesaplanmasında, üst sınır kuralları ise, amaç fonksiyonunun üst sınırının hesaplanmasında kullanılır (Özdemir, 2006: 40). Değeri sabit kalanlar (statik) ve değişik değer alabilenler (dinamik) ise bir diğer sınıflandırma kuralıdır. Örneğin, MLSK dinamik bir kural iken, SPT statik bir kuraldır (Ulusoy, 2002: 8).

#### 1.1.5.2. Çok Çözüm Türeten Sezgisel Yöntemler

Çok çözüm türeten sezgisel yöntemler; örnekleme, çoklu öncelik kuralı ve ileriye-geriye doğru çizelgeleme olmak üzere üç başlık altında toplanmaktadır. Bu tip sezgisel yöntemlerde, daha önceden belirlenen sayıda çözüm türetilerek aralarından en iyi olan seçilir (Paksoy, 2007: 100; Ulusoy, 2002: 9; Kolisch ve Hartmann, 1999: 156).

Örnekleme metodu uygulanarak çok sayıda çözüm türetmeye yönelik yöntemlerde, rassal bir yaklaşım temelinde oluşturulan bir çözüm kümesi içinde en iyi çözüm aranır. Çözüm kümesi içinden çizelgeye atanacak faaliyetin seçilmesi amacıyla kullanılacak rassal seçim kuralı üç başlık altında toplanmaktadır. (i) Rassal örneklemede, çözüm kümesi içinde bulunan faaliyetlerin seçilme olasılıkları eşit olasılıkta tanımlanır. (ii) Yanlı rassal örneklemede, çözüm kümesinde yer alan bir faaliyete, seçim kurallarında öncelik kuralı değeri atayarak belirli bir olasılık tanımlanır. (iii) Alternatif maliyet temelli örneklemede, her faaliyetin seçilme olasılığı, o faaliyete ait öncelik kuralı değeri ile çözüm kümesi içinde yer alan faaliyetlerden en kötü öncelik kuralına sahip olan değer arasındaki farka göre belirlenmektedir. Böylelikle, en kötü öncelik değerinden uzak olan öncelik kuralı değerlerinin seçilme olasılığı arttırılmaktadır (Ulusoy, 2002: 10). Çoklu öncelik kuralı metodunda ise çizelgeleme işlemi birçok defa denenmekte ve her çalıştırmada farklı öncelik kuralı temel alınmaktadır. Bu yöntemde, çoğu zaman kurallar çözüm kalitesine göre sıralandırılarak kullanılmaktadır (Kolisch ve Hartmann, 1999: 156). İleriye doğru metodunda çizelgeleme sıfır zamandan başlatılarak faaliyetler sırasıyla atanmaktadır. Geriye doğru metodunda ise ileri bir zamandan başlanarak faaliyetler sondan başa doğru atanmaktadır (Ulusoy, 2002: 10).

### 1.1.6. Metasezgisel Optimizasyon Yöntemleri

Özellikle 1980'li yıllardan günümüze kadar, basit sezgisel algoritmaları geliştirerek daha etkin bir şekilde problem çözümü aramayı amaçlayan yöntemler sunulmuştur (Copado Mendes, 2011: 11; Reeves, 1993; Özkış, 2013: 20). Metasezgisel olarak isimlendirilen bu yöntemler modern global optimizasyon algoritmalarının en önemli parçasını oluşturmaktadır (Yang, 2012: 405).

Metasezgiseller zor ve karmaşık problemler için yaklaşık olarak çözümler üretmektedir. Klasik sezgisel algoritmalardan farklı olarak, problem özgü olmayıp farklı problemler için uyarlanabilen algoritmalardır.

Metasezgisel kavramı ilk olarak Glover (1986) tarafından kullanılmıştır. Sezgisel kavramı gibi Yunanca kökenli bir kelime olan metasezgisel kavramında yer alan *"meta"* ön eki *"yüksek ve ileri"* anlamı ifade etmektedir. Metasezgisel yöntemler genellikle spesifik çözüm algoritması bulunmayan problemlerin çözümünde kullanılırlar (Boussaid vd., 2013: 82). Metasezgisel yöntemler için literatürde birbirine benzer birçok tanımlama yapılmıştır. Bu tanımlamalardan bazıları aşağıda paylaşılmaktadır.

Metasezgisel İlişki Ağı (Metaheuristic Network Website) internet sayfasında (www.metaheuristics.org):*"farklı optimizasyon problemlerine uyarlanabilmesi için düşük oranda modifikasyon ve değişime gereksinim duyan genel bir algoritma çerçevesi"* olarak ifade edilmektedir.

Talbi (2009), *"optimizasyon problemlerinin çözümü için yaklaşımların tasarlanmasında yol gösterici strateji olarak kullanılabilecek ileri düzey algoritma metodolojisi"* olarak tanımlamaktadır.

Voss vd. (1999), *"yüksek kalitede çözümlerin verimli bir şekilde üretilebilmesi için alt sezgisel işlemleri yönlendiren ve düzenleyen yinelemeli bir işlem"* olarak tanımlamaktadır.

Boussaid vd. (2013), *"her bir soruna derinlemesine uyum sağlamak zorunda kalmadan, çeşitli optimizasyon problemlerine çözüm üretmek için tasarlanmış algoritma yapısı"* olarak tanımlamaktadır.

Tanımlamalarda bazı farklılıklar olsa da, metasezgisel yöntemlerin ortak prensipleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Cergibozan, 2013: 4; Copado Mendes, 2011: 12 ):

- Problem bağımsızdır. Modifikasyon ile farklı problemlere uygulanabilir.
- Özelliklerini ve avantajlarını kullanarak alt sezgisel yöntemleri koordine eder.
- Daha iyi sonuca ulaşabilmek için problemin çözüm uzayını arar.
- Olabildiğince kısa sürede optimal veya optimale yakın çözümlere ulaşabilmek için çaba harcar.

- Arama sürecini yönlendiren stratejilere sahiptir.
- Genellikle yaklaşık sonuçlar bulur ve deterministik değildir.
- Arama uzayının sınırları içinde lokal optimallere takılmamak için çeşitli işleyiş mekanizmaları kullanabilir.

Metasezgisel yöntemler özellikle son 20 yıllık süreçte giderek artan bir popülariteye sahip olmuştur. Birçok endüstri alanında, büyük ve karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümü için etkin olarak kullanılmaktadır. (Talbi, 2009: 23). Metasezgisel uygulamalarının sıklıkla kullanıldığı alanlardan bazıları aşağıda gösterilmektedir:

- Mühendislik tasarımı (Liao, 2010), topoloji (Luh ve Lin, 2009), aerodinamik (Herbert-Acero vd., 2014), telekomünikasyon (Di Caro, 2004), otomotiv (Azarian vd., 2011), robotik (Daoud vd., 2014), makine öğrenmesi (Chou ve Ngo, 2016), biyoinformatik (Krasnogor, 2004), finans (Zhu vd., 2011), sistem modelleme (Hemmati, 2014), kimya (Niesse ve Mayne, 1997), kontrol sistemleri (Krishnakumar ve Goldberg, 1992), sinyal işleme (Biswal vd., 2011), görüntü işleme (Duarte vd., 2006), rotalama problemi (Homberger ve Gehring, 2005), çizelgeleme problemi (Sayadi vd., 2010), üretim planlama (Loukil vd., 2005), lojistik (Shimizu vd., 2008), tedarik zinciri yönetimi (Moncayo-Martínez ve Zhang, 2011), çevre (Mandal ve Acharyya, 2015).

Metasezgisel yöntemler, yüksek ve ileri seviye stratejilere sahip yöntemlerdir. Temel amacı lokal optimumlara takılmadan çoklu lokal aramaya imkan sağlayarak global optimuma ulaşmaktır. Arama sırasında rassal kararlar almaya yatkındır. Diğer basit rassal arama yöntemlerinden farklı olarak metasezgisel yöntemler, rassalık prensibine ek olarak zeki ve yönlendirilmiş bir yapıya sahiptirler (Özkış, 2013: 20; Stützle, 1998: 2).

#### 1.1.6.1. Metasezgisellerin Kısa Tarihçesi

İnsanlık tarihinin ilk periyodundan itibaren insanlar problemlere, deneme yanılma yoluyla çözüm bulmuşlardır. Çoğu önemli keşif sırandan düşünmeden

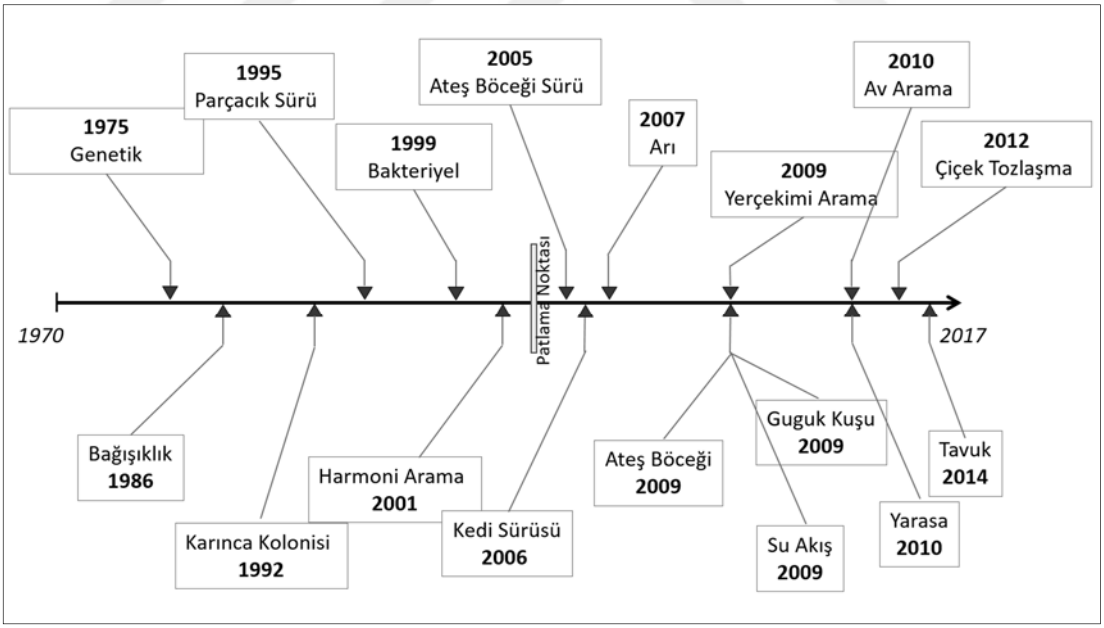
çıkılması sonucu rastlantısal olarak ve sezgilere dayanarak ortaya çıkmıştır (Yang, 2010a: 5).

Özellikle 1900'lü yılların ikinci yarısından itibaren bilgisayar kullanımının yaygınlaşmasıyla, sezgisel ve metasezgisel olarak ifade edilen yeni yöntemler ile birlikte optimizasyon literatürü hızla gelişmeye başlamıştır. Bu yöntemler en iyi sonucu garanti etmese de optimal veya optimale yakın en uygun sonucu kabul edilebilir bir süre içinde bulabilmektedirler (Kiranyaz vd., 2014: 26). Sezgisel yöntemlerin ilk ne zaman kullanıldığı ile ilgili kesin bir tarih vermek mümkün olmamakla birlikte, Alan Turing'in İkinci Dünya Savaşı'nda Alman deniz kuvvetlerine ait *Enigma* sistemini çözmesi ilk uygulama olarak kabul edilebilir (Yang, 2010a: 5). Yapay zekâ kavramının da ortaya çıkmaya başladığı bu dönemde diğer bir önemli adım evrimsel algoritmaların geliştirilmeye başlanması ile atılmıştır. Evrimsel algoritma Darwin'in evrim yaklaşımını temel alarak oluşturulmuş bir yöntemdir. Çaprazlama, mutasyon, doğal seçilim gibi biyolojik sistemlerin matematiksel operatörler ile temsil edilmesi temeline dayanmaktadır. Bu yaklaşımın ilk temelleri 1950'li yıllarda Barricelli ve Fraser ile atılmıştır (Weise, 2009: 141). Daha sonra 1962 yılında bu yaklaşımı temel alarak John Holland GA'yı geliştirmiş ve 1975 yılında yayımlamıştır. Daha sonra 1963 yılında *Ingo Rechenberg, Hans-Paul Schwefel* ve *Peter Bienert* evrimsel strateji algoritmasını ortaya çıkarmışlardır. Bu yaklaşımda diğerlerinden farklı olarak çaprazlama operatörü sisteme dâhil edilmeyerek sadece mutasyon operatörü uygulanmıştır. 1966 yılında ise *L. J. Fogel, A. J. Owen* ve *M. J. Walsh* evrimsel programlama yöntemini tanıtmışlardır (Yang, 2010b: 8). Evrimsel algoritmanın önerilen son yöntemlerinden biri ise 1995 yılında *Rainer Storn* ve *Kenneth Price* tarafından geliştirilen diferansiyel evrim algoritmasıdır. Bu yöntemde diğer evrimsel algoritmalardan farklı olarak, her birey rastgele seçilen diğer üç birey ile mutasyona uğratılarak yeni bireyler üretilmektedir (Kiranyaz vd., 2014: 28).

Metasezgisel algoritmaların gelişimi ile ilgili diğer büyük bir adım Tavlama Benzetimi (TB) algoritması ile atılmıştır. TB, Metropolis vd. (1953) tarafından geliştirilen Monte Carlo simülasyonu tekniği ve Markov zinciri matematiksel yapısına dayanan bir yöntemdir. 1983 yılında *S. Kirkpatrick*, vd. tarafından metallerin tavlama süreçlerinden esinlenilerek geliştirilmiş ve ilk olarak kombinatoryal optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılmıştır (Peng ve Cui, 2015: 140).

Devam eden süreçte *Fred Glover* tarafından 1989 ve 1990 yılında geliştirilen Tabu Arama (TA) algoritması sunulmuştur. 1992 yılında *Marco Dorigo* karıncaların sosyal davranışlarından ve feromon hormonunu kullanarak yem arama hareketlerinden esinlenerek karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) yöntemini geliştirmiştir. 1995 yılında *James Kennedy* ve *Russell C. Eberhart* geliştirdiği parçacık sürü optimizasyonu (PSO) optimizasyon literatüründe diğer önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. Bu yaklaşım balık ve kuşların sürü zekâsından esinlenilerek oluşturulmuştur. 21.yy ile birlikte optimizasyon literatürüne çok sayıda yeni yaklaşım dahil olmaya başlamıştır. 2001 yılında *Zong Woo Geem* vd. tarafından harmoni arama algoritması, 2007 yılında *Derviş Karaboğa* tarafından yapay arı kolonisi algoritması (YAK) ve 2009 yılında *Xin She Yang* tarafından ateşböceği algoritması geliştirilmiştir (Yang, 2010b: 10). Şekil 5'te bazı önemli metasezgisel algoritmalar ve ortaya çıkış tarihleri görülmektedir. İlgili şekilde de gösterildiği üzere, 2000'li yıllar ile birlikte ortaya çıkan algoritma sayısında hızlı bir artış meydana gelmiştir.

**Şekil 5:** Bazı Önemli Metasezgisel Algoritmalar ve Ortaya Çıkış Tarihleri



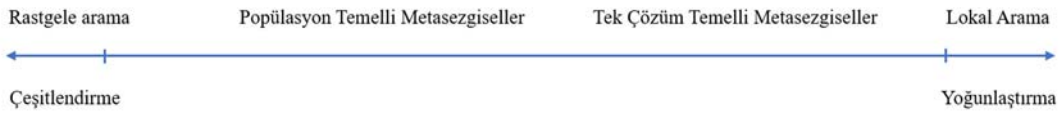

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

### 1.1.6.2. Metasezgisel Yöntemlerin Stratejileri ve Özellikleri

Metasezgisel algoritmalar çözüm uzayı içinde gerçekleştirdiği arama sırasında optimale en yakın sonuçlara ulaşabilmek için bazı stratejiler kullanmaktadır (Arıkan, 2017:1172; Erol, 2006: 67). Bu stratejiler *Çeşitlendirme (Diversification)* ve *Yoğunlaştırma (Intensification)* olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Metasezgisel algoritmalar tasarlanırken bu iki stratejinin hesaba katılması gerekmektedir (Zapfel, 2010: 69; Talbi, 2009: 24). Çeşitlendirme stratejisi, özellikle popülasyon temelli arama algoritmalarında önemli bir yere sahiptir. Bu stratejiye arama sürecinde erken yakınsamayı önlemek için ihtiyaç duyulmaktadır (Zapfel, 2010: 134). Çeşitlendirme stratejisi aramayı, çözüm uzayında ziyaret edilmemiş bölgelere yönlendirmeyi hedeflemektedir. Yoğunlaştırma stratejisi ise çözüm uzayında umut verici ve cezbedici bölgelerinde daha detaylı bir şekilde arama yapılmasına olanak sağlar (Arıkan, 2017:1172; Talbi, 2009: 24).

Metasezgisel yöntemler aramaya bir başlangıç çözümü ile başlarlar. Arama süresince belirli koşullar ve kısıtlar koyarak çeşitlendirme stratejisi gereği çözüm uzayı içinde farklı bölgeleri gezerek iyi sonuç vermeyen çözüm bölgelerini elemektedirler. Diğer taraftan yoğunlaştırma stratejisi gereği belirli bir çözüm bölgesinde derinlemesine arama yaparak ilgili bölgede yer alan optimum değeri bulmayı amaçlamaktadırlar (Erol, 2006: 67). Lokal Arama, TB gibi tek çözüm temelli algoritmalar arama süresince tek bir çözümü işler ve dönüştürür. Bu tip algoritmalar yoğunlaştırma stratejisi odaklıdır ve bu sebeple lokal bölgelerde aramayı yoğunlaştırırlar. Parçacık sürü ve evrimsel gibi popülasyon tabanlı algoritmalar ise çeşitlendirme stratejisi odaklıdır ve tüm çözüm uzayında daha iyi bir çeşitlendirme sağlarlar (Talbi, 2009: 25). Popülasyon tabanlı algoritmalar aynı anda farklı çözümlerin özelliklerinden yola çıkarak yeni çözümler üretebilmektedirler. Böylelikle, çözüm uzayında farklı noktalardan hareket ederek lokal optimumlara takılmadan çeşitlendirme stratejisini etkin bir şekilde kullanmaktadırlar (Erol, 2006: 144). Şekil 6'da metasezgisel algoritmaların tasarımında bu iki stratejinin yeri gösterilmektedir.

**Şekil 6:** Algoritma Tasarımında Çeşitlendirme ve Yoğunlaştırma Stratejilerinin Yeri




Kaynak: Talbi, 2009: 24.

#### 1.1.6.3. Metasezgisel Yöntemlerin Sınıflandırılması

Metasezgisel yöntemler farklı şekillerde sınıflara ayrılmaktadır. Literatürde genel olarak; *esinlendikleri kaynaklara göre*, *aramada kullandıkları çözüm sayısına göre*, *amaç fonksiyonu tipine göre*, *komşuluk yapısına göre* ve *hafıza kullanımına göre* sınıflandırılmaktadır (Blum ve Roli, 2003: 4; Copado Mendes, 2011: 12; Talbi, 2009: 25; Sarıçiçek, 2012: 10).

Esinlendikleri kaynaklara göre metasezgiseller, *doğadan esinlenen (nature inspired)* ve *doğadan esinlenmeyen (non-nature inspired)* olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Doğadan esinlenen metasezgiseller, doğal fenomenlerin ve olayların işleyişlerini örnek alarak oluşturulmuş yöntemlerdir. GA, KKA, TB gibi algoritmalar bu sınıfa örnek gösterilebilir (Blum ve Roli, 2003: 4).

Aramada kullandıkları çözüm sayısına göre metasezgiseller, *tek çözüme dayalı (single solution based)* ve *popülasyona dayalı (population based)* olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tek çözüme dayalı yöntemde her iterasyonda sadece tek bir çözüm üzerinde işlem uygulanır. TA, TB gibi algoritmalar bu sınıfa örnek gösterilebilir. Diğer taraftan KKA ve GA gibi algoritmalar ise popülasyona dayalı algoritmalardır. KKA'da karınca popülasyonunun davranışı üzerinden çözüm inşa edilmektedir. GA'da ise genetik operatörler kullanılarak kromozomlardan oluşturulmuş popülasyon üzerinden çözüme ulaşılır. Bu sınıfa giren algoritmalar arama uzayının farklı noktalarının araştırılması için uygun yol sağlamaktadır. Fakat algoritmanın vereceği performans popülasyonun nasıl işlendiğine ve manipüle edildiğine bağlıdır (Birattari vd., 2001: 4).

Kullanılan amaç fonksiyonu tipine göre metasezgiseller, *dinamik amaç fonksiyonu (dynamic objective function) ve statik amaç fonksiyonu (static objective function)* olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çoğu algoritma problemde verilen amaç fonksiyonunu sabit tutar ve herhangi bir değişikliğe uğratmaz. Fakat Yönlendirilmiş

Yerel Arama gibi algoritmalar, yerel optimumlardan kaçınmak amacıyla arama süresince amaç fonksiyonu üzerinde değişiklik yapabilmektedirler (Copado Mendes, 2011: 13).

Kullanılan komşuluk yapısına göre metasezgiseller, *tek komşuluk yapısı (one neighborhood structures)* ve *çeşitli komşuluk yapısı (various neighborhood structures)* olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. TB ve TA gibi çoğu metasezgisel algoritma tek komşuluk yapısı üzerinde çalışmaktadır. Fakat Yönlendirilmiş Arama Algoritması gibi algoritmalar en az iki farklı komşu yapısı kullanmaktadırlar. Bu tip algoritmalarda yerel arama bir *n* noktasında başlamaktadır ve yerel optimuma ulaşana kadar sürmektedir. Daha sonra ise başka bir noktada arama devam etmektedir. GA'da mutasyon operatörü de aynı etkiyi göstermektedir. Bu operatör farklı noktalarda arama yapılmasına olanak sağlamaktadır (Birattari vd., 2001: 4).

Son olarak, hafıza kullanımına göre metasezgiseller, *hafıza kullanan (memory usage)* ve *hafıza kullanmayan (memory-less)* olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu tip algoritmalar hafızada tuttukları arama geçmişini devam eden arama sürecinin yönüne etki etmek için kullanırlar. Hafıza kullanımında birkaç farklı yol vardır. Kısa süreli ve uzun süreli hafıza kullanımı olarak ayrılmaktadır. Kısa süreli hafıza kullanımında genellikle, son gerçekleştirilen hamleler, yakın zamanda elde edilen çözümler ve genel olarak alınan kararlar takip edilmektedir. Uzun süreli hafıza kullanımında ise o ana kadar gerçekleşen arama parametreleri hafızada tutulmaktadır. Hafıza kullanımı, güçlü bir metasezgiselin temel öğelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Blum ve Roli, 2003: 5).

## 1.2. GENETİK ALGORİTMA (GA)

Bu bölümde GA'nın tanımı, tarihsel gelişimi, özellikleri, çalışma prensibi, temel kavramları, operatörleri, avantajları ve dezavantajları, diğer yöntemlerden farkları ve performansını etkileyen faktörler ile ilgili detaylı bilgilere yer verilmektedir.

### 1.2.1. Genetik Algoritmanın Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Doğada bulunan tüm canlılar hayatta kalma mücadelesi içerisindedir. Her canlı birbirinden farklıdır ve genetik olarak farklı şifrelendirilmiştir. Türlerin her bir üyesi bireysel stratejilerini hayatta kalmaya yönelik kullanmaktadır. Bu konuda başarılı olan üyeler stratejilerini ve genetik miraslarını gelecek nesillere aktarabilmektedirler. Nesillere aktarılan bu genetik miras ile birlikte türler hayatta kalma problemine karşı daha etkili olabilmektedir (Özdemir, 2006: 69). GA, bu genetik süreçleri ve doğal seçilim prensibini temel alarak biyolojik doğal yaşam sürecine göre modellenmiş bir metasezgisel algoritmadır (Altan, 2013: 4; Coley, 1999: 1).

GA, çözümü zor karmaşık problemlerin, evrimsel süreçlerden geçirilerek çözüme ulaştırılması için kullanılan bir yöntemdir. Değişken ve kısıt sayısı fazla, karmaşık amaç fonksiyonuna sahip ve kesin çözüm yöntemine ulaşımı zor olan problemler için makul bir sürede en iyi veya en iyiye yakın sonuçlar verebilmektedir (Altan, 2013: 4).

1950'ler ve 1960'larda birçok bilgisayar bilimci, evrimsel süreçlerin mühendislik problemlerinde optimizasyon aracı olarak kullanılabileceği düşüncesi ile evrimsel sistemler üzerine çalışmışlardır. Bu fikir, genetik çeşitlilik ve doğal seçilimden esinlenen operatörleri kullanarak belirli bir problem için aday çözümlerden oluşan popülasyonu evrimsel süreçlerden geçirerek en iyiye ulaşma temeline dayanmaktadır. 1960'larda Rechenberg, uçak kanadı gibi cihazlar için gerçek değerli parametreleri optimize etmek amacıyla kullandığı bir yöntem olan *evrimsel strateji* kavramını ortaya çıkarmıştır. Daha sonra bu fikir Schwefel tarafından geliştirilmiştir. Diğer taraftan 1960'ların sonlarında Fogel, Owens ve Walsh *evrimsel programlama* tekniğini tanıtmışlardır (Mitchell, 1999: 2).

1960'larda Biyolog Barricelli ve bilgisayar bilimci Fraser gibi araştırmacılar evrim, doğal seçilim ve genetik süreçleri daha iyi anlayabilmek adına bilgisayar destekli simülasyonları uygulamaya başlamışlardır. Aynı dönemde Bremermann ve Bledsoe ise, eşitliklerin çözümü, fonksiyon optimizasyonu ve sinir ağlarındaki ağırlıkların belirlenmesi için ikili dizi genomlarına dayalı evrimsel yaklaşımlar kullanmışlardır (Weise, 2009: 141).

1950'ler ve 1960'larda diğer birçok araştırmacı makine öğrenmesi ve optimizasyon için evrimsel temele dayalı algoritmalar üzerine çalışmışlardır. Bu dönemde Box, Friedman, Reed, Toombs gibi araştırmacılar konu üzerine araştırmalarda bulunmuşlardır (Mitchell, 1999: 2). Tüm bu gelişmelerin ışığında 1960'larda John Holland tarafından geliştirilen GA ortaya çıkmıştır (Iori, 2005: 10). Evrimsel strateji ve evrimsel programlama yaklaşımlarından farklı olarak Holland'ın hedefi, belirli problemlerin çözümü için algoritma oluşturmaktan ziyade doğal adaptasyon mekanizmalarının uyum olgusunu inceleyerek bilgisayar sistemlerine aktarabileceği yolları geliştirmekti. 1975 yılında *Adaptation in Natural and Artificial Systems* isimli kitabında GA'yı biyolojik evrimin bir özeti olarak teorik bir çerçevede sunmuştur. Holland geliştirmiş olduğu GA'yı, gen dizilerinden oluşan kromozomların yer aldığı bir popülasyonu, çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerle yeni bir popülasyona evrimleştirme süreci olarak ifade etmektedir. İlk ortaya çıktığı dönemden bu tarafa GA, Evrimsel Stratejiler ve Evrimsel Programlama ile birlikte evrimsel hesaplama alanının belkemiğini oluşturmaktadır. Özellikle GA günümüzde optimizasyon problemlerinin çözümü için sıklıkla uygulanmaya devam etmektedir. (Mitchell, 1999: 3).

### 1.2.2. Genetik Algoritmanın Temel Kavramları

GA kullanarak bir problemin çözümüne başarılı bir şekilde ulaşabilmek için GA'nın temel kavramlarını iyi bilmek gerekmektedir. Bu bölümde bu temel kavramlar özetlenmiştir.

#### 1.2.2.1. Gen

*Gen, bir bireyin kalıtsal özelliklerinden herhangi birini taşıyan parçadır* (Altan, 2013: 6). Diğer bir ifade ile "*kendi başına anlamlı kalıtsal bilgi taşıyan en küçük genetik yapıya "gen" denir* (Alcan, 2014: 83). Her gen, diziler/değerler oluşturarak özel bir işlev taşıyan kromozomları meydana getirmektedir (Paksoy, 2007: 21). Kromozom dizisi üzerinde belirli bir konumda bulunan genler, bulundukları konuma göre temsil ettikleri değişkenin değerini ifade etmektedir. Sayısal olarak değer

tutan her değişken, gen veya bir gen grubu tarafından temsil edilmektedir. Böylece kromozomlar, problemin sahip olduğu karar değişkenlerini temsil eden genlere sahip diziler olarak tanımlanmaktadır (Altan, 2013: 6).

Algoritmanın başlangıcında oluşturulan gen sıralamasının daha sonraki aşamalarda değiştirilmemesi gerekmektedir (Paksoy, 2007: 22).

#### 1.2.2.2. Kromozom (Birey)

Kromozom birden fazla genin bir araya gelerek oluşturdukları dizi olarak tanımlanmaktadır (Alcan, 2014: 83). GA modellerinde arama uzayında yer alan her bir çözümün matematiksel olarak ifade edilmesinde gen dizilerinden oluşan kromozomlar kullanılmaktadır (Altan, 2013: 5). GA'da her kromozom potansiyel bir çözümü ifade etmektedir (Alcan, 2014: 83).

Bilgisayar sistemi üzerinde her bir kromozomun bir çözümü temsil edebilmesi için kodlanması gerekmektedir. Kodlama içeriğinin seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörlerin uygulanmasına uygun olmalıdır. Literatürde uygulanan farklı kodlama yöntemleri olmakla birlikte en çok tercih edilen yöntemler; *ikili kodlama*, *sıralı* (*permütasyon) kodlama, değer kodlama*'dır (Kırda, 2013: 48).

*İkili kodlama,* çözüm uzayında yer alan değişkenlerin ikilik taban sisteminde ifade edilmesidir. Bu sistemde kromozom dizisinde bulunan her bir gen 0 veya 1 ile temsil edilmektedir. İkili kodlama sistemi her ne kadar diğer kodlama sistemlerine göre daha iyi sonuçlar verse de bazı dezavantajlara da sahiptir. Bazı durumlarda karmaşık değişken değerlerinin ikili sistemde temsil edilmesi gen sayısının çok fazla olmasına neden olmakta ve kromozom dizisini uzatmaktadır (Balkaya, 2011: 53). Aşağıda ikili kodlama sisteminde ifade edilmiş örnek kromozom dizileri gösterilmektedir.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Kromozom 1: | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kromozom 2: | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

Problem çözümü elde edildikten sonra ikili kodlama sisteminde ifade edilen değişkenler onluk tabana çevrilerek çıktı olarak verilmektedir. Dönüşüm yine aynı kromozom dizisi için aşağıda gösterildiği şekilde gerçekleştirilmektedir.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kromozom 1: | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ⇨ $1x2^5 + 0x2^4 + 0x2^3 + 0x2^2 + 0x2^1 + 0x2^0 = 32$ |
| Kromozom 2: | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | ⇨ $1x2^5 + 0x2^4 + 1x2^3 + 0x2^2 + 1x2^1 + 0x2^0 = 42$ |

*Sıralı* (*permütasyon) kodlama* gezgin satıcı problemi ve görev sıralama problemi gibi sıralama üzerine kurulmuş problemlerin çözümünde tercih edilen bir kodlama yöntemidir (Güçlü, 2004: 21). Örneğin; A=Adana, B=Bursa……., I=İstanbul şeklinde tanımlanmış bir gezgin satıcı probleminde genlerin şehirleri temsil ettiği kromozom dizileri şu şekilde ifade edilmektedir (Doyranlı, 1999: 7; Balkaya, 2011: 54).

STZEYMNPKVDS
SZPMVEDYNTKS
SYZPMVNETKDS
….
STKPNVYMZEDS

*Değer kodlama* reel sayılar gibi karmaşık değerlerin kullanılması gerektiği durumlarda kullanılabilmektedir. İkili kodlamanın kullanışlı olmadığı durumlar için uygun bir kodlama yöntemidir. Bu yöntemde her kromozom değerlerden oluşan bir dizi olarak oluşturulmaktadır. Bu değerler problem çeşidine göre, karmaşık objeler, reel sayılar ve harfler gibi farklı ifadelerden oluşturulabilir. Değer kodlama kullanılan problemlerde, probleme özgü çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin geliştirilmesi gerekebilir (Alcan, 2014: 97; Sivanandam ve Deepa, 2008: 45). Aşağıda değer kodlama ile kodlanmış gen dizilerinden oluşan örnek kromozomlar gösterilmektedir.

| | |
|---|---|
| Kromozom A: | 1.2324 5.3032 0.5889 2.6954 2.7841 |
| Kromozom B: | ABGFEKJDIKELOYHNDRGRSTG |
| Kromozom C: | (mavi), (sağ), (sol), (arka), (ön) |

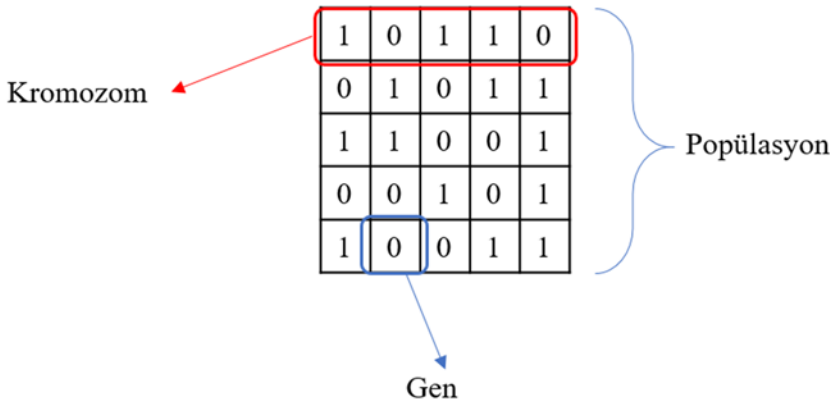
#### 1.2.2.3. Popülasyon

Popülasyon, kromozomların veya diğer bir ifade ile bireylerin oluşturduğu ve optimum sonucun arandığı çözüm uzayı olarak tanımlanmaktadır. Popülasyonda yer alan her birey, bir çözüm bilgisi içermektedir. Bu bireyler GA operatörleri tarafından işleme tutularak değişimi uğrarlar ve bir sonraki nesli oluştururlar. GA operatörleri optimum çözümü arama işlemini, problemde belirlenmiş olan kısıtlara ve amaç fonksiyonuna göre popülasyon büyüklüğü sınırları içinde gerçekleştirir (Balkaya, 2011: 24).

Popülasyonda yer alan birey sayısı, GA'nın başarılı bir şekilde optimum sonuca erişimini etkileyen önemli faktörlerden biridir (Paksoy, 2007: 22). Gereğinden daha küçük bir popülasyon büyüklüğü, GA'nın küçük bir çözüm uzayında arama yapmasına neden olmaktadır. Bu durumda optimum sonuç, çözüm uzayı dışında kalabilmektedir. Olması gerekenden daha büyük bir popülasyon ise optimum sonuca geç ulaşılmasına ve sistemin yavaş çalışmasına neden olmaktadır. (Emel ve Taşkın, 2002: 135; Paksoy, 2007: 22). Hemen hemen tüm GA uygulamalarında popülasyon büyüklüğü sabittir ve arama sırasında değişmemektedir (Eiben ve Smith, 2015: 31).

Şekil 7'de en küçük yapı olan gen, gen dizisinden meydana gelen kromozom ve kromozomların oluşturduğu bir popülasyon örneği gösterilmektedir.

**Şekil 7:** Gen, Kromozom ve Popülasyon Yapısı




Kaynak: Küçük, 2016: 36.

#### 1.2.2.4. Uygunluk Değeri ve Uygunluk Fonksiyonu

Popülasyonda yer alan iyi özelliklere sahip bireylerin bir sonraki nesilde kullanılacak yeni popülasyona aktarılması, belirli ölçütlere göre değerlendirilerek yapılmaktadır. GA'da yer alan bireylerin uygunluk değerleri belirlenen bir uygunluk fonksiyonu sonucu elde edilmektedir (Paksoy, 2007: 22). Uygunluk fonksiyonu her birey için ayrı ayrı hesaplanır ve optimum sonuca ulaşmada hedefe ne kadar yakın veya uzak olunduğu bilgisini vermektedir. Bunun yanında sonraki nesillerin üretilmesinde mutasyon ve çaprazlama gibi genetik operatörler uygulanacak ebeveyn bireyler, sahip oldukları uygunluk fonksiyonu değerlerine göre belirlenmektedir (Garayev, 2017: 44). GA'nın ilk aşamasında belirlenmiş olan uygunluk fonksiyonu değerine göre tüm bireylerin uygunluk değerleri hesaplanmaktadır. Böylece *n* elemanlı bir popülasyonda $f_n$ olmak üzere *n* adet uygunluk değeri ortaya çıkmaktadır (Paksoy, 2007: 23). Bireylerin kalitesi sahip olduğu uygunluk değerine bağlıdır ve en iyi uygunluk değerine sahip birey problemin optimum çözümünü tutan bireydir (Mori ve Tseng, 1997: 137).

### 1.2.3. Genetik Operatörler

GA; seçim, çaprazlama ve mutasyon olmak üzere üç temel operatörü ile birlikte birçok optimizasyon probleminin çözümünde iyi sonuçlar vermektedir. GA'nın temel unsurunu oluşturan bu üç operatör, yeni neslin oluşturulması, uygunluk değeri yüksek olan bireylerin iyi özelliklerinin yeni nesle aktarılması, yeni popülasyonun öncekilerden farklılaştırılması ve lokal optimuma takılmamak için çözüm uzayı içinde farklı noktalarda arama yapılması amacıyla uygulanan işlemlerdir (Paksoy, 2007: 29). Bu bölümde bu üç operatör kısaca açıklanmaktadır.

#### 1.2.3.1. Seçim

Seçim, popülasyonda yer alan bireylerin yeni nesillerin üretilmesi amacıyla eşleştirmede hangilerinin seçileceğine karar verme işlemidir. Burada eşleştirmek için seçilen bireyler ebeveyn, ebeveynlerden üretilen yeni nesiller ise çocuk olarak ifade

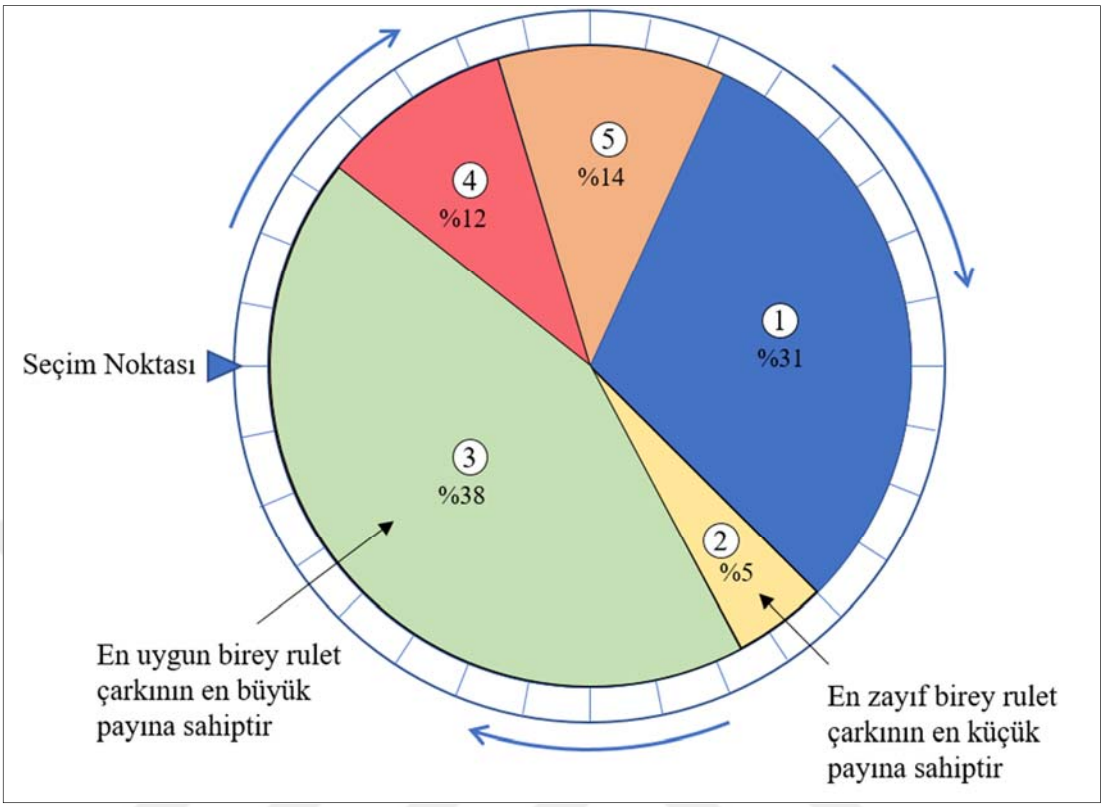
edilmektedir (Eiben ve Smith, 2015: 31). Seçim işlemi optimum sonuca yakınsama sürecini önemli ölçüde etkilediğinden GA'nın en önemli operatörlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Lipowski ve Lipowska, 2012: 2193). Kromozomların yani bireylerin nasıl seçileceği ve kaç adet bireyin yeni nesil üretimi için kullanılacağının önceden belirlenmesi gerekmektedir. Seçim işlemi uygulanırken, uygunluk değeri yüksek olan yani çözüme en yakın olan bireylerin seçilme olasılıklarının yüksek tutulması önemli bir noktadır. Seçim işleminin uygulanmasında öncelikle her bireyin uygunluk değeri hesaplanarak problem çözümünü ne kadar karşıladıkları bilgisi elde edilir. Daha sonra popülasyonda yer alan her bireyin sahip olduğu uygunluk değerine göre seçilme olasılıkları belirlenir. Olasılıkları belirlenen bireyler rastgele seçilerek yeni nesli üretmek amacıyla eşleştirme havuzuna alınırlar. Burada en yüksek uygunluk değerine sahip bireyler yüksek seçilme olasılığa sahiptirler (Kıyak, 2013: 37). Seçim işlemi için literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

*Rulet çarkı (roulette wheel) yöntemi* basit ve literatürde en sık uygulanan bir seçim yöntemidir. Bu yöntemde şekil 8'de gösterildiği üzere rulet çarkının dilimleri her bireye, sahip olduğu uygunluk değerine göre orantılı olarak tahsis edilir (Goldberg, 1989: 63). Diğer bir ifade ile seçilmek üzere her birey sahip olduğu uygunluk değerine göre rulet çarkından pay almaktadır. Eşleştirmek için seçilecek bireyler sahip oldukları uygunluk değerine göre rastgele rulet çarkının döndürülmesi ile seçilir (Du ve Swamy, 2016: 44). Bu yöntemde uygunluk değeri yüksek olan bireylerin seçilme olasılığının yüksek olması hep aynı bireylerin seçilme ihtimalini arttırmaktadır. Bu durumun popülasyon içinde yer alan bireylerin çeşitliliğini azaltma ihtimali, yöntemin dezavantajı olarak kabul edilmektedir (Küçük, 2016: 39). Bu yöntemde *i.* bireyin seçim olasılığı $P_i$ ve popülasyon büyüklüğü $N_P$ olmak üzere denklem (5) ile ifade edilmektedir.

$$P_i = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^{N_P} f(x_i)}, i = 1,2,\dots,N_P \tag{5}$$

Her bireyin uygunluk değeri $f(x_i)$'nin, popülasyonda yer alan tüm bireylerin uygunluk değeri toplamına oranı, seçilme olasılığını vermektedir (Du ve Swamy, 2016: 44).

**Şekil 8:** Rulet Çarkı Seçimi

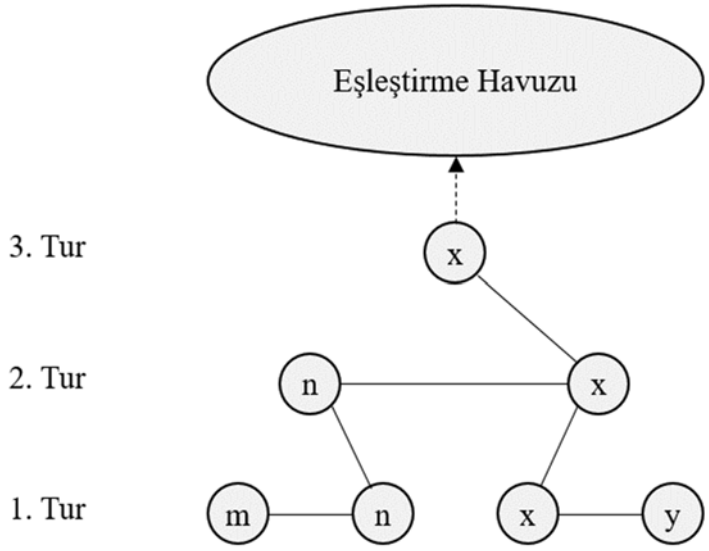



Kaynak: Jun vd., 2017: 81.

*Sıralı (rank) seçim yöntemi,* popülasyonda yer alan bireylerin uygunluk değerleri arasında çok fazla fark olduğu durumlarda uygulanan bir yöntemdir. Herhangi bir bireyin diğer bireylere oranla çok yüksek uygunluk değerine sahip olması seçilme ihtimalini arttırmaktadır. Bu durumda diğer bireylerin seçilme ihtimali zayıflamakta ve çözüm hep aynı yerde aranarak lokal optimuma takılma sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemde en kötü uygunluk değerine sahip bireye 1 değeri verilerek popülasyonda yer alan diğer tüm bireylere uygunluk değerine göre 2,3,4… değerleri atanarak sıralanmaktadırlar. Bir bireyin seçilme olasılığı sahip olduğu değerin tüm bireylerin değerler toplamının oranı kadardır (Özkan, 2008: 23).

*Turnuva seçimi yöntemi,* rastgele seçilen en az iki birey arasında uygunluk değeri iyi olan bireyin seçilmesi prensibine dayanmaktadır. Böylece yeni nesil üretimi için ebeveyn olarak iyi bireylerin seçimi sağlanmış olur. Optimuma hızlı bir şekilde erişim sağlanmasında etkili bir yöntemdir. Şekil 9'da turnuva seçimi yöntemi akışı gösterilmektedir.

**Şekil 9:** Turnuva Seçimi Yöntemi




Kaynak: Alcan, 2014: 100.

*Sabit durum seçim yönteminde,* en kötü uygunluk değerine sahip bireyler dışarıda bırakılır. Yeni nesil üretiminde mevcut iyi bireylerden üretilmiş çocuklar dışarıda bırakılan kötü bireylerin yerini almaktadır. Popülasyonun geri kalanı olduğu gibi yeni nesle aktarılmaktadır (Mitchell, 1999: 128).

*Elitizm,* popülasyonda uygunluk değeri yüksek olan bir ya da birkaç bireyin sonraki nesillere aktarılması işlemidir. Yeni nesillerin üretimi için çaprazlama ve mutasyona operatörünün uygulanması en iyi bireyinde değişmesine neden olacaktır. Bu yöntemde en iyi birey ya da bireylerin sonraki nesillere aktarılması amaçlandığı için bu operatörlere tabi tutulmaz ve olduğu gibi yeni nesle aktarılır. Elitizm mevcut nesilde bulunan en iyi bireyin kaybını önlediği için GA'nın performansını arttırdığı kabul edilmektedir (Garayev, 2017: 53).

### 1.2.3.2. Çaprazlama

GA'da yeni nesillerin üretilmesinde çaprazlama operatörü uygulanmaktadır. Seçim yöntemlerinden biri uygulanarak seçilen iki ebeveynin genleri karşılıklı olarak yer değiştirerek çocukların üretilmesi, diğer bir ifade ile yeni neslin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Böylece, uygunluk değeri yüksek ebeveynlerden uygunluk değeri yüksek çocuk bireyler üretilmektedir. GA, üretilen yeni neslin uygunluk değeri

açısından bir önceki nesilden daha iyi olması prensibine sahiptir. Mevcut gen havuzundan daha iyi değerlere sahip yeni neslin üretilmesinde çaprazlama operatörü uygulanmaktır (Kıyak, 2013: 39).

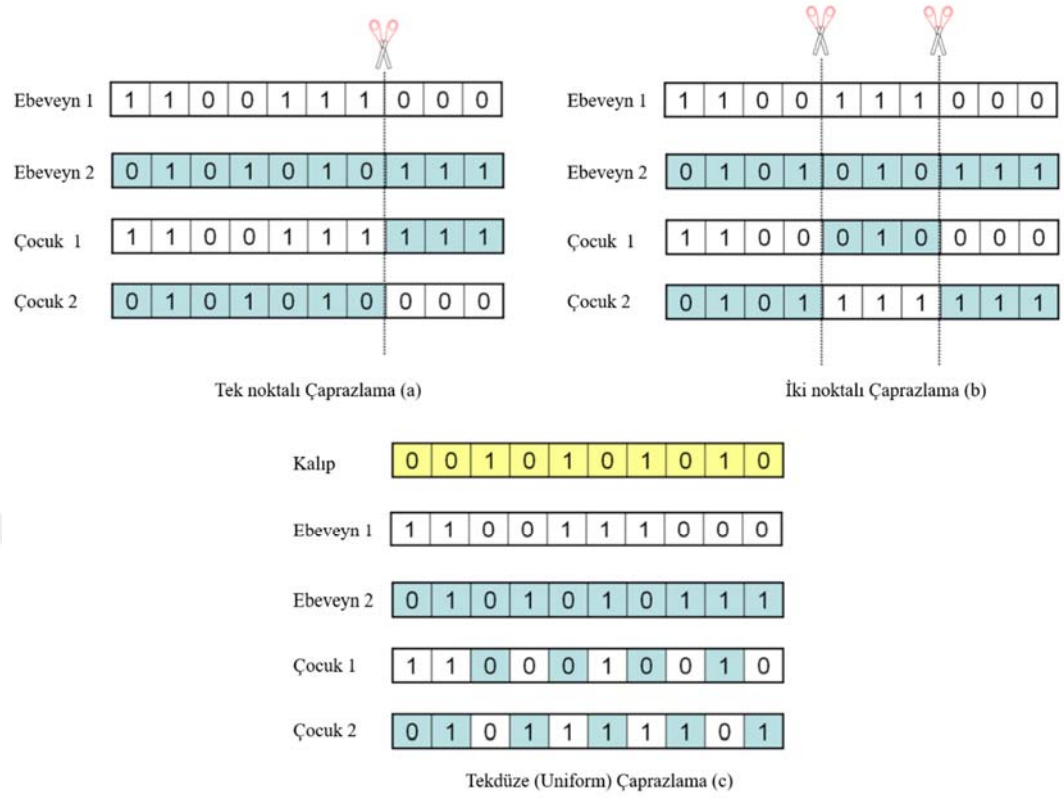
Çaprazlama, popülasyonda bulunan bireylerin belirli bir oranına uygulanmaktadır. Çaprazlama oranı olarak ifade edilen bu oran algoritma inşası planlanırken belirlenmektedir. GA'da çaprazlama oranının iyi belirlenmesi algoritmanın arama yeteneği açısından önemlidir. Yüksek çaprazlama oranı, popülasyonda farklı özellikler taşıyan birey sayısını arttırmakta ve mevcut popülasyonda iyi değere sahip bireylerin bir sonra ki nesle taşınamama riskini ortaya çıkarmaktadır. Düşük çaprazlama oranı ise farklı özellikler taşıyan birey sayısının azalmasına neden olmakta ve böylelikle algoritmanın optimum sonuca ulaşmasını zorlaştırmaktadır (Paksoy, 2007: 30). Literatürde yaygın olarak kullanılan çaprazlama yöntemleri aşağıda açıklanmıştır (Elen, 2011: 20).

*Tek noktalı çaprazlama* yönteminde şekil 10(a)'da gösterildiği üzere iki ebeveynde çaprazlama için rastgele bir nokta belirlenir. Belirlenen bu noktaya kadar ebeveynlerin gen dizileri alınarak aralarında yerleri değiştirilir.

*İki noktalı çaprazlama* yöntemi tek noktalı çaprazlamanın yetersiz kaldığı veya kromozomların bloklar halinde bozulmasının algoritmanın performansı etkilediği durumlarda tercih edilmektedir. Bu yöntemde şekil 10(b)'de gösterildiği üzere rastgele seçilen iki nokta arasında kalan gen dizilerinin bireyler arasında yerleri değiştirilir.

*Tekdüze (uniform) çaprazlama* yönteminde şekil 10(c)'de gösterildiği üzere kromozomlardaki gen uzunluğu kadar rastgele genlerden türetilmiş bir kalıp kromozom oluşturulur. Kalıp kromozomda "0" olan yer için birinci ebeveynin, "1" olan yerler için ikinci ebeveynin genleri alınarak birinci çocuk kromozoma verilir. İkinci çocuk kromozomu için ise tersi yapılır.

**Şekil 10:** Çaprazlama Yöntemleri




Kaynak: Hosny, 2010: 26.

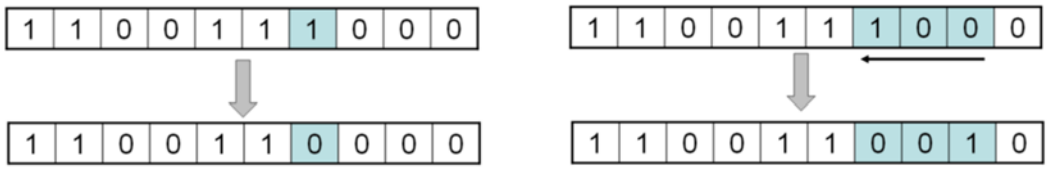
### 1.2.3.3. Mutasyon

Ebeveyn kromozomlardan çaprazlama uygulanarak türetilen çocuk kromozomlar arama uzayında farklı bölgelerin aranması konusunda zayıf kalabilmektedir. Çaprazlama işlemi GA'nın farklı noktaları arama özelliğini kısıtlamakta ve böylelikle lokal optimuma takılma durumu ortaya çıkabilmektedir. Bu durumun önlenmesi için yapılacak işlem popülasyon içinde yer alan bireylerin çeşitliliğini arttırmaktır. Mutasyon işlemi bu amaç doğrultusunda uygulanan bir işlemdir. Mutasyon ile bireylerin arama uzayında farklı noktalara dağılarak yeni alanların keşfedilmesi sağlanmaktadır. Bu operatör ile bireylerin birbirlerine benzemesini engellemek için sahip olduğu genler düşük bir olasılıkla rastgele değiştirilir. GA inşası oluşturulurken belirlenen mutasyon oranı ile popülasyonda yer alan bireylerin ne kadarının mutasyona uğratılacağı kontrol edilmektedir. Literatürde yaygın olarak kabul gören mutasyon oranları, popülasyon büyüklüğüne de bağlı

olarak, 0,01 - 0,05 aralığında değerlerdir (Tuncer, 2013: 33; Tuna, 2014; Ünal, 2018; Özdemir, 2017).

Nokta mutasyonu ve tersine mutasyon işlemleri literatürde en sık kullanılan mutasyon yöntemlerindendir. Nokta mutasyon değiştirme, silme, ekleme olmak üzere tek gen üzerinde yapılan değişikliktir. Tersine mutasyon ise gen dizisi üzerinde belirlenen iki nokta arasında yer alan genlerin tersine çevrilmesidir (Du ve Swamy, 2016: 48). Şekil 11'de bu iki yöntem gösterilmektedir.

**Şekil 11:** Mutasyon Yöntemleri




(a) Nokta Mutasyonu (b) Tersine Mutasyon

Kaynak: Hosny, 2010: 26.

### 1.2.4. Genetik Algoritmanın Çalışma Prensibi

Optimizasyon problemlerinde amaç, arama uzayında yer alan uygun çözümlerden mümkün olduğunca en iyisine ulaşmaktır. Bu doğrultuda GA, arama ve optimizasyon problemleri için yaklaşık sonuçları bulmayı amaçlayan bir arama algoritmasıdır. GA olası çözümleri elinde tutan bir popülasyona sahiptir ve her bir çözüm bir kromozom aracılığıyla temsil edilmektedir. Şekil 12'de gösterildiği üzere GA'nın ilk adımında, değişkenleri, kısıtları ve amaç fonksiyonu belirlenmiş olan problem için kromozomlar, belirlenen kodlama tipi ile kodlanarak başlangıç popülasyonu oluşturulur. Popülasyonda yer alan her bireyin amaç fonksiyonuna göre uygunluk değerleri hesaplanır. Daha sonra seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinden oluşan yeni nesil üretim süreci belirlenir. Bu noktada bu operatörlerin hangi çeşitlerinin kullanılacağının belirlenmesi gerekmektedir. Seçilecek olan operatör tipleri GA'nın davranışını direkt etkilediği için belirleyici bir faktördür. Son adımda sonlandırma koşulu sağlanması durumunda optimal çözüm döndürülür ve algoritma sonlandırılır. Koşul sağlanmazsa nesil arttırılarak uygunluk hesabı adımına

geri dönülür. Aşağıda GA'nın problem çözümünde izlediği adımlar ana hatları ile sıralanmıştır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 30; Özkan, 2008: 20).

**[Başla]**

**[Popülasyon Oluştur]** *n* adet kromozomdan oluşan başlangıç popülasyonunu belirle.

**[Uygunluk Hesapla]** Popülasyonda yer alan her bir kromozom için *f(x)* uygunluk değeri hesapla.

**[Yeni Nesil]** Aşağıdaki adımları takip ederek yeni popülasyonu oluştur.

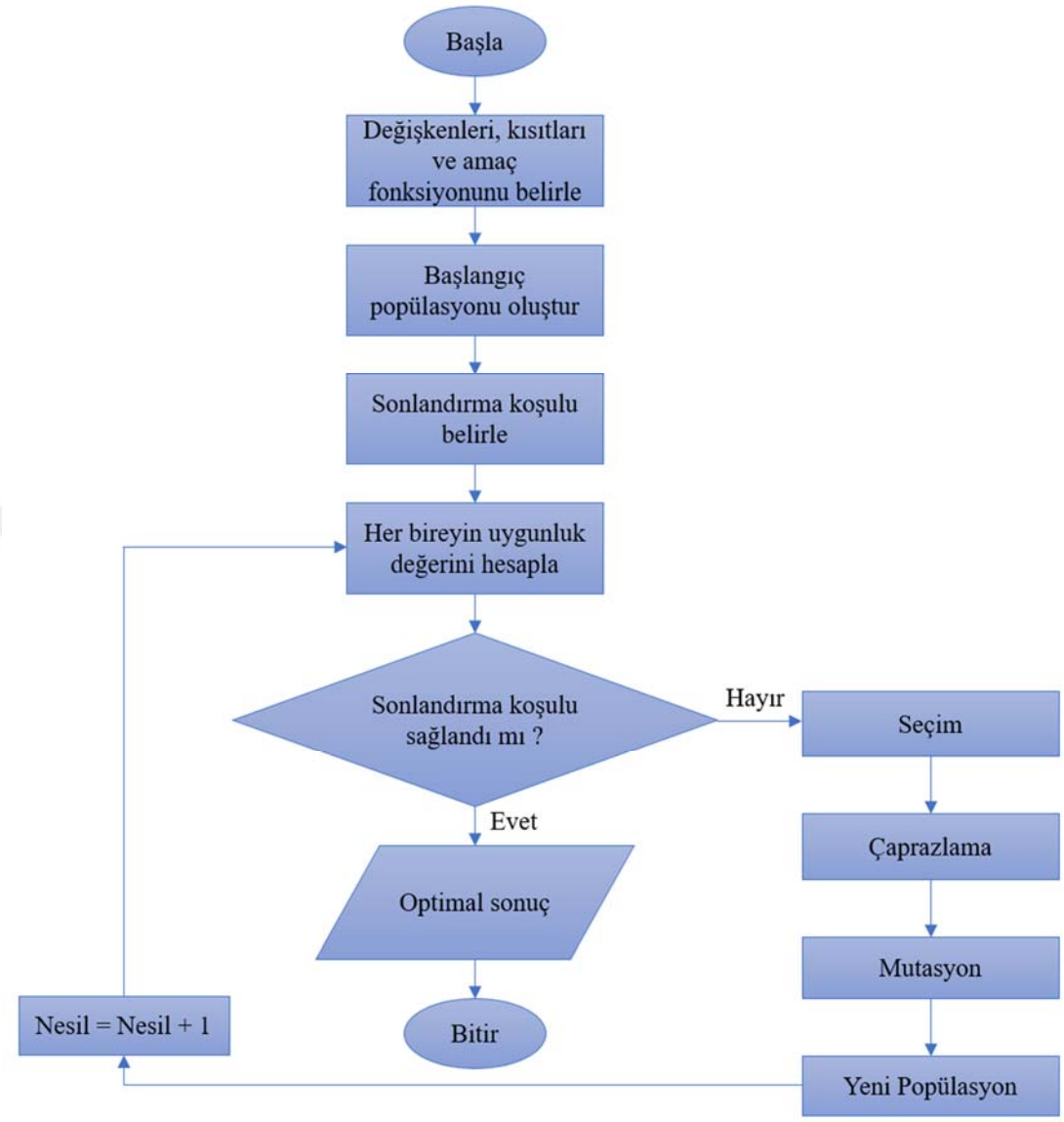
> **[Seçim]** Seçim yöntemini belirleyerek uygunluk değeri iyi olan kromozomların seçilme olasılığı yüksek olacak şekilde iki ebeveyn kromozom seç.
>
> **[Çaprazlama]** Çaprazlama yöntemini ve çaprazlama olasılığını belirle. Buna göre ebeveynleri çaprazlayarak çocuk kromozomları oluştur. Çaprazlama uygulanmayan kromozomları değişime uğratmadan yeni nesle kopyala.
>
> **[Mutasyon]** Mutasyon yöntemini ve mutasyon olasılığını belirle. Buna göre yeni kromozomları mutasyona uğrat.
>
> **[Ekleme]** Oluşturulan kromozomları yeni nesle ekle.

**[Nesil Geçişi]** Önceki nesli yeni nesil ile değiştirerek yeni popülasyonu oluştur.

**[Test]** Sonlandırma koşulu sağlandıysa algoritmayı sonlandır ve mevcut popülasyondaki en iyi çözümü döndür, sağlanmadıysa uygunluk hesaplamak için adım 3'e dön.

**[Bitir]**

**Şekil 12:** Genetik Algoritma Akış Şeması




Kaynak: Sivanandam ve Deepa, 2008: 32.

### 1.2.5. Genetik Algoritmanın Avantajları ve Dezavantajları

GA, klasik yöntemlerle çözülemeyen veya uzun sürede çözülebilen karmaşık problemler için optimum ya da optimuma yakın sonuçların hızlı bir şekilde elde edilmesinde uygulanan bir yöntemdir (Genel, 2004: 33). Bu yöntem birçok avantaja sahip olduğu gibi bazı dezavantajlara da sahiptir. GA'nın sahip olduğu avantajlar ve dezavantajlar aşağıda sıralanmıştır (Özkan, 2008: 32, Genel, 2004: 33, Paksoy, 2007: 41, Sivanandam ve Deepa, 2008: 34).

*Avantajlar:*

+ Sadece optimum sonuca odaklanmadığı için çok sayıda alternatif çözüm üretebilir.
+ Arama uzayında paralel iletişim yöntemiyle arama yapabildiği için diğer optimizasyon algoritmaları ile bir arada kullanılabilir.
+ Genetik operatörler kullandığı için lokal optimuma takılıp kalma ihtimali düşüktür.
+ Doğrudan (explicit) ve dolaylı (implict) paralellik içerdiği için çözüme oldukça hızlı ulaşabilmektedir. Doğrudan paralellik özelliği aynı anda bütün çözüm uzayının paralel bir şekilde aranması anlamına gelmektedir. Dolaylı paralellik ise her kromozomun uygunluk değerinin hesaplanmasında sahip olduğu her genin aynı anda değerlendiriliyor olmasıdır. GA bu özellikleri sayesinde optimal sonuca hızlı bir şekilde yakınsayabilmektedir.
+ Farklı problemlere küçük değişiklikler ile birlikte kolayca uygulanabilir ve hibrit sistem oluşturmada diğer yöntemlerle entegre edilebilir.
+ Geniş kapsamlı optimizasyon problemlerinde yüksek performans verebilmektedir.
+ Değişken tipi sürekli ve kesikli olan optimizasyon problemlerinde kullanılabilir.

*Dezavantajlar:*

- Hangi durum ve koşullarda iyi sonuç vereceği net değildir. Yapılan uygulamalar, GA'nın birden çok ölçüte bağlı olarak başarılı sonuca ulaştığını göstermektedir. Başarılı sonuçların elde edilmesinde; değişkenlerin kodlanma yöntemi, operatör seçimi ve amaç fonksiyonu yapısı gibi farklı faktörler önemli rol oynamaktadır.
- Arama prensibi rastgeleliğe dayalı olduğu için problem türüne bağlı olarak çözüme ulaşmak uzun sürebilmektedir.
- Çaprazlama, mutasyon ve seçim yöntemleri, kodlama yöntemi, amaç fonksiyonunun matematiksel ifadesi, sonlandırma koşulunun belirlenmesi, popülasyon büyüklüğü gibi faktörler GA'nın hızı ve etkinliği üzerinde

önemli etkilere sahiptir. Bu faktörlerin probleme uygun belirlenmemesi, algoritmanın etkinliğini ortaya koymakta zorlanmasına neden olabilmektedir.

- Optimum sonucu ortaya koymayı garanti etmez ve nadir de olsa lokal optimuma yakınsayabilir.

### 1.2.6. Genetik Algoritmanın Diğer Yöntemlerden Farkı

GA diğer optimizasyon yöntemlerinden bazı yönlerden farklılık göstermektedir. GA'yı diğer yöntemlerden farklı kılan özellikler aşağıda kısaca açıklanmıştır (Alcan, 2014: 81; Paksoy, 2007: 43; Küçük, 2016: 34; Soyaslan, 2010: 32; Sivanandam ve Deepa, 2008: 34).

- GA optimumu aramaya, tek bir noktadan ziyade tüm arama uzayında paralel olarak başladığı için lokal optimuma takılma olasılığı düşüktür. Bu özelliği sayesinde arama süresince her denemede daha iyi sonuçların elde edilmesi olanağını sağlamaktadır.
- GA problem çözümü için belirlenimci kuralların yerine olasılık kurallarını kullanmaktadır. Rastgele arama tekniği uygulayarak, arama uzayında farklı bölgelere yönlenme yapabilmektedir.
- GA parametrelerin kendileri ile doğrudan ilgilenmemekte, daha ziyade parametre kodları ile ilgilenmektedir. Bu sebeple parametrelerin doğru kodlanması GA'nın performansını direkt etkilemektedir.
- GA yardımcı bilgilere ihtiyaç duymaz. Her bir bireyin uygunluk değerinin ölçülebileceği bir amaç fonksiyonunun tanımlanması verimli bir araştırma yapılması için çoğu kez yeterli olmaktadır.

### 1.2.7. Genetik Algoritmanın Performansını Etkileyen Faktörler

GA'da optimum sonucu arama işlemi, kromozomların temsil ettiği uygunluk değeri aracılığı ile yapıldığı için amaç fonksiyonu, performansı etkileyen en önemli faktördür. Bunun yanında GA'nın performansı üzerinde etkiye sahip diğer faktörler ise aşağıdaki gibi sıralanabilir (Alcan, 2014: 101, Kırda, 2013: 61, Balkaya, 2011: 78).

- *Parametrelerin kodlanma tipi:* Problem bilgisayar diline kodlanarak aktarıldığı için kodlama tipi ve nasıl yapıldığı önemli bir faktördür. Örneğin parametrelerin logaritmik veya doğrusal olarak kodlanması GA'nın performansını etkileyebilmektedir.
- *Popülasyon büyüklüğü:* Popülasyonda yer alan birey sayısının çok fazla olması çözüm süresini uzatabilmektedir. Az sayıda belirlenen birey sayısı ise çeşitliliği düşürerek lokal optimuma takılma durumuna neden olabilmektedir.
- *Üretim, çaprazlama, mutasyon operatörü*: Bu operatörlerin probleme uygun tiplerini seçmek GA performansı açısından önemlidir.
- *Çaprazlama ve mutasyon olasılıkları*: Çaprazlamanın amacı mevcut iyi bireyleri birleştirerek daha iyi bireyler ortaya çıkarmaktır. GA'da çaprazlanacak ebeveynler çaprazlama olasılığı dâhilinde seçilirler. Yüksek çaprazlama oranı bazı uygunluk değeri yüksek bireylerin de bozulmasına neden olabilmektedir. Mutasyon GA'da genetik çeşitliliği korumaktadır. Yüksek mutasyon oranı aramayı tamamen rassal aramaya dönüştürürken, düşük mutasyon oranı ise genetik çeşitliliği azaltmaktadır.
- *Sonlandırma ölçütü*: GA'da arama süreci maksimum nesil sayısına ulaşıncaya kadar veya amaç fonksiyonuna önceden belirlenen oranda yaklaşıncaya kadar devam etmektedir.

### 1.2.8. Genetik Algoritma ile Basit Bir Fonksiyon Optimizasyonu

Bu bölümde GA'nın çalışma prensibinin anlaşılabilmesi amacıyla tek değişkenli bir fonksiyon optimizasyonunun GA ile çözümüne örnek verilmektedir. Bu örnekte $(f(x) = x^2 \rightarrow max)$ fonksiyonunun $(0 \leq x \leq 4095)$ aralığında maksimum değere doğru nasıl yakınsadığı gösterilecektir. Çözümü gayet basit olan bu örnek için $f(x)$ fonksiyonunu maksimum yapan değer açıkça görülmektedir. Buradaki amaç GA'nın optimum çözüme doğru nasıl yakınsadığını ve çözüme ulaştığını basitçe örneklemektir.

İlk olarak başlangıç popülasyonu belirlenir ve popülasyonda yer alan her bir birey ikili sayı sisteminde kodlanır. Aşağıda gösterildiği üzere bu örnek için her biri rastgele genlerden oluşturulmuş sekiz gene sahip dört bireyden oluşan bir popülasyon belirlenmiş olsun.

Başlangıç Popülasyonu
- Birey 1: 10100110
- Birey 2: 11001100
- Birey 3: 10101101
- Birey 4: 01100110

Bir sonra ki aşamada her bir bireyin uygunluk değeri ($f_i$) hesaplanır ve tüm bireylerin uygunluk değeri toplanarak popülasyonun toplam uygunluk değeri ($\sum f_i$) bulunur. Yeni neslin oluşturulması amacı ile rulet çarkı seçim yöntemi kullanılarak çaprazlama ve mutasyon uygulanacak bireyler belirlenir. Rulet çarkı uygulamada her bir bireyin uygunluk değeri popülasyonun toplam uygunluk değerine bölünür. Bunu işlem ile bireyler popülasyonun toplam uygunluk değeri içinde sahip oldukları pay ile rulet çarkında temsil edilmektedir. Uygunluk değeri yüksek olan bireyin seçilme olasılığı daha yüksektir. Böylelikle güçlü bireylerin hayatta kalma olasılığı artmaktadır. Tablo 2'de başlangıç popülasyonu, her bireyin uygunluk değeri ve rulet çarkında sahip oldukları seçilme olasılıkları gösterilmektedir.

**Tablo 2:** Başlangıç Popülasyonu ve Bireylerin Uygunluk Değerleri

| **Birey** | **Başlangıç Popülasyonu** | $x$ | **Uygunluk değeri** ($f_i$) | $f_i / \sum f_i$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 10100110 | 166 | 27556 | 0,25 |
| 2 | 11001100 | 204 | **41616** | 0,38 |
| 3 | 10101101 | 173 | 29929 | 0,27 |
| 4 | 01100110 | 102 | 10404 | 0,10 |
| | | | $\sum f_i$= **109505** | |

Devam eden aşamada rulet çarkı seçim yöntemi ile temsil edildikleri seçilme olasılıklarına göre rastgele bireyler seçilir. Bu bireyler yeni nesli üreteceği için

ebeveyn olarak tanımlanabilir. Ara popülasyon olarak tanımlanabilen bu yeni popülasyonda yer alan ebeveynlerin aşağıdaki gibi seçilmiş olduğu varsayılsın:

Ara Popülasyon
- Ebeveyn 1: 11001100
- Ebeveyn 2: 10101101
- Ebeveyn 3: 10101101
- Ebeveyn 4: 01100110

Daha sonra aralarında çaprazlama uygulanacak ebeveyn çiftleri rastgele belirlenir. Burada 1 ile 4 ve 2 ile 3 numaralı ebeveynler çift olarak seçildiği varsayılsın. GA'da her çifte çaprazlama işlemi uygulanmamaktadır. Belirlenmiş olan çaprazlama olasılığı göre çiftler arasında çaprazlama olup olmayacağı belirlenir. Örneğin 0.95 olarak belirlenmiş olan bir çaprazlama olasılığı için, bu oranda çiftler çaprazlama işlemine tabi tutulur, kalan oranda ise çiftler aynı olarak kalır. Bir sonraki adımda çiftlere hangi noktadan çaprazlama uygulanacağı rastgele belirlenir. Tek noktalı çaprazlama yönteminin kullanıldığı varsayılarak, ilk ebeveyn çifti için 5. gen sonrası, ikinci ebeveyn çifti için 3. gen sonrası çaprazlama noktası olarak belirlenmiş olduğu kabul edilsin. Böylelikle oluşacak yeni bireyler tablo 3'te gösterildiği gibi olmaktadır. Burada oluşan yeni bireyler çocuk bireyler olarak tanımlanmaktadır.

**Tablo 3:** Çaprazlama İşlemi

| **Ebeveyn** | **Ara Popülasyon** | **Eşleştirme** | **Çaprazlama Noktası** | **Çaprazlama İşlemi** | **Çocuk** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 11001100 | 4 | 5 | 11001**100** | 11001**101** |
| 2 | 10101101 | 3 | 5 | 10101**101** | 10101**100** |
| 3 | 10101101 | 2 | 3 | 101**01101** | 101**00110** |
| 4 | 01100110 | 1 | 3 | 011**00110** | 011**01101** |

Bir sonraki aşamada ebeveyn çiftlerinden çaprazlama ile oluşturulan çocuk bireylere mutasyon uygulanır. Mutasyon olasılığına göre her genin mutasyon işlemine tutulup tutulmayacağı belirlenir. Mutasyon olasılığı çok yüksek belirlenmemektedir. Her gen sırası ile bu olasılık dâhilinde mutasyona uğratılır. Tablo 4'te mutasyon işlemi

sonrasında oluşan çocuk bireyler ve bu bireylerin uygunluk değerleri gösterilmektedir. Başlangıç popülasyonunda **41616** olan maksimum uygunluk değeri ilk nesil sonrasında **52900**'a çıkarak optimuma biraz daha yaklaştığı görülmektedir.

**Tablo 4:** Mutasyon İşlemi ve Yeni Bireylerin Uygunluk Değerleri

| **Çocuk** | **Ara Popülasyon** | **Mutasyon İşlemi** | **Çocuk** | $x$ | **Uygunluk değeri** $(f_i)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 11001101 | 1100**1**101 | 1100**0**101 | 197 | 38809 |
| 2 | 10101100 | 10101100 | 10101100 | 172 | 29584 |
| 3 | 10100110 | 1**0**100110 | 1**1**100110 | 230 | **52900** |
| 4 | 01101101 | 01101101 | 01101101 | 109 | 11881 |

Seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra ortaya çıkan çocuk bireylerin oluşturduğu popülasyon aynı zamanda yeni nesil olmaktadır. Yeni nesilde yer alan bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır ve bitirme koşulu sağlanana kadar algoritma bu döngüye devam eder ve sonuç olarak optimum sonucu döndürür.

## 1.3. BULANIK MANTIK

Bu bölümde, bulanık mantık kavramı, tarihçesi, özellikleri, avantajları ve dezavantajları, bulanık küme teorisi, bulanık sayılar, bulanık kural tabanı, üyelik fonksiyonu tipleri ve bulanık çıkarım sistemi ile ilgili bilgilere yer verilmektedir.

### 1.3.1. Bulanık Mantık Kavramı ve Kısa Tarihçesi

Mantık, insanlığın var oluşu ile birlikte ortaya çıkmış bir olgudur. Mantık kavramı ilk olarak Yunan filozof Aristo (M.Ö. 4. yy.) tarafından ortaya çıkarılmış ve bilimsel olarak ilk uygulandığı alan felsefe olmuştur. Klasik mantık (Aristo mantığı) olarak ifade edilen bu mantık yaklaşımına göre bir varlık bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Bu varlık üyelik ilişkisi bakımında kümenin elemanı ise (1), değilse (0) değerini alır. Klasik mantıkta aşağıdaki üç prensip kabul edilmektedir.

a) *Özdeşlik İlkesi:* Bir varlık kendisine özdeştir. Yani A, A'dır.

b) *Çelişmezlik İlkesi:* Özdeşlik ilkesine göre bir varlık kendisi ile özdeştir, fakat başka bir şeye eşit olmadığı kesin değildir. Bu ilkeye göre, çelişkili iki önermeden birinin doğru kabul edilmesi diğerinin yanlış kabul edilmesi anlamına gelmektedir.

c) *Üçüncü Halin İmkânsızlığı İlkesi:* Bu ilkeye göre üçüncü bir alternatif söz konusu değildir. Bir şey ya doğrudur ya da doğru değildir. Bir varlık bir kümenin elemanıdır ya da elemanı değildir (Arslan, 2007: Şen, 2000).

Fakat günlük hayatta sıklıkla kullanılan çoğu ifade net değildir. Bir olayı açıklarken, tanımlama yaparken veya komut verirken kullanılan sayısal veya sözel ifadeler bulanık bir yapıya sahiptir. Bu ifadelere örnek olarak; *uzun, kısa, genç, yaşlı, hızlı, yavaş, soğuk, sıcak, biraz, fazla, az,* vb. gibi ifadeler gösterilebilir. Bu kesinlik içeremeyen ifadelerin kullanılması, insan beyninin belirsiz durumları nasıl değerlendirip, tanımladığını göstermektedir (Altaş, 1999: 80).

Buradan hareketle klasik mantıktan farklı olarak, belirsiz durumları kabul edecek bir mantığa ve bir ifade biçimine ihtiyaç duyulmuş ve böylelikle *Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)* yaklaşımı ortaya atılmıştır (Rosenstein, 2004: 328). İlk olarak L.A. Zadeh tarafından 1965 yılında *Fuzzy Sets* isimli çalışmada tanıtılan bulanık mantık, E. H. Mamdani tarafından 1974 yılında endüstriyel alanda otonom buhar makinesi kontrolü için kullanılması ile birlikte tanınmaya başlanmıştır (Bai ve Wang, 2006: 17). Daha sonra 1976 yılında Danimarka'da çimento fırını kontrolü için uygulanmış ve giderek diğer endüstrilerde de yaygınlaşmıştır (Holmblad ve Ostergaard, 1981). 1980'lerden itibaren başta endüstriyel üretim, otonom kontrol, otomobil endüstrisi, finans, hastaneler, kütüphaneler olmak üzere birçok endüstriyel alanda sıklıkla uygulanmış ve günümüzde neredeyse her alanda yaygın olarak kullanılan bir çözüm yaklaşımı haline gelmiştir (Bai ve Wang, 2006: 17).

Bulanık mantık, tam akıl yürütme yerine insanların uyguladıkları yaklaşık akıl yürütme prensibini benimsemektedir (Galindo vd., 2006). Bunun yanında bulanık mantık, klasik mantıktan farklı olarak, belirsizliğin hâkim olduğu çevrelerde insanların rasyonel karar verme becerisi üzerinde önemli rol oynayan belirsiz düşünce yapılarını modellemeyi amaçlamaktadır. Bu karar verme becerisi sahip olunan bilgi ve tecrübe ile aşağıdaki gibi örneklendirilmiş sorulara en yakın cevabı çıkarım yaparak cevaplandırabilme becerisidir.

- Genellikle Berkeley'den Stanford'a araç ile ulaşmak yaklaşık bir saat, Stanford'dan San Jose'ye araç ile ulaşım yaklaşık yarım saat sürmektedir. Stanford üzerinden Berkeley'den San Jose'ye ulaşım kaç saat sürer?
- Belveder'de ikamet eden insanlar genellikle yüksek gelire sahiptirler. Buradan hareketle Belveder'de oturan bir sakin için ne kadar gelire sahip olduğu söylenebilir?
- Zayıf olmak ilgi çekicidir. Carol zayıftır. Carol için ilgi çekici denilebilir mi?
- Brain çoğu arkadaşından uzundur. Peki, Brain ne kadar uzundur?

Klasik mantığın bu tarz sorulara cevap verememesinin iki temel sebebi vardır. Anlamların net olmadığı doğal bir dille ifade edilen önermeleri sunmak için bir sistem sağlayamaz. İkincisi ise, anlamsal ağ ya da kavramsal-bağımlılık grafiği gibi sembolik olarak ifade edilebilen durumlarda çıkarım mekanizması sunamaz. Bulanık mantık bu gibi durumlarda, anlamsal olarak kesin olmayan ifadeleri esnek kısıtlara sahip değişkenler ile temsil ederek ele almaktadır (Zadeh, 1988: 83; Zadeh, 1992: 1).

Bulanık mantığın bazı önemli özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Zadeh, 1992: 2);

- Kesin akıl yürütme, yaklaşık akıl yürütmenin sınırlayıcı bir durumu olarak görülmektedir.
- Herhangi bir mantıksal sistem bulanıklaştırılabilir.
- Her şey derecelendirilebilir.
- Bulanık kısıtların yer aldığı değişkenler kümesine sahiptir.
- Çıkarsama, esnek kısıtların işlenme süreci olarak kabul edilmektedir.

Bulanık mantık, klasik mantıksal sistemlerden prensip olarak farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklardan bazıları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

*Gerçeklik:* Klasik mantıksal sistemde gerçeklik sadece iki farklı değer alabilmektedir: *doğru* veya *yanlış.* Bulanık mantıkta ise bir ifadenin değeri bulanık alt kümede [0,1] aralığında bir nokta olduğu varsayılmaktadır. *Doğru, çok doğru, tam olarak doğru değil vb*. gibi ifade edilen dilsel değerler birim aralıkta bulanık alt küme sınıfları olarak kabul edilmektedirler (Zadeh, 1983a: 204).

*Pekiştiriciler*: Klasik sistemde bu anlamda yaygın olarak kullanılan tek ifade *olumsuzlaştırma (not)* ifadesidir. Bulanık sistemde ise, *çok, daha fazla, daha az,*

*oldukça, az çok, aşırı derecede* gibi pekiştirici ifadeler kullanılmaktadır. Bu pekiştiriciler, *çok genç, çok genç değil, oldukça genç, oldukça yaşlı* gibi dilsel değerlerinin üretilmesinde önemli rol oynamaktadırlar (Zadeh, 1973: 29).

*Niceleyiciler (Miktar Belirleyiciler):* Klasik sistemde *evrensel* ve *varlıksal* olmak üzere sadece iki adet niceleyici vardır. Bulanık mantık ise, *az, birkaç, çoğunlukla, çoğu, yaklaşık* gibi çok çeşitli bulanık niceleyicilere olanak tanımaktadır (Zadeh, 1983b: 149).

*Olasılıklar:* Klasik sistemde olasılık, sayısal veya aralık değerlidir. Bulanık mantıkta ise, *olasılıkla, büyük olasılıkla, çok muhtemel* gibi bulanık olasılık ifadeleri kullanılmaktadır (Zadeh, 1986: 24).

### 1.3.2. Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları

Günlük yaşamda kullanılan dilsel ifadeleri bilgisayar ortamında çözümleyerek sonuç üreten bulanık mantık yönteminin diğer yöntemlere göre bazı avantajları ve dezavantajları vardır. Sahip olduğu avantajlar ve dezavantajlar şu şekilde sıralanabilir (Konaçoğlu, 2017: 29; Bilgi, 2018: 53; Ayyıldız, 2018: 15; Arslantaş, 2017: 11).

Avantajları;

- Karmaşık ve belirsiz sistemlere matematiksel model oluşturma imkânı sunarak basit çözümler üretebilir.
- İnsanların tecrübe ile öğrenme ve düşünme sistemine uygundur.
- Dilsel ifadelerin kullanılmasına olanak verir ve böylelikle esnek bir yapıya sahiptir.
- Kolay anlaşılır bir yapıya sahiptir.
- Doğrusal olmayan, karmaşık fonksiyonların modellenmesine olanak verebilir.

Dezavantajları;

- Kural tabanı deneyim ve tecrübeye çok bağlıdır.
- Bulanık kuralları tanımlamak her zaman kolay olmayabilir.
- Üyelik fonksiyonu seçiminde belirli bir yöntem yoktur.
- Sistemin nasıl cevap vereceği önceden kestirilemez ve bu nedenle kararlılık analizi yapılmasına olanak sağlamaz.

- Her sistemin üyelik fonksiyonu değişkenleri kendine özeldir ve başka sistemlere uyarlanması oldukça zordur.

### 1.3.3. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık mantık yaklaşımının temelinde bulanık küme teorisi yer almaktadır (Zadeh, 1965). Bulanık kümede, belirsiz ve kesin olmayan ifadeleri tanımlayabilmek için alt kümeler oluşturulur. Klasik kümede bir eleman bir kümeye üye ise 1, üye değil ise 0 almaktadır {0,1,}fakat bulanık kümede bu durum [0,1] aralığına yayılmaktadır.

*X* evreninde (bulanık kümenin bir değer alabileceği sonlu veya sonsuz bir aralık) bir A bulanık kümesi:

$$A = \{\mu_A(x)/\ x: x \in X, \mu_A(x) \in [0,1] \in \Re\}$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada, $\mu_A(x)$, *x* elemanının A bulanık kümesine üyelik derecesini ifade etmektedir. Bu değer 0 ile 1 arasında gerçek sayılar alır (Galindo vd., 2006: 2):

$\mu_A(x) = 0$ ➔ *x*'in A bulanık kümesinin elemanı olmadığını göstermektedir.

$\mu_A(x) = 1$ ➔ *x*'in A bulanık kümesinin elemanı olduğunu göstermektedir.

A bulanık kümesi;

*X* evreni sonlu bir küme ise denklem (6) ile,

$$A = \sum_{i=1}^{n} \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} = \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} + \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} + \cdots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \tag{6}$$

*X* evreni sonsuz bir küme ise denklem (7) ile,

$$A = \int \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}, \forall x_i \in X \tag{7}$$

ifade edilmektedir (Bai ve Wang, 2006: 23).

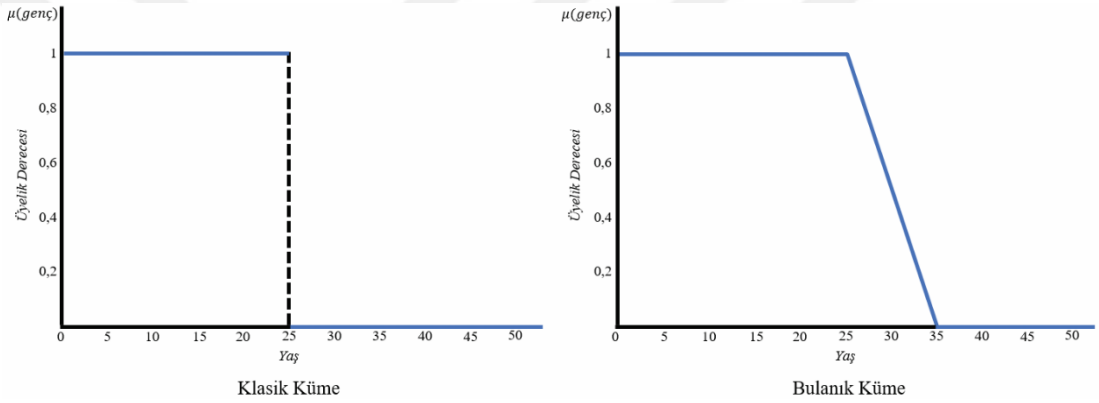
Bu iki bulanık küme gösteriminde yer alan bölme işaretleri matematikteki bölme anlamına gelmemektedir. Küme elemanları ile o elemanların üyelik derecelerini birbirinden ayırmak için kullanılmaktadır. "+" işareti ise toplama anlamında değil, küme elemanlarının oluşturduğu topluluğu ifade etmektedir. İntegral işareti de

topluluğu işaret etmektedir (Arslan, 2007: 21). Örneğin, "yaş" uzayında "genç" kavramı bulanık kümede;

Genç=1/0+…+ 1/25 + 0.9/26 + 0.8/27 + 0.7/28 + 0.6/29 + 0.5/30 + ... + 0.1/34

şeklinde oluşmaktadır (Galindo vd., 2006: 2). Şekil 13'te "yaş" uzayında "genç" kavramının klasik kümede ve bulanık kümede üyelik grafiği gösterilmektedir. Klasik kümede üyelik derecesi 0-25 yaş arası için 1, 25 yaş üzeri için 0'dır. Bulanık kümede ise üyelik derecesi 0 ile 1 arasında değişen değerler almaktadır. 25-35 yaş arası belirli derecelerde bu kümenin elemanı olarak tanımlanmaktadır (Altaş, 1999; Bilgi, 2018: 31).

**Şekil 13:** Yaş Uzayında "Genç" Kavramının Klasik Kümede ve Bulanık Kümede Gösterimi




Kaynak: Bilgi, 2018: 31.

### 1.3.4. Bulanık Kural Tabanı

Bulanık mantıkta kural tabanı, girdi ve çıktı arasında bağlantıyı sağlayan bir dizi kuralı içermektedir. Bu kurallar EĞER-İSE (IF-THEN) şart cümlelerinden meydana gelen bir bütünü temsil etmektedir (Ünlü, 2016: 25). EĞER-İSE kural tabanı iki kısımdan oluşur. EĞER kısmı ifadeler arasında ön şartları tanımlamakta ve girdiler arasında bulanık ilişkileri içermektedir. İSE kısmı, çıktı yani çıkarsama yapılan sonuç kısmıdır. Bu kısımda ifadeler arasında ilişkilere dayanarak çıkarsama yapılmaktadır Bai ve Wang, 2006: 26; Ayyıldız, 2018: 25). Bu kural tipine; EĞER oda sıcaklığı *yüksek* İSE ısıtıcıyı *kapat.* EĞER oda sıcaklığı *ılık* İSE ısıtıcıyı düşür. EĞER oda sıcaklığı *düşük* İSE ısıtıcıyı *aç,* gibi kurallar örnek olarak verilebilir (Ünlü, 2016: 25).

Kural tabanında ekstra durum veya ön şartlar eklenmek istenmesi durumunda VE, VEYA gibi bağlaçlar kullanılmaktadır. Örneğin; EĞER ateşin *yüksek* VE başın *ağrıyor* İSE enfeksiyon vardır. EĞER ateşin *yüksek* VEYA bulantı *var* İSE enfeksiyon vardır (Ayyıldız, 2018: 25).

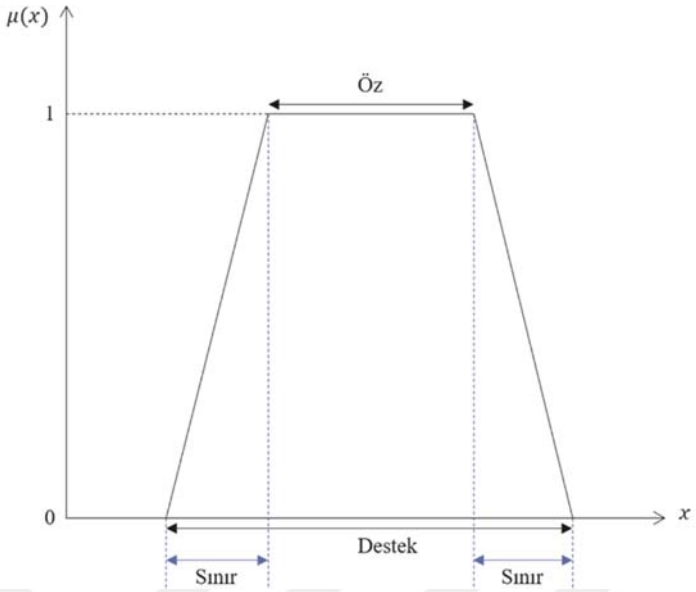
Bulanık mantıkta bulanık kurallar, *Bütünlük (Completeness), Tutarlılık (Consistency), Süreklilik (Continuity)* ve *Etkileşim (Interaction)* özelliklere sahiptirler. Girdi değerlerinin herhangi bir kombinasyonu uygun bir çıktı ile sonuçlanırsa, bulanık kuralların bütün olduğu ve aynı girdi değerlerine sahip iki kural farklı sonuçlar üretiyorsa, bulanık kuralların tutarsız olduğu kabul edilmektedir (Sivanandam vd., 2007: 117).

### 1.3.5. Üyelik Fonksiyonu Tipleri

Üyelik fonksiyonu bulanık kümedeki sınırları belirleyen ve sonuca direkt etkisi olan faktördür. Hazırlanan sistem yapısına göre kullanılacak üyelik fonksiyonu tipi bulanık sistemin sonuca ulaşmada doğruluk oranını etkilemektedir. Üyelik fonksiyonu değişkenlere [0,1] aralığında atanacak değerin belirlenmesi amacı ile kullanılmaktadır (Ayyıldız, 2018: 20).

Bulanık mantıkta bulanık kümedeki elemanlar için belirsizlik durumu üyelik fonksiyonları ile tanımlanmaktadır. Grafiksel olarak da temsil edilebilen üyelik fonksiyonları farklı şekiller alabilmektedir. Üyelik fonksiyonu şekli, belirlenmesi gereken önemli ölçütlerden biridir. Bir üyelik fonksiyonu şeklinin sahip olduğu bölümler şekil 14'te gösterilmektedir (Sivanandam vd., 2007: 73). İlgili şekilde *Öz (Core)*, evrensel küme içinde değişkenlerin 1 üyelik derecesi ile tanımlandığı bölüm ($x = 1$), *Destek (Support)*, evrensel küme içinde değişkenlerin 0 dışında üyelik derecesi ile tanımlandığı bölüm ($x > 0$), *Sınır (Boundary)* ise, evrensel küme içinde değişkenlerin 0 veya tam üyelik derecesine sahip olmadığı bölüm olarak tanımlanmaktadır ($1 > x > 0$) (Konaçoğlu, 2017: 23).

**Şekil 14:** Üyelik Fonksiyonu Bölümleri



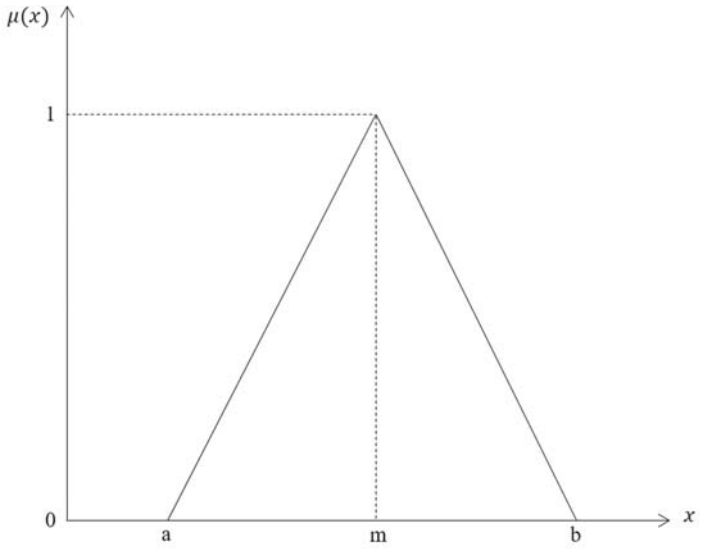

Kaynak: Sivanandam vd., 2007: 74.

Üyelik fonksiyonu farklı şekillerde oluşturulabilir. Sistemin yapısına göre bazı durumlarda tek üyelik fonksiyonu kullanılırken, bazı durumlarda ise birden fazla üyelik fonksiyonu aynı problem içinde birlikte kullanılabilmektedir. Literatürde çok sayıda üyelik fonksiyonu bulunmaktadır, fakat uygulamada genellikle üçgen, yamuk ve gauss üyelik fonksiyonlarını kullanılmaktadır (Ayyıldız, 2018: 21). Aşağıda bu üç üyelik fonksiyonu kısaca açıklanmıştır.

*Üçgen Üyelik Fonksiyonu,* alt limit *a*, üst limit *b*, tepe noktası *m* ve $a < m < b$ olmak üzere denklem (8) ile tanımlanmakta ve şekil 15 ile gösterilmektedir.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (x-a)/(m-a), & x \in (a, m] \\ (b-x)/(b-m), & x \in (m, b) \\ 0, & x \geq b \end{cases} \tag{8}$$

**Şekil 15:** Üçgen Üyelik Fonksiyonu

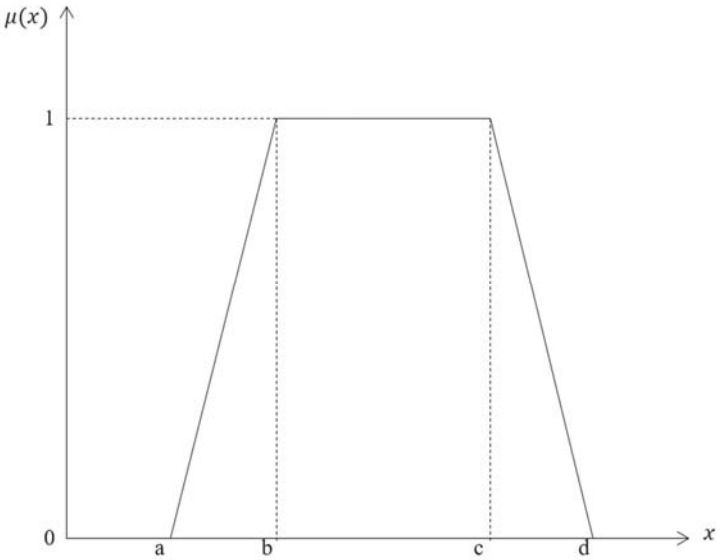



Kaynak: Galindo vd., 2006: 6.

*Yamuk Üyelik Fonksiyonu,* alt limit *a*, üst limit *d*, iki tepe noktası *b, c* ve $a < b < c < d$ olmak üzere denklem (9) ile tanımlanmakta ve şekil 16 ile gösterilmektedir.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & (x \leq a) \text{ U } (x \geq d) \\ (x-a)/(b-a), & x \in (a, b] \\ (d-x)/(d-c), & x \in (b, d) \\ 1, & x \in (b, c) \end{cases} \tag{9}$$

**Şekil 16:** Yamuk Üyelik Fonksiyonu

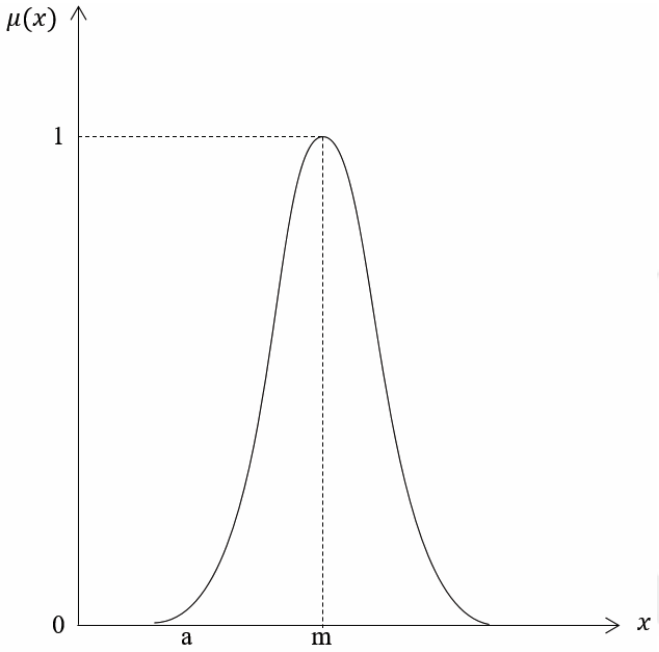



Kaynak: Galindo vd., 2006: 9.

*Gauss Üyelik Fonksiyonu, m* gauss eğrisinin merkezini, *k* ise genişliğini belirleyen değişken olmak üzere denklem 10 ile tanımlanmakta ve şekil 17 ile gösterilmektedir.

$$G(x) = e^{-k(x-m)^2} \tag{10}$$

**Şekil 17:** Gauss Üyelik Fonksiyonu




Kaynak: Galindo vd., 2006: 9.

### 1.3.6. Bulanık Çıkarım Sistemi (FIS)

Bu bölümde bulanık çıkarım sistemi (FIS) yapısı, çalışma prensibi ve bulanık çıkarım sistemi yöntemleri ile ilgili bilgilere yer verilmektedir.

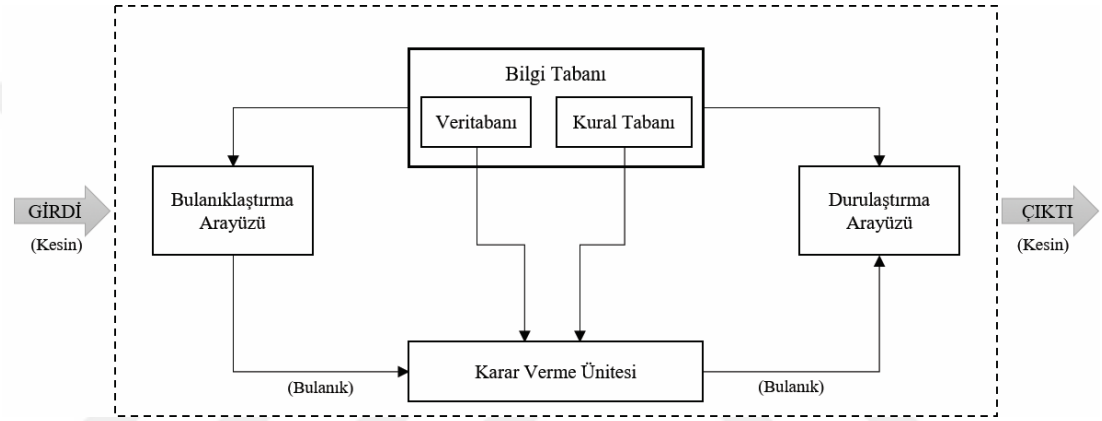
#### 1.3.6.1. Bulanık Çıkarım Sistemi Yapısı ve Çalışma Prensibi

Literatürde, bulanık kural tabanı sistemi, bulanık model, bulanık uzman sistemi ve bulanık ilişkisel hafıza olarak da ifade edilen FIS, bulanık mantık sisteminin en önemli ünitesidir. FIS, kuralları formüle ederek kural tabanlı karar verme sistemi oluşturmaktadır. FIS, karar verme için gerekli kuralları oluşturmada "EĞER-İSE" ifadeleri ve bu ifadelerin iç bağlantısı için "VE/VEYA" ifadelerini kullanmaktadır.

Basit bir FIS sistemi, bulanık veya kesin girdiler alabilir, fakat ürettiği çıktı hemen hemen her zaman bulanık kümeye aittir (Sivanandam vd., 2007: 117). FIS'in çalışma yapısı matematiksel bir neden-sonuç fonksiyonunun çalışma prensibine benzetilmektedir (Arslantaş, 2017: 11).

Basit bir FIS yapı olarak; bulanıklaştırma arayüzü, kural tabanı, veritabanı, karar verme ünitesi ve durulaştırma arayüzünden oluşmaktadır. Şekil 18'de bu beş fonksiyonel birim ile birlikte basit bir FIS'in aşamaları gösterilmektedir.

**Şekil 18:** Bulanık Çıkarım Sistemi (FIS) Aşamaları




Kaynak: Sivanandam vd., 2007: 119.

FIS'te yer alan her birimin sistem içindeki görevi şu şekildedir (Sivanandam vd., 2007: 118-122; Arslantaş, 2017: 13; Aytaç, 2011: 91; MathWorks, 2018a):

*Bulanıklaştırma arayüzü,* sisteme verilen kesin girdileri sözel değişkenlere değiştirme işlemidir. Üyelik fonksiyonundan faydalanarak girdilerin ait olduğu bulanık kümedeki üyelik derecesini tespit edip sözel değişken atamaktadır.

*Kural tabanı,* "EĞER-İSE" kontrol kurallarının tutulduğu birimdir.

*Veritabanı ünitesi,* bulanık kurallarda kullanılan bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarını tanımlamaktadır.

*Karar verme ünitesi,* kurallara ilişkin çıkarım işlemlerini gerçekleştiren birimdir.

*Durulaştırma arayüzü,* çıkarım biriminden gelen bulanık sonuçları kesin veya gerçek değere çevirerek çıktı olarak veren birimdir. Durulaştırma işlemi, bulanık çıkarım sisteminin son aşamasını oluşturmaktadır. Literatürde durulaştırma yöntemi olarak birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Ağırlık Merkezi (Center of Gravity –

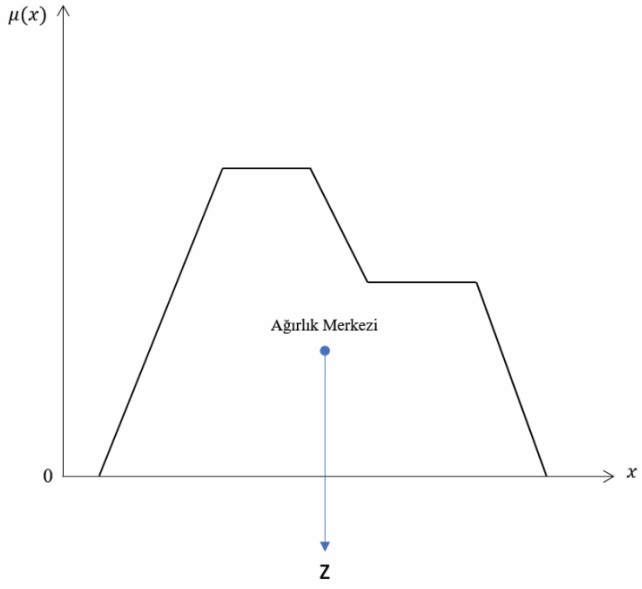
COG), En Büyük Değerlerin Ortalaması (Mean of Maxima – MOM), İki Bölge ( Bisector of Area – BOA), Seviyelere Göre Ağırlıklı Ortalama (Weighted Averaging Based on Levels - WABL) bu yöntemlerden bazıları olarak sıralanabilir. En yaygın olarak kullanılan yöntemler, Ağırlık Merkezi yöntemi ve En Büyük Değerlerin Ortalaması yöntemidir.

Ağırlık Merkezi yöntemi, çıktı dağılımlarının ağırlık merkezini almaktadır ve denklem 11 ile hesaplanmaktadır.

$$z = \frac{\sum_{j=1}^{q} Z_j u_c(Z_j)}{\sum_{j=1}^{q} u_c(Z_j)} \tag{11}$$

Burada $z$, ağırlık merkezi; $Z_j$, $j$. kuraldan çıkan bulanık çıktı kümesinin fonksiyon değeri; $u_c(Z_j)$ ise, $j$. kuraldan çıkan üyelik derecesidir. Bu yöntemin örnek bir sonucu şekil 19'da gösterilmektedir.

**Şekil 19:** Ağırlık Merkezi Yöntemi



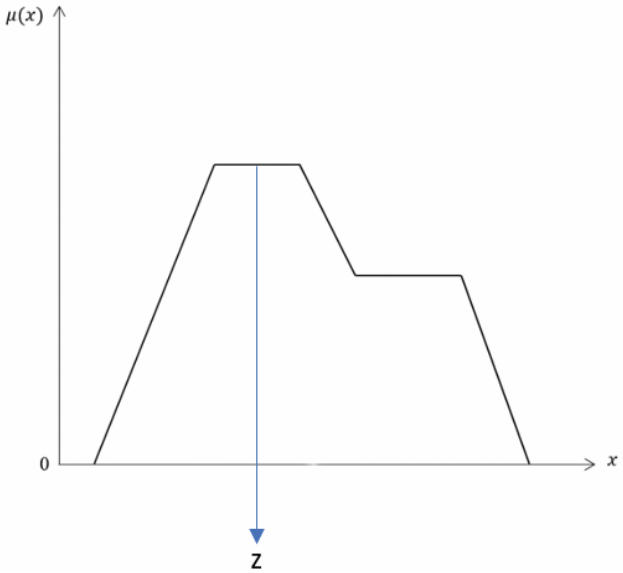

Kaynak: Sivanandam vd., 2007: 123.

En büyük değerlerin ortalaması yöntemi, çıktı dağılımında yer alan en büyük değerlerin ortalamasını alarak tek çıktı olarak vermektedir ve denklem 12 ile hesaplanmaktadır.

$$z = \sum_{j=1}^{l} \frac{z_j}{l} \tag{12}$$

Burada $z$, en büyük değerlerin ortalaması, $z_j$ üyelik fonksiyonunda en yüksek üyelik derecesine karşılık gelen değer, $l$ ise en yüksek değere ulaşma sayısıdır. Bu yöntemin örnek bir sonucu şekil 20'de gösterilmektedir.

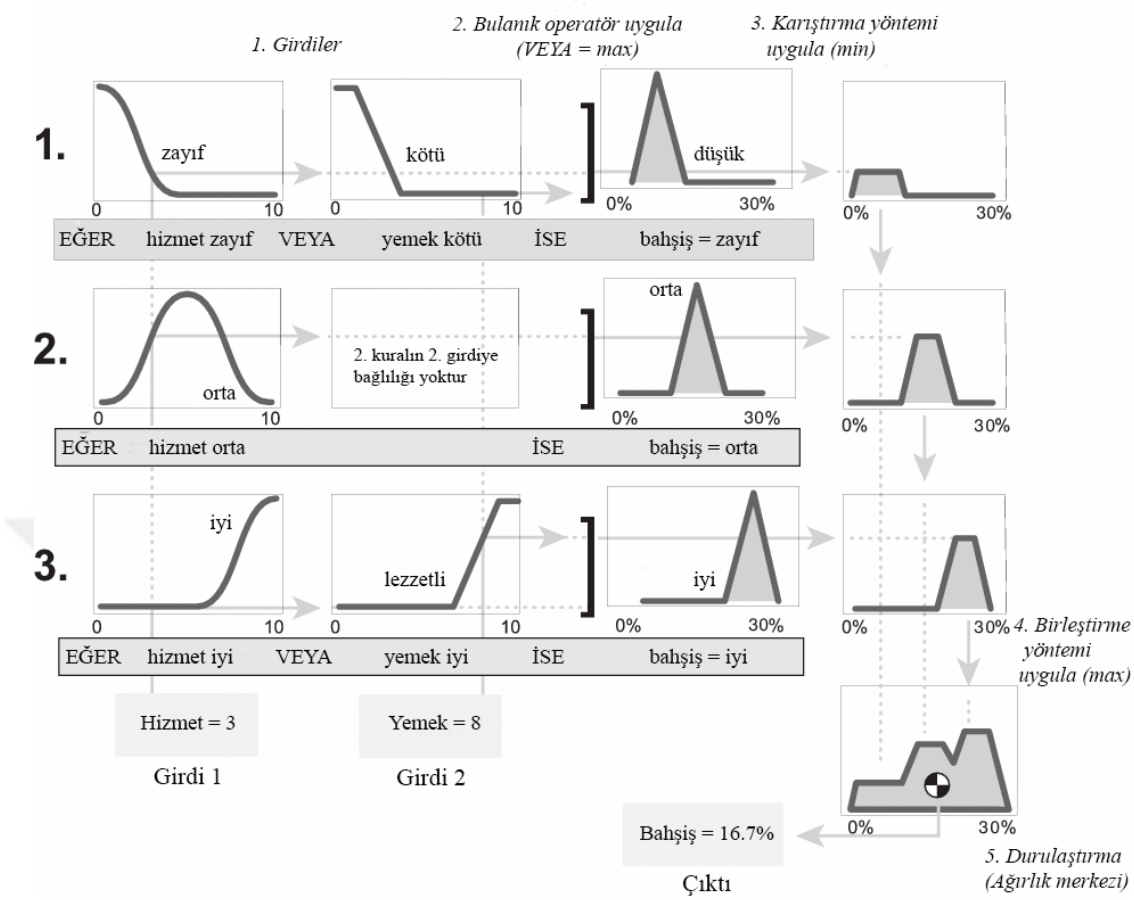
**Şekil 20:** En Büyük Değerlerin Ortalaması Yöntemi




Kaynak: Sivanandam vd., 2007: 123.

Şekil 21'de örnek bir bulanık çıkarım sisteminin aşamaları gösterilmektedir.

**Şekil 21:** Ağırlık Merkezi Yöntemi




Kaynak: MathWorks, 2018a.

### 1.3.6.2. Bulanık Çıkarım Sistemi Yöntemleri

Literatürde yaygın olarak kullanılan üç tip bulanık çıkarım yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler, Mamdani ve Assilian (1975) tarafından geliştirilmiş Mamdani bulanık çıkarım yöntemi, Takagi ve Sugeno (1985) ve Sugeno ve Kang (1988) tarafından sunulmuş Sugeno veya TSK olarak bilinen Sugeno-tip bulanık çıkarım yöntemi ve Tsukamoto (1979) tarafından ortaya atılmış Tsukamoto-tip bulanık çıkarım yöntemidir. Bu bölümde bu üç bulanık çıkarım yöntemi kısaca açıklanmıştır.

#### 1.3.6.2.1. Mamdani-Tip Bulanık Çıkarım Yöntemi

Mamdani-tip bulanık çıkarım yöntemi bulanık mantık metodolojisinde en sık uygulanan yöntemlerden biridir. Bulanık küme teorisi uygulanarak inşa edilen ilk kontrol sisteminin inşasında Mamdani metodu uygulanmıştır. 1975 yılında Mamdani tarafından tecrübeli operatörlerden elde edilen sözel kontrol kurallarını sentezleyerek, buhar motoru ve kazan kombinasyonunu kontrol etmede kullanmıştır. Mamdani'nin bu yaklaşımı, Zadeh'in 1973'te yayımlamış olduğu karmaşık sistemler ve karar verme süreci için bulanık algoritmalar çalışmasına dayanmaktadır (MathWorks, 2018b).

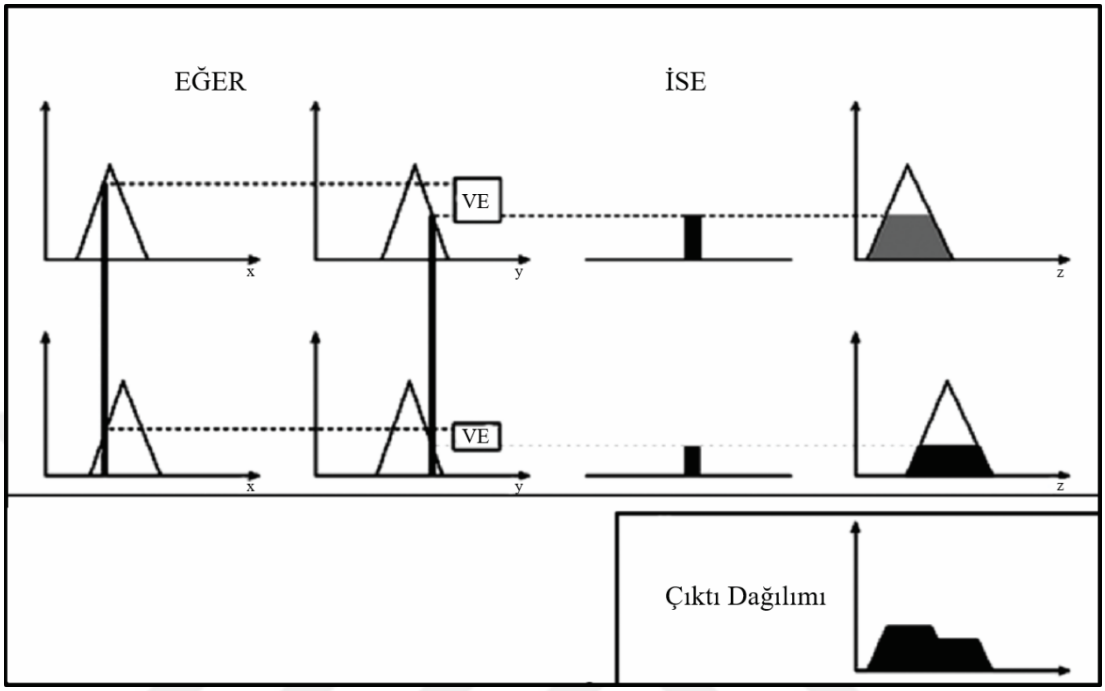
Mamdani-tip bulanık çıkarım sisteminde, birleştirme (aggregation) işleminden sonra bulanıklaştırılması gereken her değişken ve çıktı üyelik fonksiyonları bulanık kümeye aittir. Bu yöntem genel olarak aşağıda yer alan adımlardan oluşmaktadır (Sivanandam vd., 2007: 120):

- *Bulanık kuralların oluşturulması:* Bu yöntemde bulanık kurallar şu şekilde oluşturulmaktadır: ***Eğer*** *(girdi 1 ve üyelik fonksiyonu değeri 1)* ***ve/veya*** *(girdi 2 ve üyelik fonksiyonu değeri 2)* ***ve/veya…. ise*** *(çıktı$_n$ ve üyelik fonksiyonu değeri$_n$).*

  Örneğin: ***Eğer*** *hava sıcak* ***ve*** *nem yüksek* ***ise*** *oda sıcaktır.*
- *Üyelik fonksiyonları kullanılarak girdilerin bulanıklaştırılması:* Bulanıklaştırma uygulamadaki amaç, girdilere, bir dizi giriş üyelik fonksiyonu kullanarak 0-1 arasında değerler atamaktır.
- *Çıktı dağılımı elde etmek için sonuçların birleştirilmesi:* Tüm bulanık kuralların sağladığı çıktıların tek bir bulanık çıktıda toplanması için birleştirilmesi gerekmektedir. Bu durum genellikle "VEYA" ile sağlanmaktadır.
- *Birleştirilen sonuçların durulaştırılması:* Birçok durumda bir FIS'ten net bir çıktı elde etmek istenir. Bu net sayı durulaştırma olarak bilinen bir süreç sonucunda elde edilmektedir. Literatürde en yaygın kullanılan durulaştırma yöntemleri yukarıda da bahsedildiği üzere, *ağırlık merkezi yöntemi* ve *en büyük değerlerin ortalaması* yöntemidir.

Şekil 22'de örnek bir Mamdani-tip çıkarım sistemi gösterilmektedir.

**Şekil 22:** İki Girdi ve İki Kurallı Basit Bir Mamdani-Tip Çıkarım Sistemi




Kaynak: Sivanandam vd., 2007: 120.

#### 1.3.6.2.2. Sugeno-Tip Bulanık Çıkarım Yöntemi

Sugeno veya TSK olarak bilinen Sugeno-tip bulanık çıkarım yöntemi, Takagi ve Sugeno (1985) ve Sugeno ve Kang (1988) tarafından verilen bir girdi veri setinde bulanık kurallar üretmeye yönelik sistematik bir yaklaşım geliştirmek amacıyla ortaya atılmıştır. Sugeno-tip bulanık modelde tipik bir bulanık kural formu şu şekilde ifade edilmektedir:

**Eğer** *x A* **ve** *y B* **ise** $z = f(x,y)$

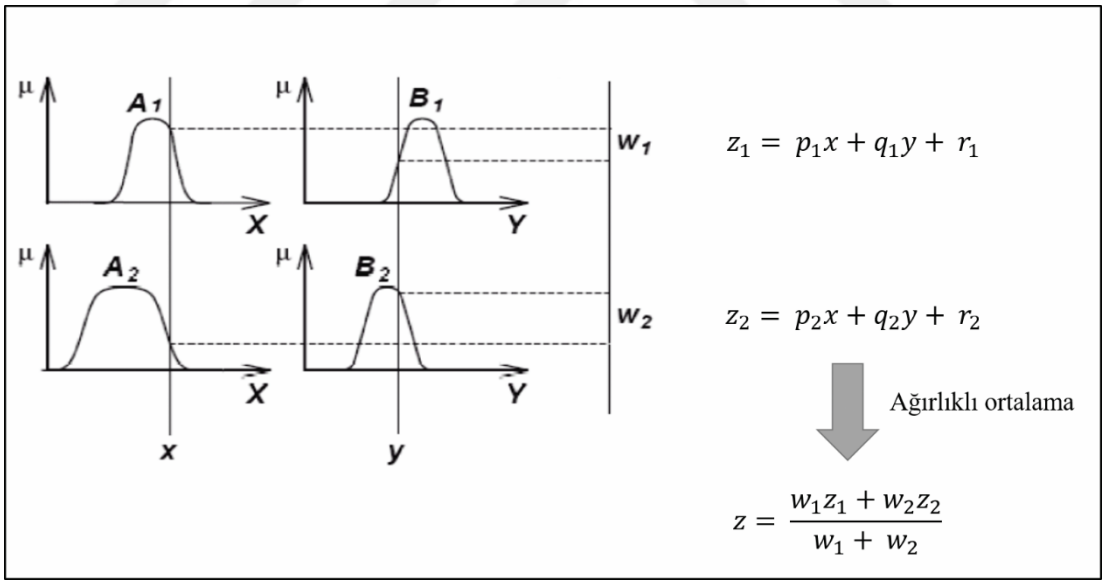
Burada *A* ve *B* bulanık kümeler, $z = f(x,y)$ ise net çıktı fonksiyonudur. Genellikle $f(x,y)$, *x* ve *y* değişkenlerini içeren bir polinomdur, fakat sistemin çıktısını uygun şekilde tanımlayabilen farklı herhangi bir fonksiyon da olabilmektedir. Eğer

*f(x,y)* birinci dereceden bir polinom ise bulanık sistemin sonucu birinci dereceden Sugeno bulanık model olarak ifade edilmektedir (Karimov, 2010: 40).

Bulanık çıkarım sürecinin ilk iki aşaması olan girdilerin bulanıklaştırılması ve bulanık operatörlerin uygulanması aşaması bu iki çıkarım yönteminde aynıdır. Mamdani ve Sugeno yönteminin arasında yer alan en önemli fark, Sugeno yönteminde çıktı üyelik fonksiyonları doğrusal veya sürekli olabilmektedir (Sivanandam vd., 2007: 124).

Şekil 23'te birinci dereceden Sugeno bulanık modeli için bir bulanık çıkarım prosedürü gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği üzere her kuralın net bir çıktısı olduğu için bütün çıktılar ağırlıklı ortalama üzerinden elde edilmektedir. Bu durum durulaştırma sürecinde zaman kaybını azaltmaktadır. Uygulamada, özellikle bulanık çıkarım sisteminin eğitiminde hesaplama zamanını kısaltmak amacıyla, ağırlıklı ortalama operatörünün yerine bazı durumlarda ağırlıklı toplam operatörü ($z = w_1 z_1 + w_2 z_2$) kullanılabilmektedir (Karimov, 2010: 41).

**Şekil 23:** Sugeno-Tip Bulanık Çıkarım Sistemi

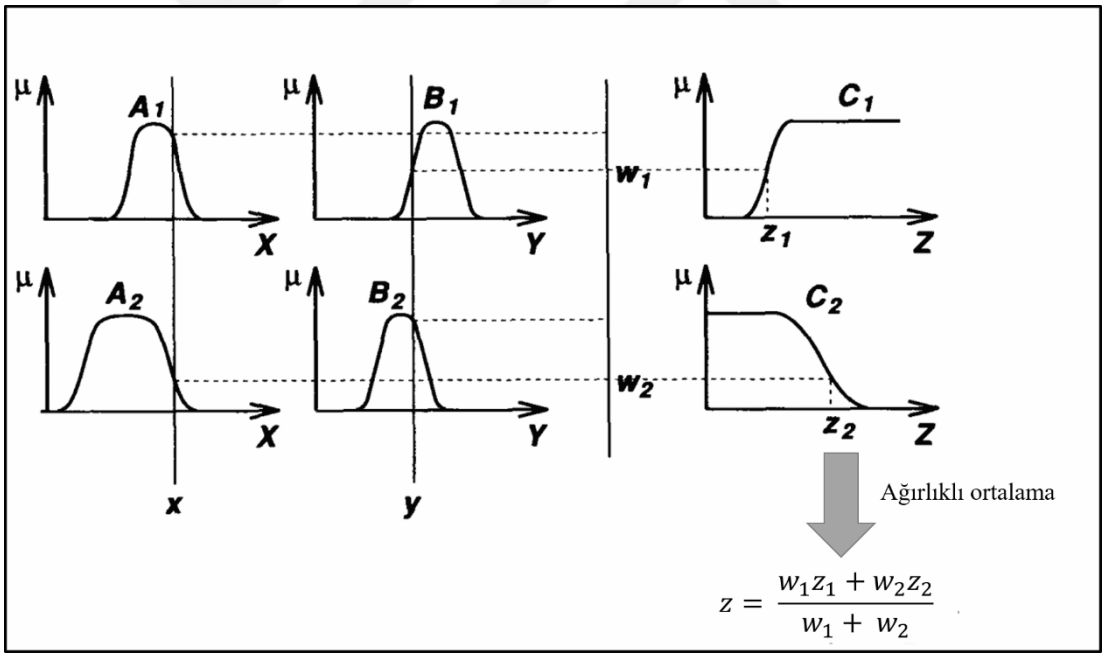



Kaynak: Karimov, 2010: 41.

#### 1.3.6.2.3. Tsukamoto-Tip Bulanık Çıkarım Yöntemi

Tsukamoto (1979) tarafından 1979 yılında geliştirilmiş Tsukamoto-tip bulanık çıkarım yönteminde, şekil 24'te gösterildiği üzere, her bulanık kurala ait çıktı monoton (sürekli artan veya azalan) bir üyelik fonksiyonu tarafından temsil edilmektedir ve net bir değer olarak çıktıya sonuç vermektedir. Sugeno modeline benzer olarak her kuralın sağlamış olduğu sonuçların ağırlıklı ortalaması alınarak genel sonuç ortaya çıkmaktadır. Her bir kural net bir çıktıya sahip olduğu için, Tsukamoto bulanık çıkarım yöntemi her kuralın verdiği sonucu ağırlıklı ortalama metodu ile bir araya getirerek durulaştırma sürecinde zaman kaybını önleyebilmektedir. Tsukamo modeli, Mamdani veya Sugeno yöntemleri kadar basit ve anlaşılabilir olmadığından sıklıkla kullanılan bir yöntem değildir (Castillo ve Melin, 2008: 26).

**Şekil 24:** Tsukamoto-Tip Bulanık Çıkarım Sistemi




Kaynak: Jang vd., 2010: 85.

#### 1.3.6.2.4. Mamdani ve Sugeno Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Mamdani ve Sugeno yöntemi arasındaki en önemli fark, Sugeno yönteminde çıktı üyelik fonksiyonları doğrusal veya süreklidir ve bir polinom ile

tanımlanmaktadır. Diğer taraftan, bulanık kuralların sonuçlarının bir araya toplanması ve durulaştırma süreçleri de farklılık göstermektedir. Sugeno yönteminde ihtiyaç duyulan girdi bulanık kümeleri ve bulanık kurallarının sayısı, fonksiyonun maksimum veya minimum noktalarının sayısına ve konumuna bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca Sugeno yönteminde, karmaşık fonksiyonların yer aldığı problemler için çok sayıda bulanık kuralın tanımlanması gerekmektedir. Sugeno yöntemine göre Mamdani yönteminin oluşturulması ve kurgulanması daha kolaydır. Aşağıda bu iki yöntemin sahip oldukları avantajlar ve dezavantajlar kısaca listelenmiştir (Sivanandam vd., 2007: 127; Karimov, 2010: 66; MathWorks, 2018c).

*Sugeno yönteminin avantajları:*

- Hesaplamada verimlilik sağlar.
- Doğrusal teknikler ile iyi performans verir (örneğin: PID kontrol).
- Optimizasyon ve adaptif tekniklerle iyi performans gösterir.
- Çıktı yüzeyinde anlaşılabilirlik sağlar.
- Matematiksel analize uygundur.

*Sugeno yönteminin dezavantajları:*

- Sezgisel özelliklere sahip değildir.
- Yüksek dereceli model kullanıldığında karmaşık hale gelir.

*Mamdani yönteminin avantajları:*

- Sezgisel ve öğrenebilir özelliklere sahiptir.
- Yaygın olarak kabul görmekte ve sıklıkla kullanılmaktadır.
- İnsani girdiler için daha uygundur.

*Mamdani yönteminin dezavantajları:*

- Yüksek frekanslı girdi sistemini kontrol ettiğinde, verimliliğini arttırmak için ekstra donanıma gereksinim duyar.

# İKİNCİ BÖLÜM
# GEMİ MANEVRASINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE DENİZ KAZALARI

## 2.1. GEMİ MANEVRASINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Gemi kullanma, *"kumanda etme yolu ile bir gemiye istenilen hareketleri yaptırmak*" ve *"kuvvetleri yönetmek"* olarak ifade edilmektedir. Buna ek olarak, daha geniş bir ifade ile "*gemiyi etkileyen tüm etmenlerin etkilerini, sonuçta gemiye istenilen hareketi yaptıracak bileşkeyi ortaya çıkaracak biçimde yönetmektir*" olarak tanımlanmaktadır (Erol, 1987: 1). Bir geminin manevra kabiliyeti, hedeflenen noktaya doğru kontrol altında yön değiştirebilmesi ve bu yön değişimi sonrası yeni rota üzerinde diğer yön değişimine kadar sabit ilerleyebilmesi ile doğru orantılıdır (Yılmaz, 2006). Bir gemiyi başarılı bir şekilde sevk edebilmek, çeşitli faktörleri içeren bir eylem olması sebebiyle uygulayıcının geniş bilgi ve beceriye sahip olması gerekmektedir. Bu faktörlerin bazıları uygulayıcı tarafından kontrol edilebilir olmasına rağmen kontrol dışı gelişen faktörler de söz konusudur (Danton, 2002: 51). Gemiyi sevk eden kişi, gemi kullanma ve manevra konusunda ne kadar uygulama ve pratik yapmışsa o kadar tecrübe ve uzmanlık derecesine sahiptir (House, 2007: 1).

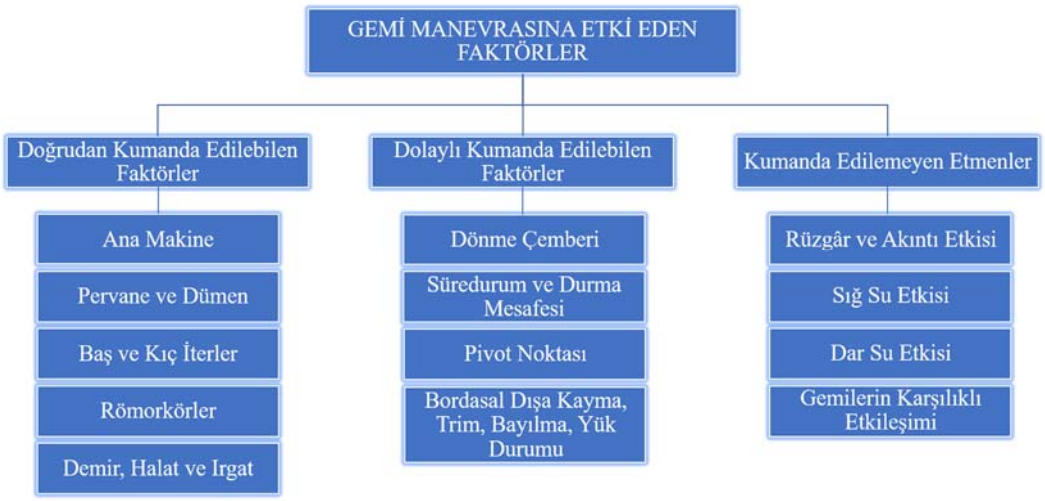
Modern donanımlar ile birlikte (baş/kıç iterler, değişken adım pervaneler) gemi manevra hareketleri daha kolay bir şekilde uygulanabilir hale gelmiştir (House, 2007: 1). Bir gemiyi kontrol altında tutabilmek ve istenilen hareketleri yaptırabilmek fizik kuralları ile sınırlıdır. Bu kurallar altında istenilen hareketin yaptırılabilmesi uygulayıcının sahip olduğu kuvvetlerin çeşitliliğine, sayısına, şiddetine ve gemiye nasıl uygulandığına göre farklılık göstermektedir (Erol, 1987: 1).

Gemi kullanma ve sevk etme; emniyet, en kısa süre ve başarı ile sonuçlanması olmak üzere üç ana unsur üzerine oturtulmuştur. Emniyet unsuru gemi kuvvetleri ve kullanıcı yetkinliği ile doğrudan ilişkilidir. Gemi kuvvetleri gemiye istenilen hareketi yaptırabilmek açısından son derece önemlidir. Gerekli kuvvetlerden yoksun bir gemi emniyet açısından riskler taşımaktadır. Bunun yanında kullanıcı çevre koşullarına bağlı olarak emniyet unsurunu göz önünde tutarak manevrayı erteleyebilir veya yardımcı kuvvetler aracılığı ile gerçekleştirebilir. Diğer bir unsur en kısa sürede çevre şartlarının elverdiği oranda mevcut kuvvetler ile manevrayı sonlandırmaktır. Burada

önemli bir nokta riskleri minimum seviyede tutacak derece manevra süresinin kısa tutulması gerektiğidir. Kısa sürede manevra yapma çabası yüksek riskleri doğuracak şekilde olmamalıdır. Son olarak başarı ile sonuçlanması unsuru ise ne tür bir manevra yapılıyorsa amaca uygun bir şekilde herhangi bir kaza veya zarara sebebiyet vermeden manevranın sonlanmasıdır (Zorba, 2007: 3).

Gemi manevrasını etkileyen; geminin karakteristik özellikleri, geminin o anki yük durumu, teknik donanımı, draftı, çevresel koşullar, kullanıcının yetkinliği gibi birçok faktör vardır. Bu faktörler şekil 25'te gösterildiği üzere, "doğrudan kumanda edilebilen faktörler", "dolaylı kumanda edilebilen faktörler" ve "kumanda edilemeyen faktörler" olarak üç başlık altında toplanmaktadır (Erol, 1987: 34; Köseoğlu, 2014: 69).

**Şekil 25:** Gemi Manevrasına Etki Eden Faktörler




Kaynak: Erol, 1987; Köseoğlu, 2014'den esinlenerek hazırlanmıştır.

### 2.1.1. Doğrudan Kumanda Edilebilen Faktörler

Gemiler, su üstünde yüzen, tonlarca ağırlığın gemi boyunca yayılmış olduğu özel olarak biçimlendirilmiş gövdesel kütlelerdir. Bu büyük kütlenin kendisini etkileyen faktörlere karşı verdiği cevap fizik kuralları çerçevesindedir. Gemiyi etkileyen birçok faktör vardır ve bu faktörlerden bazıları operatör tarafından direkt olarak kontrol edilebilir (Erol, 1987: 33). Doğrudan kumanda edilebilen faktörler

olarak ifade edilen bu faktörler; ana makine, pervane, dümen, baş-kıç iter, demir, halat ve ırgat olarak sıralanabilir (Anıker, 2008: 8; Erol, 1987: 33).

#### 2.1.1.1. Ana Makine

Manevra esnasında gemiye istenilen hareketi verebilmek için doğrudan kontrol edilebilen en büyük kuvvet ana makinedir (Anıker, 2008: 8). Ana makine, manevranın istenilen düzeyde yapılmasını engellemeye çalışan faktörlerin etkilerini ortadan kaldırmada temel kuvveti sağlar (Erol, 1987: 34). Dümen sistemi ile birlikte kombine olarak kullanıldığı zaman akıntı, rüzgâr vb. gibi çevresel koşulların manevraya olumsuz etkilerini en aza indirmede en etkili araçtır (Anıker, 2008: 8).

Tarihsel süreç içinde gemilerde kullanılan ana makine tipleri; Pistonlu buhar makineleri, buhar türbin makineleri, gaz türbin makineleri, dizel makineler, turbo elektrik / dizel elektrik makineler olarak sıralanmaktadır. Bu makine tipleri ile ilgili aşağıda kısa bilgiler verilmiştir. (Erol, 1987: 34; Köseoğlu, 2014: 69; Anıker, 2008: 8; MEB, 2011: 34; ABB, 2012: 4; Koncavar, 2004: 2; Sönmez ve Özden, 2011: 77).

*Pistonlu Buhar Makineleri* günümüzde hemen hemen hiç kullanılmayan makine tipidir. Pervanenin direkt olarak makineye bağlı olmasından dolayı ara dişli kutusuna gereksinimi yoktur ve bu sebeple tersinebilme yani tornistan yönüne dönüş yapabilme özelliğine sahiptir. Sağladığı verim gücü sınırlı olmasına rağmen sağlamlıkları ve komutlara yanıt vermede etkin olması açısından avantajlara sahiptir.

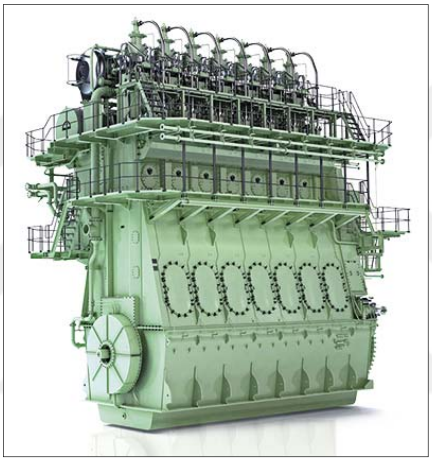
*Buhar Türbin Makineleri* 20.yy'nin başlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu tip bir makinede üretilen beygir gücü aynı büyüklükteki makinelere oranla oldukça yüksektir ve bu sebeple kuvvet pervaneye aktarılırken küçültme donanımı kullanılmaktadır. Tersinemeyen bir makine tipi olan buhar türbin makinelerinde tornistan için ayrı bir türbin sistemi donanımı mevcuttur. Maliyet unsuru göz önünde tutularak daha küçük bir makine kullanılması sebebiyle tornistan gücü ileri yol gücüne oranla %70'e yakın daha azdır ve bu geçiş zaman alabilir. Bu durumun manevra esnasında göz önünde tutulması gerekmektedir.

*Gaz Türbin Makineleri* 1940'lı yılların sonlarında kullanılmaya başlanmıştır. Taşıdığı yükü aynı zamanda yakıt olarak da kullanabilmesi sebebiyle özellikle LNG (Liquefied Petroleum Gas) gemileri bu tip makineleri kullanmaktadır. Dizel

makinelerle karşılaştırıldığında ağırlık ve hacim açısından avantaja sahip olan gaz türbin makineleri sessiz çalışan ve vibrasyonu az olan makineler olarak bilinmektedir. Burhan türbin makinelerine benzer olarak tornistan geçişleri gecikmelidir.

*Dizel Makineleri* ticaret gemilerinde en yaygın olarak kullanılan ana makine tipidir. Yakıtın yakıldığı yere göre dıştan yanmalı ve içten yanmalı, zamanlarına göre iki zamanlı ve dört zamanlı olarak sınıflandırılan dizel makineler, diğer tip gemiler ile kıyaslandığında komutlara hızlı cevap vermesi ve verimli olması sebebiyle avantajlara sahiptir. Şekil 26'da iki zamanlı dizel tip bir gemi makinesi örneği gösterilmektedir.

**Şekil 26:** İki Zamanlı Dizel Tip Gemi Makinesi



Kaynak: MAN, 2017.

*Turbo Elektrik ve Dizel Elektrik Makineler* ile donatılmış gemiler kullanıcı açısından avantajlı gemilerdir. Verilen her komuta hızlı cevap vermeleri manevralarda avantaj sağlamaktadır. İleri ve tornistan yolda tam güce kısa sürede ulaşabilir ve pervane düşük tornalarda da çalıştırılabilir. Yatırım maliyeti ve yakıt tüketimlerinin yüksek olması en büyük dezavantajıdır ve bu sebeple ticari gemilerde çok yaygınlaşmamıştır. Yüksek manevra kabiliyeti gerektiren alanlarda faaliyet gösteren su üstü araçları olan römorkörlerde daha yaygın kullanılmaktadır.

*Nükleer Güçle Yürütülen Gemi Makineleri* atom enerjisi ile çalışırlar ve yürütücü türbin makineyi çalıştıracak buharı üretmek için kullanılırlar. Kullanıcı için buhar türbin makinler ile aynı prensibe sahip olmakla birlikte, tek fark olarak buhar elde etmek için gerekli olan ısı enerjisi nükleer güç ile üretilir.

#### 2.1.1.2. Pervane ve Dümen Donanımı

Gemi pervanesi, ana makinenin ürettiği gücü bir şaft aracılığı ile itme kuvvetine çeviren bir donanımdır (Volvo Penta, 1998: 3, Anıker, 2008: 16). Su içinde dönen pervanenin kanatları pervane tipine göre dönme yönü veya açısına bağlı olarak ileriye ve geriye doğru itme gücü yaratırlar. Eğer bu itme kuvveti kanatların açısına bağlı olarak değişiyor ise kontrol edilebilir ve değişken adım (pitch) olarak ifade edilir (Clark, 2005: 72). Pervane adımı; pervanenin su içinde tam tur yol yaprak pervane göbeğinin suda aldığı yatay yol olarak tanımlanmaktadır. Buna bağlı olarak, pervaneler sahip olduğu adım özelliklerine göre Sabit Adım Pervane (Fixed Pitch Propeller) ve değişken adım pervane (Controllable Pitch Propeller) olarak ikiye ayrılır (Carlton, 2007: 13; MAN, 2013: 14; Smogeli, 2006: 2; Karlsen, 2012: 11).

Sabit adım pervaneler, geleneksel pervane tipi olup kanat açıları şafta göre değişmeyen pervanelerdir (Zorba, 2007: 10, Carlton, 2007: 13). Bu tip pervane ile donatılmış bir gemiyi ivmelendirebilmek için pervanenin dönüş hızını yani tornayı yükseltmek gerekir. Böylece tornaya bağlı olarak pervanenin birim zamanda alacağı adım sayısı artacağından hız da aratacaktır (Zorba, 2007: 10, Erol, 1987: 45). Bu tip pervaneler dönüş yönüne göre de sınıflandırılırlar. Saat yönünde dönen pervaneler sağa devirli, saat yönü tersinde dönen pervaneler ise sola devirli olarak tanımlanır (Anıker, 2008: 18). Pervanenin dönüş yönü manevra esnasında önemli bir değişkendir ve uygulayıcılar tarafından göz önünde tutulması gerekir (Köseoğlu, 2014: 78). Örneğin sağa devirli bir pervane geminin kıçını sancağa başını ise iskeleye atmaktadır. Gemilerin büyük çoğunluğu sağa devirli pervaneler ile donatılmaktadır ve tornistan kuvveti elde edebilmek için pervanenin ters yönde çalışması gerekmektedir. Fakat gemiler tam yol ileride eriştikleri sürate tam yol tornistanda erişemezler. Bunun nedeni gemi gövdesine çarpan suların pervanede homojen bir akış sağlayamaması ve gemi gövdesinin yarattığı dirençtir (Anıker, 2008: 18). Şekil 27'de örnek bir sabit adım pervane gösterilmektedir.

**Şekil 27:** Sabit Adım Pervane



Kaynak: Rolls Royce, 2014: 6.

Kullanımı giderek yaygınlaşan değişken adım pervaneler ise, sabit adım pervanelerin aksine, pervane kanatlarının istenilen açıya döndürülerek ileri veya tornistan yönlü harekete olanak sağlayan bir sistemdir (Fni, 2000: 106). İlk ortaya çıkışı 1900'lı yılların başlarına dayanan değişken adım pervaneler (Dullens, 2009: 1) özellikle 1960'lı yıllardan itibaren popüler hale gelmiş ve pazar payı giderek yükselmiştir (Carlton, 2007: 20). Bu tip pervanelerin bağlı olduğu ana makine sürekli olarak sabit bir hızla dönmektedir ve pervane kanatları değiştirilerek geminin hızı değiştirilebilir. Değişken adım pervaneler, sabit adım pervanelerin aksine, tam yol ileriden tam yol tornistana geçiş sürecine olanak sağlayan bir donanımdır (Clark, 2005: 106). Makine özelliğine bağlı olmaması, geç alma ve almama durumunun olmaması, bekleme zamanının olmaması, kısa sürede istenilen hıza çıkılabilmesi gibi avantajlara sahip olan değişken adım pervaneler, bazı dezavantajlara ve dikkat edilmesi gereken noktalara da sahiptir. Kumanda sisteminde bir arıza olması durumunda kanatların herhangi bir açıda takılı kalması, çabuk hız artırımı komutunda aşırı yük sebebiyle ana makinenin durma riski, manevra esnasında özellikle kıç tarafta halat alıp verme hareketi yapılırken pervanenin sürekli dönüyor olması gibi durumlar kullanıcı için dezavantajlar olarak görülmektedir. (Erol, 1987: 49; Zorba, 2007: 10). Şekil 28'de örnek bir değişken adım pervane gösterilmektedir.

**Şekil 28:** Değişken Adım Pervane

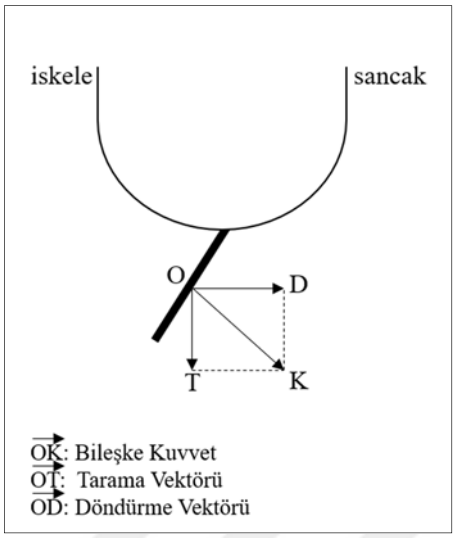


Kaynak: Schottel, 2014: 4.

Gemilerde, tahrik kuvveti üretme aracı olarak ana makine ve pervane kullanılırken, bu tahrik kuvvetine yön verme kontrolü ise dümen donanımı ile sağlanmaktadır (Erol, 1987: 83). Bu amaç doğrultusunda bir dümen donanımı, bir gemiyi rotasında tutabilmek veya değiştirebilmek için yeterli bir yan kuvvet üretmelidir. Bu kuvveti üretebilmesi için dümenin gemi gövdesinden geçen suya karşı bir açıyla pozisyon alması gerekmektedir. Dümenin sağlamış olduğu ilk dönüş hareketinden sonra gemi gövdesinin oluşturduğu hidrodinamik kuvvetler geminin dönüş sürecini devam ettirmektedir. Dümene bağlı dönme etkisi gemi tipi ve gövde formuna bağlı olarak değişmektedir (Molland ve Turnock, 2007: 58).

Bir dümenin gemi omurgası ile yaptığı açıda oluşan bileşke kuvvetin dik yönlü vektörü gemiye döndürücü etkiyi sağlayan kuvvettir. Gemi omurgasına paralel yönlü oluşan vektörü ise gemiye mukavemet sağlayan yavaşlatıcı kuvvet vektördür. (Anıker, 2008: 25). Şekil 29'da iskeleye basılmış bir dümenin üzerindeki kuvvet vektörleri gösterilmektedir. Burada $\overrightarrow{OK}$ bileşke kuvvet olmak üzere, $\overrightarrow{OT}$ geminin hızına karşı mukavemet gösteren tarama vektörü, $\overrightarrow{OD}$ ise döndürme vektörüdür (Erol, 1987: 87). Dümenin gemi üzerindeki bu etkilerinin göz önünde tutulması emniyetli manevra açasından oldukça önemlidir (Köseoğlu, 2014: 81).

**Şekil 29:** Dümen Üzerindeki Kuvvet Bileşenleri

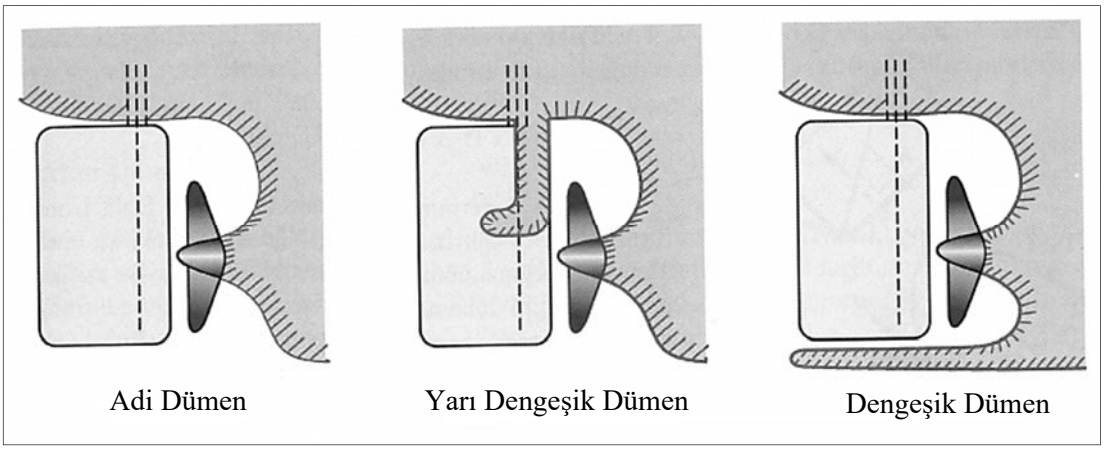



Kaynak: Erol, 1987: 87.

Dümenler genellikle karmaşık su akış alanlarında faaliyet gösteren sistemler olması sebebiyle, bu sistem ile ilgili geliştirilen özel tasarımlar ve optimize edici teknolojiler, akış enerjisi kayıplarının bir kısmının önüne geçerek önemli kuvvet tasarrufu sağlamaktadır (Becker, 2017a: 1). Bu bakımdan gemilerde kullanılan dümen tiplerini, geleneksel olarak kullanılan konvansiyonel dümenler ve özel tasarlanan optimize edici modern dümenler olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür (Fni, 2000: 112; Köseoğlu, 2014: 81; Anıker, 2008: 24).

Konvansiyonel dümenler; şekil 30'da gösterildiği üzere, *adi dümen*, *yarı dengeşik dümen* ve *dengeşik dümen* olarak üç tipe ayrılmaktadır. (MEB, 2015: 20; Molland ve Turnock, 2007: 15; Clark, 2005: 135). Adi dümen tipinde yelpaze alanı, dümen şaftı yani dönme ekseni gerisindedir. Genellikle pervaneye çok yük binmeyen ve fazla hız yapamayan gemilerde tercih edilmektedir. Dönüş ekseni dümen yelpazesinin orta bölümüne doğru yerleştirilmiş olan yarı dengeşik dümen tipi ise en çok tercih edilen konvansiyonel dümen tipidir. Bu dümen tipinde, geniş açılarda ortaya çıkan direnç miktarı tasarımı gereği moment kolunun kısalması ile azaltılmıştır. Dengeşik dümen tipi ise dönüş ekseni alttan ve üstten dengelenmiş dümen tipidir (Anıker, 2008: 25; Clark, 2005: 135).

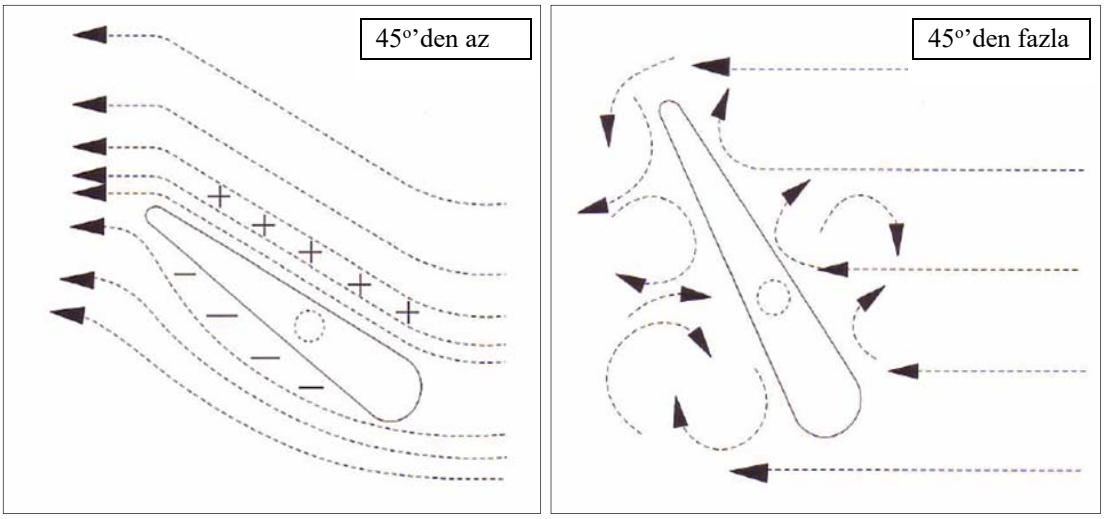
**Şekil 30:** Konvansiyonel Dümen Tipleri




Kaynak: Anıker, 2008: 25.

Konvansiyonel dümenler hidrodinamik olarak 45º'ye kadar etkindirler. Bu açı değerinden daha büyük açı değerlerinde, dümen üzerindeki su akışında giderek artan bir türbülans oluşur ve dümen etkinliğini kaybetmeye başlar. Şekil 31'de 45º'ye kadar ve 45º'den fazla dümen açılarında suda oluşan akış durumu gösterilmektedir (Fni, 2000: 112).

**Şekil 31:** 45º'den Az ve Fazla Dümen Açılarında Suda Oluşan Akış Durumu




Kaynak: Fni, 2000: 113.

Bir geminin manevra kontrolü yüksek oranda dümen kuvvetinin ne kadar hızlı gemi başını döndürebildiğine bağlıdır. Yüksek dümen kuvveti elde edebilmek yüzey

alanı geniş büyük dümenler ile sağlanabilir. Fakat bir geminin daha büyük bir dümen ile donatılması çok mümkün değildir. Bu sebeple, dümen performansını arttıran ve yüksek dümen kuvveti üretebilen dümen tasarımları geliştirilmiştir (Clark, 2005: 137). Modern dümen donanımları olarak tanımlanan ve yüksek performans üretebilen bu dümen tiplerine *Becker Dümen Sistemi* ve *Schilling Dümen Sistemi* örnek gösterilebilir (Wartsila, 2018a; Fni, 2000: 115). Şekil 32'de bu tip dümen sistemleri gösterilmektedir.

*Becker Dümen Sistemi*, ana dümen yelpazesinin ucuna mekanik bir bağlantı düzeneği ile ek bir kanatın eklenmesi ile oluşturulmuş dümen tipidir. Ana dümen alabanda 35º basıldığında ek kanat yardımı ile 70º'ye kadar bir açı değerine ulaşabilmektedir. Bu sistem konvansiyonel dümenlere göre daha büyük bir döndürücü etkiye sahiptir ve buna paralel olarak gemiyi durdurucu etkisi de daha büyüktür (Anıker, 2008: 25; Fni, 2000: 115).

*Schilling Dümen Sistemi* ise, Becker sistemde olduğu gibi ek bir kanat içermez ve 70º'ye kadar basılabilir olması sebebiyle etkili bir frenleme ve döndürme olanağı sağlar (Anıker, 2008: 28). Yapılmış bazı deneysel çalışmalar (Nagarajan vd., 2008; Hasegawa vd., 2006), Schilling dümen tipinin konvansiyonel dümen sistemlerine göre manevra kabiliyeti, rotada tutma ve yakıt verimliliği açısından daha üstün olduğunu ortaya koymuştur.

**Şekil 32:** Modern Dümen Donanımları

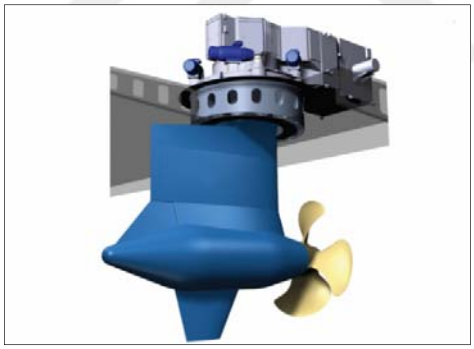



Kaynak: Becker, 2017a: 2.

Yukarıda ifade edilen pervane ve dümen donanımlarına ek olarak, tahrik ve döndürme kuvvetini kombine olarak üreten sistemler de mevcuttur. Bu sistemlere; *Azipod Sistemi, Voith Sistemi, Kovan Sistemi (Kort Nozzle), Azimuth Z-drive ve Su Jeti* örnek gösterilebilir (Schottel, 2010; Rolls-Royce, 2017; Gupta ve Prasad, 2006).

*Azipod Sistemi* 1990'lı yılların başlarında Finlandiya'da geliştirilmiştir. Mekanik şaftlı güç iletim sistemine sahip "Z-drive" tahrik sistemine benzemektedir, fakat bu sistemden farklı olarak, sualtında kalan dış bölümüne elektrik motoru (Pod) ile çalışan ve 360$^{o}$ dönebilen iki adet pervaneden oluşmaktadır. Bu sistemle donatılmış bir gemide pervanenin istenilen açıya dönebilmesi sebebiyle ayrı bir dümen sistemine gerek yoktur. Bunun yanında, dümen, pervane braketleri, şaft gibi sistemler ihtiyaç duyulmaması, su direncinin %10'a varan oranda azalmasına katkı sağlamaktadır. Gürültü, vibrasyon ve egzoz emisyon oranı diğer makine tiplerine göre daha azdır ve bu sebeple çevre dostu bir sistem olarak kabul edilir (Anıker, 2008: 12). Şekil 33'te Azipod sistemi örneği gösterilmektedir.

**Şekil 33:** Azipod Sistemi



Kaynak: ABB, 2012.

*Voith Sistemi*, döndürme ve tahrik kuvvetini birlikte üretebilen bir sistemdir (Voith, 2009: 2). Son derece hassas ve hızlı çalışabilen Voith sistemi; hız ve yön açısından kademesiz kontrol sağlaması ve çalıştığı yöne bağlı olmaksızın itme-tahrik verimliliğinin eşit olması gibi avantajlara sahiptir (Jürgens ve Beu, 2006: 2). Feribotlar, askeri gemiler ve yolcu gemileri gibi yüksek manevra kabiliyetinin önemli olduğu gemilerde ağırlıklı olarak kullanılan bu sistem, özellikle römorkörlerde kullanılması ile birlikte emniyet açısından römorkör operasyonlarına önemli ölçüde

katkı sağladığı ifade edilmektedir (Bartels ve Jürgens, 2006: 1). Şekil 34'te örnek bir Voith sistemi gösterilmektedir.

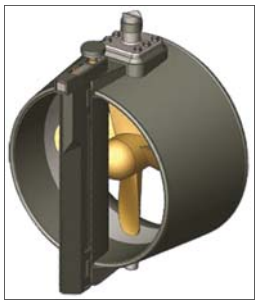
**Şekil 34:** Voith Sistemi



Kaynak: Bartels ve Jürgens, 2006: 26.

*Kovan sistemi (Kort Nozzle),* tahrik gücünü arttırmak amacıyla bir kovan içine yerleştirilmiş pervaneden oluşan bir sistemdir. Pervane etrafını çevreleyen bu kovan pervane suyunun akış hızının artmasına yardımcı olarak yüksek tahrik gücü sağlar. Bu sebeple açık pervanelere göre daha verimli bir sistemdir (Ghose, 2004: 183). Ön tarafına 80º'ye kadar dönebilen yelpaze yerleştirilmiş bu sistem, kendi etrafında da 35º açıya kadar dönebilmektedir. Böylelikle tahrik kuvvetine ek olarak döndürücü kuvvet de üretebilmektedir (Becker, 2017b). Şekil 35'te örnek bir kovan sistemi gösterilmektedir.

**Şekil 35:** Kovan Sistemi



Kaynak: Becker, 2017b.

*Azimuth* sistemi, özellikle son yıllarda dinamik konumlandırma (dynamic positioning) sistemine olan talebin artmasıyla birlikte önem kazanmaya başlayan bir

sistemdir (Carlton, 2007: 345). Bu sistemin temel prensibi, pervanenin dikey eksen etrafında 360º döndürülebilmesi ve bu sayede çok yönlü itme gücü sağlayabilmesidir (Rolls Royce, 2014: 11). Şekil 36'da örnek bir Azimuth sistemi gösterilmektedir.

**Şekil 36:** Azimuth Sistemi



Kaynak: Rolls Royce, 2014: 11.

*Su Jeti* sistemi genellikle gezinti, yolcu, feribot ve askeri gemilerde kullanılmaktadır. Bu sistem prensip olarak, emilen suyu yüksek bir basınçla geriye doğru püskürterek itme kuvveti üretmeye dayanmaktadır. Donatıldığı gemilere yüksek hız ve manevra kabiliyeti sunan su jeti sistemi, pervane gibi dönen bir aksamı olmaması sebebiyle özellikle sığ sularda emniyetli manevra olanağı sağlar (Köseoğlu, 2014: 77; Anıker, 2008: 15).

#### 2.1.1.3. Baş ve Kıç İterler

İterler yanal itme kuvveti sağlamak üzere tasarlanmışlardır. Gemilerin römorkörlerden bağımsız olmasını sağlayan iterler, özel durumlarda römorkörlerin hizmet veremeyeceği bölgelerde manevra yapabilme yeteneği sağlamaktadır. Bir tünelin içine monte edilmiş pervanenin oluşturduğu tünel iticileri, omurgadan emiş yapan ve her iki tarafa deşarj eden bir pompadan oluşan jet itici ve 360º döndürülebilen azimuth itici olmak üzere temel olarak üç tipe ayrılmaktadır. İterler özellikle düşük hızlarda gemilerin manevra kabiliyetlerini oldukça artırmaktadır (Wartsila, 2018b). İlk olarak, özellikle yolcu gemileri ve feribotlar iter ile donatılırken, günümüzde diğer tip gemiler de sıklıkla bu sistem ile donatılmış olarak suya indirilmektedir (House, 2007:

207). Genellikle, su jeti, elektromanyetik, elektrik veya dizel makine sistemleri ile çalışmakta ve pervaneleri sabit adım veya değişken adım olabilmektedir. İterlerden optimum verim elde edebilmek için gemi dönüş ekseninin (pivot noktasının) gemideki geometrik yerinin büyük önemi vardır. İterler, bu noktaya ne kadar yakın olursa döndürücü moment kolu kısalacağından o oranda etkinliği düşecektir (Anıker, 2008: 32). Şekil 37'de örnek bir iter sistemi gösterilmektedir.

**Şekil 37:** İter Sistemi




Kaynak: Wartsila, 2018c.

#### 2.1.1.4. Römorkörler

Römorkörler, her türlü su üstü aracını (yük gemileri, yolcu gemileri, platformlar, vb.), her türlü hava koşullarında itme veya çekmede kullanılan ve yüksek makine gücü ile donatılmış deniz araçlarıdır. Römorkörler genel olarak, römorkaj hizmetleri olarak ifade edilen gemilerin limanlara yanaşma ve limandan ayrılma operasyonlarında, arızalanmış veya seyir yeteneğini kaybetmiş gemileri yedekleme ve çekme işlemlerinde ve seyir sırasında gemilere eşlik etme, bir diğer ifade ile eskort hizmetlerinde kullanılmaktadır (Eke, 2010: 1). Bu faaliyetlerin yanında, ek donanımlar aracılığı ile deniz temizliği, yangın söndürme ve batık çıkartma gibi operasyonlarda da kullanılmaktadır (Zorba, 2007: 18). Faaliyet alanlarına göre; açık deniz

römorkörleri, liman römorkörleri ve nehir römorkörleri olarak sınıflandırılan römorkörler tahrik sistemlerine göre ise, konvansiyonel römorkörler, traktör römorkörler ve bileşik römorkörler olarak sınıflandırılmaktadır (House, 2007: 115; Zorba, 2007: 18).

Römorkörler için en önemli gösterge çekme kuvveti (Bollard Pull) değeridir. Çekme kuvveti römorkörün gerçekleştirebileceği çekme miktarının ton olarak ifade edilmesidir. Her römorkör bu teste tabi tutularak azami çekme kuvveti belirlenir ve sertifikalandırılır (Eke, 2010: 73). Şekil 38'de örnek bir römorkör gösterilmektedir.

**Şekil 38:** Römorkör



Kaynak: Uzmar, 2016.

#### 2.1.1.5. Doğrudan Kumanda Edilebilen Diğer Faktörler

*Demirler, halatlar* ve *ırgatlar* gemi manevrasında doğrudan kumanda edilebilen diğer faktörlerdir (Köseoğlu, 2014: 85).

*Demir ve zincir* temel amaç olarak geminin deniz dibine tutunarak istenilen bölgede sabit kalmasını sağlayan bir donanımdır. Bu temel amacın yanında demir ve

zincirler, özellikle acil durumlarda bir manevra aracı olarak da kullanılabilir. Örneğin; demir taratarak gemi hızı düşürülebilir veya deniz dibine tutunarak baş tarafta döndürücü bir kuvvet olarak kullanılabilir (Erol, 1987: 1).

*Halatlar*, gemilerin yükleme operasyonlarını gerçekleştirebilmeleri için sabit veya yüzer bir yapıya (rıhtım, iskele, şamandıra, vs.) bağlanması için kullanılan donanımlardır (Kantharia, 2016: 4). Bunun yanında, yedekleme, gemi-römorkör ve gemi-gemi bağlama gibi manevra operasyonlarında da sıklıkla kullanılmaktadır (Armstrong, 1994). Halatlar aşırı yüklenmede kopabilme ihtimaline karşı esnek yapıda üretilmektedirler. Kullanım amacına göre, yapılış ham maddesine göre, örülme tipine göre, kalınlıklarına göre ve bükümlerine göre olmak üzere beş kategoride sınıflandırılmaktadır (MEB, 2016a: 9).

*Irgat*, demir operasyonları ve halat manevraları yapmak için kullanılan ve baş üstüne konumlandırılmış bir donanımdır (MEB, 2012: 3). Çalışma prensiplerine göre hidrolik, elektrikli ve sitimli ırgat, kullanım amacına göre ise demir ve halat ırgatı olarak sınıflandırılmaktadır (MEB, 2008: 3).

### 2.1.2. Dolaylı Kumanda Edilebilen Faktörler

Dümen basma, hız azaltma veya arttırma gibi durumlarda gemi üzerinde eğim, bayılma, savrulma vs. gibi birtakım yan etkiler meydana gelir. Sevk ve idaresi sağlanan geminin bu tür durumlara karşı vereceği tepkinin önceden bilinmesi ve manevra öncesi bu faktörlerin göz önünde tutulması gerekir (Erol, 1987: 203). Bu bölümde, dolaylı olarak kontrol edilebilen faktörler olarak sınıflandırılan bu faktörler incelenecektir.

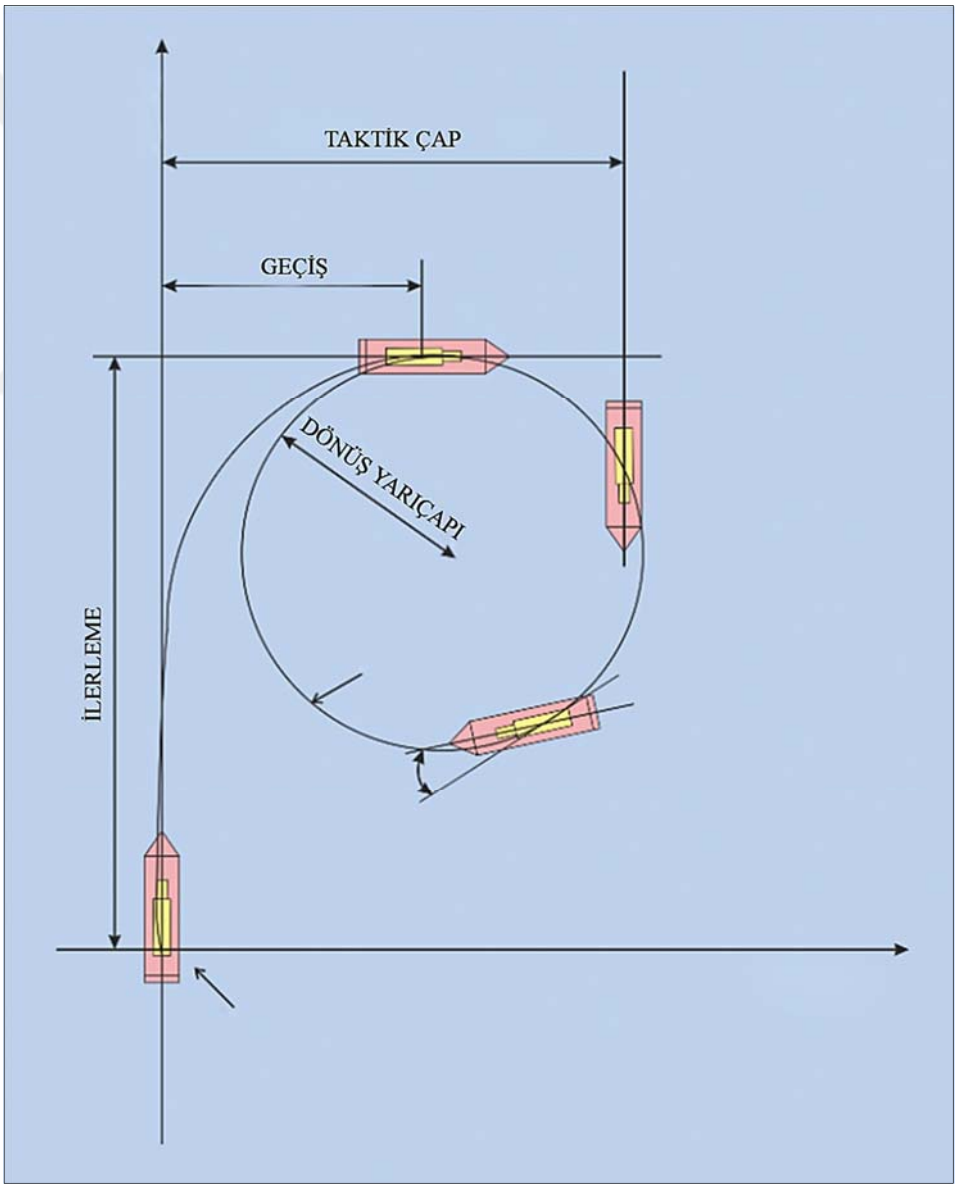
#### 2.1.2.1. Dönme Çemberi

Bir geminin üzerinde yol varken 35$^{o}$ veya maksimum dümen açısı ile tam tur dönerek tekrar rotasına gelmesi sonucu yapmış olduğu dönüş izi dönme çemberi olarak ifade edilmektedir (IMO, 2002: 1). Yeni bir geminin yapımı bittikten sonra sahibine teslim edilmeden önce deneme seyri yapılır. Geminin dönme çemberi ile ilgili karakteristiği de bu deneme seyrinde ortaya çıkar. Dönme çemberi, ilerleme (advance),

geçiş (transfer) ve taktik çap (tactical diameter) gibi değişkenlere sahiptir ve bu değişkenlerin değerleri manevra karakteristiği bilgi formunda belirtilmektedir (House, 2007: 38).

Dönme çemberinin boyutu, sığ suda derin suya göre daha büyüktür. Su derinliğine ek olarak, gemi gövde yapısı, boy, hız, draft, trim, dönüş yönü, makine gücü, yük durumu, tahrik sistemi tipi ve çevresel durum gibi faktörler, dönme çemberinin boyutunu etkileyen diğer faktörler olarak sıralanmaktadır (Erol, 1987: 210; House, 2007: 41). Şekil 39'da gemi dönme çemberi örneği gösterilmektedir.

**Şekil 39:** Dönme Çemberi




Kaynak: Ghosh, 2017.

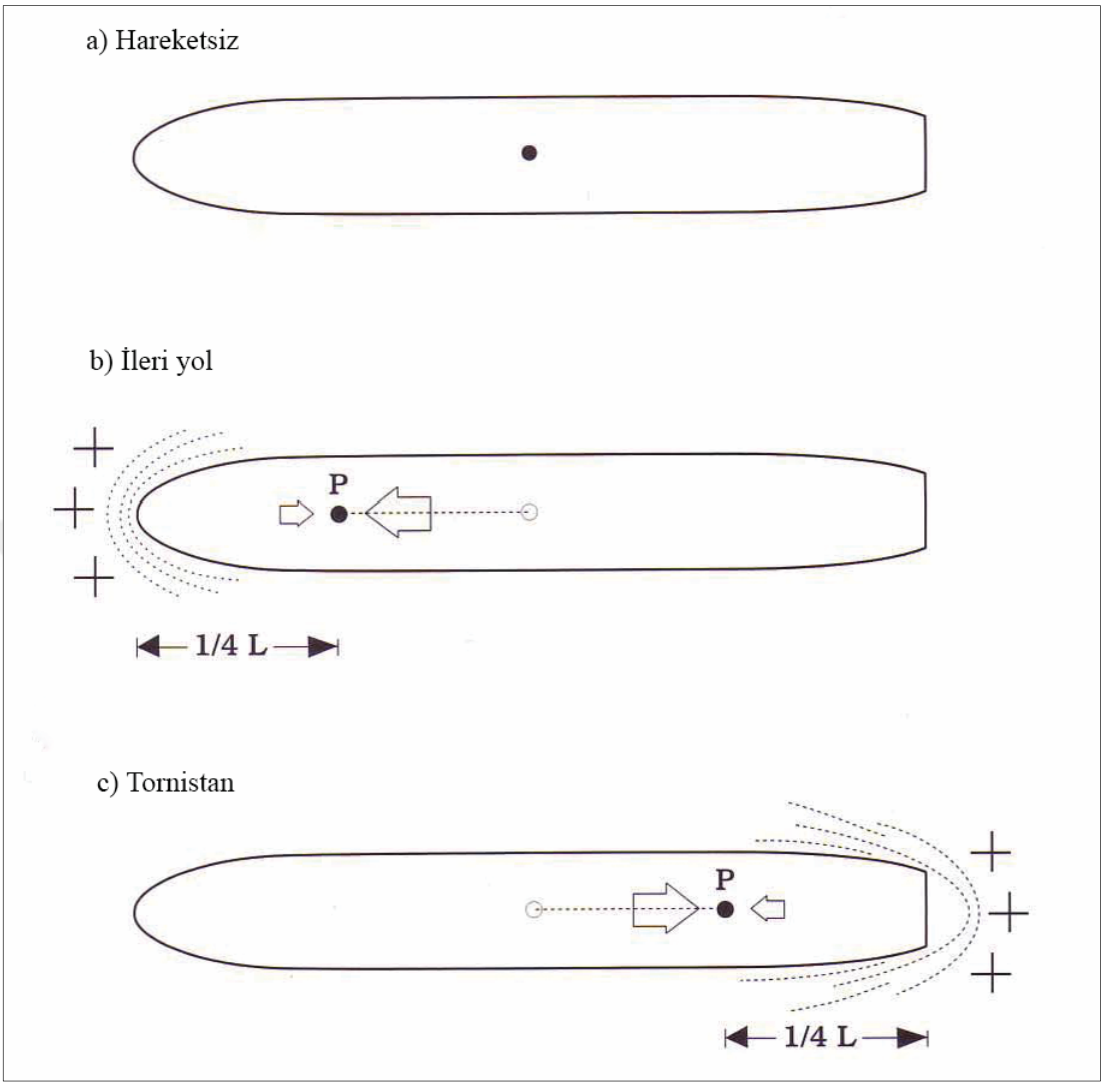
#### 2.1.2.2. Eylemsizlik (Süredurum) ve Momentum (Devinirlik)

Süredurum (eylemsizlik), Newton tarafından ortaya atılmış olan hareketin üç yasasından biridir. Bu yasaya göre, üzerine etkiyen kuvvetlerin toplamı sıfır olan bir cisim, duruyorsa eylemsizliğine, hareket ediyorsa düzgün doğrusal hareketine devam eder. (Günay, 2003: 2). Momentum (devinirlik) ise, bir cismin kütlesi ile hızının çarpımıdır. Gemi manevrası açısından ise, hareket eden bir gemi hareketine devam etme eğilimindedir. Hareketsiz duran bir geminin hareketine başlayabilmesi için eylemsizliğini sonlandıracak büyüklükte bir kuvvet uygulanması gerekmektedir. Büyük ve yüklü gemilerde eylemsizlik de büyük olur. Bunun yanında, bu gemilerde hız ve kütle ile doğru orantılı olması sebebiyle momentum değeri de büyüktür. Özellikle manevralarda bu durumun göz önünde tutulması önemlidir. (Erol, 1987: 218).

#### 2.1.2.3. Pivot Noktası (Dönüş Ekseni)

Gemiye uygulanan döndürücü kuvvetlerin uyguladığı etkiye bağlı olarak geminin sancak/iskele yönünde dönüş hareketini yaptığı nokta pivot noktası olarak ifade edilmektedir (Anıker, 2008: 50). Bu noktanın gemi üzerindeki pozisyonu gemi gövde formunun şekline ve gövdeye uygulanan basınçlara bağlı olarak değişmektedir (Armstrong, 1994: 41). Şekil 40'ta sakin suda trimsiz bir gemi için farklı hareket durumlarına göre pivot noktasının yeri gösterilmektedir. Hareketsiz bir gemi için pivot noktası, gemi ağırlık merkezine ve vasata yakın bir yerde konum almaktadır. İleri yol alan bir gemide pivot noktası başa doğru oluşan momentum ve suyun baş tarafa uyguladığı direnç gibi iki kuvvet etkisine girer. Bu durumda pivot noktası kabaca, baş tarafa gemi boyunun ¼' ü kadar bir uzaklıkta yer almaktadır. Tornistan hareket eden bir gemide ise pivot noktası yine benzer olarak kıça doğru oluşan momentum ve suyun kıç tarafa uyguladığı direnç gibi iki kuvvet etkisindedir. Bu durumda pivot noktası kabaca, kıç tarafa gemi boyunun ¼' ü kadar bir uzaklıkta yer almaktadır (Fni, 2000: 13; House, 2007: 36). Pivot noktası kıça trimli bir gemide kıç tarafa doğru, başa trimli bir gemide baş tarafa doğru hareket etmektedir. Pivot noktasının pozisyonu gemi kontrolü ve manevralarında önemli bir role sahiptir (Armstrong, 1994: 41).

**Şekil 40:** Pivot Noktası




Kaynak: Fni, 2000: 13.

### 2.1.2.4. Dolaylı Kumanda Edilebilen Diğer Faktörler

Dönme çemberi, eylemsizlik ve momentum dışında dolaylı olarak kumanda edilebilen diğer faktörler de vardır. Bu faktörler ile ilgili aşağıda kısa bilgilere yer verilmektedir.

*Su Çekimi (Draft):* Bir geminin hareket edebilmesi için en az gemi su altı hacmi kadar su miktarının ters yönde yer değiştirmesi gerekmektedir. Gemi altında yer alan su miktarın azalması gemi manevrasını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu açıdan geminin su çekimi değeri önemlidir (Anıker, 2008: 62).

*Bordasal Dışa Kayma:* Bir gemi dönüş hareketine başladığı noktada, dümenin basıldığı yönün tersine doğru yer değiştirir. İlk rota ile gemi ağırlık merkezi arasında kalan dik uzaklık bordasal dışa kayma olarak ifade edilir. Bu değer, geminin manevra esnasında uyguladığı dümen açısı ve hızı ile doğru, su çekimi ile ters orantılıdır. Özellikle kısıtlı ve dar sularda yapılan manevralarda bu durumun göz önünde tutulması gereklidir (Erol, 1987: 213).

*Bayılma:* Bir geminin sancak veya iskele tarafa eğimli olması durumu bayılma olarak ifade edilir. Bu durumda bulunan bir gemi dümen komutlarını dinlemede zorluk çekebilir. Bir tarafa bayılmış bir gemiyi özellikle rüzgârlı havalarda kontrol altında tutmak zordur (Köseoğlu, 2014: 89).

*Trim:* Başa trimli gemilerde ağırlık merkezi ile dümen arası mesafe yüksektir ve bu durum daha çabuk dönüş yapılmasını sağlar, fakat kontrolü güçleştirir. Bu sebeple gemilerin başa trimli olması tercih edilen bir durum değildir. Kıça trimli bir gemide ise savrulma noktası kıça yakın olduğu için makine gücünden tam performans alınır ve baş tutmaları kolaylaşır (Erol, 1987: 215; MEB, 2016: 7).

*Yük Durumu:* Bir geminin yük durumuna bağlı olarak, draftı, su altında kalan hacmi, yüzdürme merkezi ve trimi değişiklikler gösterir. Bu sebeple gemiler farklı yük durumlarında farklı manevra özellikleri gösterir. Yüklü bir gemi daha az yüklü olan gemiye oranla rüzgârdan daha az etkilenir, daha büyük dönme çemberi çizer, atalet kuvveti daha yüksektir, dışa kayma ve savrulma değerleri daha düşüktür (Erol, 1987: 218).

### 2.1.3. Kumanda Edilemeyen Faktörler

Gemiler üzerinde kullanıcı tarafından kontrol edilemeyen bazı kuvvetler vardır. Kullanıcı bu kuvvetlerin neler olabileceğini bilmesine rağmen herhangi bir müdahalede bulunamaz. Bu kuvvetlerin gemiyi nasıl etkileyeceğini önceden tahmin ederek önlemler alabilir ve manevranın en düşük seviyede etkilenmesini sağlayabilir (Köseoğlu, 2014: 90; Erol, 1987: 223).

#### 2.1.3.1. Rüzgâr ve Akıntı Etkisi

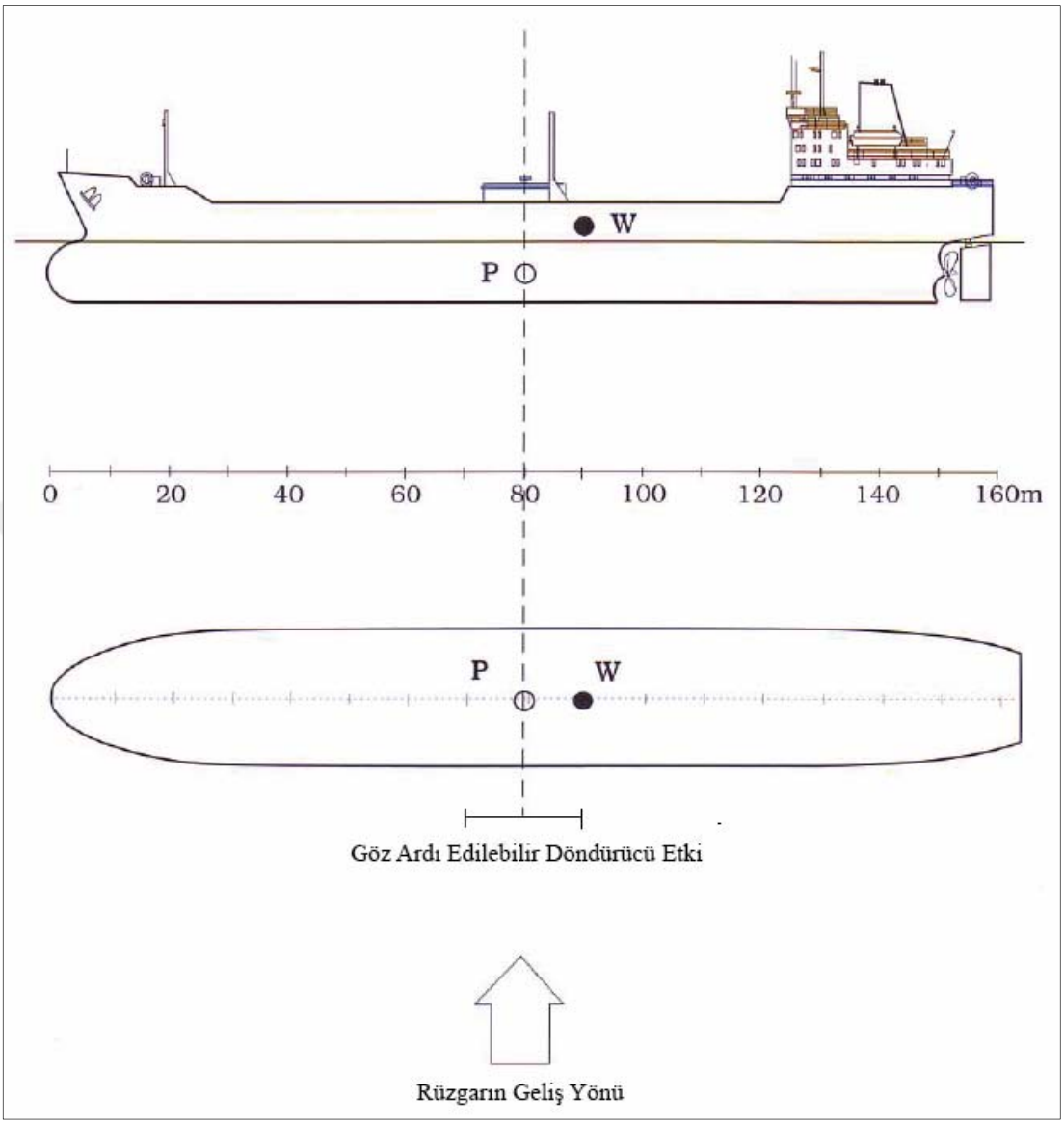
Gemi kullanıcısı birçok etki ile mücadele etmektedir. Rüzgâr etkisi bu etkiler içinde en çok tecrübe edilen, fakat gemiye etkisi en zor yorumlanabilen etkilerdendir (Fni, 2000: 38). Rüzgâr ve akıntı olmayan bir bölgede seyir halinde olan bir gemi ihmal edilebilir bir hava direnci etkisindedir. Fakat yüksek kuvvette bir rüzgâr seyir halindeki bir gemiyi pozitif veya negatif yönde etkileyebilir (Armstrong, 1994: 39).

Rüzgâr kuvvetinin bir gemiye etkisinde, draft/fribord oranı en önemli faktörlerden biridir. Bu oran ne kadar düşükse rüzgâr kuvvetinin gemiyi etkileme derecesi o oranda yüksektir. Yüksek friborda sahip gemiler daha çok rüzgâr etkisine maruz kalırlar. Diğer bir önemli faktör ise, geminin ilerlediği yön ile rüzgâr yönü arasında kalan açıdır. Yaşam mahallinin yeri ve trim durumu da geminin rüzgâra maruz kalma alanını etkilemektedir (Hooyer, 1983: 39).

Rüzgâr etkisi ile birlikte bir gemide, hız değişimi, düşme, savrulma ve bayılma gibi etkiler ortaya çıkabilir. Bu etkilerin nasıl ve hangi şiddette oluşacağı, rüzgârın gemiye geliş yönü, geminin hareket durumu, trim, rüzgâr etkisi altında kalan alan gibi değişkenlere bağlıdır (Erol, 1987: 244).

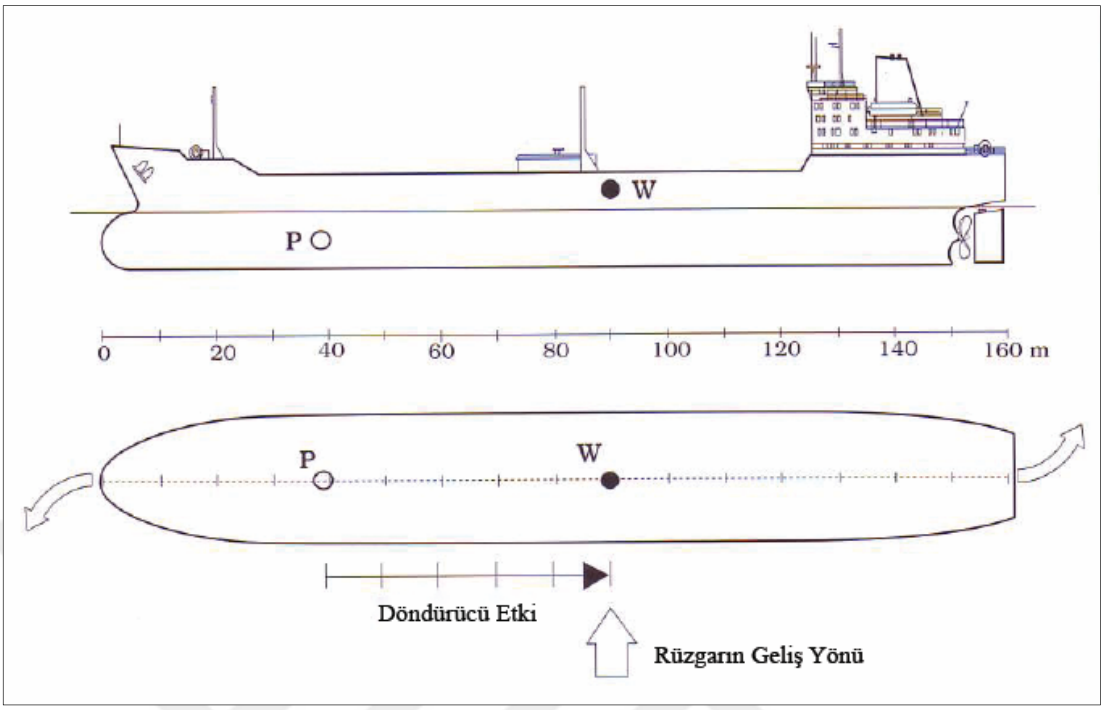
Rüzgârın gemiler üzerinde döndürücü etki yaratmasında, rüzgârın gemi üzerindeki döndürme merkezinin (W) ve gemi pivot noktasının (P) yeri önemlidir. Trimsiz ve hareketsiz bir gemide yaşam mahalli konumu ve gemi fribordu durumuna göre W noktası ve P noktası şekil 41'de gösterildiği üzere konumlanmaktadır. Bu noktaların birbirine oldukça yakın olması sebebiyle dikkate değer bir döndürücü kuvvet oluşmamaktadır. Aynı geminin ileri yol hareket ettiği durumda ise, W noktası aynı noktada kalmakla birlikte P noktası baş tarafa doğru yer değiştirmektedir. Bu durumda, şekil 42'de gösterildiği üzere dikkate değer bir döndürücü kuvvet ortaya çıkmaktadır. Aynı geminin tornistan hareket ettiği durumda ise, rüzgâr kuvveti etkisi daha karmaşık ve daha az tahmin edilebilirdir. Bu durumda, şekil 43'te gösterildiği üzere, W noktası aynı noktada kalmakla birlikte P noktası kıç tarafa doğru yer değiştirmektedir ve gemiyi etkileyen bir döndürücü kuvvet ortaya çıkmaktadır (Fni, 2000: 38).

**Şekil 41:** Hareketsiz Bir Gemi Üzerindeki Rüzgâr Etkisi



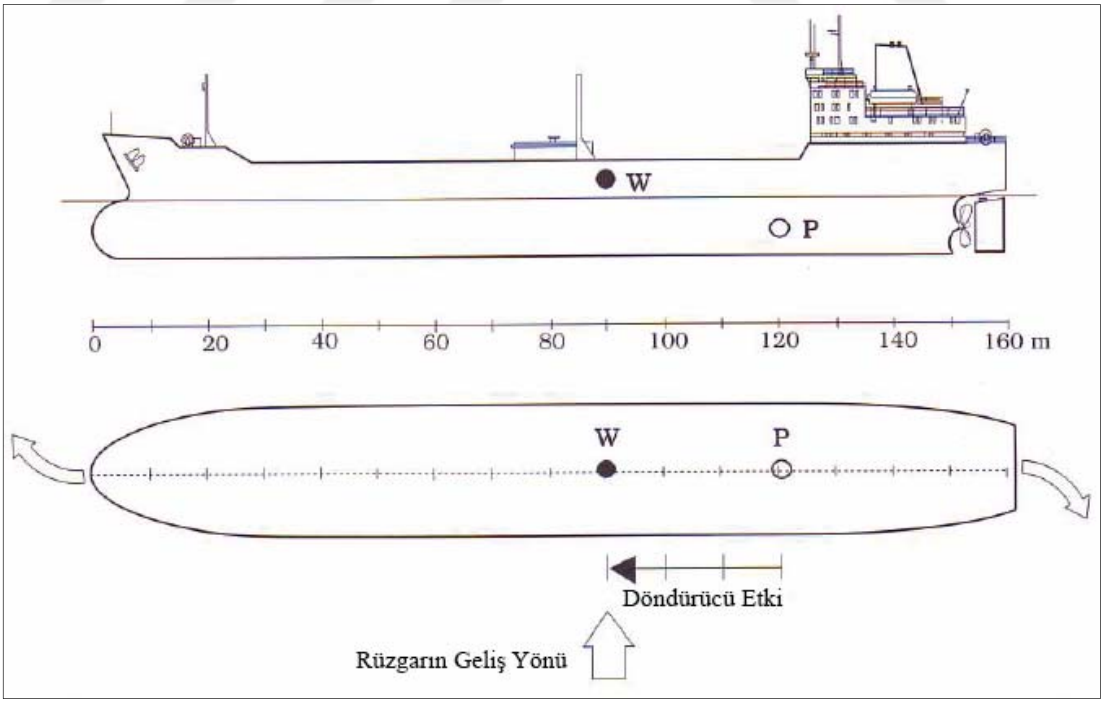

Kaynak: Fni, 2000: 39.

**Şekil 42:** İleri Yol Alan Bir Gemi Üzerindeki Rüzgâr Etkisi




Kaynak: Fni, 2000: 40.

**Şekil 43:** Tornistan Hareket Eden Bir Gemi Üzerindeki Rüzgâr Etkisi




Kaynak: Fni, 2000: 40.

Gemi kullanıcısı manevra yaptığı bölgedeki rüzgârın şiddetini hesaplayarak gemiye etkilerini göz önünde tutması gerekmektedir. Bu hesabın yapılması geminin kendi imkânları ile etkiyen rüzgâr kuvveti üzerinde hâkimiyet kurabilme potansiyelini ortaya çıkmakta ve buna göre römorkör gücü gibi bir desteğe gerek olup olmadığı kararı verilebilmektedir. Rüzgârın gemiye uygulayabileceği kuvvet denklem (13) ile hesaplanmaktadır (Anıker, 2008: 81):

$$F = \left(\frac{V^2}{18000}\right) * S \tag{13}$$

Burada, *F* gemiye uygulanan rüzgâr kuvvetini (ton), *V* rüzgâr hızını (m/s) ve *S* geminin maruz kaldığı rüzgâr alanını ($m^2$) ifade etmektedir.

Gemi kullanıcının kontrolünde olmayan bir diğer kuvvet ise akıntı kuvvetidir (Hooyer, 1983: 61). Bu kuvvetinin gemi üzerinde döndürücü ve hız değiştirici gibi etkileri vardır. Bu etkilerin büyüklüğü gemi hızı, gemi omurgası ile deniz dibi arasında kalan mesafe, gemi tekne formu tipi, akıntının geliş yönü ve şiddeti gibi değişkenlere bağlıdır (PIANC, 1992: 14). Gemi kullanıcısı akıntının gemi üzerinde oluşturduğu bu etkileri iyi bilmeli, gemiye etkisini iyi hesaplamalı ve buna göre gemiyi sevk etmelidir (Erol, 1987: 263).

Akıntı kuvveti ve rüzgâr kuvveti doğaları gereği gemi üzerinde farklı etkilere sahiptirler. Suyun atmosferden daha yoğun bir yapıya sahip olması akıntı kuvvetinin özellikle yüklü gemiler üzerinde rüzgârdan daha etkili bir kuvvet uygulamasına neden olmaktadır (Hooyer, 1983: 61; Armstrong, 1994: 40).

Akıntı, geminin su altında kalan bölümüne direkt kuvvet uygulayarak rota değişimlerinde momentumu etkilemektedir. Pivot noktası ile direk ilişkili olan rüzgâr etkisinin aksine akıntı kuvveti, direkt olarak geminin ağırlık merkezine etki etmektedir. Gemiler herhangi bir rüzgâr veya başka bir çevresel etki olmadan yüklü-yüksüz, büyük-küçük olmasına bakılmaksızın akıntı kuvvetinin aynı olduğu bölgede aynı hızda ilerler. Duran bir gemide en büyük akıntı kuvveti kemere doğrultusunda etki etmesi sonucu oluşur. Kemere doğrultusundan gelen bir akıntı kuvvetinin gemi üzerinde oluşturduğu etkinin büyüklüğü denklem (14) ile hesaplanmaktadır (Hooyer, 1983: 64):

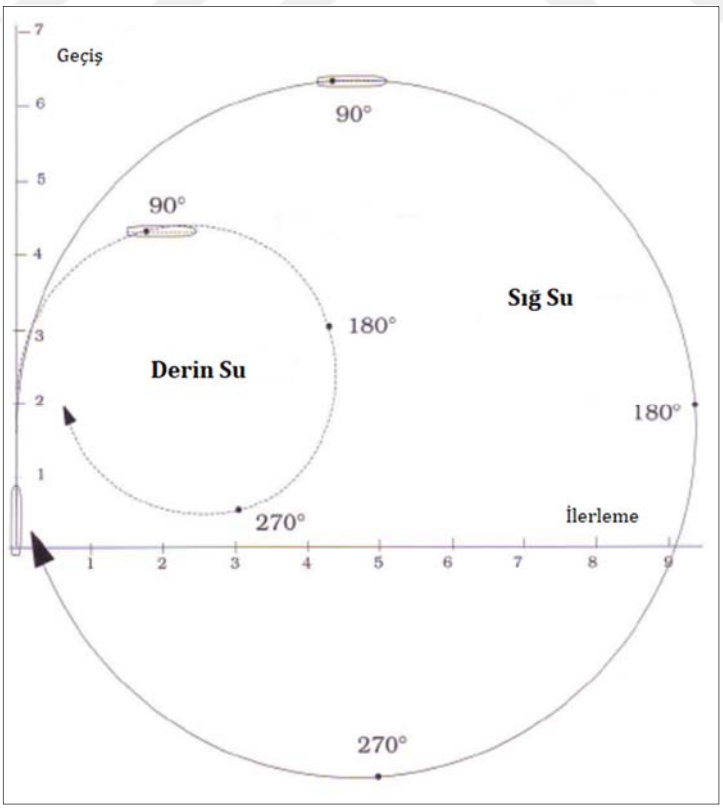
$$C = f * L * d * V^2 \quad (14)$$

Burada, *C* gemiye uygulanan akıntı etkisini (ton), *f* gemi omurgası ile deniz dibi arasında kalan mesafeye (underkeel clearance) bağlı olan faktör değerini, *L* geminin su hattı uzunluğunu (fit), *d* vasat draftını ve *V* akıntı hızını (knot) ifade etmektedir.

### 2.1.3.2. Sığ Su Etkisi

Gemilerin sığ suda hareket etmesi manevra karakteristiğini, özellikle de dönme kabiliyetini etkilemektedir (Fni, 2000: 33). Bir bölgedeki su derinliği gemi draftının iki katından daha az ise, o bölge ilgili gemi için sığ su olarak kabul edilir (Van Oortmerssen, 1976). Gemilerin sığ suda ve derin suda oluşturdukları dönüş hareketi farklıdır. Şekil 44'te gösterildiği üzere bir gemi sığ suda, derin sudan çok daha büyük bir dönme dairesi çizer (Fni, 2000: 33).

**Şekil 44:** Derin Suda ve Sığ Suda Dönme Hareketi




Kaynak: Fni, 2000: 40.

Sığ suda yol alan bir gemi "squat" olarak tabir edilen çökme etkisi altına girmektedir. Bu etki gemi omurgası ile deniz dibi arasında kalan suyun hareketinden kaynaklı oluşur ve gemi bir miktar daha batarak draft değerinde artış meydana gelir (Svetak, 2001: 247). Çökme etkisi altında olan bir gemide meydana gelen draft artışının yanında, bir miktar da başa trimlenme gerçekleşir. Bu sebeple, özellikle liman sahasına yaklaşmakta olan bir geminin bunu göz önünde tutarak kıça trimli olması manevranın emniyeti açısından önemlidir. Eğer trim ile ilgili bir kısıt var ise, çökme etkisinin hızın karesi ile doğru orantılı olduğu göz önünde tutularak hızın kontrol altında tutulması gerekmektedir (Anıker, 2008: 97).

Gemi omurgası ile deniz dibi arasında yeterli mesafe olmaması, gemi başından alt tarafa doğru su kütlesinin sıkışmasına ve basınç oluşturmasına neden olmaktadır. Artan basınç ile birlikte suyun akış hızı yükselerek gemiye daha fazla basınç göstermekte ve bu durum çökme etkisi ile birleşerek, dümen dinlememe ve durma mesafesinde artış gibi etkilere sebebiyet vermektedir (Zorba, 2007: 17). Sığ suda seyir yapan bir gemide bu etkilerin yanında aşağıda sıralanan etkiler de görülebilir ve bu etkilerin göz önünde tutulması seyir emniyeti açısından önemlidir (Erol, 1987: 225);

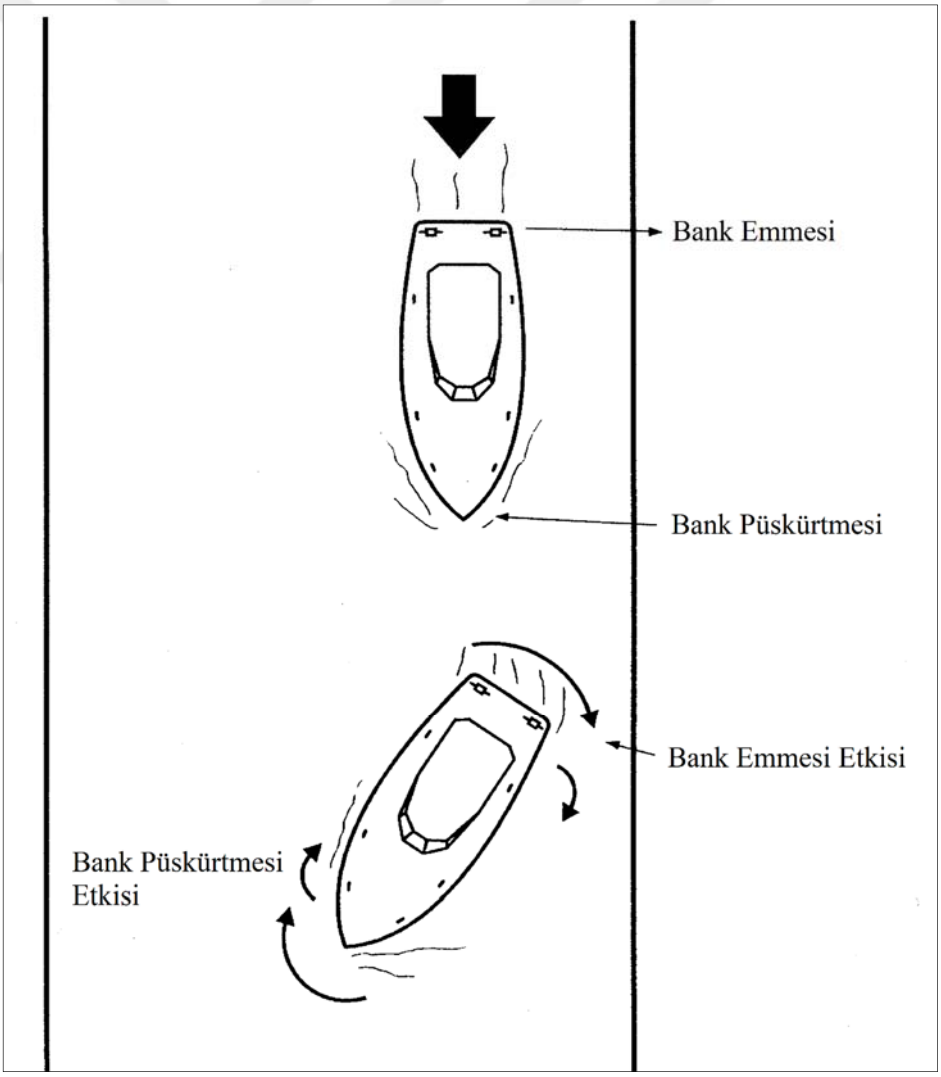
- Titreşimde artış,
- Pervanenin ensel ve boysal olarak tahrik gücünde azalma,
- Gövde üzerindeki dirençlerde artış,
- Daha yavaş hızlanma ve hız kaybetme,
- Dümen etkinliğinde azalma ve dümen dinlememe,
- Gezme ve rotadan sapma,
- Dönme çemberinde artış,
- Başa doğru trimlenme.

#### 2.1.3.3. Dar Su Etkisi

Gemiler dar boğazlar ve kanallar gibi dar suyollarına girdikleri zaman, bu bölgenin derinlik ve genişliği gibi faktörlerin etkisiyle kontrolleri zorlaşabilir. Bu etki ile birlikte dar suyolunun bir tarafına doğru istemsiz olarak savrulabilir (Armstrong, 1994: 35). Bu savrulmanın sebebi şekil 45'te gösterildiği üzere bank emmesi (bank suction) ve bank püskürtmesi (bank cushion) olarak ifade edilen iki sebepten dolayı

meydana gelmektedir. Dar suda ilerleyen bir geminin baş tarafı ile bank arasında yüksek su basıncı oluşarak baş tarafın bu etki ile diğer tarafa doğru itilmesi bank püskürtmesi olarak tanımlanır. Vasat ve kıç tarafa doğru alçak basınç oluşması sonucu pervanenin de etkisiyle gemi kıçının banka doğru yaklaşması durumu ise bank emmesi olarak ifade edilir (Zorba, 2007: 16; Hooyer, 1983: 88; Köseoğlu, 2014: 91). Dar suyolunda seyir yapan bir gemi için bu iki etki de son derece önemlidir. Özellikle bank püskürtmesi sonucu, her ne kadar dümen hareketleri ile kontrol altına alınabilse de gemi başının kanal ortasına doğru hareket etmesi, çift yönlü bir suyolunda karşı taraftan gelen veya geçilmekte olan bir gemiye çatışma riski doğurabilir (House, 2007: 61).

**Şekil 45:** Bank Emmesi ve Bank Püskürtmesi Etkisi




Kaynak: U.S. Coast Guard, 2003: 63.

### 2.1.3.4. Gemilerin Karşılıklı Etkileşimi

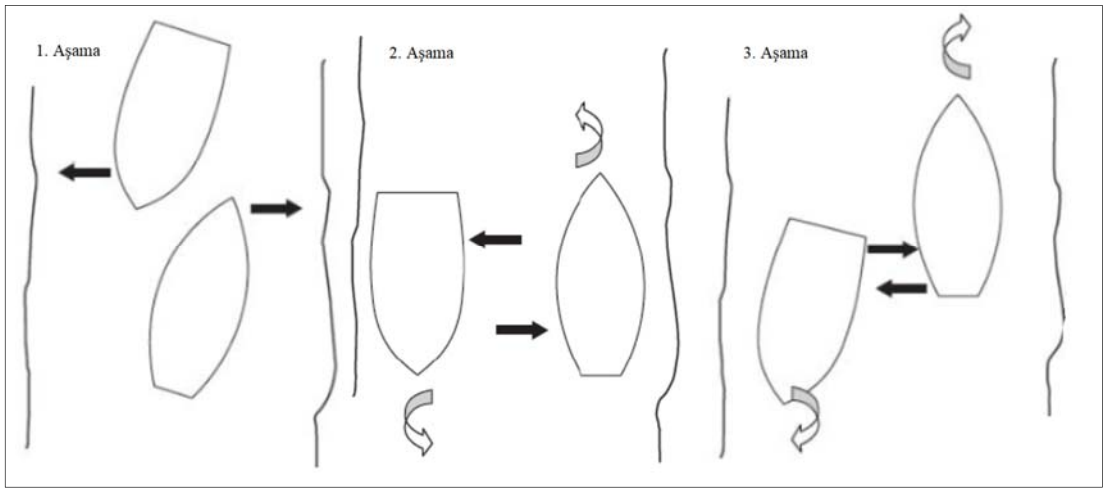
Gemiler arası karşılıklı etkileşim, iki yönlü trafik bölgelerinde ve geçme durumlarında birbirine yakın geçen gemiler arasında oluşan ve çok dikkat gerektiren bir etkidir (PIANC, 1992: 16; Fni, 2000: 60). Bu etki her su derinliğinde oluşabilir fakat sığ su ve dar suyollarında çökme ve bank etkisi ile birlikte daha kuvvetli olarak ortaya çıkabilir. Birbirine yakın geçen gemiler etrafında oluşan basınç sistemi gemilerin dümen kontrollerini etkileyerek çatışma riski doğurabilir (Clark, 2005: 201).

Gemilerin karşılıklı etkileşimlerinde şu noktaların dikkate alınması gerekmektedir (Fni, 2000: 68);

- Hızı düşük tutmak etkileşim etkisini azaltmaktadır.
- Eğer gemi derin sudan sığ suya giriş yapıyorsa daha fazla dikkat gerektirir.
- Gemiler arasında küçük olan gemi daha büyük etkileşim etkisine maruz kalır.

Şekil 46'da dar suyolunda karşılaşan iki gemi arasında oluşan etkileşim gösterilmektedir. İlk aşamada baş taraflar yüksek basınç etkisi ile birbirlerini iterler. İkinci aşamada borda hizasına geldikleri durumda ise oluşan alçak basıncın etkisiyle birbirlerine doğru çekim kuvveti oluşur. Son aşamada ise tekrar oluşan yüksek basınç ile kıç taraflar birbirlerini çekme eğiliminde olurlar (Anıker, 2008: 107).

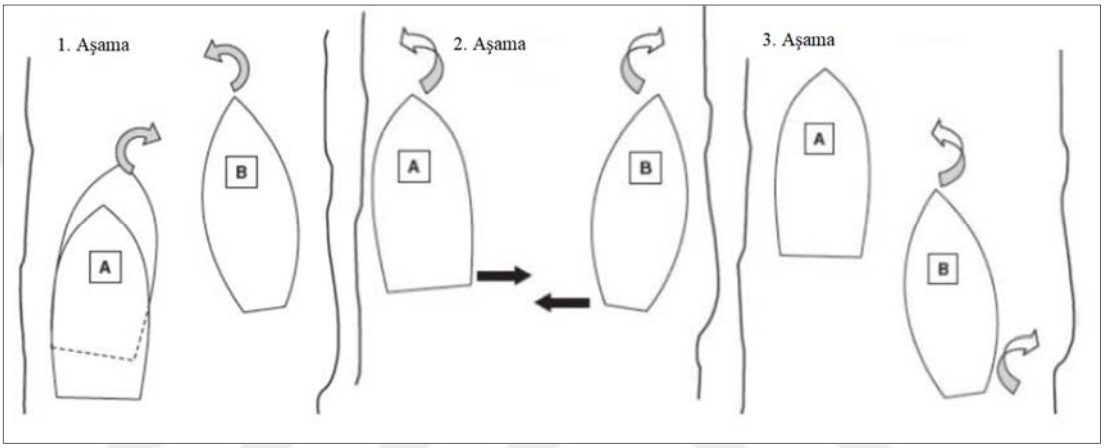
**Şekil 46:** Dar Suyolunda Gemilerin Karşılıklı Geçişlerinde Etkileşimleri




Kaynak: House, 2007: 60.

Şekil 47'de dar suyolunda iki gemi arasında yetişip geçme durumunda oluşan etkileşim gösterilmektedir. İlk aşamada, geçen gemi geçilen geminin kıç tarafına doğru basınç uygulayacak ve geçilen geminin baş tarafı geçen gemiye doğru hareket edecektir. İkinci aşamada, yan yana gelen gemilerin kıç tarafları birbirlerine doğru çekim kuvveti oluşturacak ve son aşamada ise geçilen teknenin baş tarafı geçen gemiye doğru dönme eğiliminde olacaktır (Anıker, 2008: 109).

**Şekil 47:** Dar Suyolunda Gemilerin Yetişip Geçme Durumunda Etkileşimleri

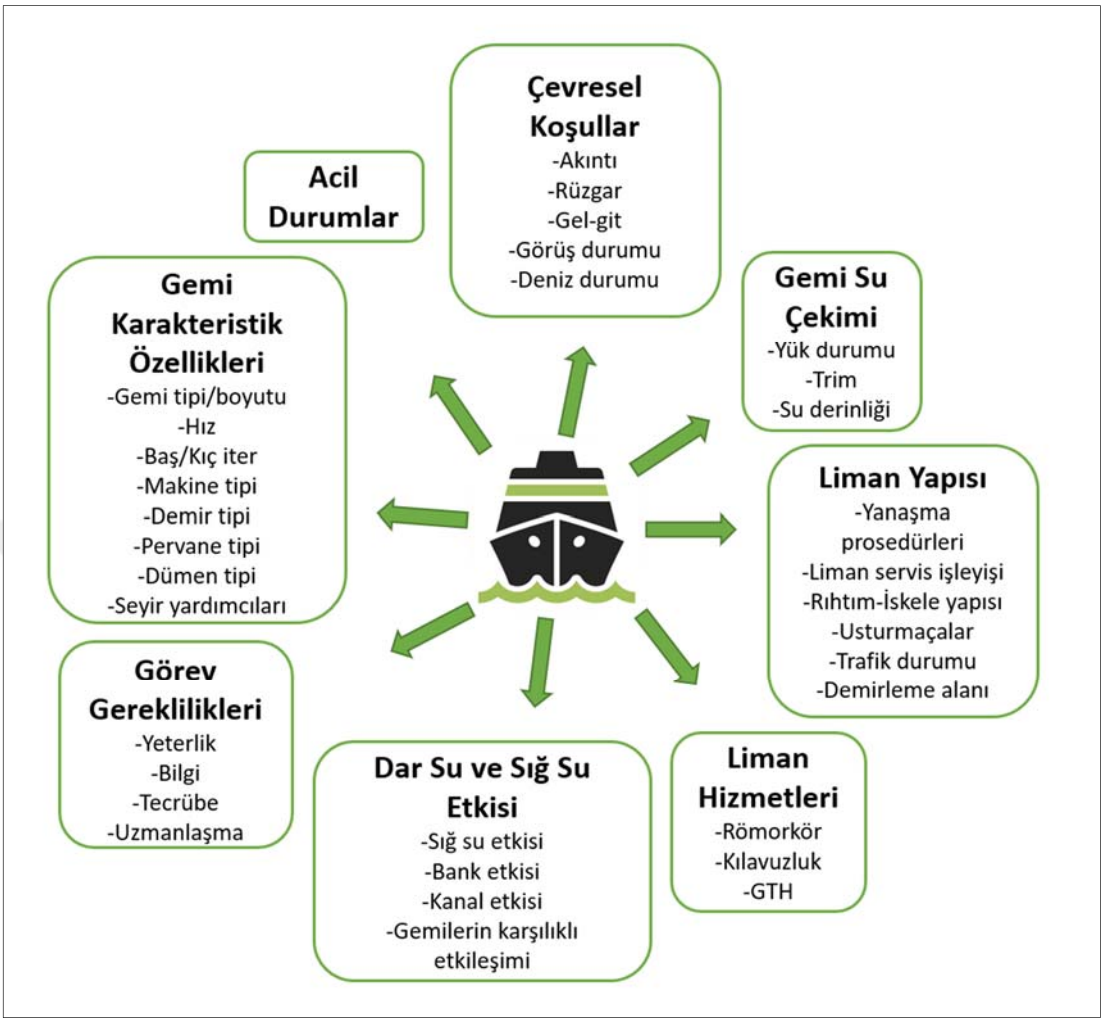



Kaynak: House, 2007: 61.

Gemi kontrolünde buraya kadar bahsedilen çevresel etkenler, gemilerin karakteristik özellikleri ve teknik donanımlarına ek olarak, gemiyi sevk ve idare eden kişinin deneyim ve tecrübeleri, kılavuzluk ve gemi trafik hizmetleri, yasal düzenlemeler gibi seyir emniyeti açısından önem taşıyan diğer faktörler de vardır.

Şekil 48'de gemi manevrasına etki eden tüm faktörler şema halinde paylaşılmıştır.

**Şekil 48:** Gemi Manevrasına Etki Eden Tüm Faktörler



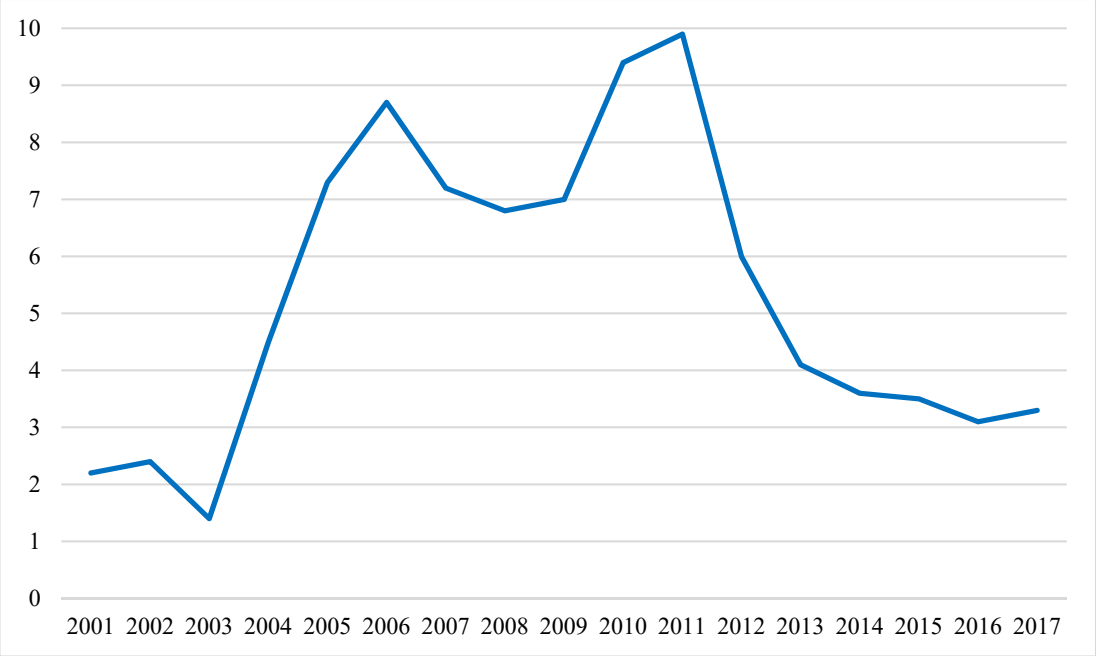

Kaynak: Köseoğlu, 2014: 97.

## 2.2. DENİZ KAZALARI

Günümüzde dünya taşımacılığının büyük çoğunluğu deniz yolu ile yapılmakta ve deniz yolu taşımacılığı uluslararası ticaretin ve küreselleşmenin en önemli alt sistemlerinden birini oluşturmaktadır. (Kızkapan, 2010: 43; Song ve Yeo, 2004: 1). UNCTAD (2018) raporuna göre, dünya deniz ticareti hacmi 2016 yılında %2,6, 2017 yılında ise %4 artarak toplam hacmi 10,7 milyar tona ulaşmıştır. Özellikle 2017 yılı gelişim oranı son 40 yıllık büyüme ortalaması olan %3'ün üzerinde gerçekleşerek 2008 küresel kriz etkilerinin giderek azaldığının bir göstergesi olarak kabul edilebilir. 5 yıllık (2018-2023) süreçte ise yıllık %3,8 büyüme gerçekleşeceği tahmin

edilmektedir. 2016 yılında %3,15, 2017 yılında %3,3 büyüme gösteren dünya filo kapasitesi ise şekil 49'da gösterildiği üzere özellikle son altı yıllık süreçte giderek yavaşlayan bir büyüme grafiği çizmiştir. Bunun sebebi olarak halen devam eden toplam arz büyüklüğünün toplam talepten yüksek olması gösterilmektedir.

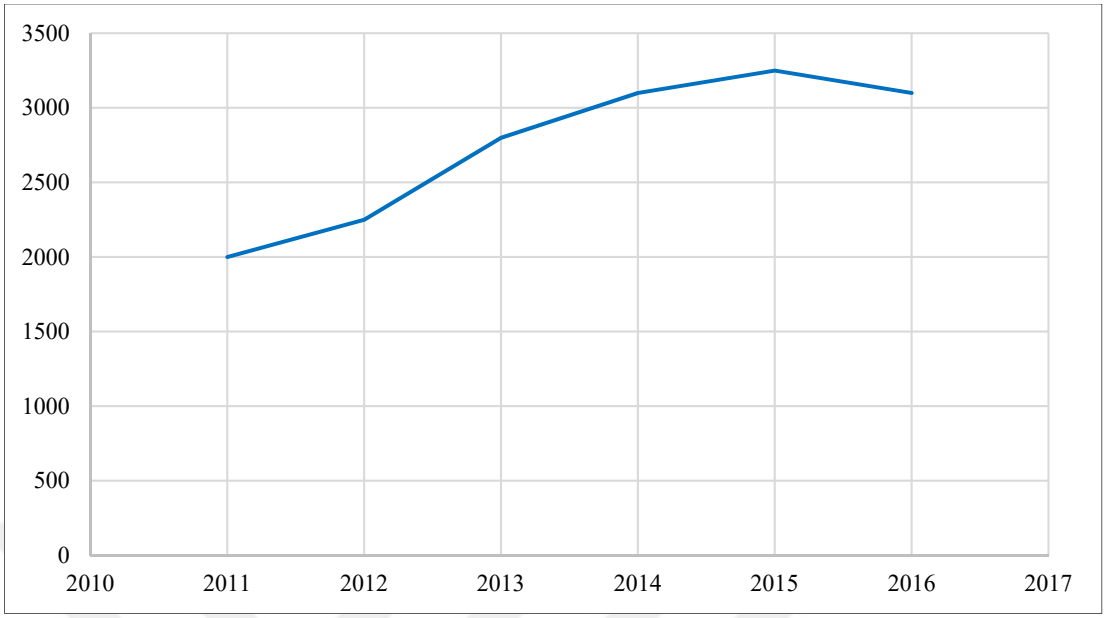
**Şekil 49:** Dünya Filo Kapasitesi Yıllık Büyüme Oranları




Kaynak: UNCTAD, 2018: 23.

Büyüyen dünya deniz ticaret hacmine paralel olarak, denizyolu taşımacılığı trafiği de giderek yoğunlaşmaktadır. Deniz trafiğinin artması deniz kazalarının meydana gelme riskini beraberinde getirmektedir (Köseoğlu, 2014: 98; Uğurlu, 2011: 7). Gelişen teknoloji ile birlikte seyir emniyetinin artması ve kazaların önlenmesi konusunda girişimler olsa da şekil 50'de gösterildiği üzere deniz kazaları her ne kadar son yıllarda sabit bir eğilim gösterse de yıllar içinde artış gösteren bir eğri çizmektedir (EMSA, 2017: 15).

**Şekil 50:** Yıllara Göre Rapor Edilen Deniz Kazası




Kaynak: EMSA, 2017: 15.

### 2.2.1. Deniz Kazası Kavramı

Deniz kazası kavramı ile ilgili literatürde temel olarak birbirine yakın tanımlamalar yapılmıştır. Örneğin; Akten (2006), "*denizde can ve/veya mal kaybı ile sonuçlanan her türlü kaza olayı"* olarak tanımlamıştır. Avrupa Deniz Emniyeti Ajansı (EMSA - European Maritime Safety Agency) (2015) ise, *"gemi operasyonları esnasında meydana gelen ölüm, yaralanma, gemiyi terk, gemi veya diğer deniz altyapıları hasarı, karaya oturma, çatışma, çevreye zarar gibi sonuçları olan her türlü olay"* olarak ifade etmektedir. T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı'nın 2014 yılında resmi gazetede yayınlanan Deniz Kazalarını ve Olaylarını Araştırma ve İnceleme Yönetmeliği'nde deniz kazası, "*Bir geminin operasyon ve faaliyetleriyle bağlantılı olarak gerçekleşen ve bir kişinin ölümü veya yaralanması, bir kişinin gemi üzerindeyken kaybolması, geminin batması, kaybolması, kayıp sayılması veya terk edilmesi, geminin maddi hasara uğraması, geminin manevradan aciz duruma düşmesi, geminin karaya oturması, geminin kıyı veya açık deniz yapısına veya başka bir gemiye çatması veya başka bir gemiyle çatışması, gemi veya gemilerin uğradıkları hasardan kaynaklanan ciddi çevre kirliliği oluşması veya ciddi çevre kirliliği ihtimalinin ortaya çıkması ile sonuçlanan bir olay veya olaylar silsilesi"*

olarak tanımlanmaktadır. Birleşmiş Milletler Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO – International Maritime Organization) (2008) ise, "*gemi faaliyetleri ile ilgili olarak; ölüm veya ciddi sakatlanma, bir kişinin kaybolası, geminin batması, geminin hasara uğraması, karaya oturma, çevreye zarar verme gibi sonuçlara neden olan her türlü olay"* olarak tanımlamaktadır.

Deniz kazaları gerçekleşen olayların şiddetlerine ve ortaya çıkan sonuçlarına göre; *çok ciddi kaza*, *ciddi kaza*, *daha az ciddi kaza* ve *deniz olayı* olarak dört sınıfa ayrılmaktadır (IMO, 2008: 2);

*Çok ciddi kaza*, geminin tamamen kaybına, ölüme veya çevreye ciddi tahribata neden olan olayları ifade etmektedir.

*Ciddi kaza*, çok ciddi kaza sınıfına girmeyen ve gemi tahrik sistemi hasarı, yaşam mahali hasarı, seyir yapmayı engelleyici yapısal hasarlar ve kirlilik ile sonuçlanan yangın, patlama, çatışma, karaya oturma, temas gibi olayları ifade etmektedir.

*Daha az ciddi kaza*, çok ciddi kaza veya ciddi kaza sınıfına girmeyen ve ciddi bir etki ile sonuçlanmayan olayları ifade etmektedir.

*Deniz olayı*, gemi operasyonlarına bağlı olarak gerçekleşen ve düzeltilmemesi halinde insanı ve çevreyi tehlikeye sokabilecek ve kaza niteliği dışında kalan olayları ifade etmektedir.

### 2.2.2. Deniz Kazası Türleri

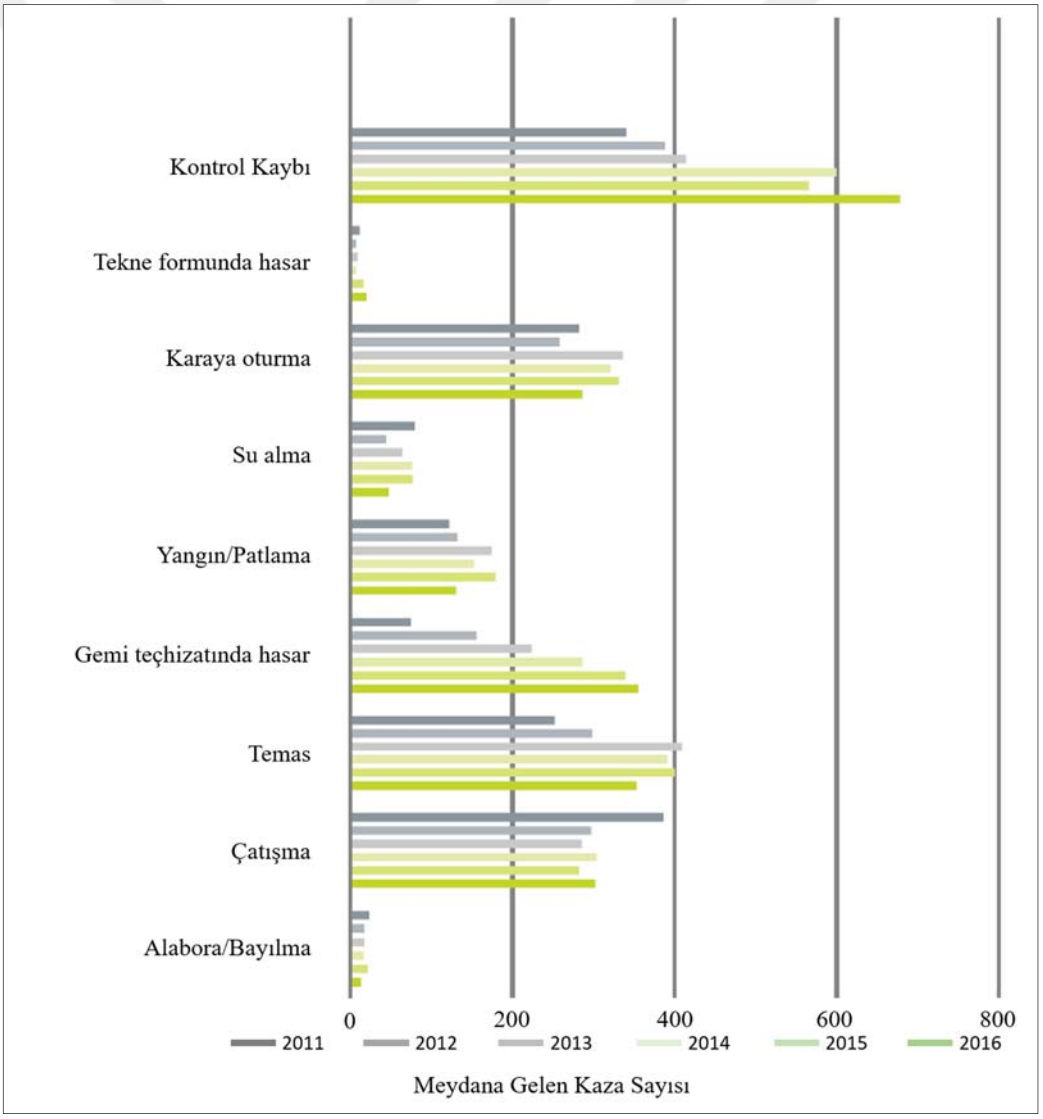
Deniz kazaları, istatistiksel veriler incelendiğinde sıklıkla, boğazlar, kanallar ve demir sahaları gibi trafiğin yoğun olduğu bölgelerde meydana gelmektedir. Kazaların en çok yaşandığı bu bölgelerde alınacak tedbirler kaza sayısını azaltacak ve dolaysıyla can, mal ve çevre korunmasına katkı sağlayacaktır. Bu sebeple, kazaların nedenlerinin ortaya çıkarılması ve sektör paydaşları ile paylaşılması son derece önemlidir (Asyalı ve Kızkapan, 2012: 28). Deniz kazaların incelenebilmesi ve istatistiksel olarak sonuçlarının ortaya konulabilmesi için bazı sınıflara ayrılması gerekmektedir (Köseoğlu, 2014: 100).

Türlerine göre deniz kazaları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır (Kızkapan, 2010: 46; Köseoğlu, 2014: 100; ISU, 2018; MAIB, 2014; Kristiansen, 2013: 137);

- Çatışma (Çatma): Su altı batıkları haricince; seyirde, demirde veya bir yere bağlı olduğuna bakılmaksızın bir geminin başka bir gemiye ve çarpması durumuna denir.
- Dokunma (Temas): Bir geminin gemi sayılmayacak başka bir nesneye çarpması veya böyle bir nesnenin gemiye çarpması durumuna denir.
- Yangın: Bir yanma olayının kontrol dışında oluşması, gelişmesi ve müdahale gerektirmesi durumuna denir.
- Patlama: Maddelerin bir reaksiyon etkisiyle ateşlenmesi sonucu yüksek basınç oluşturarak aniden ve şiddetle yayılması sonucu oluşan enerji durumuna denir.
- Teknenin Tamamıyla Kaybı: Bir geminin hasar alması durumunda kurtarılmasına imkân olmaması veya kurtarma ve onarım masraflarının gemi değerinden yüksek olması durumuna denir.
- Su alma: Deniz suyunun geminin kapalı bölümlerine kontrol dışı girerek denge kaybına yol açması durumuna denir.
- Oturma: Bir geminin üzerinde bulunduğu su derinliğinin draftından az olması durumunda deniz dibine temas etmesi veya çarpması durumuna denir.
- Makine ile ilgili kazalar: Geminin hareket etmede ve denge kontrolünü yapmada zorlanmasına sebebiyet veren gemi tahrik sistemi donanımı ile ilgi arıza oluşması durumuna denir.
- Yük ile ilgili kazalar: Yanlış yükleme yapılması veya yük kayması sonucu gemi dengesinin bozulması ve tekne formunun hasar görmesi durumuna denir.
- İnsan kazaları: Gemide görev yapmakta olan kişilerde yaralanma veya ölüme sebebiyet veren olaylar durumuna denir.
- Alabora/Bayılma: Bir geminin hatalı yükleme, kötü hava şartları vb. nedenler sebebiyle bir tarafa yatması ya da ters dönmesi durumuna denir.

Deniz kazalarının sınıflandırılması, kazaların incelenmesi ve istatistiksel olarak paylaşılması açsından önemlidir. Başta IMO olmak üzere, çeşitli kuruluşların yapmış oldukları değerlendirmeler sonucu oluşturdukları istatistikler rapor halinde toplum ile paylaşılmaktadır (Kızkapan, 2010: 47). Bu kuruluşlardan biri olan EMSA'nın 2017 yılında 2011-2016 arası verilerine göre hazırlamış olduğu raporda, türlerine göre meydana gelen deniz kazaları gösterilmektedir. Bu deniz kazaların arasında, şekil 51'de gösterildiği üzere, çatışma ve temas tipi kazalar tüm kaza tipleri içinde yüksek orana sahiptir. Bu tip kazalar, seyir tekniklerinde sürekli teknolojik gelişim olmasına rağmen büyük bir problem olmaya devam etmektedir.

**Şekil 51:** Deniz Kazaları Dağılımı (2011-2016)




Kaynak: EMSA, 2017: 20.

### 2.2.3. Deniz Kazalarının Sebepleri

Deniz kazaları farklı nedenlerden dolayı meydana gelebilir. Çoğu kazanın nedeni olarak gösterilen insan hatasının yanında, çevresel şartlar, teknik hatalar ve donanım sorunları, seyir emniyetini tehlikeye atan cisimler, seyir yardımcıları eksikliği, yoğun trafik, kötü hava koşulları vb. nedenler de deniz kazalarına sebebiyet verebilmektedir (Aykanat, 2010: 49; Kızkapan, 2010: 85; Tatlısuluoğlu, 2008: 50; Akten, 2006: 272). Deniz kazalarına sebebiyet verebilen bu faktörler aşağıda detaylandırılmıştır.

#### 2.2.3.1. İnsan Faktörü

İnsan hatası, insan faktörü, insan unsuru; insan performansı ve emniyeti konuları üzerine araştırmaların artması ile birlikte sıklıkla kullanılan kavramlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Zhengjiang, 2001: 6). Bu kavramlar genellikle, yanlış karar verme, bir olaya gerek olmayan bir müdahalede bulunma ve gerekli olduğu halde müdahalede bulunmama gibi durumları ifade etmek için kullanılırlar (Rothblum vd., 2002: 7). Aynı anlamı ifade etmek için farklı kavramların kullanılması okuyucuda kafa karışıklığına ve anlam karmaşasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, üç kavram da bir olaya insanların neden olması durumunu ifade etmek amacıyla kullanılsa da gerçekte farklı anlamlar taşımaktadırlar. (Zhengjiang, 2001: 6).

Denizde çalışan insanlar genellikle çok dinamik bir ortamda görev yapmakta ve bu çalışma çevresi hata yapma risklerini yükseltmektedir. Şekil 52'de gösterildiği üzere, IMO bu çalışma çevresine bağlı olarak insan unsurunu; kişisel faktörler, geminin yapısal etkileri, çalışma ve yaşam şartları, gemideki organizasyon, şirket yönetimi, dış etkiler ve çevre gibi faktörlere bağlı bir yapı olarak değerlendirmektedir (IMO, 1999).

**Şekil 52:** İnsan Unsurunun Bağlı Olduğu Faktörler



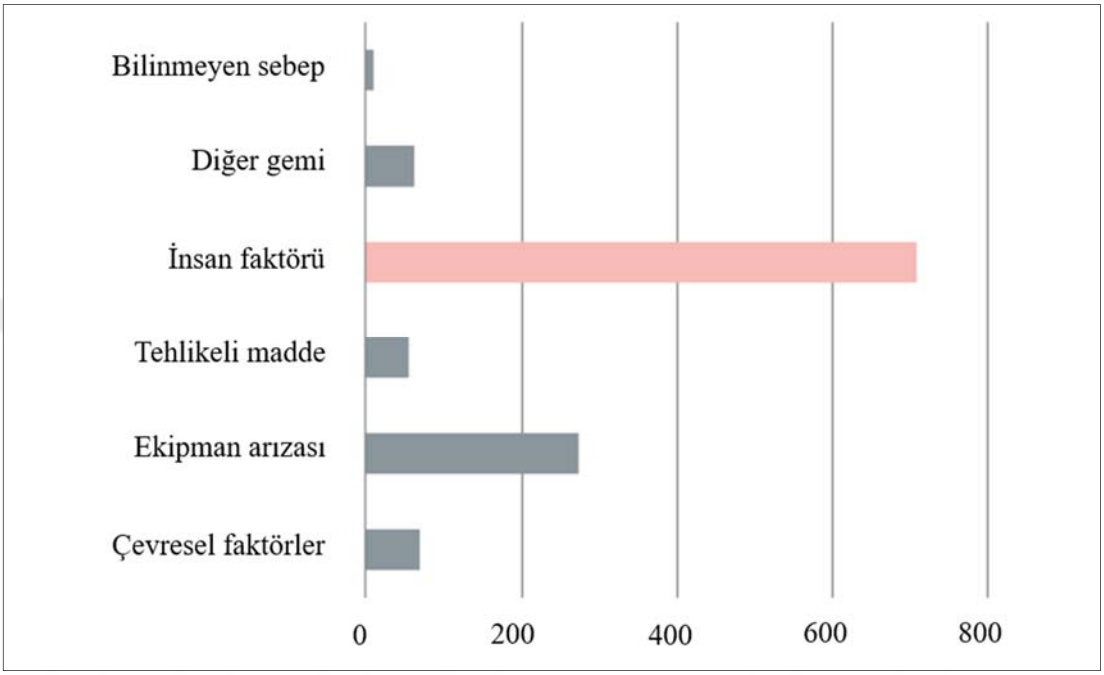

Kaynak: IMO, 1999.

İnsan hatasının ortaya çıkmasında eğitim standartlarının yetersizliği konusu genel birer kabuldür. 20. yy. başlarına kadar eğitim eksikliğine bağlanan insan temelli hataların, eğitim, talim ve tecrübe ile önüne geçilebileceği düşünülmekteydi. Ancak, daha sonra tecrübeli ve eğitimli kişilerin de hatalar yapabildiği görülünce "birçok kazanın nedeni insan hatasıdır" yaklaşımı yerini "insan hatası, sistemin içinde en anlaşılmaz bulgudur" yaklaşımına bıraktı (Asyalı: 2003: 3).

Deniz trafiği her geçen gün daha karmaşık hale gelmektedir. Gelişen teknoloji gemilerde seyir enstrümanlarının artmasına, karmaşık deniz trafiği de seyir zabitlerinin karar verme noktasında zorluklar yaşamasına sebebiyet vermektedir. EMSA (2017) raporuna göre 2011-2016 yılları arası 16539 deniz kazası rapor edilmiş ve bu kazalardan %30'a yakını çok ciddi kaza olarak kayıtlara geçmiştir. Toplamda 18655 adet gemi bu kazalarda yer alırken, 253'ü kaza sonucu tam zayi olarak rapor edilmiştir. Yine bu kazalarda 5607 kişi yaralanmış ve 600 kişi ise hayatını kaybetmiştir. Şekil 53'de gösterildiği üzere, bu kazalardan 1170'i detaylı olarak incelenmiş ve kazalara %60'dan fazla oranda direkt insan hatasının kök neden olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle, teknolojik ilerleme ile otomasyon sistemlerin ortaya

çıkışının seyir zabitlerinin işlerini kolaylaştırdığı ve seyir emniyetini arttırdığı kabul edilmektedir (Özkan ve Atik, 2016: 312). Böylelikle insan hatasına bağlı kazaların azalacağı düşünülmektedir.

**Şekil 53:** Deniz Kazalarının Kök Nedenleri




Kaynak: EMSA, 2017: 30.

### 2.2.3.2. Çevresel Faktörler

Kötü çevre koşulları ve hava şartları, meteorolojik faktörler (Kısıtlı görüş, fırtına, rüzgâr vs.) ve hidrografik faktörler (akıntı, dalga, gel-git vs.) olmak üzere iki temel faktöre ayrılabilir (Tatlısuluoğlu, 2008: 50). Meydana gelen kazaların çoğu insan hatasına bağlansa da kötü çevre koşullarına bağlı kaza sayısı da önemli sayıdadır (Akten, 2006: 274). EMSA (2017)'nın 2011-2016 yılları arası verilerine göre hazırladığı raporda, kazaların meydana gelme sebebi yaklaşık %7 oranında kötü hava şartlarına ve çevresel koşullara bağlanmıştır. Buna benzer olarak, Asyalı ve Kızkapan (2012)'ın Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu (KAİK) tarafından yayınlanan 115 deniz kazası üzerine yapmış oldukları çalışma da kazaların yaklaşık olarak %30 oranında kötü hava şartlarına bağlı olarak meydana geldiği sonucunu ortaya koymuşlardır. Yapılan çalışmalar, çevre ve kötü hava koşullarının deniz kazalarına

neden olan önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sebeple, bu şartlar altında seyir yapan gemilerin daha dikkatli kontrol edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

#### 2.2.3.3. Teknik Hatalar ve Donanım Sorunları

Teknik hatalar ve donanım sorunları deniz kazaları oluşumuna sebebiyet veren diğer faktörlerdendir. Dümen donanımı hatası, ana makine ve yardımcı makine hatası, gemi gövdesi ile ilgili bozukluklar, köprüüstü cihazları sorunları, ırgat donanımı sorunları, acil durum müdahale ekipmanları ile ilgili sorunlar, yükleme/boşaltma donanımı sorunları vb. gibi durumlar bu faktörlerin içine girebilir (Akten, 2006: 272; Psaraftis, 1998: 5). Yıldırım (2012), konteyner gemilerinin karaya oturma nedenleri üzerine yapmış olduğu çalışmada, teknik ve donanımsal arızaların kazalara sebebiyet verme oranını %13 olarak saptamıştır. Bir diğer çalışmada ise Dragger vd. (1981), çatışma ve karaya oturma kazalarının %6,6 oranında teknik hatalar sonucu meydana geldiği sonucuna varmıştır.

#### 2.2.3.4. Diğer Faktörler

İnsan faktörü, çevresel faktörler, teknik ve donanımsal sorunların yanında bu faktörler kadar yüksek etkiye sahip olmasa da deniz kazalarına neden olan başka faktörler de vardır. Bu faktörler; kılavuzluk ve römorkör hizmetleri hataları, gemi trafik hizmetleri hataları, su üstü tehlikeli maddeler olarak sıralanabilir (Tatlısuluoğlu, 2008; Yıldırım, 2012).

# ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
# DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEMEDE YARDIMCI SİSTEMLER, HİZMETLER VE DÜZENLEMELER

## 3.1. DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEMEDE YARDIMCI SİSTEMLER

Bu bölümde, denizde seyir esnasında çatışmayı önlemeye yönelik geminin seyrüseferinden sorumlu kişinin karar desteği almak için başvurduğu Otomatik Tanımlama Sistemi (Automatic Identification System - AIS), Elektronik Harita Gösterim ve Bilgi Sistemi (ECDIS), Otomatik Radar Plotlama Aygıtı (ARPA Radar) ve diğer seyir yardımcıları kısaca açıklanmaktadır.

### 3.1.1. Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS)

Gelişen teknoloji ile birlikte deniz araçları yüksek hız ve hareket kabiliyetine sahip olmaya başlamışlardır. Bu durumun seyir emniyeti için bazı risklerin doğmasına sebebiyet verebileceği öngörülmektedir. Risklerin asgari düzeye indirilmesi, seyir emniyetinin ve seyir güvenliğinin arttırılması amacıyla, özellikle haberleşme ile ilgili gelişmelerden azami düzeyde yararlanılması hedeflenmiştir. Buradan hareketle, gerçek zamanlı veri akışı sağlanarak gemilerin diğer gemiler ve kıyı tesisleri tarafından takip edilmesi ve olası bir tehlike durumunda kazaların ve güvenlik ihlallerinin meydana gelmeden önlenebilmesi için, bu amaca hizmet edecek bir sistem ile gemilerin donatılması gerekli hale gelmiştir. Bunun sonucunda gemilerin diğer gemiler ve kıyı tesisleri tarafından gerçek zamanlı takip edilebilmesi ve veri akışının sağlanabilmesi için, uygulama yönergesi IMO, teknik özellikleri Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunication Union - ITU) tarafından belirlenen AIS geliştirilmiştir (UDHB, 2013).

Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesi, 1974 (Safety of Life at Sea – SOLAS,74) Bölüm 5, Kural 19 (seyir sistemleri ve donanımları taşıma koşulları), tipine göre gemilerde taşınacak seyir sistemlerini düzenlemektedir. 2000 yılında IMO, gemilerden diğer gemilere ve kıyı istasyonlarına otomatik veri akışı sağlayan bir sistemin taşınması ile ilgili bölüm 5'in bir parçası olarak yeni bir madde eklemiştir.

Bu madde, 31 Aralık 2004 itibariyle yürürlüğe girmiş ve uluslararası sularda seyir yapan 300 GT'dan büyük tüm gemilere, uluslararası sularda seyir yapmayan 500 GT'dan büyük yük gemilerine ve boyutuna bakılmaksızın yolcu gemilerine AIS ile donatılma zorunluluğu getirmiştir. Bazı özel gemiler (savaş gemileri, otoriteler tarafından işletilen gemiler, askeri yardımcı gemileri vb.) AIS bulundurma zorunluluğunun dışında bırakılmıştır. Uluslararası anlaşmalar, kurallar veya standartlara bağlı olarak seyir bilgilerinin korunmasını gerektiren durumlar dışında AIS ile donatılmış her geminin sistemi sürekli açık bulundurma zorunluluğu bulunmaktadır (IMO, 2018a; IMO, 2002b: 9).

AIS'in sağlamış olduğu veriler statik, dinamik ve sefer ile ilgili veriler olmak üzere üç ana başlık altında toplanmaktadır (IMO, 2002b: 11):

*Statik veriler:* AIS'in ilk kurulumunda sisteme girilen ve sadece gemi adı ve sahibi gibi durumların değişmesi durumunda güncellenen bilgilerdir.

*Dinamik veriler:* Seyir durumu bilgisi dışında, AIS'e bağlı olan gemi sensörlerinden sağlanan bilgilerdir.

*Sefer ile ilgili veriler:* Manuel olarak girilen ve sefer boyunca güncellenen bilgilerdir.

Yukarıda belirtilen verilerin ayrıntıları tablo 5'te verilmektedir.

**Tablo 5:** AIS Tarafından Sağlanan Veriler

| Statik Veriler | Dinamik Veriler | Sefer İle İlgili Veriler |
|---|---|---|
| MMSI (Maritime Mobile Service Identity) | Gemi pozisyonu | Draft |
| Çağrı işareti ve adı | UTC'de pozisyon zamanı | Yük tipi |
| IMO numarası | Yere göre hız | Varış limanı |
| Boy ve en | Suya göre hız | Tahmini varış zamanı (ETA) |
| Gemi tipi | Rota | |
| | Seyir durumu | |

Kaynak: (IMO, 2002b: 4).

AIS tarafından sağlanan veriler tipine göre farklı aralıklarla iletilmektedirler. Dinamik verilerin aktarımı gemi seyirde iken geminin hızına ve dönüş yapıyor olma durumuna bağlı olarak 2 sn ile 12 sn arasında değişen aralıklarla, gemi demirde iken

3 dk'da bir gerçekleşmektedir. Statik ve sefer ile ilgili veriler ise 6 dk'da bir iletilmektedir.

AIS başlıca iki özel VHF kanalı üzerinden çalışmaktadır (161,975 MHz ve 162,025 MHz). İlgili kanalların bölgesel olarak mevcut olmadığı durumlarda, AIS otomatik olarak alternatif kanallara geçiş yapmaktadır. Bunun yanında, anten yüksekliğine ve yer şekillerine bağlı olarak MF menzilinde olan hedefleri de tespit edebilme yeteneğine sahiptir. AIS'in yayın modu, sisteme aşırı yüklenmeye ve 8 Nm-10 Nm içinde olan tüm gemiler için tam olarak veri akışı sağlayabilmesine olanak veren Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access - TDMA) isimli bir ilkeye dayanmaktadır. Yoğun trafik nedeniyle aşırı yüklenmenin olduğu durumlarda, sistem yakın hedeflere öncelik vererek uzak hedefleri dışarıda tutmaktadır (IMO, 2002b: 13; Gürses, 2013: 29).

Günümüzde AIS, trafik izleme ve gemilere asistanlık konusunda en önemli teknolojilerin içinde yer almaktadır. Gemi sahipleri, denizcilik otoriteleri ve operatörler diğer tamamlayıcı sistemlere ek olarak (radar, ECDIS, LRIT vb.) çatışmadan kaçınma, pozisyon takibi vb. durumlar için, AIS'ten yoğunlukla destek almaktadırlar (Balduzzi vd., 2014: 2).

AIS, Sınıf-A ve Sınıf-B olmak üzere iki tipe ayrılmaktadır (Bknz. şekil 54). Sınıf-A, IMO tarafından belirlenen standartlar ve gereksinimlere göre gemilerde bulundurulması zorunlu olan sınıftır. Sınıf-A'nın denizcilik endüstrisinde yoğun olarak kullanıldığı ve fayda sağladığı görülerek, 2006 yılında Sınıf-B olarak adlandırılan ikinci sınıf bir AIS aygıtı tanıtılmıştır. Sınıf-A ile karşılaştırıldığında, Sınıf-B genel anlamda daha küçük, basit ve düşük maliyetli olması sebebiyle 300 GT'den küçük gemiler, gezinti tekneleri ve balıkçı gemileri tarafından tercih edilmeye başlanmıştır. Uygulanmasını ve yaygınlaşmasını kolaylaştırmak için özellikle 2010 yılından itibaren AIS ile ilgili düzenlemeler geliştirilmeye başlanmıştır. Örneğin 2014 verilerine göre en az 300000 geminin Sınıf-A ve Sınıf-B AIS ile donatılmış olduğu ve yakın gelecekte bu sayının milyona ulaşacağı öngörülmektedir (Digital Yacht, 2008: 2; Balduzzi vd., 2014: 2).

**Şekil 54:** Sınıf-B ve Sınıf-A tipi AIS




Sınıf-B Sınıf-A

Kaynak: Gürses, 2013: 29.

AIS donatıldığı gemilere birçok destek sağlamaktadır. AIS'in sağlamış olduğu en önemli destekler aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Berking, 2003: 61; Digital Yacht, 2008: 2):

- Gece ve kötü hava koşullarında emniyetli seyre katkı sağlar.
- Diğer köprüüstü cihazları ile kombine edilebilir.
- Yoğun trafikte emniyetli seyre katkı sağlar.
- Acil durumda civardaki gemilere ve kıyı istasyonlarına pozisyon bilgisi gönderme olanağı sağlar.
- Civardaki gemilerin isimleri ve çağrı işaretleri gibi bilgilerinin ulaşılabilir olmasına ve böylelikle kolaylıkla çağırılmalarına olanak sağlar.
- Gemilerin takip edilmesi ve izlenmesine olanak sağlar.
- Vardiyadaki zabitin durumsal farkındalığına katkı sağlar.

AIS aygıtının seyir halinde ve demirde iken sürekli açık bulundurulması gerekmektedir. Eğer gemi kaptanı AIS'in açık olmasından dolayı gemisinin emniyetini ve güvenliğini tehlikeye sokacak bir durumun söz konusu olabileceğini öngörürse, bu süre içinde AIS'i kapatabilir. Korsanların ve silahlı teröristlerin faaliyet gösterdiği deniz alanlarında bu durum söz konusu olabilir. AIS'in kapatılması söz konusu ise, nedeni ile birlikte gemi jurnaline kaydedilmesi gerekmektedir. Söz konusu tehlike ortadan kalktığında AIS tekrar devreye alınmalıdır (IMO, 2002b: 13).

AIS kısa emniyet ile ilgili mesajların iletilmesinde de kullanılmaktadır. Bu mesajlar tüm gemilere veya belirli bir gemiye yönelik standart veya serbest yazım formatında olabilmektedir. Mesaj transferi seyir emniyetini tehlikeye sokabilecek durumların bildirilmesi amacıyla gerçekleştirilmektedir. Sistem karakter sınırına sahip olduğu için çok uzun mesajlara olanak vermemektedir. Bu mesajlar deniz emniyeti

bilgilerinin yayınlanması için ek bir araçtır. AIS tarafından yayınlanan emniyet mesajları, Küresel Deniz Tehlike ve Emniyet Sistemi (GMDSS)'in gereklerini ortadan kaldırmaz. SOLAS kural V/31'e göre, her gemi kaptanının seyir emniyetini tehlikeye sokabilecek durumları, civarda bulunan gemilere ve yetkili makamlara bildirme sorumluluğu vardır. Bildirim genellikle VHF ile yapılmaktadır, fakat AIS kullanılarak da kısa mesaj halinde gerçekleştirilebilmektedir (IMO, 2002b: 12).

Denizde çatışmadan kaçınma amacıyla karar vermede AIS destek alınan bir cihazdır. Fakat AIS'in yardımcı bir seyir bilgi kaynağı olduğu ve Radar ve GTH gibi sistemlerin yerini alamayacağı bilinmelidir. Bunun yanında, AIS kullanımı gemiyi kumanda eden zabitin deniz trafik kurallarına her zaman uyması gerekliliğini ortadan kaldırmamaktadır. Kullanıcı AIS'i tek bilgi kaynağı olarak görmemeli, mevcut tüm emniyet ile ilgili bilgi kaynaklarını kullanmalıdır. Çatışma riski durumunda bir gemi tespit edildiğinde, AIS o gemiyi bir hedef olarak izlemeye almaktadır. İzlemeye alınan hedefin rota ve pruva açısı değişikliği gibi manevra eylemleri de anlık olarak izlenebilmektedir. Örneğin radar tarafından takip edilmekte olan bir hedefin hızlı bir manevra yapması sonucu radar kayıp hedef uyarısı verebilmektedir. Böyle bir durum AIS'i etkilememektedir (IMO, 2002b: 15).

### 3.1.2. Elektronik Harita Gösterim ve Bilgi Sistemi (ECDIS)

Gemilerde kâğıt haritaların yerine elektronik haritaların kullanılabileceği fikri 1980'li yılların başında ortaya atılmıştır. İlk elektronik harita uygulamaları, savaş gemilerinde harekât bölgesinin haritalanması ve ekranda gösterilmesiyle başlamıştır. Bu ilk kullanılan haritaların hassasiyeti düşük olduğu için seyir amaçlı kullanılması pek mümkün olmamıştır. Bu durum Uluslararası Hidrografi Örgütü (International Hydrographic Organization – IHO)'nü ve IMO'yu harekete geçirmiştir. Böylelikle, elektronik haritaların seyir amaçlı kullanımı için standartların geliştirilmesine yönelik girişimler başlamıştır. Bu girişimler neticesinde oluşturulan standartlara (IHO S-57 Baskı 3.1-Kasım 2000) uygun olarak ülkelerin hidrografi kurumları tarafından mevcut kâğıt haritalar temel alınarak elektronik haritalar üretilmeye başlanmıştır. Direk bu kâğıt haritaların elektronik sisteme geçirilmesi doğru ve hassas çalışmalarına olanak vermemiştir. Daha sonra bu yöntemden vazgeçilerek doğrudan sayısal ortamda

bulunan veriler kullanılarak seyir amaçlı kullanıma daha uygun Seyir Haritaları (Navigational Chart – NC) üretilmeye başlanmıştır (Gürses, 2013: 5).

Gemilerde seyir haritalarını gösterme ve kontrol etmede Elektronik Harita Gösterim ve Bilgi Sistemi (Electronic Chart Display and Information System – ECDIS) kullanılmaktadır. ECDIS, haritadan gelen bilgileri göstermekte ve bunun yanında Global Positioning System (GPS) / Global Navigation Satellite System (GNSS), ARPA radar ve AIS gibi diğer sistemler ile bütünleşik çalışmaktadır (Stateczny and Kazimierski, 2009: 387). ECDIS harita göstermenin yanında birçok bileşeni olan gerçek zamanlı bir karar destek sistemidir. Seyir emniyetine katkı vermek üzere diğer köprüüstü donanımları ile bağlantı kurarak elde ettiği bilgiyi tek ekran üzerinde gösterebilmektedir. Haritaların güncel tutulması ve bir yedeğinin bulundurulması şartıyla, ECDIS ile birlikte kâğıt harita bulundurma zorunluluğu ortadan kalkmıştır (Çevik, 2008: 92).

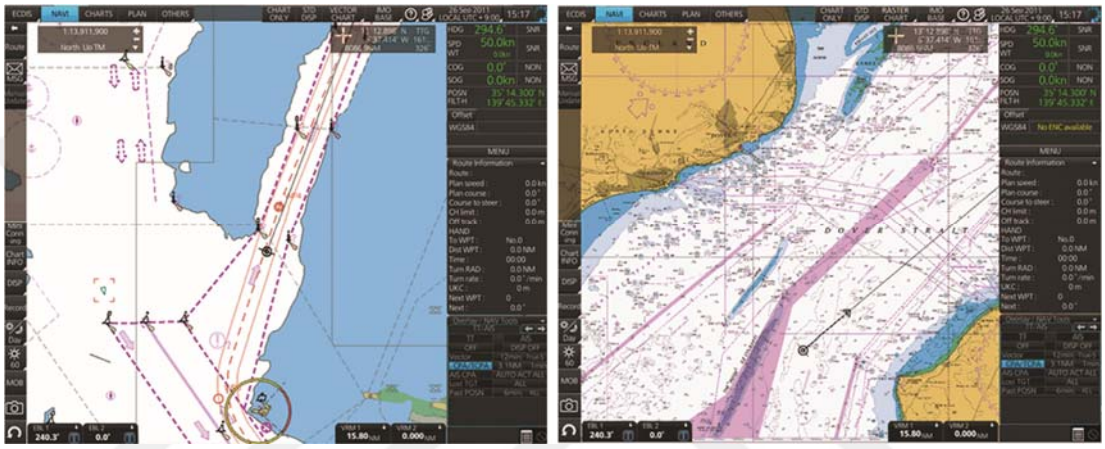
SOLAS V/19, gemilerin taşıması gereken seyir sistemleri ve donanım gerekliliklerini düzenlemektedir (IMO, 2009a). Bu düzenlemenin 2.1.4 numaralı alt başlığına göre, boyutları ne olursa olsun her gemi, rotasını planlamak ve göstermek için deniz haritalarına ve denizcilik yayınlarına sahip olacak ve sefer boyunca mevkilerini işaretleyip izlemesi gerekmektedir. 5 Haziran 2009 tarihinde yayınlanan Res. MSC.282(86)'ya göre, ECDIS sisteminin de bu alt başlıkta geçen harita taşıma gerekliliği karşıladığı kabul edilmiştir (IMO, 2009b). Aynı düzenlemenin 2.10 numaralı alt başlığı, gemi tipi, boyutu ve inşa/sörvey tarihlerine göre ECDIS ile donatılması gerekliliklerini düzenleyerek sistemin zorunlu hale getirildiğini ilan etmiştir. ECDIS'in sahip olması gereken standartlar Res. A.817(19) ve Res. MSC.232(82) ile belirlenmiştir.

Şekil 55'te örneklendirildiği üzere, ECDIS üzerinde görüntülenebilen ve kontrol edilebilen Raster Seyir Haritaları (Raster Navigational Charts – RNC) ve Elektronik Seyir Haritaları (Electronic Navigational Charts – ENC) olmak üzere iki tip seyir harita sistemi vardır (Hays, 2015; Bhattacharjee, 2017).

RNC'ler, kâğıt haritaların orijinal taranmış hallerinin elektronik ortama aktarılmış halidir ve bu sebeple kâğıt haritada mevcut olandan daha fazla bilgi sağlamamaktadır. Coğrafik bilgilerin elektronik haritaya aktarılması ile harita verilerinin kullanıcılar tarafından tanımlanmasına ve analiz edilmesine olanak

vermektedir. Raster haritalar geleneksel kâğıt haritalar ile benzer stil ve sunuma sahiptir ve kâğıt haritalarda olduğu gibi haftalık denizcilere ilanlar güncellemelerinin takip edilmesi gerekmektedir (Hays, 2015). IMO Res. MSC.86(70) kararı ile ENC'nin mevcut olmadığı bölgelerde ECDIS'in raster harita görüntüleme modunda çalışmasına izin vermektedir. Raster modunda çalışılması durumunda güncel kâğıt haritaların bulunduğu bir folyonun da bulundurulması gerekmektedir.

**Şekil 55:** ENC ve RNC Tip Seyir Haritaları



ENC RNC

Kaynak: Furuno, 2014.

ENC'ler yapı ve kapsam olarak standart hale getirilmiş, seyir bilgi sistemlerinde kullanılmak üzere, ülkelerin resmi hidrografi kurumları tarafından IHO S-57 Sayısal Hidrografik Veri Değişim Standardı'na göre hazırlanmış sayısal haritalardır. Belirli standartlara göre ve resmi kurumlarca hazırlanması, ENC'leri diğer sayısal (vektörel) haritalardan ayırmakta ve kâğıt haritaların yerine kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Sayısal ortamda bulunan her harita ENC sınıfına girmemektedir. Herhangi bir haritanın ENC olarak ifade edilebilmesi için ülkelerin resmi hidrografi daireleri tarafından ECDIS'te kullanılmak üzere IMO ve IHO standartlarına göre hazırlanmış olması gerekmektedir. Resmi kurumlar tarafından hazırlanmayan veya gerekli standartları karşılamayan sayısal haritalar "Elektronik Harita (EC)", görüntüleyen sistemler de "Elektronik Harita Sistemi (ECS)" olarak ifade edilmektedir. ECS'ler, ECDIS'e benzer fonksiyonlara sahip olabilmektedir, fakat hiçbir şartta kâğıt harita kullanımı gerekliliğini ortadan kaldırmamaktadır.

ENC'ler, harita bilgilerinin nitelikleri tanımlanmış çizgi, alan ve nokta şeklinde depolandığı bir veritabanıdır. Esnek ve akıllı olma özelliği ile veri sorgulama olanağı sağlamaktadır. Kullanıcı haritada yer alan bir nesneye ait bilgilere rahatlıkla ulaşabilmektedir (Çevik, 2008: 60).

RNC kullanımı vektör haritalar ile karşılaştırıldığında bazı dezavantajlara sahiptir. ENC modunda çalışan bir ECDIS'in aksine, RNC modu kısıtlı alarm ve uyarı işlevselliğine olanak vermektedir. Görüntüler dijital olarak taranmış olduğu için sınırlı bir çözünürlük kalitesine sahiptir. Vektör haritalarda belirli bir bölge yakınlaştırıldığında göstermiş olduğu bilgi yoğunluğu artmaktadır. Raster haritaların bu bağlamda işlevsellikleri sınırlıdır. RNC'lerin kullanılabilirliği ENC'ye göre daha düşüktür. ENC'de bazı özellikler kapatılıp açılabilmekte, böylelikle karışık ekran görüntüsü yönetilebilmektedir. RNC'nin bu açıdan olanakları kısıtlıdır. ENC'lerde harita üzerinde yer alan metin ve görseller nettir. RNC'ler de ise metinlerin okunması zor olabilmektedir. Genel olarak bazı dezavantajlara sahip olsalar da raster haritalar, vektör haritalar ile birlikte kullanılmalarıyla seyir emniyeti için önemli bir tamamlayıcı harita veri kaynağıdır (Hays, 2015).

### 3.1.3. Otomatik Radar Plotlama Aygıtı (ARPA Radar)

RADAR, "Radio Detection and Ranging" kelimelerinin baş harflerinden türetilmiş bir kelimedir. Radarın tarihçesi 1886 yılında Heinrich Hertz'in radyo dalgalarının metalik objelerden yansıtılabileceğini kanıtlaması ile başlamıştır. Daha sonra 1903'te Alman mühendis Christian Hülsmeyer, yakın menzilde bulunan gemileri tespit edebilen bir radyo dalga cihazı üretmiştir. 1922'de Marconi, Hertz'in çalışması üzerine yoğunlaşarak bugün bilinen radar prensibini ortaya koymuştur. 1930'lar itibariyle İngiltere, Almanya, Fransa ve Amerika'da radar tekniği üzerine gelişmeler olmuş ve 1935'ten sonra hava araçlarını tespit etmek ve yüksekliğini ölçmek için kullanılmaya başlanmıştır. Radar, 1937 yılında ise bir savaş gemisi ile ilk olarak denizlerde yer almaya başlamıştır. 1944 itibariyle ticari gemilerde kullanılmaya başlanmış ve savaşın sona ermesiyle birlikte radarın gelişimi hızlanarak devam etmiştir (Bole ve Dineley, 1990: 1). 1960'larda yaygın hale geldiğinde, radara aşırı güvenden kaynaklı çatışmalar meydana gelmeye başlamış ve bu sebeple IMO

tarafından ilk olarak bir seyir donanımı özelinde eğitim ve sertifikasyon gündeme getirilmiştir. Daha sonra radarların giderek gelişmesi ile yüksek karmaşıklığa sahip olması, radar eğitimine ek olarak ISM'de belirtildiği şekilde gemi özelinde radar tanıtım eğitiminin sağlanması gerekliliğini de ortaya çıkarmıştır (Patraiko, 2014: 2).

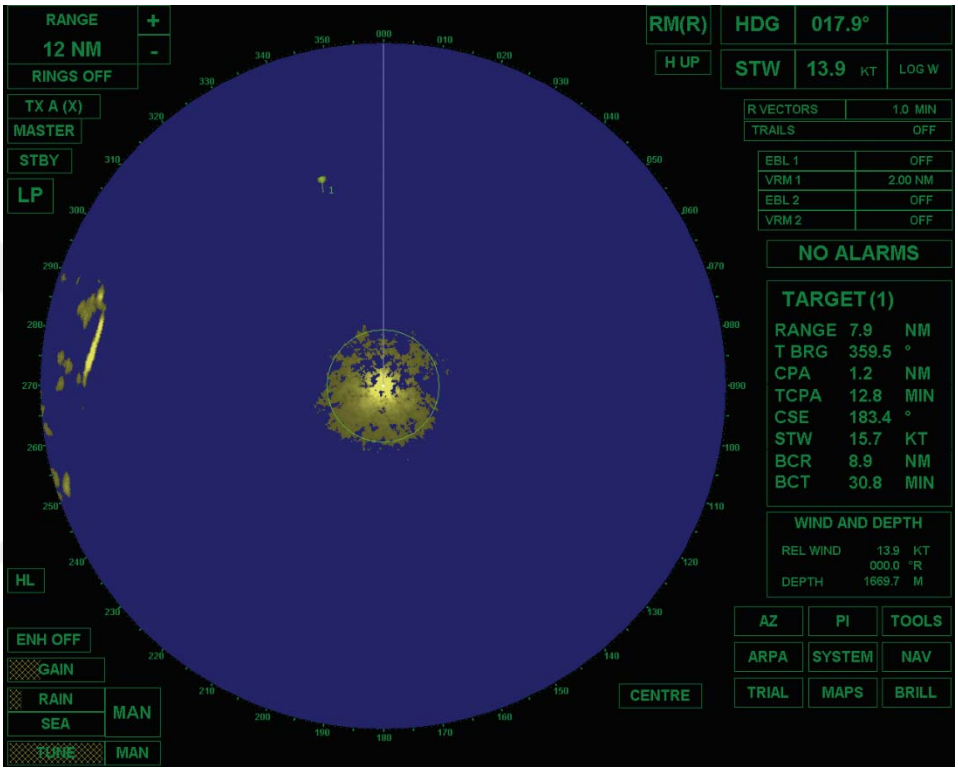
SOLAS V/19 gereği, 3000GT ve üzeri gemilerde 3Ghz/10cm (S-Band) ve 9Ghz/3cm (X-Band) çıkış gücünde iki adet radar bulundurulması zorunludur. 10000GT üzeri gemilerde bu radarların ARPA işlevine sahip olması gerekmektedir. S-Band radar uzun-menzil, X-Band radar ise kısa-menzil çalışmaktadır. X-Band radarın bir diğer önemli özelliği ise Arama Kurtarma Alıcı-Vericisi (Search and Rescue Transponder – SART) sinyallerini alabilmesidir. S-Band radarlar daha çok seyir amaçlı kullanılmakta, X-Band radarlar ise gemilerin karşılaşma durumlarında yapacakları hareketlere karar desteği sağlamaktadır. (Norris'den aktaran Ward, 2014: 5).

Radar çevreyi algılamada ve çatışmayı engellemede sıklıkla destek alınan bir donanımdır ve uzun yıllar denizcilerin en önemli seyir yardımcısı olmuştur. Özellikle kısıtlı görüşte ve gece seyrinde gözle tanımlanamayan hedef ve engellerin tanımlanmasında kritik öneme sahiptir. Durumsal farkındalığı ve seyir emniyetini yükselten en temel donanımlardan biridir. Kullanımı, gözle gözetleme, ECDIS ve tüm diğer seyir donanımları ile dengelenmelidir (Patraiko, 2014: 2).

Gemilerin hareketlerini tanımlayarak otomatik olarak takibini sağlayabilme işlevine sahip radarlar ARPA radar olarak ifade edilmektedir (Ma vd., 2015: 180). ARPA radarın en önemli özellikleri, tespit etmiş olduğu hedeflere ait bilgileri işleyerek azami yaklaşma noktası (AYN), azami yaklaşma noktasına zaman (AYNZ), Azami Yaklaşma Noktasına Mesafe (AYNM), rota, hız gibi plotlama işlemlerini otomatik olarak yapması ve kullanıcı tarafından belirlenen kısıtlara göre uyarı vermesidir. Bu sebeple seyir emniyetinin devamlılığı açısından önemli bir yere sahiptir (Gürses, 2013: 28). Bunlara ek olarak ARPA radar bazı kısıtlara da sahiptir. Tipik olarak alfa-beta filtresi temeline dayandığı için yanlış ekoları yönetmede zayıf kalabilmektedir. Bu nedenle dalgalardan veya diğer hedeflerden gelen ekolar gemi olarak yorumlanabilmektedir. Diğer bir kısıt ise, liman bölgesinde veya iç nehir gibi yerlerde seyir yaparken banklardan veya kanal yapılarından gelen ekolar gemi gibi algılanabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı yönetilemeyecek sayıda hata uyarı mesajı

ortaya çıkacaktır. ARPA işlevi bu tür yerlerde genel olarak devre dışı bırakılmaktadır. ARPA özelliğini çoğu seyir zabiti karar vermenin bir parçası olarak görmektedirler. Diğer bir ifade ile karar verme sürecinde kendi bilgi ve deneyimlerini destelemek amacıyla ARPA tarafından sağlanan bilgileri kullanırlar (Ma vd., 2015: 180). Şekil 56'da tipik bir ARPA radar ekranı gösterilmektedir.

**Şekil 56:** ARPA Radar Ekranı




Kaynak: Yazar.

Son yıllarda radar aygıtı özellikle gelişmiş filtreleme yöntemleri ile eko, ekran gösterimi, oto ayarlama gibi teknik özellikleri bakımından dikkate değer bir gelişim göstermiştir. Çoğu denizci radarın en güvenilir köprüüstü donanımı olduğunu kabul etmektedir. Diğer seyir donanımlarının (GPS, GNSS, Loran, AIS, vb.) bir dış kaynağa bağlı olması sebebiyle kasıtlı ya da kasıt olmadan iletişimleri kesilebilmektedir. Radar dalgalarının ve ekolarının kaynağı tamamen gemiler ve engeller olduğu için güvenilir kabul edilmektedir (Patraiko, 2014: 2).

Radar ekranı işlevsel olarak, pruva-yukarı, kuzey-yukarı ve rota-yukarı (head-up, north-up and course-up) olmak üzere üç farklı modda görüntü sağlayabilmektedir.

Pruva-yukarı modu, gemi başını, kuzey-yukarı modu kuzeyi, rota-yukarı modu ise gemiye rota değeri olarak verilen dereceyi temel alarak gemiyi radar ekranında göstermektedir (Norris'den aktaran Ward, 2014: 5).

### 3.1.4. Diğer Seyir Yardımcıları

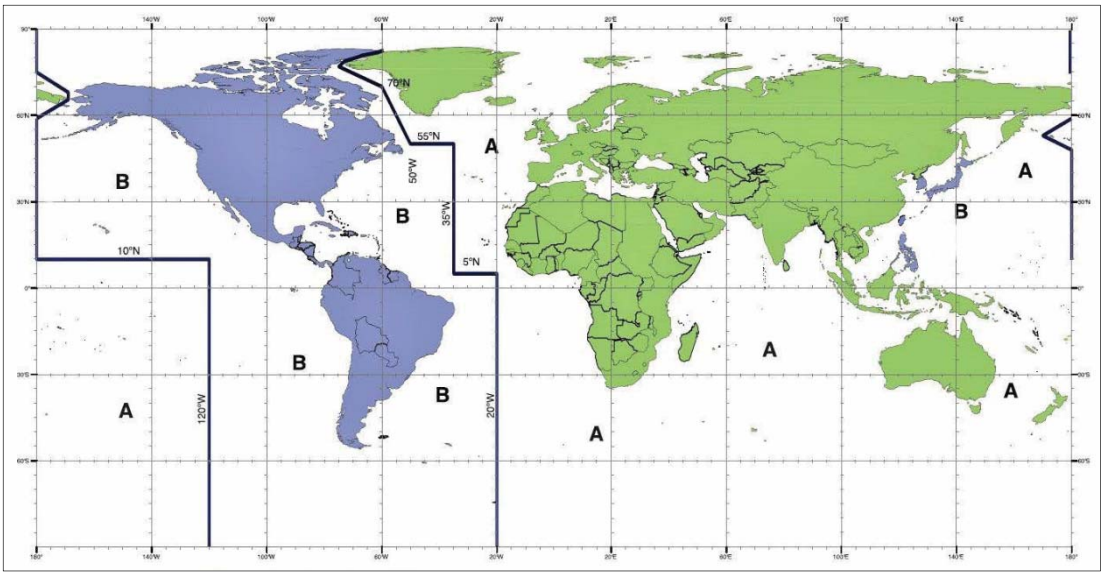
Giderek artan deniz trafiği sonucu oluşabilecek çatışmaları önlemek adına kural koyucular bazı önlemler almakta ve sistemler geliştirmektedirler. Özellikle kanal, nehir, boğaz gibi dar suyollarında bu sistem ve donanımlar seyir emniyeti açısından hayati önem taşımaktadırlar. Gelişen teknoloji ile birlikte gemi boyutlarının giderek büyümesi bu sistemlere olan ihtiyacı da aynı oranda arttırmaktadır. Bu sistemler seyir emniyetinin yanında, verimliliğin artması ve çevre kirliliğinin önlenmesi gibi konularda da önemli bir yere sahiptir (Köseoğlu, 2014: 104; Yüksel ve Çevik, 2010: 307).

Bu sistem ve donanımların amacı, su üstü seyrine tehlike oluşturabilecek bölgeleri belirlemek ve gemilerin seyir ve manevralarına rehberlik etmektir (Köseoğlu, 2014: 104). Bu bölümde seyir yardımcıları olarak nitelendirilen bu sistemler ve donanımlar kısaca açıklanmaktadır.

*Şamandıralar:* 1970'li yıllardan önce dünya üzerinde kullanımda olan otuzdan fazla farklı şamandıra sistemi olduğu bilinmektedir. Bu sistemlerin birçoğunun sahip olduğu kurallar birbirleri ile tamamen çatışmaktaydı. İlk ortaya çıktıkları 19.yy. sonlarında, hangi tarafı hangi renk şamandıra temsil edeceği konusunda anlaşmazlık bulunmaktaydı. Bazı ülkeler iskele tarafı kırmızı ile tanımlarken, bazı ülkeler ise kırmızı ile sancak tarafı temsil etmeyi tercih etmişlerdi. 1936'da Cenevre'de bütünleşik bir şamandıra sistemine ilişkin uluslararası anlaşma oluşturulmasına yönelik ilk girişim gerçekleşti. Milletler Cemiyeti'nin önderliğinde oluşturulan bu antlaşma, İkinci Dünya Savaşı'nın patlak vermesi nedeniyle onaylanamadı. Bu antlaşma şamandıraları yanlaç (lateral) şamandıralar ve yönleç (kardinal) şamandırlar olarak iki ayrı sisteme ayırmayı önermekteydi. İkinci Dünya Savaşı sonunda pek çok ülke imha edilen ve tahrip olan seyir yardımcıları sistemlerini tekrar oluşturmaya yönelik Cenevre kurallarını benimseyerek çalışmaya başladılar. Daha sonra 1957'de Uluslararası Deniz Seyir Yardımcıları ve Deniz Fenerleri Otoriteleri Birliği

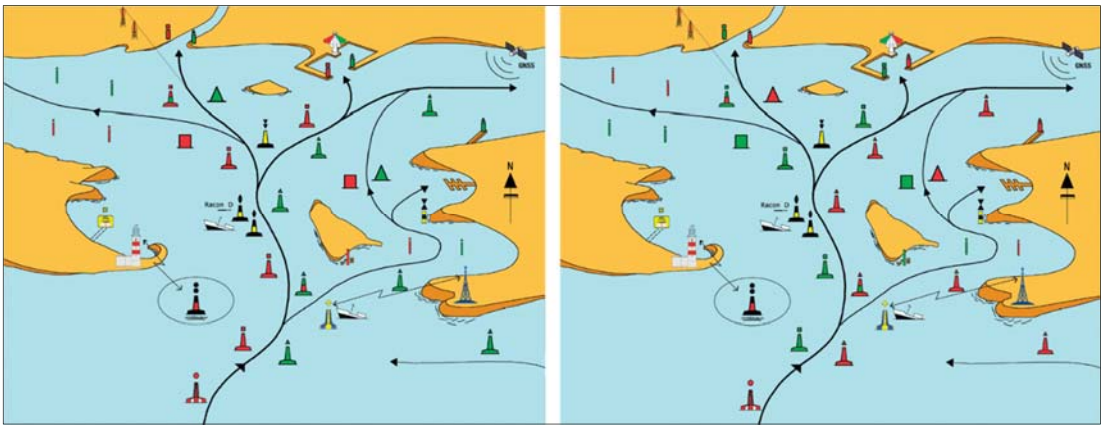
(International Association of Lighthouse Authorities -IALA) kurulmuştur. Birlik ilk adım olarak çelişkileri ortadan kaldırmak amacıyla Sistem-A (sancak yeşil) ve Sistem-B (sancak kırmızı) olmak üzere iki adet sistem tanımlamıştır. Sistem-A 1976'da tamamlanarak IMO tarafından kabul edilmiş ve Avrupa, Avustralya, Afrika ve bazı Asya ülkelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Sistem-B ise 1980'de tamamlanmış ve Amerika kıtası, Japonya, Filipinler gibi ülkeler tarafından kabul görmüştür. "Deniz Şamandıra Sistemi (The IALA Maritime Buoyage System - MBS) " olarak isimlendirilen sistem kurulduğu günden bugüne denizcilik çevresine önemli hizmetlerde bulunmuştur. 2006'da Şanghay, Çin'de organize edilen IALA konferansında, seyir çevresindeki değişiklikler ve gelişen teknoloji göz önünde tutularak elektronik aygıtların daha çok seyir yardımcılarına dâhil olması için sistemin gözden geçirilmesi ve geliştirilmesi gerektiği yönünde karar alınmıştır. Günümüzde şamandıralar; Yanlaç (Lateral) şamandıralar, Yönleç (Kardinal) şamandıralar, tehlike şamandırası, emniyetli su şamandıraları, özel şamandıralar ve diğer şamandırlar olarak sınıflandırılmaktadır (IALA, 2017: 3-4). Şekil 57'de dünya üzerindeki bölgeler, şekil 58'de ise bu bölgelerde kullanılan şamandıra sistemi gösterilmektedir.

**Şekil 57:** Bölgelere Göre Kullanılan Şamandıra Sistemleri




Kaynak: IALA, 2017: 12.

**Şekil 58:** Deniz Şamandıra Sistemleri



Sistem-A Sistem-B

Kaynak: IALA, 2017: 21-22.

*Fenerler:* Deniz fenerine dair standart bir tanımlama olmasa da temelde benzer ifadeler içermektedirler. TDK deniz fenerini, "*kıyıların tehlikeli yerlerinde, bazı kaya ve adacıkların üzerinde geceleri deniz taşıtlarına yol gösteren, tepesinde güçlü bir ışık kaynağı*" olarak tanımlamaktadır. Webster sözlüğü ise, "*gece seyri yapmakta olan gemileri yönlendirmek amacıyla, seyir için tehlikeli bölgelere yerleştirilmiş tepesinde güçlü bir ışık kaynağı olan kule ya da yüksek yapı*" olarak ifade etmektedir.

Deniz fenerleri, özellikle kıyı bölgelerine yakın seyir yapmakta olan su üstü araçlarına destek vermek amacıyla inşa edilmiş ve aydınlatma aygıtları ile donatılmış yüksek yapılardır. Yüksek yapılmalarının nedeni uzak mesafelerden rahat bir şekilde fark edilmelerini sağlamaktır. Gündüzleri yapının kendisinden, geceleri ile ışık kaynağından tanınırlar. Sahip olduğu mercek sistemleri ışığın farklı yoğunlukta yanmasına ve yönlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Denizciler tarafından sahip oldukları farklı karakteristik özelliklerine göre tanınırlar ve bu özellikler farklı anlamlar ifade ederler. Deniz fenerleri, özellikle gece seyrinde gemilere yol göstermek, mevkilerini tayin etmek ve gemileri seyre tehlikeli alanlardan korumak gibi seyir emniyeti konularında hayati öneme sahip seyir yardımcılarıdır (Toroslu, 2008: 1; Köseoğlu, 2014: 105).

Fenerler çalışma esaslarına göre asetilen, elektrikli ve akülü; ışık türüne göre sabit, husuflu, çakarlı, grup çakarlı ve karma; ışık renklerine göre mavi, yeşil, kırmızı, beyaz, turuncu, konumlarına göre kıyı, açık deniz, yönlendirici, dalgakıran olarak sınıflandırılmaktadır (Yerlikaya, 2011: 19; Ay, 2000: 19).

*Ses işaretleri:* Bazı fenerler ve şamandırlar kısıtlı görüş koşullarında denizcilere yardımcı olması amacıyla ses üreten bir cihaz ile donatılırlar. Bu ses işaretleri denizin durumuna göre aktif hale gelmektedir. Dalga durumunda harekete geçen ses işaretleri sakin suda ses çıkarmamaktadır. Ses işaretleri şamandıraların ve fenerlerin karakteristiklerini tanımlamaktan ziyade, bu yapıların kısıtlı görüşte fark edilip emniyetli geçilmesini sağlamaktadır. Siren, düdük, kampana, çan, gong olmak üzere farklı tipte ses işaretleri mevcuttur. Bu aygıtlar değişik sürede ve tonda çalışmaktadırlar. Ses işaretleri diğer seyir yardımcıları gibi bazı kısıtlara sahiptirler. Bunlar aşağıdaki gibi sırlanabilir (Bowditch, 1995: 78);

- Ses sinyalleri mesafeye bağlı olarak duyulabilmektedir. Bir ses sinyalinin duyulabileceği mesafe, sinyalin kaynağına ve süresine bağlı olarak değişebilmektedir.
- Atmosferin durumuna bağlı olarak duyulabilme mesafesi değişebilmektedir.
- Herhangi bir engelle karşılaşırsa sinyal iletimi kesilebilmektedir.

## 3.2. DENİZDE ÇATIŞMAYI ÖNLEMEDE YARDIMCI HİZMETLER VE DÜZENLEMELER

Bu bölümde, denizde seyir esnasında çatışmayı önlemeye yönelik oluşturulmuş Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmetleri, Gemi Trafik Hizmetleri (VTS) ve Uluslararası Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (COLREG 72) gibi yardımcı hizmetler ve düzenlemeler kısaca açıklanmaktadır.

### 3.2.1. Kılavuzluk ve Römorkörcülük Hizmetleri

Suyollarında ve kıyı tesislerinde, su üstü araçlarının seyir ve manevra emniyetleri ve verimliliği açısından kılavuzluk, römorkörcülük ve palamar hizmetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Avrupa Birliği Komisyonu'nun 1997 tarihli "Yeşil Kitap" yayınında kısaca teknik seyir hizmetleri (technical-nautical services) olarak isimlendirilen bu hizmetler, tek başına emniyetli manevra yapma kabiliyeti olmayan deniz araçlarına sağlanan hizmetler olarak tanımlanmaktadır. Kılavuzluk

hizmetleri ve römorkörcülük hizmetleri aralarındaki ilişki göz önünde tutulduğunda birbirine bağlı ve iç içe girmiş hizmetlerdir. Teknik seyir hizmetleri kapsamında yüksek çekme ve itme kuvvetine sahip römorkörler halat yardımıyla veya direk yaslanarak gemilerin manevra yetkinliğini yükseltmektedir. Bu hizmet sırasında sorumluluk tamamen gemi kaptanına ait olsa da bölgeyi iyi tanıması sebebiyle manevra kontrolü genellikle kılavuz kaptana bırakılmaktadır. Römorkör kaptanları kılavuz kaptanın vermiş olduğu talimata göre gemi üzerinde kuvvet oluşturarak geminin emniyetli bir şekilde manevra yapmasını sağlamaktadır (Nas, 2013: 58).

IMO, 1968'de yayımlamış olduğu önerme ile liman sahası ve çevresinde gemilere rehberlik edecek bir kılavuzluk hizmetinin olması gerekliliğini ifade etmiştir (IMO Res A.159 (ES.IV). Kılavuzluk hizmetleri, deniz çevresinin korunması ve seyir emniyeti açısından rekabete kapalı ve özellikle liman bölgelerinde zorunlu alınması gereken bir hizmet türüdür (Nas, 2013: 59). Limanlar bu hizmetler ile ilgili hizmet düzeyinin belirlenmesi konusunda yetkili otoritedir. Hizmet düzeyinin belirlenmesinde etkili olan ölçütler; hizmet verilecek gemilerin karakteristik özelliği, saha içindeki gemi trafiği, sahanın genişliği, gemilerin taşıdığı yükün özellikleri, yanaşma yeri ve manevra sahasının teknik özellikleri, meteorolojik koşullar ve acil durumda destek ihtiyaçları olarak sıralanabilir. Bu faktörler göz önüne alınarak römorkör sayısı, römorkörlerin sahip olması gereken özellikler, kılavuz kaptan sayısı, destek araçları vb. gibi hizmetlerin düzeyleri belirlenmektedir. (IAPH, 2001; Nas, 2013: 59).

Kılavuz kaptanlar görev yaptıkları bölgeyi en iyi bilen ve bu bilgileri gemi kaptanı ile paylaşarak emniyetli manevra yapılmasına olanak sağlayan danışmanlar olarak tanımlanabilir (Anıker, 2008: 66). Kılavuz Kaptanların Yeterlikleri, Eğitimleri, Belgelendirilmeleri ve Çalışma Usulleri Hakkındaki Yönetmelik'te ise kılavuz kaptan, "*gemi kaptanına, yetkili kılavuz kaptan belgesi ile yetkilendirildiği alan dâhilinde uluslararası denizcilik teamüllerine göre geminin seyir ve manevrasına yönelik konularda danışmanlık yapan ve gemi kaptanının sorumluluğu esas olmak üzere hizmetleri seyir ve manevra ile sınırlı olarak gemiye kılavuzluk eden kişi*" olarak tanımlanmaktadır.

Bir manevranın etkin ve emniyetli olabilmesi için kılavuz kaptan ve gemi kaptanı arasında sağlanan iletişimin kusursuz olması gerekmektedir. Bölgeyi iyi bilen

kılavuz kaptan bölge ve manevra hakkında gemi kaptanını detaylı olarak bilgilendirmesi gerekmektedir. Aynı şekilde gemi kaptanı da kılavuz kaptana gemisinin karakteristik özellikleri le ilgili açık ve net bilgiler vermelidir. Karşılıklı iyi yapılmış bir bilgi alışverişi, etkin ve emniyetli manevranın sağlanmasında kritik öneme sahiptir (Köseoğlu, 2014: 111).

### 3.2.2. Gemi Trafik Hizmetleri (VTS)

Gemi trafik hizmetleri (Vessel Traffic Services – VTS), gemilerin konumları veya meteorolojik uyarıları gibi basit bilgi mesajlarından suyollarındaki trafik yönetimine kadar geniş bir alanı olan, kıyıda konumlandırılmış bir hizmet sistemidir (IMO, 2018). VTS, denizde yaşam emniyetine, seyir emniyeti ve verimliliğine, deniz trafiğinin muhtemel olumsuz etkilerine karşı deniz çevresinin korunmasına katkı sağlaması amacıyla kurulmuştur (IMO, 2007).

Geçmişte geleneksel olarak, gemi kaptanları herhangi bir limana yaklaştıkları zaman bunu bir flama ile bildirmekteydiler. 19. yy. sonlarında telsizin keşfi ile birlikte, telsiz ile iletişim önem kazanmıştır. Daha sonra radarın icadı gemilerin bir ekran üzerinden takip edilmesine olanak vermiştir. Tarihte ilk gözetleme radarları 1948'de Liverpool'da, 1950'de ise California'da kurulmuş ve kıyı otoritesine gemileri takip edebilme olanağı sağlamıştır. Bunun yanında telsiz ile kombine edilerek seyir uyarılarının gemilere iletilmesi ile tarihteki ilk resmi VTS sistemi ortaya çıkmıştır. IMO tarafından ilk olarak seyir emniyeti açısından VTS'in önemi 1968 yılında yayınlanan liman tavsiye sistemlerine ilişkin önerisinde (Res. A.158 (ES.IV) kabul edilmiştir. Ancak teknolojinin ilerlemesi ile birlikte gemi trafiğini izleyen ve takip eden donanımlar daha karmaşık hale gelerek, VTS kurulmasında standartlaştırma prosedürlerine ilişkin açık yönergelerin oluşturulması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak 1985'te IMO Gemi Trafik Hizmetleri için kılavuz niteliğinde olan Res. A.578 (14) sayılı kararını yayınlamıştır. Yayınlanan karar, yoğun trafik bölgelerinde, kanal veya liman girişleri ve yaklaşımlarında, tehlikeli ve zehirli yüklerin taşınmasında, kanallarda ve boğazlarda VTS'in önemine vurgu yapmaktaydı. Yayınlan karar ayrıca, gemi kaptanının emniyetli manevra veya seyri için alacağı kararlarda VTS desteğinin önemine ve VTS bölgesinden geçen gemilerin raporlama

prosedürlerini de içermekteydi. Daha sonra sistemin revize edilmesi gerekliliği ortaya çıkmış ve IMO 1997'de gemi trafik hizmetleri kılavuzunu revize etmiştir (IMO Res. A.857(20)). Revize edilen bu kılavuza ayrıca VTS operatörlerinin işe alımı, nitelikleri ve eğitim gereklilikleri bölümü de eklenmiştir (IMO, 2018b).

VTS ilk olarak SOLAS'ta yer almamaktaydı. Haziran 1997'de IMO Deniz Emniyeti Komitesi SOLAS Bölüm 5 (Seyir Emniyeti)'e yeni bir madde ekleyerek VTS'i dâhil etmiştir. Revize edilen SOLAS Bölüm 5 Aralık 2000'de kabul edilmiş ve Temmuz 2002'de yürürlüğe girmiştir. İlgili madde şu ifadeleri içermektedir:

- VTS, deniz trafiğinin muhtemel olumsuz etkilerine karşı deniz çevresinin, kıyı alanlarının ve deniz tesislerinin korunmasına ve seyir emniyetine katkıda bulunan bir sistemdir.
- Taraf devletler yoğun trafik sebebiyle risk derecesinin yüksek olduğu bölgelere VTS kurmayı taahhüt ederler.
- VTS'i planlayan ve uygulayan taraf devletler mümkün olduğunca IMO'nun geliştirdiği yönergelere uymalıdırlar. VTS kullanımı sadece bir kıyı devletinin karasuları dâhilindeki deniz alanlarında zorunlu hale getirilebilir.
- Taraf devletler bayrağını taşıyan her geminin VTS'in tavsiyelerine uyması konusunda gayret göstermelidir.
- Bu yönetmelikte veya IMO tarafından yayınlanan kılavuzda yer alan hiçbir madde uluslararası hukuka tabi olan devletlerin hak ve görevlerini etki altında bırakmamaktadır.

Türkiye açısından VTS'in oluşum sürecine bakıldığında "Gemi Trafik Hizmetleri Sistemlerinin Kurulmasına ve İşletilmesine İlişkin Yönetmelik" 2007 yılında kabul edilerek yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ile "*Türkiye'nin deniz yetki alanlarında veya liman tesislerinde bulunan, seyreden, demirleyen, demirden ayrılan, limana yanaşan ve limandan ayrılan gemilerin seyir, can ve mal emniyetini arttırmak, deniz çevresi ile denizdeki yapıları deniz trafiğinin olumsuz etkilerinden korumak amacıyla, deniz trafik verimliliğini de dikkate alarak hizmet verecek olan gemi trafik hizmetleri sistemlerinin kurulmasına ve işletilmesine ilişkin usul ve esaslar ile yetki, görev ve sorumluluklarını belirlemek"* amaçlanmıştır. Buradan hareketle Türkiye'de seyir emniyetinin arttırılması amacıyla Gemi Trafik Yönetim Sistemi (GTYS) Projesi

hayata geçirilmiştir. Proje ile boğazları kapsayan Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri (TBGTH) sistemi ve İzmit Körfezi, İzmir Körfezi, Mersin ve İskenderun Bölgelerini kapsayan Bölgesel Gemi Trafik Hizmetleri Sistemi (GTHS) kurulmuştur. Tüm bu GTH'lerden elde edilen veriler Ankara'da bulunan Gemi Trafik Yönetim Merkezi (GTYM)'nde toplanmaktadır (KEGM, 2017: 14; Köseoğlu, 2014: 108).

### 3.2.3. Uluslararası Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (COLREG 72)

COLREG, IMO tarafından, denizde çatışmayı önlemek ve trafik düzenini oluşturmak amacıyla ortak kuralların belirlenebilmesine yönelik hayata geçirilmiş bir sözleşmedir. 1972'de kabul edilen ve 1977'de yürürlüğe giren bu sözleşme, Çatışma Sözleşmesi 1960 (Collision Regulation 1960)'ın güncellenerek yerine getirilmiş versiyonudur (Cockcroft ve Lameijer, 2004: 9).

1972 sözleşmesindeki en önemli yeniliklerden biri, trafik ayrım düzenlerinin kabul edilmesiydi. İlk trafik ayrım düzeni 1967 yılında Dover Boğazı'nda kurulmuş ve ilk başta gönüllük esasına göre uygulanmıştır. Daha sonra 1971'de IMO'nun almış olduğu bir karar ile tüm trafik ayrım düzenlerine uyulması zorunlu hale getirilmiş ve COLREG'te açık bir şekilde ifade edilmiştir.

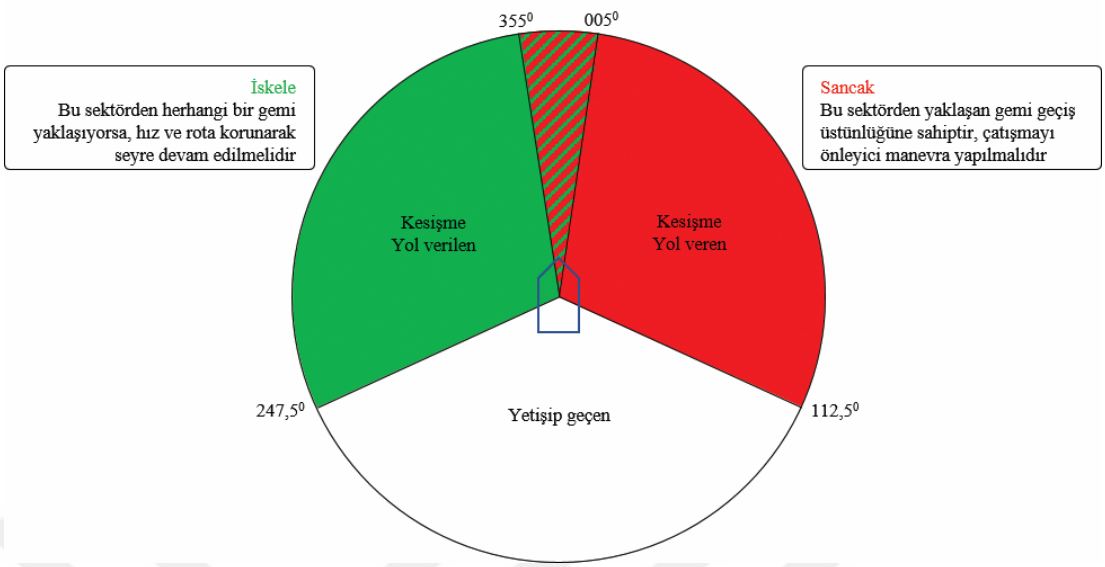
COLREG, 6 bölümde toplam 41 kuraldan oluşmaktadır: Bölüm A – Genel; Bölüm B – Manevra ve Seyir; Bölüm C – Fener ve Şekiller; Bölüm D – Ses ve Işık İşaretleri; Bölüm E – Muafiyetler ve Bölüm F – Sözleşme hükümlerine uygunluğun doğrulanması. Bunun yanında fenerler ve şekillerin pozisyonları gibi teknik gereksinimler, ses uyarı cihazları, uluslararası tehlike sinyalleri ve balıkçı tekneleri için ek uyarıları içeren 4 adet ek bulunmaktadır (IMO, 1972).

Denizde çatışma *"iki veya daha fazla sabit veya hareketli cismin yakın olması veya temas etmesi durumunda meydana gelen dinamik olay"* olarak tanımlanmaktadır. Bu sebeple, COLREG'te de ifade edildiği üzere gemiler veya engeller arası emniyetli mesafenin korunması deniz emniyeti açısından önemli bir faktördür (Perera vd., 2010: 209).

Denizde karşılaşma durumlarında gemiler COLREG tarafından belirlenen kurallara uymakla yükümlüdür. COLREG karşılaşma durumlarını pruva-pruva yaklaşma (head-on), kesişme (crossing) ve yetişip geçme (overtaking) olmak üzere üç

gruba ayırmaktadır. Kural 13 ile kural 17 arasında karşılaşma durumları için gemilerin rolleri belirlenmiştir. Kural 13 (yetişip geçme) *"herhangi bir tekneyi yetişip geçen bir tekne, diğer teknenin yolundan çıkacaktır"* olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda yol veren gemi yetişen, yol verilen gemi yani geçiş üstünlüğü olan gemi yetişilen gemidir. Kural 14 (pruva-pruva yaklaşma) "*iki kuvvetle yürütülen tekne çatışma riski oluşturacak şekilde karşılıklı ya da neredeyse karşılıklı olarak yaklaşmaları durumunda her biri sancak tarafa dümen değiştirerek geçiş yapacaklardır"* olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda gemiler arasında geçiş üstünlüğü bulunmamakta ve her gemi eşit hareket yapma sorumluluğuna sahiptir. Kural 15 (kesişme) *"iki kuvvetle yürütülen teknenin rotaları çatışma riski oluşturacak şekilde kesişiyorsa, diğerini sancak tarafında gören tekne diğerinin yolundan çıkacak ve mümkün olduğunca baş tarafından geçmeyecek şekilde hareket edecektir"* olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda sancak tarafında diğerini gören tekne yol veren tekne, diğer tekne ise geçiş üstünlüğüne sahip teknedir. Kural 16 ve kural 17 ise yol veren tekne (give-way vessel) ve geçiş üstünlüğüne sahip tekne (stand-on vessel) kavramlarını tanımlamaktadır. Yol veren tekne kavramı, *"çatışmadan kaçınmak amacıyla olabildiğince erken hareket ederek diğer gemiye yol vermesi gereken tekne"* olarak tanımlanmaktadır. Geçiş üstünlüğü bulunan tekne kavramı ise, *"geçiş üstünlüğü bulunan ve bu süreçte rotasını ve hızını sabit tutması gereken tekne"* olarak tanımlanmaktadır. Hangi geminin yol veren hangi geminin geçiş üstünlüğü olan gemi olduğunun belirlenmesi geminin geliş yönüne bağlıdır. Bir gemi diğer gemiyi sancak tarafında görüyorsa yol veren gemidir ve çatışma riskini ortadan kaldırmak amacıyla gerekli manevrayı yapmakla yükümlüdür (IMO, 1972). Şekil 59'da gemi karşılaşma durumları ayırım şeması gösterilmektedir. İlgili şekilde üzerinde bulunduğumuz gemi orijinde kabul edilerek, belirlenmiş olan açı değerlerine göre yaklaşmakta olan gemi ile hangi tip karşılaşma durumuna sahip olduğu örneklendirilmiştir.

**Şekil 59:** Geliş Açılarına Göre Karşılaşma Tipleri




Kaynak: IMO, 1972.

# DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
# DENİZDE ÇATIŞMADAN KAÇINMA ROTASI PLANLAMA VE OPTİMİZASYONU

Bu bölümde, denizde çatışma riski içeren karşılaşma durumlarında, bu riski ortadan kaldırmak amacıyla uygulanan manevranın planlanması ve optimizasyonuna yönelik yapılmış uygulamalara yer verilmektedir. Bu kapsamda, araştırmanın motivasyonu, amacı, önemi, özgün değeri ve yöntemi alt bölümleri oluşturularak detaylandırılmıştır.

## 4.1. ARAŞTIRMANIN MOTİVASYONU

Denizde çatışma genellikle, manevra zamanlaması hataları, çatışma riski değerlendirme hataları ve kaçınma için gerekli olan stratejilerde eksiklikler gibi durumlar nedeniyle meydana gelmektedir. İnsan kaynaklı bu hatalar seyir emniyetini sağlamada otomasyon ve karar destek sistemlerinin önemini ortaya çıkarmaktadır. Buradan hareketle, bu araştırma ile oluşturulması hedeflenen karar destek sistemi ile seyir zabiti üzerindeki psikolojik ve fiziksel yük azalarak çatışma riskinin düşeceği ve böylelikle seyir emniyetine katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Seyir emniyetine sağlayacağı katkının yanında, hedeflenen çıktı ile optimal çatışmadan kaçınma rotası planlaması yapılacağı için seyir maliyetine de olumlu yönde etki yapacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan oluşturulan çözüm algoritmasının otonom gemilere ve insansız su üstü araçlarına entegrasyonunun gerçekleştirilmesi durumunda çatışmadan kaçınma seyir alt modülü olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

## 4.2. ARAŞTIRMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı, denizde çatışma riski olduğu varsayılan karşılaşma durumlarda COLREG'e göre yol vermesi gereken teknenin çatışmadan kaçınma amacıyla yapacağı manevrayı planlamak ve optimize etmektir. Diğer bir amaç ise, gemilerde genellikle tecrübe ve yetkinliğe dayalı olarak subjektif bir şekilde icra edilen çatışmadan kaçınma hareketini bir karar destek sistemi vasıtasıyla yönetmek ve bu

hareket için kat edilen mesafeyi minimize ederek zaman ve yakıt tasarrufu sağlamak olarak belirlenmiştir.

## 4.3. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ

Dünya ticaretinin gelişimine bağlı olarak denizyolu taşımacılığına olan talep giderek artmakta ve buna paralel olarak ulusal ve uluslararası seyir rotaları da yoğunlaşmaktadır. Bu durum bazı riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu noktada ortaya çıkabilecek en önemli risk gemilerin çatışması durumudur. İnsan hatası faktörünün bu risklerin çatışma ve kaza ile sonuçlanmasında en önemli faktör olduğu bilinmektedir. Gemilerde zabitler genellikle yoğun iş temposu altında çalışmakta ve bu durum yorgunluğa ve dikkatsizliğe sebebiyet verebilmektedir. Bu durumun seyir sırasında uygulanacak manevra kararlarında zabitlerin hata yapma olasılıklarını artırabileceği düşünülmektedir. Karar verme noktasında bir karar destek sisteminden faydalanmanın psikolojik ve fiziksel yükü azaltarak sübjektif yargılardan kaynaklanan insan hatalarını azaltacağı ve deniz taşımacılığı emniyetinin gelişimine katkı sağlayacağı şüphesizdir.

Denizde iki gemi arasında çatışma riski söz konusu olduğunda COLREG gereği yol vermesi gereken geminin rotasını veya hızını değiştirmesi gerekmektedir. Bu gibi durumlarda ARPA radardan yardım alınmaktadır. ARPA iki gemi arasında muhtemel çatışma riski olup olmadığını bildirmekte fakat çatışmayı önlemeye yönelik herhangi bir optimal çözüm rotası önermemektedir. Araştırma çıktısı ile bu tür durumlar için emniyetli en kısa rotanın önerilmesi hedeflemektedir. Böylelikle operatör tarafından ARPA destekli tecrübe ve yetkinliğe dayalı olarak algısal gerçekleştirilen çatışmayı önleme manevrası bir karar destek sistemine bağlanmış olacaktır.

Bu detaylar ışığında bu araştırmanın sağlaması muhtemel aşağıdaki durumlar nedeniyle önemli olduğu düşünülmektedir;

- Karar destek sistemleri öznel yargılardan kaynaklanan insan hatalarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

- Bu tür sistemler karar verme noktasında karar verici üzerinde psikolojik ve fiziksel yükü azaltarak seyir emniyetinin artmasına yardımcı olmaktadır.
- GTH operatörleri ve vardiya zabitleri için karar vermede kaynak referans olabilecektir.
- Algoritma çıktısı ile çatışmadan kaçınma rotasının optimal rota olması hedeflenmektedir. Böylelikle fazla yol almanın önüne geçilerek yakıt ve zaman tasarrufu yapılabilmesinin mümkün olacağı düşünülmektedir.
- Emniyetli gemi kontrolü otomasyonu artacak ve ileride geliştirilebilecek profesyonel bir yazılım ile operatörler ve zabitler tarafından kolaylıkla kullanılabilecektir.
- Otonom gemiler ve insansız su üstü araçları için çatışmadan kaçınma modülü olarak kullanılabilecektir.

## 4.4. ARAŞTIRMANIN ÖZGÜN DEĞERİ

Bu araştırmanın aşağıda sıralanan uygulamalar ve kazanımlar ile özgün değere sahip olduğu düşünülmektedir;

a) Gemi emniyet alanı büyüklüğünün, yapılan uzman görüşmeleri neticesinde belirlenen ölçütler göz önünde tutularak oluşturulan bulanık çıkarım sistemi ile belirlenmesi

b) Benzer çalışmalardan farklı olarak bu yaklaşımda, COLREG Kural 16'ya uygun olarak, TS'ye sistem kullanıcısı tarafından belirlenen uzaklığa göre çatışmadan kaçınma manevrasının uygulanacağı noktanın belirlenmesi ($Mx_{toTS}$).

c) Benzer çalışmalardan farklı olarak bu yaklaşımda, COLREG Kural 8(d)'ye uygun olarak, TS'nin neta kabul edilmesinden sonra orijinal rotaya dönüş manevrasının yapılması.

d) Benzer çalışmalardan farklı olarak bu yaklaşımda, sistem operatörünün optimizasyon hedefine göre (en kısa yol veya hedef gemiye olan mesafe ($Mx_{toTS}$) sonuç üretme imkanı.

e) Algoritma yapısında kullanılan karar değişkenleri, kısıtlar ve örnek senaryo girdilerinin nitel araştırma süreci kapsamında gerçekleştirilen uzman görüşmeleri sonucu elde edilen bulgular neticesinde belirlenmesi.
f) İnsansız (otonom) su üstü aracı (ASV) ile gerçek ortamda (Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi ve Maritime Robotics firması işbirliği ile) ve köprüüstü seyir simülatörü ile sanal ortamda (DEÜ Denizcilik Fakültesi) gerçekleştirilen senaryo testleri ile geçerlik ve güvenirlik kontrolünün yapılması ve uygulanabilirliğin test edilmesi.
g) Rota değişimi ve hız değişimi manevra opsiyonları ile optimal sonuç üretilmesi.
h) Uluslararası alanda konu üzerine yoğun girişimlerin olmasına rağmen Türkiye'de bugüne kadar benzer bir çalışmanın yapılmamış olması.

## 4.5. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Bu bölümde ilk olarak, araştırma konusu ile ilgili literatür, araştırmanın kavramsal modeli ve araştırma sürecine ait detaylar paylaşılmaktadır. İkinci aşamada ise uygulanan nitel araştırma ve nicel araştırma süreçlerine ve sonuçlarına yer verilmektedir. Nitel araştırma sürecinde görüşme yöntemi kullanılarak elde edilen bulgular neticesinde, problem çözümü için oluşturulan matematiksel modelde yer alan değişken kısıtları ve senaryo testlerinin girdileri belirlenmiştir. Nicel araştırma sürecinde ise genetik algoritma ve bulanık mantık yaklaşımları ile oluşturulmuş çözüm algoritması (*ColAv_GA*) ile problem çözümüne ulaşılmış ve elde edilen sonuçlar ASV ile gerçek ortamda, köprüüstü seyir simülatörü ile sanal ortamda test edilmiştir. Bu bölüm ile ilgili detaylar alt başlıklar altında aşağıda sırasıyla verilmektedir.

### 4.5.1. Literatür Taraması

Denizde seyir faaliyetleri yıllar boyu geleneksel olarak insan çabasıyla gerçekleştirilmiş (Statheros vd., 2008: 130) ve bu durum beraberinde insan faktörlü hataları getirmiştir (Nguyen vd., 2012: 96; Su vd., 2012: 38; Zeng ve Ito, 2001: 2355). Günümüzde insan faktörlü seyir hatalarının en aza indirilmesi amacıyla yeni

teknolojiler ortaya çıkmıştır. Yakın gelecekte bu teknolojiler akıllı seyir sistemleri formuna girecek ve bu tip bir teknoloji optimal çatışmadan kaçınma rotası belirlenmesinde operatöre rehberlik edebilecektir (Statheros vd., 2008: 130; Zeng ve Ito, 2001: 2355).

Askeri, havacılık, uzay, robotbilim ve denizcilik gibi dinamik çevrelerde çatışmadan kaçınma problemi önemli ve sürekli meydana gelen problemlerden biridir. (Lazarowska, 2015a: 291). Seyir sırasında çatışma riski içeren karşılaşma durumlarında çatışmadan kaçınma manevrası yapılması gerekir. Böyle bir durumun üstesinden gelinebilmesi için bazı eğitimlerin alınması ve prosedürlerin oluşturulması gerekmektedir. Fakat en önemli husus hareketi gerçekleştirecek operatörün tecrübesidir. Operatör almış olduğu eğitimler ve uygulaması gereken prosedürlerden ziyade yüksek oranda tecrübelerine dayanarak hareketi gerçekleştirir. Fakat her ne kadar tecrübeli bir operatör de olsa yanlış değerlendirme yapabilir ve kazalara sebebiyet verebilir (Perera vd., 2015: 374). Bu sebeple, seyirde sübjektif kararların kısıtlanması ve akıllı karar destek sistemleri ile desteklenmesinin deniz kazalarının azalmasında yardımcı olacağı ve seyir emniyetinin artmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir (Perera vd., 2011: 85; Tsou ve Hsueh, 2010: 746).

Ticari faaliyetler ve teknolojik gelişim ile birlikte artan deniz trafiği, zabitler için seyir yapmayı daha zor ve karmaşık hale getirmiştir. Seyir yapmak, büyük miktarda verinin sürekli analiz ve takibini gerektirdiği için karmaşık bir süreçtir (Tsou ve Hsueh, 2010: 747; Lazarowska, 2012: 19). Çevre, gemi ve insan, dinamik ve statik veri, bilinen ve belirsiz bilgiler, nicel matematik hesaplama ve nitel muhakeme gibi majör faktörlerin etkileşimini içermektedir (Tsou ve Hsueh, 2010: 747). Bu sebeple, bu faktörlere dayanarak seyir durumu değerlendirmesinin yapılması önemlidir ve uygunsuz bir şekilde yapılması kazalara sebebiyet verebilir. Bunun önüne geçilebilmesi veya en aza indirgenebilmesi için zabitin karar verme sürecinin desteklenmesi gerekmektedir (Lazarowska, 2012: 19).

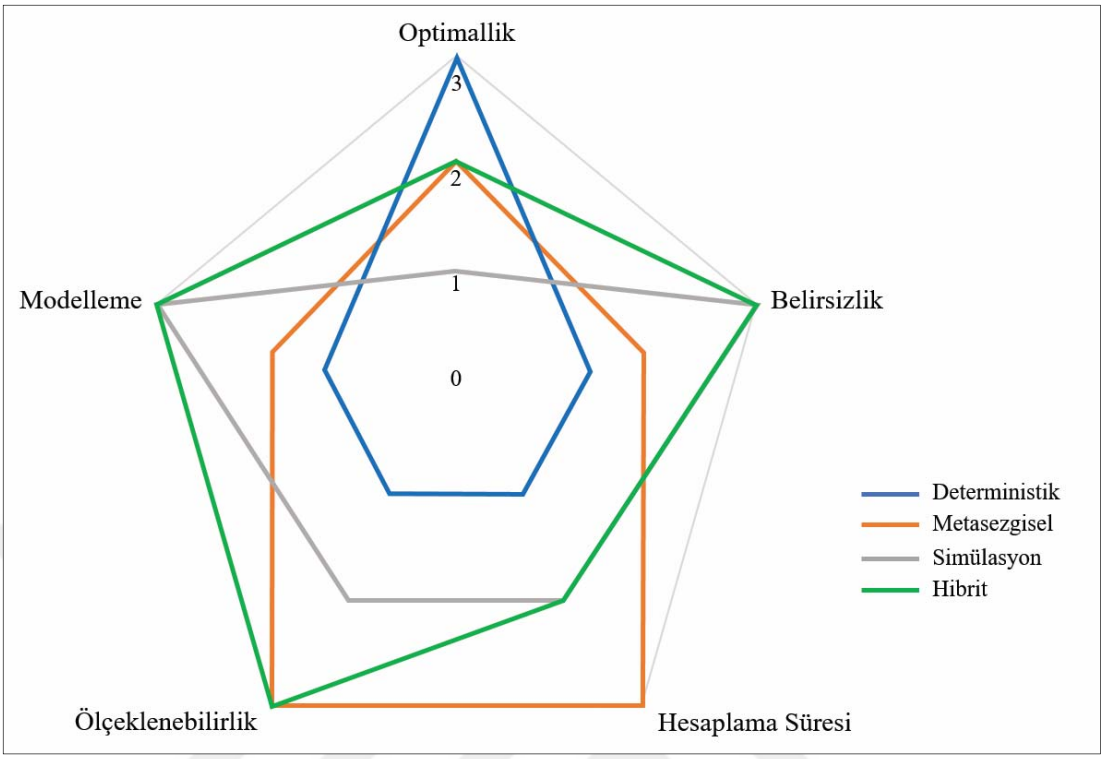
Çatışmadan kaçınma süreci, çok kriterli ve doğrusal olmayan bir problem çeşididir ve bu süreç içinde seyir emniyeti ve seyir maliyeti arasında denge olmalıdır (Smierzchalski ve Michalewicz, 2000: 5). Diğer bir ifade ile çatışmadan kaçınma süreci sadece çatışmadan kaçınma için risk değerlendirmesi ve çatışmadan kaçınma

hareketini içermemeli aynı zamanda orijinal rotadan sapma mesafesi miktarını optimize etmeyi de dikkate almalıdır (Su vd., 2012: 39).

Gemilerin çatışma durumu sadece maddi kayba sebebiyet vermemekte, bunun yanında yaralanmalara ve büyük çevre kirliliklerine de neden olabilmektedir. Bu nedenle, gemilerin çatışmasını önlemeye yönelik yapılan araştırmalar son yıllarda dikkat çeken ve üzerinde durulan konuların başında gelmektedir (Chen vd., 2010: 681; Tsou ve Hsueh, 2010: 746). Sıklıkla araştırılan bir konu haline gelen gemi karşılaşma durumu ve denizde çatışmadan kaçınma rotası problemi üzerine farklı yaklaşımlar sunan araştırmacılar, çeşitli yöntem, teknik ve modeller önermişlerdir. Literatürde yer alan bu araştırmaları yaklaşım tiplerine göre; *deterministik (belirlenimci) yaklaşım*, *yapay zekâ yaklaşımı*, *melez* (*hibrit) sistemler yaklaşımı* ve *benzetim (simülasyon) yaklaşımı* olmak üzere 4 alt başlığa ayırmak mümkündür.

Bu çözüm yaklaşımları farklı boyutlar göz önünde tutulduğunda birbirlerine göre bazı avantajlara ve dezavantajlara sahiptirler. Şekil 60'da, bu yaklaşımların farklı boyutlara göre karşılaştırma grafiğini gösterilmektedir. Örneğin deterministik yöntemler, *optimallik* (en iyi değere ulaşma kapasitesi) boyutunda üstün performans sunabilirken, *ölçeklenebilirlik* (büyük ölçekli problemlerle başa çıkma yeteneği), *modelleme* (gerçek hayat sistemlerini temsil eden modeller geliştirme kapasitesi), *belirsizlik* (içeriği tam net olmayan senaryolarla başa çıkma yeteneği) ve *hesaplama süresi* (özellikle büyük ölçekli problemler için çözüme ulaşma süresi) gibi boyutlarda sınırlamalara sahiptirler (Chica vd., 2017: 9).

**Şekil 60:** Çözüm Yaklaşımlarının Farklı Boyutlara Göre Karşılaştırması




Kaynak: Chica vd., 2017: 9.

#### 4.5.1.1. Deterministik (Belirlenimci) Yaklaşım

Deterministik (belirlenimci) yöntemler genellikle en iyi çözümü bulmak için kullanılan ve her kullanışta tekrar eden sonuçlar veren modeller olarak ifade edilir. (Akkoyunlu ve Engin, 2011: 140). Bu tip yöntemler sıkı ve kesin işlem süreci takip ederler ve model sonucu değerleri tekrar edilebilirdir (Yang, 2010a: 3). Bunun yanında, çoğu geleneksel ve klasik algoritmaların deterministik bir yapıya sahip olduğu (Yang, 2010a: 4) ve günümüzde giderek etkinliğini kaybederek gerçek zaman (real time) karar verme süreçlerindeki karmaşıklığı açıklamakta zorlandığı ifade edilmektedir (Büyükyazıcı ve Taşar, 2011: 5).

İlgili literatürde deterministik yaklaşımlar, seyir ve rota problemleri ile ilgili belirli matematiksel tanımlamaları içermektedir. Bu tür yaklaşım ile önerilmiş modeller (Yavin vd., 1997; Szlapczynski, 2007; Szlapczynski, 2008; Tam ve Bucknall, 2013), denizde çatışmayı önleme problemi için kesin sonuçlar veren matematiksel tanımlar kullanmaktadır. Kesin sonuç verebilmeleri sebebiyle optimale yakın sonuçlar

veren yapay zekâ yaklaşımlı modellere göre avantaja sahiptirler fakat çözüm süresi uzayabildiği için gerçek zamanlı ve kısa sürede çözülmesi gereken problemler için dezavantaja sahiptirler. Bu bölümde literatürde yer alan deterministik yaklaşım ile önerilmiş bazı önemli modellere yer verilecektir.

Kwik (1989) çalışmasında, yaklaşmakta olan gemilerin emniyetli mesafeden geçebilmeleri için çatışmadan kaçınma manevralarının belirlenmesine yönelik model önermişlerdir. Optimal sonuç üretme amacı olmadan oluşturulmuş bu modelde hesaplamalar gemi kinematiğine bağlı olarak yapılmaktadır. Modelde çözüm için gerekli olan girdi değişkenleri hız, rota ve gemilerin nisbi pozisyonlarıdır. Senaryo örneklerinde genellikle tutarlı sonuçlar elde edilse de bazı sonuçların tutarsız sonuç verdiği ifade edilmektedir. Bunun nedeni olarak gemi parametrelerinin düzenli olarak elde edilememesi gösterilmektedir.

Lisowski ve Smierzchalski (1995) çalışmalarında, çatışmadan kaçınma problemi için yörünge ve emniyetli manevra yapısı tahsis etmek için bir metot önermişlerdir. Çatışmadan kaçınma süreci; çatışma tehdidi değişkeninin (CTPA – Collision Threat Parameters) tanımlanması ve gerekli manevra, uygulanabilir manevra tablosu (TAM – Table of Admissible Manoeuvers) kullanılarak yörüngenin tahsis edilmesi ve maksimum prensibi kullanılarak doğrusal olmayan programlama görevi olmak üzere üç alt başlık altında oluşturulmuştur. Yazarlar tarafından ortaya çıkan sonuçlar emniyetli yörünge tahmini için tutarlı olarak değerlendirilmiştir.

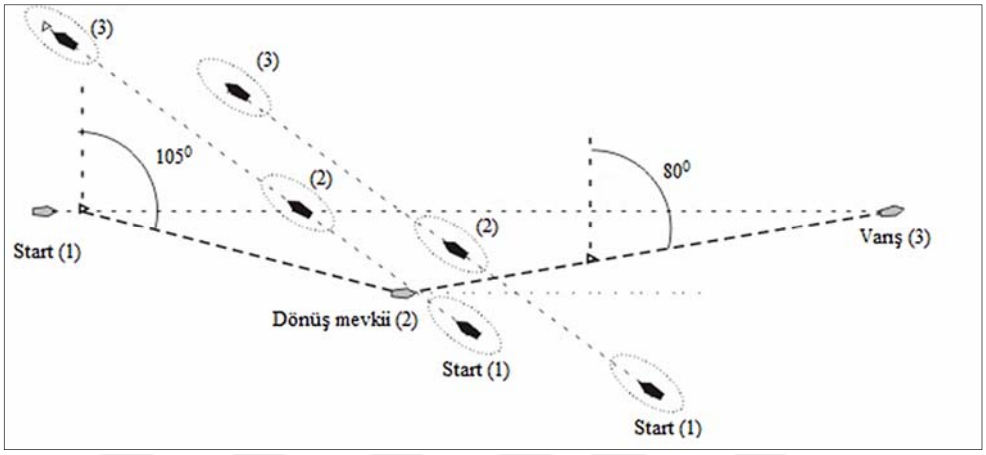
Yavin vd. (1997) çalışmalarında, bir pozisyondan başka bir pozisyona giden bir geminin rotası üzeninde yer alan engellerden kaçınmak amacıyla dümen komutları öneren bir matematiksel metot önermişlerdir.

Miele ve Wang (2005) çalışmalarında, "multiple-subarc sequential gradient-restoration" algoritması temelli bir maksimin çözücü model geliştirmişler ve kesişme (crossing) ve pruva-pruva (head-on) karşılaşma senaryolarında çatışmadan kaçınma problemi çözümü için uygulamışlardır. Modelin ortaya koyduğu sonuçlar yazarlar tarafından tutarlı olarak değerlendirilmiş ve modelde yer alan alt parçaların arttırılması ile tutarlılığın yükseleceğini ifade etmişlerdir.

Szlapczynski (2007) çalışmasında, karşılaşma durumunda uygulanabilecek yeni bir deterministik model önermiştir. Önerilen modelde yer alan algoritma; belirli bir hedef için en yakın yaklaşma rotasının (closest approach courses) belirlenmesi,

belirli en yakın yaklaşma rotası için yasaklı seyir alanının belirlenmesi, karşılaşma durumu için manevrasının uygulanması ve yeni rotada ne kadar süre seyredileceğinin belirlenmesi olmak üzere dört adımdan oluşmaktadır. Çalışmada geliştirilen ve temel olarak bu adımlardan oluşan algoritmanın önermiş olduğu rota şekil 61'de örneklendirilmiştir.

**Şekil 61:** Çatışmadan Kaçınma Manevrası Örneği: Szlapczynski (2007)




Kaynak: Szlapczynski, 2007: 83.

Tam ve Bucknall (2013) çalışmalarında, çatışma rotasında olan gemiler için COLREG kurallarına uygun deterministik yörünge planlama algoritması önermişlerdir. Önerilen algoritma iki temel bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, çevrede yer alan diğer gemiler ve engellerin çatışma riskinin değerlendirilmesi; ikinci bölüm ise, çatışma riskini ortadan kaldırmak için gerekli olan manevra hareketini içermektedir. Gemiler arasında çatışma riski olması durumunda "avoidance_manoeuvre" alt programı devreye girerek gerekli olan çatışmadan kaçınma hareketini gemilerin risk derecesine göre öncelik vererek önermektedir.

#### 4.5.1.2. Yapay Zekâ Yaklaşımı

Yapay zekâ, genel olarak; bilgisayar veya bilgisayar kontrolü altındaki bir makinenin, insana dair özellikler olan; akıl yürütme, genelleme yapma, deneyimlerden öğrenme ve anlam çıkarma gibi zihinsel temele dayanan görevleri yapabilme yeteneği olarak tanımlanır (Nabiyev, 2012: 25). Russell ve Norvig (2010: 2) yapay zekâ

tanımlarını literatürdeki farklı yaklaşımlara göre insan gibi düşünme (*Thinking Humanly*), rasyonel düşünme (*Thinking Rationally*), insan gibi davranma (*Acting Humanly*) ve rasyonel davranma (*Acting Rationally*) olmak üzere dört kategoriye ayırmıştır. Bu tanımlamalara göre insan merkezli yaklaşımlar, insan davranış ile ilgili gözlem ve hipotezler içermekte ve deneye dayanmaktadır. Rasyonel yaklaşımlar ise matematik ve mühendislik entegrasyonunu içermektedir. Tablo 6'da, bu yaklaşımlar ile ilgili bazı yapay zekâ tanımı örnekleri gösterilmektedir.

**Tablo 6:** Farklı Kategorilere Göre Yapay Zekâ Tanımları

| *İnsan Gibi Düşünme* | *Rasyonel Düşünme* |
|---|---|
| "Bilgisayarları düşünmeye teşvik eden yeni çabalar… tam anlamıyla zekaya sahip makineler." (Haugeland, 1985)<br><br>"Karar verme, problem çözme, öğrenme gibi insani eylemlerinin otomasyonu." (Bellman, 1978) | "Hesaplama modelleri kullanılarak zihinsel yeteneklerin incelenmesi." (Charniak and McDermott, 1985)<br><br>"Algılama, akıl yürütme ve hareket etmeyi mümkün kılan hesaplama çalışmaları." (Winston, 1992) |
| *İnsan Gibi Davranma* | *Rasyonel Davranma* |
| "İnsanlar tarafından yapıldığında zekâ gerektiren işlevleri yerine getiren makine yaratma sanatı." (Kurzweil, 1990)<br><br>"İnsanların şu an için daha iyi yaptığı şeyleri bilgisayarlara nasıl yaptırılacağının çalışması." (Rich and Knight, 1991) | "Akıllı ajanların dizaynı üzerine yapılan çalışmalardır." (Poole *vd.*, 1998)<br><br>"Yapay olarak oluşturulmuş varlıkların akıllı davranışları ile ilgilidir." (Nilsson, 1998) |

Kaynak: Russell ve Norvig, 2010: 2.

Yapay zekâ yaklaşımı temel olarak; 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmış olan *bulanık mantık* (Grinyak and Devyatisil'nyi, 2016; Su vd., 2012; Perera vd., 2011; Lee vd., 2015; Perera vd., 2009), *sezgisel ve metasezgisel yaklaşımlar* (Hao vd., 2007; Tsou vd., 2010; Cheng vd., 2007; Lazarowska 2015b; Lazarowska, 2014), *yapay sinir ağları* (Simsir vd., 2014; Lisowski, 2000) ve benzeri yöntemlerden oluşmaktadır. Bu tip algoritmalar öğrenme kapasitesi ve yüksek hesaplama becerisi ile karmaşık problemler için kısa sürede optimal sonuçlar önerebilmektedir. Bu bölümde literatürde yer alan yapay zekâ tekniklerinden; bulanık mantık, sezgisel ve

metasezgisel yaklaşım ve yapay sinir ağları temelli bazı önemli modellere yer verilecektir.

#### 4.5.1.2.1. Bulanık Mantık

Bulanık mantık ve bulanık mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisi ilk olarak 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır ve 1970'li yılların ikinci yarısından sonra özellikle belirsizlik içeren sistemlere uygulanabilirliğini açıklayan çalışmaları (Zadeh, L. A., 1975a; Zadeh, L. A., 1975b; Zadeh, L. A., 1975c) ile birlikte aktif olarak uygulanmaya başlanmıştır. Mamdami (1974) ve Mamdami ve Assilian (1975) tarafından kontrol sistemlerinde uygulanabilirliğinin gösterilmesinden sonra zaman içinde sürekli gelişim göstermiş ve bilgi sistemleri, görüntü tanımlama ve optimizasyon gibi farklı uygulama alanlarında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır (Altaş, 1999: 81). Bulanık mantık; rıhtım vinci ve istif vinci çizelgeleme ve konumlandırma problemi (Expósito-Izquiero vd., 2016; Almutairi ve Zribi, 2016), konteyner istifleme ve konumlandırma problemi (Ries vd., 2014; Chou vd., 2010) rota optimizasyonu (Priadi vd., 2012; Marie ve Courteille, 2014), hız optimizasyonu (Wang vd., 2015) ve otonom gemi kontrolü (Sutton ve Jess, 1991; Velagic vd., 2003; Abril vd., 1997) gibi denizcilik alanı ile ilgili farklı problemlerin çözümünde de sıklıkla başvurulan yöntemlerden biridir. Bu bölümde, ilgili literatürde yer alan bulanık mantık temelli bazı önemli çalışmaların detaylarına yer verilecektir.

Grinyak and Devyatisil'nyi (2016) çalışmalarında, bulanık mantık temelli çatışmadan kaçınma sistemi oluşturarak olası risk durumlarını tespit etmeyi ve risk seviyesini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada yer alan bulanık temelli karar destek sistemi, Mamdani ve Sugeno bulanık çıkarım yöntemlerinin kombine edilmesi ile oluşturulmuştur. Bulanıklaştırma operatörü, hareketli ve sabit olmak üzere gemi hareketi ($P(t_i)$), düşük ve yüksek olmak üzere yaklaşma için tehlike durumu ($D(t_i)$), düşük, orta ve büyük olmak üzere AYNZ sözel girdi değişkenlerinden ve yeşil (emniyetli), sarı (kısmen emniyetli) ve kırmızı (tehlikeli) ($A(t_i)$) olmak üzere tehlike seviyesi sözel çıktı değişkeninden oluşturmaktadır. GTH'de görevli operatörlere destek vermesi amacıyla oluşturulan bu sistem 80 gemi bulunan bir bölgede test

edilmiş ve her gemi için yeşil, sarı ve kırmızı olmak üzere tehlike seviyeleri tanımlanmıştır.

Su vd., (2012) çalışmalarında, çatışma riski olan gemilerin emniyetli geçişine olanak vermesi amacıyla bir metot önermişlerdir. Bulanık temelli sistemin oluşturulmasında gemi manevrası ile ilgili girdiler AIS verileri üzerinden belirlenmiştir. Elde edilen AIS verileri için, Saaty (1987) tarafından önerilmiş ve literatürde sıklıkla uygulanan Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytical Hierarchy Process - AHP) yöntemi kullanılarak ağırlık değeri en yüksek faktörler belirlenmiştir. Gemi hızı, boyu, deniz durumu ve gemi tipi AHP sonuçlarına göre ağırlık değeri en yüksek faktörler olmuş ve bulanık sistem bu dört değişken üzerinden inşa edilmiştir. Çalışma farklı senaryolarda test edilmiş ve tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Perera vd., (2011) çalışmalarında, bulanık mantık temelli akıllı karar verme sistemi üzerine odaklanmıştır. Yol vermesi gereken geminin emniyet çemberi göz önünde tutularak çatışmadan kaçınma modeli oluşturma amacıyla bulanık üyelik fonksiyonları girdi ve çıktıları elde edilmiştir. Girdiler eğer-ise kuralı (if-then rule) ve bulanık çıkarım sistemi ile formüle edilmiş ve Matrix Laboratory (MATLAB) platformunda uygulanmıştır. Modelin çeşitli karşılaşma durumları için simülasyon deneyleri yapılmış ve COLREG kuralları dahilinde tutarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Lee vd., (2015) çalışmalarında, Bandler ve Kohout (1980) tarafından önerilmiş olan bulanık ilişkisel ürünler (BK fuzzy relational products) temelli çatışmadan kaçınma sezgisel arama algoritması geliştirmişlerdir. "Aday Sektör Kümesi Seçme Modülü (Candidate Sector Set Selection Module)" ve "Bilgi Tabanlı Sistem Modülü (Knowledge-Based System Module)" olmak üzere iki alt modülden oluşan sistem farklı karşılaşma senaryoları üzerinden test edilmiştir. Sistemin vermiş olduğu sonuçlar, A* Arama algoritması ile elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

#### 4.5.1.2.2. Sezgisel ve Metasezgisel Yaklaşım

1970'li yıllarda verimli ve etkili bir arama alanı keşfetmek için daha üst düzey çerçevede basit sezgisel metotları kombine eden yeni bir tahminleme algoritması

kavramı ortaya çıkmıştır. Metasezgisel olarak adlandırılan bu metot yunanca bulmak anlamına gelen "heuriskein" kelimesinden türeyen "sezgisel (heuristic)" ve üst seviye anlamına gelen "meta" kelimelerinden oluşmaktadır (Blum ve Roli, 2008: 4; Glover, 1986: 541).

Günümüze kadar optimizasyon problemleri için birçok yöntem ve metot önerilmiştir. Bu yöntemlerden sezgisel ve metasezgisel algoritmalar optimal çözüme ulaşma konusunda makul sürede kabul edilebilir sonuç verebilen algoritmalardır. Sezgisel ve metasezgisel optimizasyon algoritmaları; kimya tabanlı, fizik tabanlı, müzik tabanlı, sosyal tabanlı, sürü tabanlı ve biyoloji tabanlı olmak üzere alt kategorilere ayrılmaktadır (Akyol ve Alataş, 2012: 36). Sezgisel algoritmalar, verilen bir problem için makul sürelerde iyi çözümler üretmeyi hedefleyen bir yaklaşıma sahiptir. Bu tip algoritmalar; iş ve görev çizelgeleme (Pooranian vd., 2013; Xu vd., 2011; Meloni vd., 2004), yol ve yörünge belirleme (Homberger ve Gehring, 2005; Fan ve Mumford, 2010; Bouthillier ve Crainic, 2005), lokasyon belirleme (Hansen vd., 1994; Korupolu vd., 2000; Shannon ve Ignizio, 2007), proje ve kaynak yönetimi (Artır, 2016; Hegazy, 1999; Bell ve Han, 1991), trafik sinyal optimizasyonu (Ahmadpur, 2016; Sun vd., 2006; He vd., 2011) vb. farklı endüstri kolları ve uygulama alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanında, denizcilik endüstrisi ile ilgili; rota ve hız optimizasyonu (Norstad vd., 2011; Korsvik, vd., 2010; Kosmas ve Vlachos, 2012), yük elleçleme ekipmanları atama ve çizelgeleme (Zhang vd., 2010; Bish, 2003; Meisel ve Bierwirth, 2011), liman ve terminallerde yükleme operasyonu optimizasyonu (Kim ve Kim, 1999; Martin, 1982; Zeng ve Yang, 2009; Yılmaz vd., 2016) konteyner konumlandırma ve depolama (Virdil, 2012; Güven, 2014; Shintani vd., 2007), otonom seyir ve otonom gemiler (Escario vd., 2012; Kuvata vd., 2014) gibi farklı problemlerin çözümünde de sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Bu bölümde, ilgili literatürde yer alan sezgisel ve metasezgisel yaklaşım temeline dayanan bazı önemli çalışmaların detaylarına yer verilecektir.

Wei vd. (2015), denizde çatışmayı önleme probleminde minimum yakıt tüketimini temel alarak bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada, Kedi Sürü Algoritması (KSA) yöntemi kullanılarak problem çözümüne ulaşılmıştır. Tsou ve Hsueh (2010) çalışmasında yer alan yaklaşımı benimseyen bu çalışma sonucunda farklı senaryolar ile test edilen modelin etkili ve uygulanabilir olduğu ifade edilmektedir.

Lazarowska (2014), ilgili probleme Karınca Kolonisi Algoritması (KKA) yöntemi ile hareketli objelerin yanında statik objeleri de dikkate alan bir sistem geliştirmiştir. Bu çalışmada, emniyetli yörünge mevkiler (WP-waypoint) üzerinden belirlenmiş ve bu yörüngenin daha az muhtemel yol kaybı ile objelerden kaçınarak şekilde planlanması yapılmıştır. Hareketli objeler için düzgün altıgen, sabit objeler için ise içbükey ve dışbükey çokgenler ile emniyet alanı hattı oluşturulmuştur. Algoritma için girdi verileri objelerin pozisyon ve hareket bilgilerini içermektedir ve böylelikle sistem hangi hedeflerin tehlikeli olduğunu kontrol ederek sonuç üretmektedir.

Tsou ve Hsueh (2010), KKA yöntemi kullanarak rota değişimi ile çatışmadan kaçınma manevrası problemine yönelik bir sistem geliştirmişlerdir. Seyir, risk değerlendirmesi, manevra ve rotaya dönüş aşamaları üzerinden inşa edilen bir yaklaşımı benimseyen bu çalışma sadece rota değişimi manevrası ile çözüm önerisi getirmiştir. Farklı senaryolar ile algoritma test edilmiş ve etkin sonuçlar elde etmiştir.

#### 4.5.1.2.3. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beynindeki sinir hücreleri arasındaki iletişim yapısının makineler tarafından taklit edilerek, bilgi üretimi yolu ile herhangi bir yardım almadan otomatik olarak problemlere çözüm üretebilen bir yapay zekâ tekniğidir (Yegnanarayana, 2006: 9; Öztemel, 2012: 29). İlk ortaya çıkış tarihi 1940'lı yıllara dayanan bu yöntem, 1943 yılında McCulloch ve Pitts nöronların hesaba dayalı teorik matematiksel modelini önermesiyle uygulanmaya başlanmıştır. (Drew ve Monson, 2000: 1). Daha sonra Rosenblatt tarafından öğrenme yeteneğine sahip ilk yapay sinir ağı "perceptron" kavramının ortaya atılmasıyla endüstride kullanımı ilerleme kaydetmiş ve özellikle 1980'li yıllar itibariyle teknoloji ile birlikte sıklıkla başvurulan bir yöntem olmaya başlamıştır. (Cura, 2004: 5; Drew ve Monson, 2000: 1; Nabiyev, 2005: 579'dan aktaran Kızılkaya, 2017: 46). Girdi katmanı, ara katmanlar ve çıktı katmanı olmak üzere üç katmandan oluşan bu ağlar girdi katmanı ile dış dünyadan aldığı bilgiyi ara katmanlarda işleyerek çıktı katmanı ile tekrar dış dünyaya ileterek problem çözümüne ulaşmaya çalışırlar (Öztemel, 2012). YSA yöntemi; yenilenebilir enerji sistemleri uygulamaları (Kalogirou vd., 1996; Roberge vd., 1997; Negnevitsky ve Le, 1995), tıp ve sağlık sistemleri uygulamaları (Wu vd., 1993; McCartney vd.,

2014; Ayer vd., 2010), yerbilimi sistemleri uygulamaları (Zealand vd., 1999; Maier ve Dandy, 1996; Raman ve Sunilkumar, 1995), ekonomi ve finans tahminleme (Swanson ve White, 1997; Chen vd., 2003; Kim vd., 2004), kimya ve malzeme uygulamaları (Zhang ve Friedrich, 2003; Lee vd., 1999; Zhang vd., 2002), taşımacılık ve lojistik uygulamaları (Costa ve Markellos, 1997; Mostafa, 2006; Yasdi, 1999) vb. farklı endüstri kolları ve uygulama alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanında, denizcilik endüstrisi ile ilgili; gemi tahrik sistemleri (Li vd., 2011; Kuo vd., 2002), seyir ve manevra (Rajesh ve Bhattacharyya, 2008; Burns, 1995; Vicen-Bueno vd., 2010), gemi inşa (Sanders, 2009), pazar ve navlun tahminleme (Lyridis vd., 2004; Li ve Parsons, 1997) vb. problemlerin çözümünde de sıklıkla başvurulan yöntemlerden biridir. Bu bölümde, ilgili literatürde yer alan yapay sinir ağları yaklaşım temeline dayanan bazı önemli çalışmaların detaylarına yer verilecektir.

Lisowski (2000) gemi karşılaşma durumlarında belirli bir gemi için emniyetli bir yörünge belirlemek amacıyla dinamik programlama uygulayarak bir sistem geliştirmişlerdir. Gemi kontrol süreci için Bellman (1957) tarafından geliştirilmiş olan dinamik programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Yapay sinir ağları ile bölgede yer alan hedeflerin çatışma riski dereceleri hesaplanarak daire, elips, çokgen ve parabol şeklinde farklı emniyet alanları belirlenmiştir. Farklı senaryo örnekleri ile test edilmiş olan sistemin tutarlı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Lisowski (2016) karşılaşma durumlarında emniyetli yörünge için statik ve dinamik olmak üzere yapay sinir ağları, çok adımlı matris oyun ve çok kademeli konumsal oyun teorisi temelli altı metot önermiştir.

#### 4.5.1.3. Hibrit (Melez) Yaklaşım

1970'li yıllardan başlayarak yaklaşık yirmi yıl boyunca araştırmalar standart metasezgisel algoritmaların uygulanmasıyla yürütülmüştür. Fakat, daha sonra tek bir metasezgiselin problem çözmede kısıtlı kaldığı ve diğer bir algoritma ile kombine edilmesinin özellikle büyük ölçekli gerçek hayat problemlerinin çözümünde daha etkili ve uygulanabilir olabileceği düşüncesiyle yola çıkılarak hibrit algoritmalar ortaya çıkmıştır (Blum ve Roli, 2008: 2). Hibrit algoritmalar; parçacık sürü optimizasyon algoritması ve genetik algoritma (Shi vd., 2005), parçacık sürü

optimizasyon algoritması ve tabu arama algoritması (Zhang vd., 2009), genetik algoritma ve tabu arama algoritması (Li ve Gao, 2016), yerçekimsel arama algoritması ve parçacık sürü optimizasyon algoritması (Mirjalili ve Hashim, 2010), yapay sinir ağları ve bulanık mantık (Kawamura ve Miyamoto, 2003) vb. en az iki farklı deterministik veya stokastik algoritmanın birlikte kullanılarak daha etkin sonuçlar vermesine yönelik oluşturulan algoritmalardır. Bunun yanında "simheuristic" olarak ifade edilen simülatör tekniği ve sezgisel algoritmaların entegrasyonu ile oluşturulmuş yöntemler de mevcuttur (Juan vd., 2015; Gonzalez-Martin vd., 2016). Hibrit algoritmalar; iş ve görev çizelgeleme (Zhang vd., 2009; Zhou vd., 2009), enerji optimizasyonu (Yan vd., 2006; Jenny vd., 2001), rota ve yörünge optimizasyonu (Mei vd., 2006; Juan vd., 2010), üretim hattı çizelgeleme (Atighehchian vd., 2009; Williams, 1983) vb. farklı endüstri kolları ve uygulama alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanında, denizcilik endüstrisi ile ilgili; rıhtım planı çizelgeleme (Han vd., 2006; Xu vd., 2012), yük elleçleme ekipmanları çizelgeleme (Chen vd., 2007; He vd., 2010), gemi bakım planı çizelgeleme (Derisa vd., 1999), gemi hareketi tahmini (Zhou and Shi, 2010), yükleme planı çizelgeleme (Dahal vd., 2001; Li vd., 2006) vb. problemlerin çözümünde de sıklıkla başvurulan yöntemlerden biridir. Bu bölümde, ilgili literatürde yer alan hibrit yaklaşım temeline dayanan bazı önemli çalışmaların detaylarına yer verilecektir.

Cheng ve Liu (2007) çalışmalarında, genetik algoritma ve benzetilmiş tavlama algoritması entegrasyonu sonucu ortaya çıkardıkları hibrit bir model olan genetik tavlama algoritması kullanmışlardır. Farklı senaryo örnekleri ile test edilen sistemin güvenilir sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Perera vd. (2015) çalışmalarında otonom seyir üzerine deneysel uygulamalarda bulunmuşlardır. Bulanık mantık ve yapay sinir ağları entegrasyonundan oluşan bu sistem; gemi trafiği izleme ve bilgi sistemi, çatışmadan kaçınma sistemi ve gemi kontrol sistemi olmak üzere üç alt sistemden oluşmaktadır. Modelde, gemi pozisyonu, hız, rota gibi bilgiler yapay sinir ağları ile analiz edilerek yörünge ve ivmelenme tahmini yapılmaktadır. Gemi trafiği izleme ve bilgi sisteminden gelen bu bilgiler seyir planlama sistemine aktarılır ve bulanık mantık temelli karar verme süreci başlar. Bu sürecin sonunda ortaya çıkan sonuç gemi kontrol sistemine aktarılarak gerekli

hareketin yapılması sağlanır. COLREG kurallarını dikkate almayan bu sistem geçiş üstünlüğü bulunan durumlarda da manevra yapma komutu vermektedir.

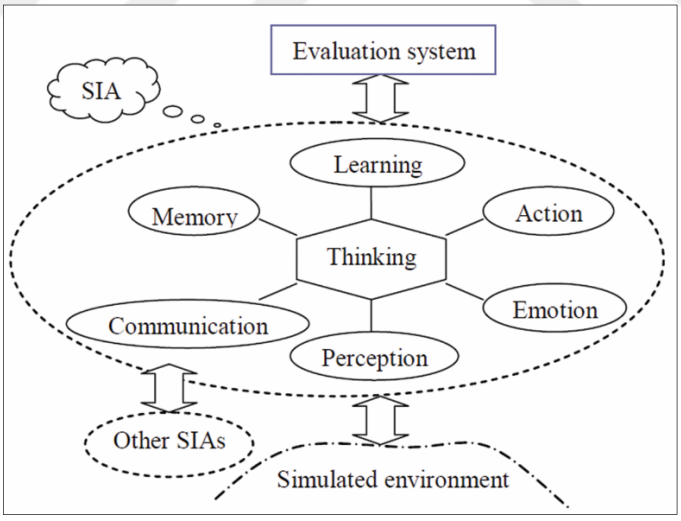
#### 4.5.1.4. Simülasyon Yaklaşımı

Simülasyon yöntemi, genellikle uygun yazılımların yer aldığı bilgisayarlar vasıtası ile gerçek sistemlerin davranışlarını taklit etmek amacıyla yöntemler ve uygulamaların bir araya toplanması olarak tanımlamaktadır. Genel bir bakış ile bu yöntem, belirli şartlar altında oluşturan gerçek sistemlerin gösterdiği davranışların daha iyi anlaşılabilmesi için bilgisayar destekli modellerinin dizayn edilmesi ve yaratılması sürecidir (Kelton vd., 2003: 3-7). Diğer bir tanımlama ile optimizasyon için formüle edilemeyen karmaşık sistemlerin incelenmesi ve öğretilmesi için kullanılan bilimsel bir metodolojidir (Hassan, 1993: 18; Turban vd., 2007: 185). Simülasyon tekniği ile oluşturulan modeller her zaman optimum sonuçlar sunamayabilir. Farklı değişkenler ile tüm senaryolar incelenerek sistemin performansı ölçülmektedir. Bu sebeple simülasyon yöntemi direkt sistemi optimize etmek yerine, çeşitli senaryolara göre optimizasyonunu sağlamaya çalışan bir araçtır (Esmer, 2009: 95). Simülasyon yöntemi, normatif bir yöntem olmaktan ziyade tanımlayıcı bir yöntemdir ve optimal çözüme ulaşmak için otomatik arama yapmamaktadır. Bunun yerine farklı koşullar altında belirli bir sistemin karakteristik özelliklerini açıklar ve tahmin eder. Sistemin değerleri hesaplandıktan sonra çeşitli alternatifler içinden en iyisini seçebilir (Turban vd., 2007: 185). Sistemler üzerine model inşa ederek deneysel sonuçlar elde etmeye yarayan simülasyon yöntemi (Kelton vd., 2003: 4) farklı endüstri kolları ve uygulama alanlarında araştırmacıların sıklıkla başvurduğu yöntemlerden biridir. Bu endüstri kolları ve uygulama alanları; kimya endüstrisi (Gillespie, 1977; Gibson ve Bruck, 2000, Andrews and Bray, 2004), kaynak yönetimi ve süreç geliştirme (Petrides vd., 2002; Petrides vd., 1989; Buyya ve Murshed, 2002), üretim sistemleri ve üretim planlama (Zahraee vd., 2014; Siemiatkowski ve Przybylski, 2007; Abdulmalek ve Rajgopal, 2007), havacılık sektörü (Corker ve Smith, 1993; Bazargan vd., 2002), sağlık sektörü (Baesler ve Sepúlveda, 2001; Ahmed ve Alkhamis, 2009) vb. alanlar olarak sıralanabilir. Bunun yanında, denizcilik endüstrisi ile ilgili; liman operasyonları planlama (Gambardella vd., 1998; Tahar ve Hussain, 2000; Legato ve

Mazza, 2001), kapasite analizi (Özkan vd., 2016; Uçan ve Nas, 2016), rıhtım ve rıhtım vinci atama ve planlama (Legato vd., 2008; Arango vd., 2013; Arango vd., 2011), deniz ve gemi güvenliği (Jakob vd., 2012; Vanek vd., 2011) vb. problemlerin çözümünde de sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Bu bölümde, ilgili literatürde yer alan simülasyon yöntemi temeline dayanan bazı önemli çalışmaların detaylarına yer verilecektir.

Liu vd. (2007) çalışmalarında, çoklu-ajan temelli simülasyona dayalı bir model oluşturmuşlardır. Çalışma, şekil 62'de gösterildiği üzere, algılama (perception) ünitesi, bellek (memory) ünitesi, haberleşme (communication) ünitesi, his (emotion) ünitesi, aksiyon (action) ünitesi, öğrenme (learning) ünitesi ve düşünme (thinking) ünitesi olmak üzere yedi alt üniteden oluşan ve "Ship Intelligent Agent (SIA)" olarak isimlendirilen bir yapı üzerine inşa edilmiştir. VC++ programlama platformunda geliştirilen simülasyon sistemi üzerinde SIA ile hareket eden dört adet ajan geminin yer aldığı bir senaryo oluşturulmuştur. Birbirleri ile iletişimde olan ajanlar; hız, rota, mevki, AYN, AYNZ gibi bilgi alışverişinde bulunarak yörüngelerini belirlemektedir.

**Şekil 62:** SIA'nın Temel Yapısı




Kaynak: Liu vd., 2007.

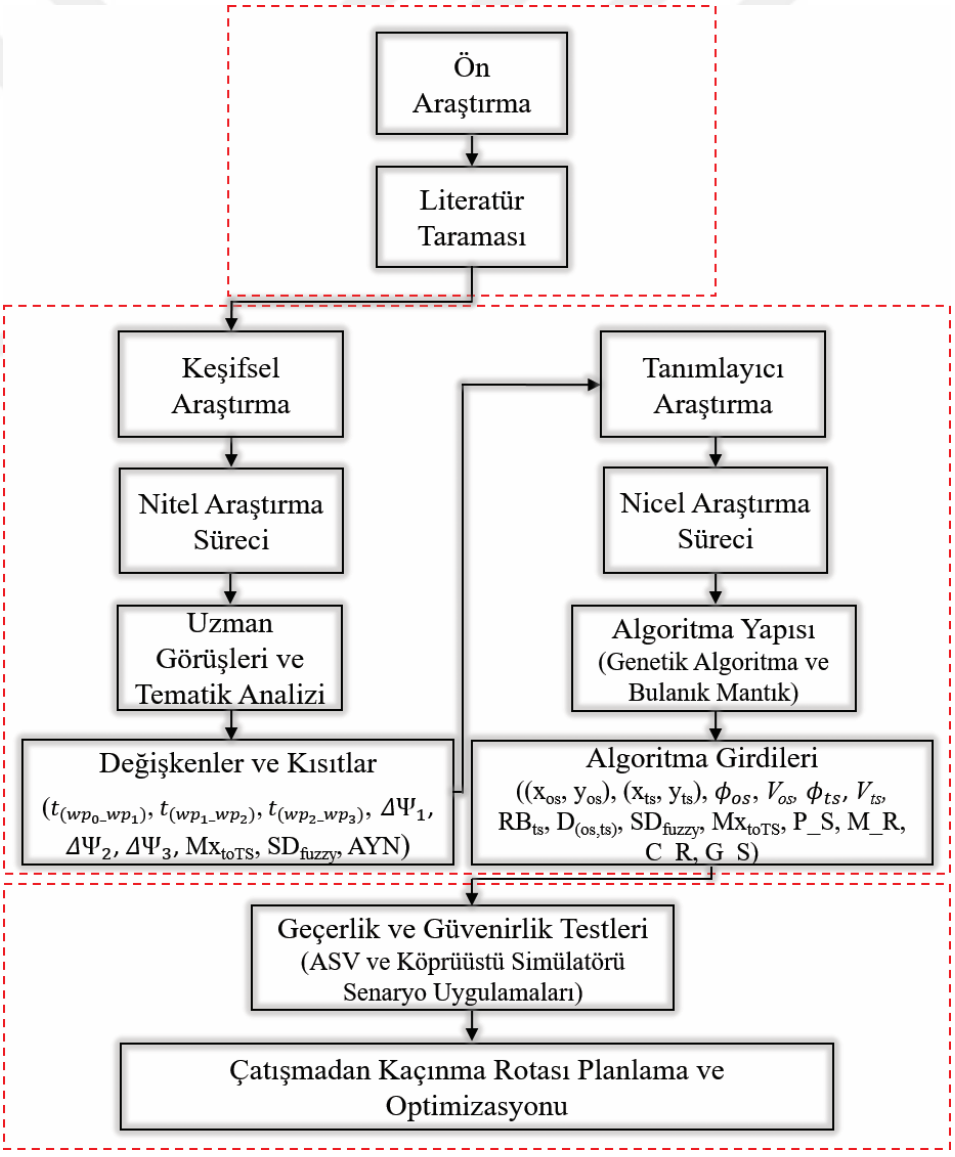
Johansen vd. (2016) çalışmalarında öngörülü kontrol modeli temeline dayanan bir konsept tanımlamışlardır. Sistemde belirli parametreler üzerinden alternatif kontrol davranışları oluşturulmuştur. Suüstü engellerinin ve gemilerin yörüngelerinin simülasyon temelli tahminleri üzerinden optimal alternatif kontrol davranışları

üretilmesi sağlanmıştır. COLREG kurallarına göre inşa edilmiş sistem farklı senaryo örnekleri ile test edilmiş ve etkili sonuçlar elde edilmiştir.

### 4.5.2. Araştırmanın Kavramsal Modeli

Bu araştırma teorik olarak, bir geminin başka bir gemi ile çatışma riski içerir şekilde karşılaması durumunda uygulayacağı manevra sürecinin planlanmasını ve optimize edilmesini kapsamaktadır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan kavramsal model şekil 63'te gösterilmektedir.

**Şekil 63:** Araştırmanın Kavramsal Modeli




Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Keşifsel ve tanımlayıcı amaçlar doğrultusunda nitel ve nicel araştırma süreçlerinden oluşan kavramsal modelde, çözüm algoritmasında yer alan değişkenler, kısıtlar ve girdiler, geçerlik ve güvenirlik testlerinin nasıl yapıldığı ve hedeflenen çıktı genel hatları ile gösterilmektedir.

Araştırmanın kavramsal modeli ana hatları ile 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada araştırma konusu ile ilgili uzman görüşleri ve tavsiyeleri alınarak bir ön araştırma yapılmış ve ilgili literatür incelenmiştir. İkinci aşamada keşifsel ve tanımlayıcı araştırmalar yapılmıştır. Keşifsel süreçte nicel araştırmanın değişken kısıtlarının ve senaryo girdilerinin belirlenmesi amacıyla nitel araştırma yöntemlerinden görüşme tekniği kullanılarak ortaya çıkan bulgular analiz edilmiştir. Daha sonra genetik algoritma ve bulanık mantık temelli algoritma yapısı oluşturularak problemin çözümüne dair ilk sonuçlar elde edilmiştir. Son aşamada ise geliştirilen sistem geçerlik ve güvenirlik kontrolü için gerçek ve sanal ortamda test edilmiştir.

### 4.5.3. Araştırmanın Süreci

Bu araştırmada ilk olarak yapılması düşünülen araştırma konusu ile ilgili uzman fikirleri ve tavsiyelerini almak amacıyla bir ön araştırma yapılmıştır. Bununla birlikte otonom gemi, otonom kontrol, çatışmadan kaçınma, karar verme, karar destek sistemi, rota planlama, optimizasyon, gemi seyri, gemi manevrası vb. konular hakkında literatür taramasına başlanmıştır. Ön araştırma ve literatür taraması göz önünde tutularak tez başlığı önerisi hazırlanmış ve jüri tarafından kabul edilmiştir. Güncel kalması amacıyla literatür taraması araştırma sürecinin tamamına yayılmıştır. Bunun yanında araştırma süresince DEÜ Fen Fakültesi Bilgisayar Bölümü, Fen Bilimleri Enst. Bilgisayar Bil. A.B.D. ve Fen Bilimleri Enst. İstatistik A.B.D. bölümü ve programlarında misafir öğrenci olarak konu ile alakalı lisans, yüksek lisans ve doktora derslerine düzenli olarak katılım sağlanmıştır. Araştırma süreci içinde ayrıca Eylül 2016'da ODTÜ'de düzenlenen Yapay Öğrenme ve Bilgi İşlemede Yeni Teknikler Yaz Okulu'na katılım sağlanmıştır.

Araştırmanın bir projeye dönüştürülmesi amacı ile DEÜ BAP birimine başvuru yapılmıştır. Proje başvurusu yapılan değerlendirmeler neticesinde kabul edilmiş ve 12 aylık süre sonunda tamamlanarak teslim edilmiştir. Bunun yanında, yurt dışında

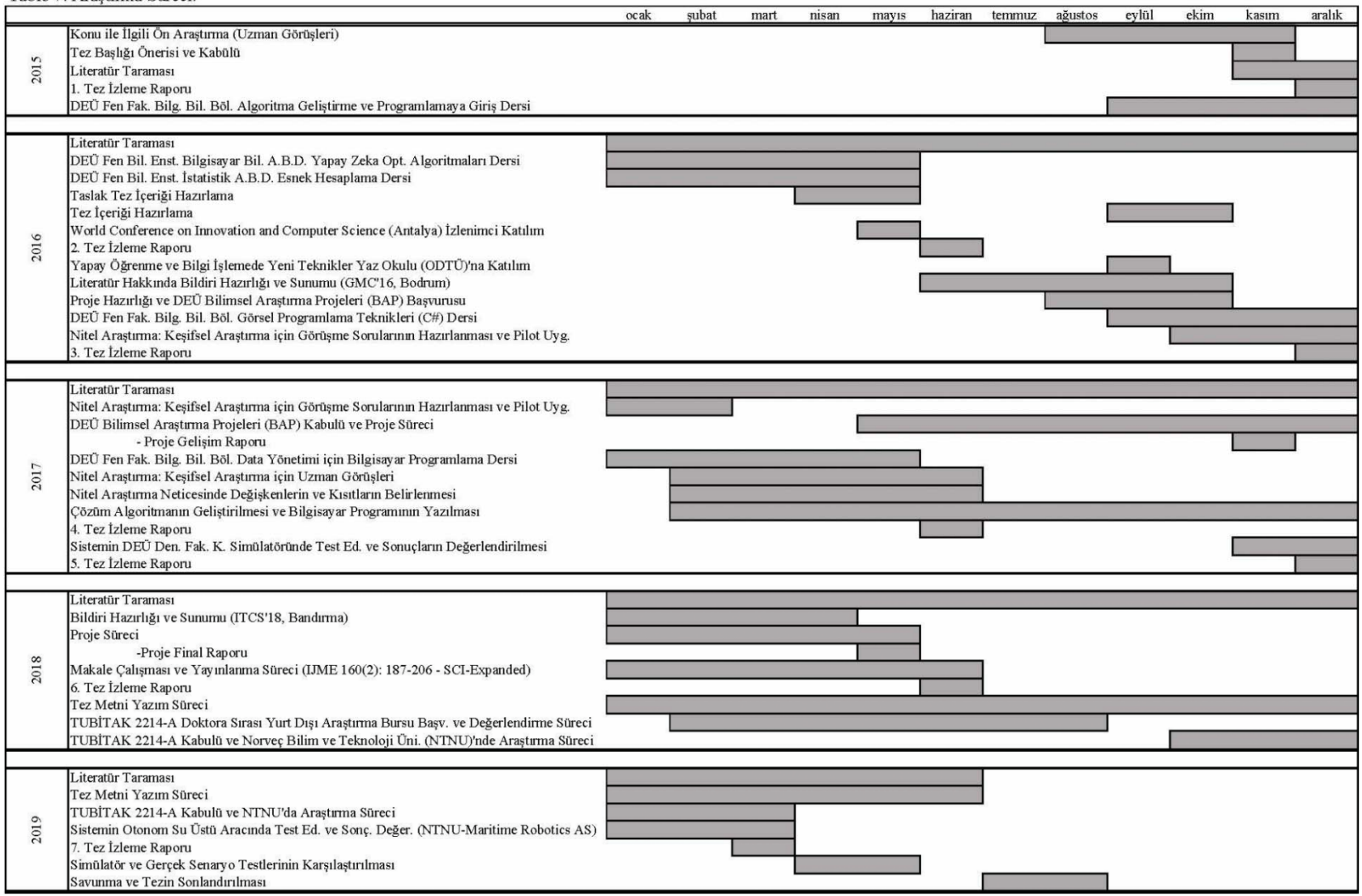
benzer çalışmalar yapan kişi ve kurumlar ile birlikte bir süreliğine araştırma yapmanın tez çalışmasına katkı sağlayacağı düşüncesiyle TUBİTAK 2214-A Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı'na başvuru yapılmıştır. Başvuru, TUBİTAK tarafından yapılan değerlendirmeler sonucunda, NTNU'da 29.10.2018 – 04.03.2019 tarihleri arasında araştırma yapmak üzere kabul edilerek desteklenmiştir. NTNU'da bulunulan süre boyunca araştırma kapsamında geliştirilen sistemin, üniversite ve işbirliği içinde olduğu Maritime Robotics AS (MR) firmasının ortak sahip olduğu otonom su üstü aracı ile gerçek ortamda test edilme olanağı da elde edilmiştir. Bu süre içinde NTNU'dan iki akademisyen ve MR'dan iki mühendis ile birlikte çalışılarak sistemin ASV'de uygulanabilmesi sağlanmıştır. Norveç'te gerçekleştirilen araştırma sürecine ait detaylar ek 1'de gösterilmektedir. Sistemin sanal ortamda ise testleri DEÜ Denizcilik Fakültesi köprüüstü seyir simülatöründe gerçekleştirilmiştir. Gerçek ve sanal ortamda gerçekleştirilen bu testlerin detayları ilgili bölümde verilmektedir.

Diğer taraftan araştırma kapsamında bildiri ve makale çalışmaları da ortaya çıkmıştır. Konu ile ilgili bazı kongrelere katılım sağlanarak bildiri sunulmuş, International Journal of Maritime Engineering (IJME) (SCI-Expanded journal) dergisinin 160(2) nolu sayısında ise makale yayınlanmıştır.

Araştırma süresince toplam 7 adet tez izleme toplantısı yapılmış ve tümünde gelişmekte olarak ortak karar alınarak başarılı olunmuştur.

Tablo 7'de araştırma sürecine ait tüm detaylar, tablo 8'de ise araştırma aşamalarının türü, amacı, analiz şekli ve kapsamına ait detaylar gösterilmektedir.

Tablo 7. Araştırma Süreci.



**Tablo 8:** Araştırma Aşamalarının Türü, Amacı, Analiz Şekli ve Kapsamı

| Araştırma Türü | Araştırmanın Amacı | Analiz Şekli | Kapsam |
|---|---|---|---|
| Literatür Taraması (Nitel Araştırma) | Otonom gemi, otonom kontrol, çatışmadan kaçınma, karar verme, karar destek sistemi, rota planlama ve optimizasyon, gemi seyri, gemi manevrası vb. alanlarındaki kitap, makale, kitap bölümü, lisansüstü tezleri, tebliğ, rapor vb. gibi bilimsel yayınlar incelenerek ilgili literatürün mevcut durumunu ortaya koymak ve denizde çatışmadan kaçınma rota planlamasını etkileyen ölçütleri ve etkenleri belirlemek. | Denizde trafik kurallarını düzenleyen mevzuat (COLREG) göz önünde tutularak, nitel araştırma kapsamında uygulanan uzman görüşmeleri için ve nitel araştırma sonucu nicel araştırma kapsamında kullanılacak değişkenlerin ve ölçütlerin tespit edilmesi. | DEÜ ve NTNU kütüphaneleri ve ulusal ve uluslararası veri tabanları. |
| Uzman Görüşmeleri ve Tematik Analizi (Nitel Araştırma) | Çözüm algoritmasının geliştirilmesinde kullanılmak üzere uzman görüşleri sonucu değişkenleri ve kısıtları ortaya çıkarmak. | Uzman görüşlerinin NVivo 12 programı ile analiz edilmesi. | Deniz ticaret filolarında çalışmış veya halen çalışmakta olan uzak yol kaptan, uzak yol birinci zabit ve uzak yol vardiya zabiti yeterliliğine sahip uzmanlar. |
| Optimizasyon (Nicel Araştırma) | Problemi tanımlamak ve çözüm algoritmasını geliştirmek. | Microsoft Visual Studio platformu üzerinde C# programla dili ve MATLAB R2016b kullanarak programın geliştirilmesi. | Microsoft Visual Studio, MATLAB R2016b. |
| Deneysel Testler (Nicel Araştırma) | Örnek senaryolar üzerinden sistem çıktılarını test etmek. | Köprüüstü seyir simülatörü ve gerçek otonom su üstü aracı ile testlerin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi. | DEÜ Köprüüstü Seyir Simülatörü ve NTNU AMOS / Maritime Robotics AS Otonom Su Üstü Aracı. |

### 4.5.4. Nitel Araştırma Süreci

Tüm bilimlerin ortak amacı, çeşitli yöntem ve araçlar kullanarak bir deneyimin ya da olgunun evrimi hakkındaki soruların cevaplarını aramak ve ortaya koymaktır (Jackson vd., 2007: 21). Bu amaç doğrultusunda bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisi de nitel araştırma yöntemidir. Nitel araştırma yöntemi, "*gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi nitel veri toplama tekniklerinin kullanıldığı, algıların ve olayların doğal ortamda gerçekçi ve bütüncül bir biçimde ortaya konmasına yönelik nitel bir sürecin izlendiği araştırma*" olarak tanımlanmaktadır (Yıldırım ve Şimşek, 2011: 39). Diğer bir ifade ile anlayışlar, deneyimler, tutumlar ve ilişkiler gibi sosyal dünyanın çeşitli boyutlarının keşfedilmesinde kullanılan bir yöntemdir (Mason, 2002: 1).

Nitel araştırma, tümevarımcı bir yaklaşımla, sosyal olguların ve davranışların doğal ortamları içinde araştırılmasına yönelik organize edilen bir yaklaşımdır (Çokluk vd., 2011. 96). Açıklayıcı ve yorumlayıcı bir temele dayanan bu yaklaşım çoklu sorgulama yöntemleri kullanmaktadır. Tarih boyunca nitel araştırma yöntemi, antropoloji, sosyoloji, psikoloji, tarih, işletme vb. gibi birçok sosyal bilimler disiplinleri ile ilişki içinde olmuş ve ilgili alanlarda bilgi üretmede kullanılmıştır. Nitel araştırma temel olarak açıklayıcı ve yorumlayıcı bir yaklaşımdır. Genellikle kontrol ve tahmin etme gibi amaçlar için yapılan nicel araştırma yönteminin aksine; tanımlama, analiz etme, yorumlama ve açıklama üzerine odaklanmaktadır. Nitel araştırmada bir konu üzerine nihai sonuca ulaşabilmek amacıyla araştırma süreci sorular ile başlamaktadır. Süreç içinde araştırmacı, verileri toplar ve bu verileri çeşitli araçlar ile analiz ederek bilgiye ulaşmayı amaçlamaktadır (Rossman ve Rallis, 2012: 4-9).

Nitel araştırmada araştırmayı yürüten araştırmacı şu temel konuları dikkate almalıdır. Araştırmacı araştırmanın kavramsal çerçevesini açık bir şekilde belirlemeli, ulaşılabilir, esnek ve sistematik bir araştırma stratejisi oluşturmalı ve okuyucu tarafından rahat anlaşılabilir, tutarlı ve anlamlı bir rapor hazırlamalıdır (Yıldırım ve Şimşek, 2011: 84; Karataş, 2017: 73).

Nitel araştırma yöntemi esnekliği ve akıcılığı sayesinde, kişilerin tecrübelerini ve yorumlarını ortaya çıkarma ve analiz etmede uygun bir yöntemdir. Bu yöntemde

veri toplama araçları sadece “ne” sorusunu sormaz. Bunun yanında “neden”, “ önemi nedir”, “detaylandır”, “süreç nedir” gibi ifadeler ve sorular ile detaylı bir veri toplama imkânı sunmaktadır (Hesse-Biber ve Leavy, 2005’den aktaran Atik, 2013: 91). Nitel araştırma bütünüyle bir araştırmanın yöntemini oluşturabilir ya da nicel bir araştırma metodolojisinin değişkenlerinin belirlenmesinde tamamlayıcı bir rol üstlenebilir (Topkaya, 2006: 113). Araştırma sonucunda analizlere dayanarak iddialarda bulunacağı ve bilgi üretileceği için nitel araştırmada araştırma sürecinin iyi kurgulanması ve uygulanması gerekmektedir (Mason, 2002: 1).

Yukarıda da ifade edildiği üzere, nitel bir araştırma nicel bir araştırma metodolojisinin değişkenlerinin belirlenmesinde tamamlayıcı bir rol üstlenebilmektedir. Buradan hareketle bu çalışmada, nicel araştırma sürecinde kullanılan değişkenler ve kısıtlar nitel araştırma yöntemi desteği ile belirlenmiştir.

#### 4.5.4.1. Araştırmanın Kısıtları

Bu araştırmanın nitel araştırma sürecinin ana kütlesini, gemilerde seyir vardiyası tutmuş, hâlihazırda aktif olarak gemilerde çalışmaya devam eden veya denizde çalışmayı bırakmış zabitler ve kaptanlar oluşturmaktadır. Bu tür çalışmalarda tüm ana kütleye ulaşma imkânı çok mümkün olmadığı için araştırmalar örneklem üzerinden gerçekleştirilerek genelleme yapılmaktadır. Bu araştırmanın örneklem süreci, 4.5.4.2. Örneklemin Belirlenmesi alt başlığı altında detaylı olarak verilmektedir. Örneklem büyüklüğü 1 Pilot görüşme dâhil olmak üzere toplam 10 kişidir. Her ne kadar anahtar verilerin elde edilmesinin amaçlandığı görüşmeler için yeterli görülen örneklem sayısına ulaşılsa da, verilerin daha detaylı ortaya çıkarılması açısından mevcut örneklem araştırmanın kısıtlarından biri olarak kabul edilebilir.

Bulgular bölümü tablo 11’de görülebileceği üzere, bazı temaların veri kaynağı sayısı toplam katılımcı sayısından daha azdır. Bunun nedeni yapılan görüşmelerde bazı katılımcıların bazı sorulara araştırmanın amacı doğrultusunda ulaşılmak istenen hedeflere uygun verileri ortaya koyacak net cevaplar vermemiş olmalarıdır. Bu durum da araştırmanın bir diğer kısıtı olarak ortaya çıkmaktadır.

#### 4.5.4.2. Örneklemin Belirlenmesi

Nitel araştırmalarda araştırmayı yürütecek kişinin ilgili alanı iyi tanıması ve yeterli bilgiye sahip olması gerekmektedir (Atik, 2013: 93). Bu tip araştırmalarda, araştırmanın yapılacağı alanın iyi incelenmesi ve birincil el verilere öncelik verilerek yürütülmesi önemlidir (Yıldırım ve Şimşek, 2011: 87).

Nitel araştırmalarda araştırma sürecinin önemli aşamalarında biri de örneklemin belirlenmesidir. Örneklem, belirli kurallar çerçevesinde oluşturulan ve içinde bulunduğu evrenin bir parçası ya da alt kümesi olarak temsil yetkisine sahip topluluk olarak tanımlanmaktadır (Şenol, 2012).

Örneklem büyüklüğü analiz sonuçlarına göre genelleme yapacak araştırmacı için kritik öneme sahiptir. Fakat özellikle nitel araştırmalarda örnekleme dâhil edilen kişilerin nitelikleri nicelikten daha önemlidir. Yetersiz bir örneklem büyüklüğü sığ ve genellemeye olanak vermeyen veri katkısı ile sonuçlanabilirken, gereğinden fazla örneklem büyüklüğü ise kayıt altına alınması ve yorumlaması zor veri yoğunluğuna sebebiyet verebilmektedir (Tracy, 2012: 138). Örneklem büyüklüğü araştırmanın yapıldığı disipline, zaman kısıdına ve ulaşılmak istenen hedeflere bağlı olarak değişebilmektedir. Derinlemesine görüşmelerde örneklem büyüklüğü 30 kişiye kadar çıkabilirken, anahtar verilerin elde edilmesinin amaçlandığı görüşmelerde ise 5-8 kişi aralığının yeterli olduğu ifade edilmektedir (Başkale, 2016: 27; Nastasi, 2015; Tracy, 2012: 138).

Bu araştırmada, nicel araştırma sürecinde kullanılmak üzere değişkenler, kısıtlar ve örnek senaryo girdileri gibi anahtar verilerin belirlenmesi amacıyla 7 uzakyol kaptan (1 pilot görüşme), 2 uzakyol 1. zabit ve 1 uzakyol vardiya zabiti olmak üzere toplam 10 kişi ile görüşmeler yapılmıştır. Örnekleme çoğunlukla gemi kaptanları dâhil edilerek "ölçüt örnekleme" kullanılmıştır. Bunun yanında araştırma sorularının, hedeflerinin ve amaçlarının parametrelerine uygun örneklem grubu oluşturularak "amaçlı örnekleme" ve konunun farklı bakış açıları ile ele alınmasını sağlamak, konuya ilişkin farklı temaları keşfetmek ve tanımlamak amacıyla kaptanların yanında zabitler de dâhil edilerek "maksimum çeşitlilik örneklemesi" uygulanmıştır.

Diğer taraftan tez konusunun belirlenmesi sürecinde ilgili alanda uzman kişiler ile ön görüşmeler yapılarak araştırma konusu üzerine görüşler ve düşünceler alınmış

ve fikir alışverişinde bulunulmuştur. Tablo 9'da yapılan bu ön görüşmelere ve nicel araştırma sürecinde kullanılmak üzere anahtar verilerin belirlenmesi amacıyla yapılmış görüşmelere ait detaylara yer verilmektedir.

**Tablo 9:** Ön araştırma ve Keşifsel Araştırma Katılımcı Profili

| **Tez Konusu ile İlgili Tavsiye ve Görüşler Almak için Ön Araştırma** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Yüz Yüze Görüşmeler | | | | |
| | Ünvan | Kurum | Görüşme Süresi | Görüşme Tarihi |
| Görüşme 1 | Prof. Dr. | DEÜ Fen Bil. Fak. Bilgisayar Bil. Böl. | 00:25 | 10.08.2015 |
| Görüşme 2 | Prof. Dr. | DEÜ Denizcilik Fak. Deniz Ulaş. İşl. Müh. Böl. | 00:17 | 14.08.2015 |
| Görüşme 3 | Doç. Dr. | DEÜ Fen Bil. Fak. Bilgisayar Bil. Böl. | 00:19 | 16.10.2015 |
| Görüşme 4 | Dr. Öğr. Üyesi | DEÜ Müh. Fak. Endüstri Müh. Böl. | 00:29 | 20.10.2015 |
| Görüşme 5 | Öğr. Gör. | DEÜ Denizcilik Fak. Deniz Ulaş. İşl. Müh. Böl. | 00:20 | 28.09.2015 |
| Görüşme 6 | Öğr. Gör. | DEÜ Denizcilik Fak. Deniz Ulaş. İşl. Müh. Böl. | 00:28 | 05.10.2015 |
| Görüşme 7 | Araş. Gör. | DEÜ Müh. Fak. Endüstri Müh. Böl. | 00:30 | 15.10.2015 |
| Görüşme 8 | Araş. Gör. | DEÜ Müh. Fak. Elek. Elektro. Müh. Böl. | 00:40 | 13.10.2015 |
| Görüşme 9 | Müh. | DEÜ Müh. Fak. Elek. Elektro. Müh. Böl. | 00:23 | 22.10.2015 |
| E-Posta ve Telefon Aracılığı ile Görüşmeler | | | | |
| Görüşme 10 | Prof. Dr. | Fatih Üni. Endüstri Müh. Böl. | 00:10 | 03.11.2015 |
| Görüşme 11 | Dr. | Gdynia Maritime Uni. Department of Ship Automation | - | 02.11.2015 |
| **Değişken ve Kısıtların Belirlenmesi Amacıyla Keşifsel Araştırma** | | | | |
| Yüz Yüze Görüşmeler | | | | |
| | Eğitim | Yeterlilik | Görüşme Süresi | Görüşme Tarihi |
| Katılımcı 0* | DEÜ | Uz.Y.Kpt. | 00:45 | 22.12.2016 |
| Katılımcı 1 | DEÜ | Uz.Y.1.Zbt. | 00:22 | 07.02.2017 |
| Katılımcı 2 | DEÜ | Uz.Y.Kpt. | 00:19 | 21.03.2017 |
| Katılımcı 3 | DEÜ | Uz.Y.Kpt. | 00:28 | 23.05.2017 |
| Katılımcı 4 | İTÜ | Uz.Y.Kpt. | 00:23 | 31.05.2017 |
| Katılımcı 5 | DEÜ | Uz.Y.Kpt. | 00:24 | 01.10.2017 |
| Katılımcı 6 | DEÜ | Uz.Y.Kpt. | 00:29 | 22.10.2017 |
| Katılımcı 7 | DEÜ | Uz.Y.Kpt. | 00:18 | 27.11.2017 |
| Katılımcı 8 | CMA | Uz.Y.1.Zbt. | 00:57 | 05.12.2017 |
| Katılımcı 9 | DEÜ | Uz.Y.V.Zbt. | 00:16 | 31.05.2017 |

*Pilot görüşme

#### 4.5.4.3. Veri Toplama Yöntemi

Nitel araştırmalar genellikle gözlem, görüşme, odak grup gibi birinci el veri kaynakları üzerinden gerçekleştirilmektedir. Daha önce yayınlanmış kaynaklardan elde edilen veriler ise ikinci el veri olarak bu kaynakları desteklemektedir (Marshall ve Rossman, 2014: 87). Bu çalışmanın nitel araştırma sürecinde birinci el veri toplama yöntemlerinden biri olan görüşme yöntemi kullanılmıştır.

Görüşme, en basit ifade ile "bir amaç doğrultusunda gerçekleştirilen sohbet" olarak tanımlanmaktadır (Kahn ve Cannell, 1957: 149). Kvale (1996: 174) ise görüşmeyi, *"belirli bir olgu veya konu üzerine kişilerin yorum ve düşüncelerini elde etmek amacıyla tasarlanmış bir iletişim süreci"* olarak tanımlamıştır. Görüşme yöntemi bireylerle ilgili tutum, duygu, düşünce ve inançlara ait verileri elde etmede en etkili yöntem olması sebebiyle nitel araştırmalarda en sık kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir (Mason, 2002: 63).

Bu çalışmada uygulanan görüşmeler, tez izleme komitesi üyelerinin görüşleri ve pilot görüşme neticesinde uzman önerisi doğrultusunda düzenlenen bir yarı-yapılandırılmış görüşme formu (Bknz. ek 2) üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Görüşmelerin yapılacağı ortamın sessiz ve rahat olmasına dikkat edilmiştir. Bu sebeple bazı görüşmeler katılımcıların kendi ofislerinde bazı görüşmeler ise DEÜ Denizcilik Fakültesi öğretim üyeleri dinlenme odasında gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler her katılımcı ile yüz yüze yapılmıştır. Görüşme sırasında görüşmenin tamamının kayıt altına alınmasına imkân vermesi sebebiyle verilerin kayıt edilmesinde ses kayıt cihazı kullanılmıştır. Böylelikle araştırmacı el ile not tutmayarak sadece görüşmeye odaklanabilmektedir. Görüşmeler başlamadan önce katılımcılara ses kayıt cihazı kullanılacağı bilgisi verilmiş ve kendilerinden izin alınmıştır. Görüşmelere başlarken ilk olarak katılımcı bilgilendirme formu okunarak katılımcılara araştırma konusu ile ilgili bilgilendirme yapılmıştır. Daha sonra görüşme formu üzerinde yer alan katılımcı profil bilgileri bölümü doldurulmuş ve ardından formda yer alan sorular sırasıyla katılımcılara yöneltilmiştir. Görüşmeler sırasında katılımcılara müdahale edilerek veya sözleri kesilerek yönlendirme yapılmamaya dikkat edilmiştir. İletişimin doğal ve rahat gerçekleşmesine özen gösterilerek katılımcıların derinlemesine bilgi vermeleri teşvik edilmiştir. Araştırmanın nitel araştırma bölümünü oluşturan bu

görüşmeler, nicel araştırma bölümünde gerekli olan kısıtlar ve değişkenlerin belirlenmesi amacıyla yöntemin bilimsel gereklilikleri ve ilkeleri göz önünde tutularak gerçekleştirilmiş ve son derece verimli geçmiştir.

#### 4.5.4.4. Nitel Araştırmanın Geçerlik ve Güvenirliği

Araştırma sorularının ve bu sorulara verilen cevapların gerçekçi, analiz edilebilir ve genellenebilir olması bir araştırmanın geçerlik ve güvenirliği açsından son derece önemlidir. Bu bakımdan araştırmacı araştırma boyunca her aşamada özellikle geçerlik ve güvenirliği konusunda titiz davranmalıdır (Yıldırım, 1999: 7).

Bilimsel araştırmalarda geçerlik ve güvenirlik, araştırma yönteminin ne kadar hassas ve titiz uygulandığı ile ilgilidir. Nicel araştırmalarda geçerlik ve güvenirliği ölçmek için standart hale getirilmiş ve kabul görmüş enstrümanlar ve araçlar bulunsa da nitel araştırmalarda geçerlik ve güvenirliği ölçmek için tek bir yol bulunmamaktadır. Nitel araştırmalarda geçerlik ve güvenirlik, çeşitleme (triangulation) (nitel ve nicel yöntemlerin birlikte kullanılması), meslektaş değerlendirmesi (member checking) ve denetim izi (audit trail) gibi teknikler ile sağlanmakta ve araştırmanın niteliğini arttırıcı ölçütler, araştırma paradigmalarının etkisiyle şekillenmektedir (Mason, 2002: 39; Arastaman vd., 2018: 48). Buradan hareketle, bu araştırmanın nitel araştırma sürecinin geçerlik ve güvenirliğine ilişkin uygulanan çalışmalar ve yöntemler tablo 10'da gösterilmektedir.

**Tablo 10:** Geçerlik ve Güvenirlik Kapsamında Uygulanan Çalışmalar ve Yöntemler

| Geçerlik/Güvenirlik | Uygulanan Çalışmalar ve Yöntemler |
|---|---|
| Geçerlik | Katılımcılar ile derinlemesine görüşmeler yapılarak ayrıntılı veriler toplanmıştır. |
| | Pilot uygulama yapılarak görüşme formu test edilmiş ve gerekli revizyonlar yapılmıştır. |
| | Verilerin analizi sonucu elde edilen bulgular ayrıntılı olarak rapor edilmiştir. |
| | Katılımcıların ifadeleri ayrıntıları ile birlikte doğru ve eksiksiz olarak deşifre (transkripsiyon) edilmiştir. |
| | Elde edilen bulguların kendi içinde tutarlı olduğu görülmüştür. |
| Güvenirlik | Araştırmada kullanılan örneklem yöntemi, veri toplama yöntemi, veri deşifreleme ve analizinde kullanılan araç (NVivo), görüşmelerin ne zaman, nerede, ne kadar süre ile yapıldığı, katılımcı profili detaylı olarak açıklanmıştır. |
| | Araştırma katılımcılara açık bir şekilde tanımlanmıştır. |
| | Araştırmanın ham verileri ses kaydı ve yazılı metin şeklinde başkaları tarafından incelenebilecek şekilde saklanmıştır. |
| | Veriler doğrudan herhangi bir yorum katılmadan sunulmuştur. |
| | Görüşme formu uzman görüşü önerisi ve tez izleme komitesi üyelerinin görüşlerine sunulmuş ve onaylanmıştır. |

Kaynak: Demirkıran (2014: 88)'dan esinlenerek yazar tarafından oluşturulmuştur.

#### 4.5.4.5. Nitel Verileri Analiz Yöntemi

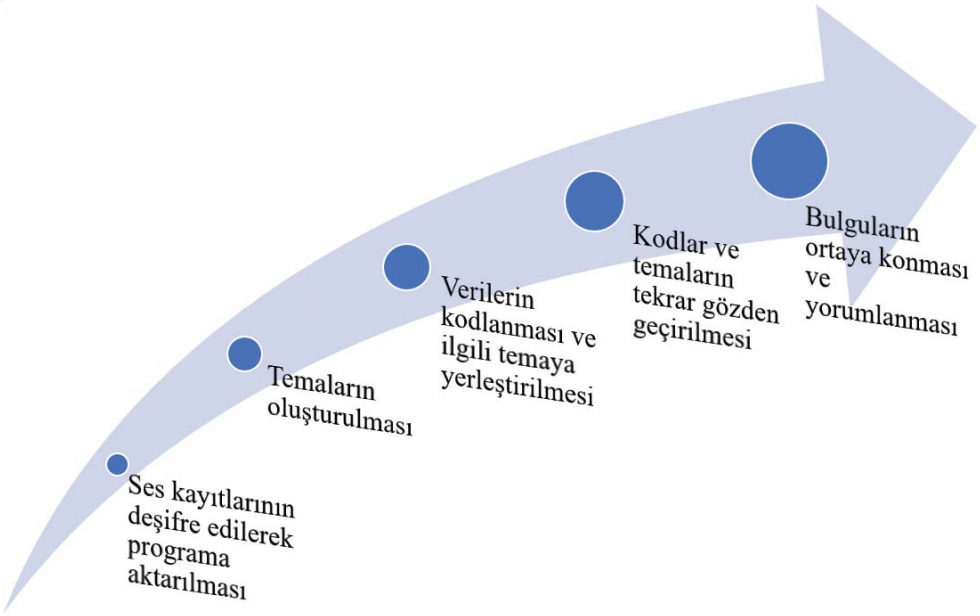
Nitel araştırmalarda verilerin analiz edilmesi ve yorumlanması karmaşık ve çaba isteyen bir süreçtir. Yalın halleri ile gerçek bir anlam ifade etmeyen veriler, kodlama, kategorize etme, kalıplara ayırma ve temalar oluşturma gibi yaklaşımlarla parçalara ayrılarak anlam kazanırlar. Bu sebeple nitel veri analizinde verilerin içeriği iyi bilinmeli, parçalara ayrılmalı ve bu parçaların her birine anlam yüklenmelidir (Rossman ve Rallis, 2012: 262).

Bu araştırmada veri analizinde nitel veri analizi yöntemlerinden biri olan tematik analiz yöntemi kullanılmıştır. Tematik analizde veriler detaylı olarak incelenerek anlamlı bölümler halinde kodlanmaktadır. Kodlanan bu veriler kategorize edilerek temaları oluşturmaktadır (Atik, 2013: 91; Demirkıran, 2014: 85; Yıldırım ve Şimşek, 2011: 39).

Literatürde, nitel veri analizinde kullanılan MAXQDA, ATLAS.ti, HyperRESEARCH, NVivo gibi birçok program bulunmaktadır. Bu araştırmada NVivo 12 paket programı kullanılmıştır. NVivo nitel veri analizinde araştırmacılar tarafından en çok tercih edilen (Yakut Çayır ve Sarıtaş, 2017: 539) ve şifreleme, depolama, kodlama ve sorgulama özellikleri ile kapsamlı ve karmaşık verilerin düzenlemesinde kolaylık sağlayan bir program olması sebebiyle tercih edilmiştir. Bunun yanında iki haftalık ücretsiz deneme sürümü imkânı tanıması ve bu sürümünde herhangi bir kısıtlama yapmaması diğer tercih sebepleridir.

Bu araştırmada elde edilen veriler şekil 64'te gösterildiği üzere 5 adımda analiz edilmiştir. İlk aşamada ses kayıt cihazı ile elde edilmiş veriler NVivo programı ile deşifre edilerek bilgisayara aktarılmıştır. İkinci aşamada temalar oluşturulmuştur. Daha sonra veriler detaylı olarak incelenerek kodlama işlemi yapılmış ve ilgili temaların altına yerleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada kodlar ve temalar tekrar gözden geçirilmiştir. Son olarak veriler analiz edilerek bulgular ortaya konmuş ve yorumlanmıştır.

**Şekil 64:** Nitel Verilerin Analizinde İzlenen Adımlar



#### 4.5.4.6. Araştırma Soruları

Bilimsel bir araştırmada araştırma sorularının açık olarak ifade edilmesi ve tanımlanması, araştırmacının hangi noktaya varmak istemesinin belirlenmesi ve araştırmacıya yol göstermesi açısından kritik öneme sahiptir. Araştırma sonunda elde edilen bulguların, araştırma soruları ile ne derece bağdaştığı kontrol edilerek amaca ne kadar ulaşıldığı bilgisi elde edilebilir (Altunışık vd., 2012: 35).

Bu araştırmada, nitel araştırma süreci sonuncunda ulaşılması hedeflenen genel amaçlar doğrultusunda aşağıdaki sorulara cevap aranmaktadır.

1. Gemi emniyet alanının belirlenmesinde önemli olan ölçütler nelerdir?
2. Gemi emniyet alanı büyüklüğü kim tarafından belirleniyor (Şirket yönetimi/Kaptan)?
3. Gemi emniyet alanının her ihlali çatışma riski olarak kabul ediliyor mu?
4. Karşılaşma durumlarında hedef gemiyi izlemeye başlama uzaklığı ne kadardır?
5. COLREG Kural 8(b)'de geçen *"**diğer bir teknenin çabucak görebileceği kadar büyük olacak**"* ifadesi uygulayıcılar tarafından nasıl algılanmakta ve uygulanmaktadır?
6. COLREG Kural 8(d)'de geçen "***diğer tekne tam olarak geçilinceye ve neta oluncaya kadar**"* ifadesi uygulayıcılar tarafından nasıl algılanmakta ve uygulanmaktadır?
7. COLREG Kural 16'da geçen *"**olabildiğince önceden ve belirgin manevra yapacaktır**"* ifadesi uygulayıcılar tarafından nasıl algılanmakta ve uygulanmaktadır?
8. COLREG Kural 17(a-II)'e göre yol vermekle yükümlü olan teknenin gerekli manevrayı yapmaması durumunda geçiş üstünlüğü olan tekne olarak nasıl hareket ediliyor?

Bu araştırma soruları neticesinde elde edilen bulgular, özellikle ilgili COLREG kurallarının pratikte nasıl uygulandığının ortaya konarak nicelleştirilmesi açısından önemlidir. Böylelikle çözüm algoritmasının değişkenleri, kısıtları ve senaryo testlerinin girdileri belirlenmiştir.

#### 4.5.4.7. Bulgular

Bu bölümde nitel araştırma sürecinde toplanan verilerin analizi sonucu ortaya çıkan bulgulara yer verilmiştir. Tablo 11'de nitel verilerin analizi sonucu oluşturulan temalar, bu temaların nitel veri kaynağı sayıları ve temalara yapılan atıf sayıları gösterilmektedir. İlgili tablo'da Veri Kaynağı sütunu temalara ilişkin verilerin kaç kaynaktan alındığını göstermektedir. Örneğin; gemi emniyet alanı belirlemede göz önünde tutulan ölçütlere ilişkin veriler 6 veri kaynağından alınmıştır. Atıf ve Kapsam sütunları ise sırasıyla, veri kaynaklarının temalara ilişkin kaç atıfta bulundukları ve bu atıfların tüm atıflara oranını göstermektedir. Örneğin; gemi emniyet alanı belirlemede göz önünde tutulan ölçütlere ilişkin 6 veri kaynağı toplam 29 atıf yapmıştır.

**Tablo 11:** Temaların Kodlama İstatistikleri

| Temalar | Veri Kaynağı | Atıf | Kapsam(%) |
|---|---|---|---|
| Gemi emniyet alanı belirlemede göz önünde tutulan ölçütler | 6 | 29 | 25,21 |
| Belirgin rota değişimi | 8 | 18 | 15,65 |
| Neta kabul etme | 8 | 11 | 9,56 |
| Olabildiğince önceden manevra yapılması | 9 | 11 | 9,56 |
| Hedef gemiyi takibe başlama mesafesi | 8 | 10 | 8,69 |
| Belirgin hız değişimi | 9 | 9 | 7,82 |
| Emniyet alanını ihlalinde tolerans payı | 9 | 9 | 7,82 |
| Emniyet alanının belirlenmesinde karar verici | 9 | 9 | 7,82 |
| Yol vermesi gereken geminin gerekli hareketi yapmaması | 7 | 9 | 7,82 |
| **Toplam** | | **115** | **100** |

Gemi emniyet alanı belirlemede göz önünde tutulan ölçütlere ilişkin analiz sonucu tablo 12'de gösterilmektedir. Gemi hızı, gemi boyu, gemi draftı, gemi tonajı, manevra kabiliyeti gibi gemi spesifikasyonuna ilişkin değişkenlerin ve meteorolojik şartlar, trafik durumu, seyir zamanı, seyir yapılan bölge gibi çevresel faktörlerin gemi emniyet alanının belirlenmesinde önemli ölçütler olarak ortaya çıkmıştır. Bu ölçütler içinde gemi hızı, meteorolojik şartlar, trafik durumu ve gemi boyutu (gemi boyu, gemi draftı, gemi tonajı) gibi ölçütlerinin diğer ölçütlere göre daha yüksek etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Gemi emniyet alanı basit bir ifade ile gemiyi çevreleyen ve diğer su üstü cisimlerinden uzak tutan alan olarak tanımlanmaktadır (Goodwin, 1975). Bu alana herhangi bir başka geminin veya su üstü engelinin girmesi durumu çatışma riski olarak kabul edilmekte ve çatışmayı önleyici manevra yapılması

gerekmektedir. Bu araştırmada gemi emniyet alanının belirlenmesinde bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır. Nitel verilerin analizi sonucu bu temada ortaya çıkan ölçütler bulanık gemi emniyet alanı girdi değişkenleri olarak belirlenmiştir. Bulanık gemi emniyet alanı hesabı nicel araştırma bölümünde detaylı olarak verilmektedir.

**Tablo 12:** "Emniyet alanını belirlemede göz önünde tutulan ölçütler" Teması Analiz Özeti

| Kod | Veri Kaynağı | Atıf | Kapsam(%) | Kelime Bulutu |
|---|---|---|---|---|
| Gemi hızı | 4 | 4 | 13,79 | |
| Meteorolojik şartlar | 4 | 4 | 13,79 | |
| Trafik durumu | 4 | 4 | 13,79 | |
| Gemi boyu | 3 | 3 | 10,34 | |
| Gemi draftı | 2 | 2 | 6,89 | |
| Geminin manevra kabiliyeti | 2 | 2 | 6,89 | |
| Gemi tonajı | 2 | 2 | 6,89 | |
| Vardiyadaki zabitin tecrübesi ve yetkinliği | 2 | 2 | 6,89 | |
| Seyir zamanı (Gece/Gündüz) | 2 | 2 | 6,89 | |
| Görüş durumu | 2 | 2 | 6,84 | |
| Seyir yapılan bölge | 1 | 1 | 3,44 | |
| Taşınan yük tipi | 1 | 1 | 3,44 | |
| **Toplam** | | **29** | **100** | |




COLREG Kural 8(b) ve Kural 16, denizde çatışma riski söz konusu olduğu durumlarda yol vermekle yükümlü olan teknenin çatışmayı önlemek üzere gerçekleştireceği hareketin ne şekilde olması gerektiğini ifade etmektedir. Kural 8(b), "yapılacak hız ve/veya rota değişimi gözle veya radarla diğer bir teknenin çabucak görebileceği kadar büyük olacak" derken, Kural 16'da ise "olabildiğince önceden ve belirgin manevra yapılacaktır" kuralı koymaktadır. İlgili kurallarda geçen "***diğer bir teknenin çabucak görebileceği kadar büyük olacak"*** ve ***"olabildiğince önceden ve belirgin manevra yapılacaktır"*** ifadelerinin net olmaması pratikte nasıl uygulandıkları sorusunu ortaya çıkarmaktadır. Bu kuralların uzmanlar tarafından nasıl algılandığı ve pratikte nasıl uygulandığına yönelik yöneltilen sorular neticesinde "Belirgin rota değişimi", Belirgin hız değişimi" ve "Olabildiğince önceden manevra yapılması" temaları belirlenmiştir. Bu temalara ait kodlar ve atıf sayıları sırasıyla tablo 13, tablo 14 ve tablo 15'te gösterilmektedir.

Tablo 13'te gösterildiği üzere belirgin rota değişimine ilişkin aralık $5^o$ ile $60^o$ arasında değişmektedir. Katılımcıların büyük çoğunluğu bir rota değişiminin belirgin

ve algılanabilir olabilmesi için en az 10º veya en az 20º olması gerektiğini ifade etmişlerdir.

**Tablo 13:** "Belirgin rota değişimi" Teması Analiz Özeti

| Kod | Veri Kaynağı | Atıf | Kapsam(%) | Kelime Bulutu |
|---|---|---|---|---|
| En az 10º | 5 | 6 | 33,33 |  |
| En az 20º | 4 | 4 | 22,22 | |
| En az 5º | 2 | 2 | 11,11 | |
| En az 15º | 2 | 2 | 11,11 | |
| En az 30º | 2 | 2 | 11,11 | |
| En az 45º | 1 | 1 | 5,55 | |
| En az 60º | 1 | 1 | 5,55 | |
| **Toplam** | | **18** | **100** | |



Tablo 14'te gösterildiği üzere belirgin hız değişimine ilişkin ortaya çıkan bulgular ise bir alt ya da bir üst makine komutu vermenin belirgin ve algılanabilir olabileceği yönündedir. Örneğin; tam yoldan yarım yol hıza düşmek veya ağır yoldan yarım yol hıza çıkmak gibi değişimlerin algılanabileceği ifade edilmiştir. Katılımcıların yarıya yakını ise hız değişiminin kolay algılanabilir bir manevra olmadığını da eklemişlerdir.

**Tablo 14:** "Belirgin hız değişimi" Teması Analiz Özeti

| Kod | Veri Kaynağı | Atıf | Kapsam(%) | Kelime Bulutu |
|---|---|---|---|---|
| Bir alt ya da bir üst makine komutu vermek | 4 | 4 | 44,44 |  |
| Hız değişimi kolay algılanabilir bir manevra değil | 4 | 4 | 44,44 | |
| Bir fikrim yok | 1 | 1 | 11,11 | |
| **Toplam** | | **9** | **100** | |



Tablo 15'te gösterildiği üzere olabildiğince önceden manevra yapılmasına ilişkin aralık 3 mil ile 10 mil arasında değişmektedir. Katılımcıların büyük çoğunluğu yol vermekle yükümlü olan tekne olarak en az 10 mil öncesinden manevra yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

**Tablo 15:** "Olabildiğince önceden manevra yapılması" Teması Analiz Özeti

| Kod | Veri Kaynağı | Atıf | Kapsam(%) | Kelime Bulutu |
|---|---|---|---|---|
| Hedef gemiye 10 mil kala | 3 | 4 | 36,36 |  |
| Hedef gemiye 8 mil kala | 2 | 2 | 18,18 | |
| Hedef gemiye 6 mil kala | 2 | 2 | 18,18 | |
| Hedef gemiye 7 mil kala | 1 | 1 | 09,09 | |
| Hedef gemiye 4 mil kala | 1 | 1 | 09,09 | |
| Hedef gemiye 3 mil kala | 1 | 1 | 09,09 | |
| **Toplam** | | **11** | **100** | |



Denizde karşılaşma durumlarında hedef gemiyi takibe başlama mesafesi risk değerlendirmesi açısından önemlidir. Belli bir mesafeden itibaren gemiler izlenmeye başlanmakta, hareketleri takip edilmekte ve gerekli olması durumunda çatışmayı önleyici manevra yapılmaktadır. Buradan hareketle karşılaşma durumlarında hedef gemiyi takibe başlama mesafesini ortaya çıkarmak amacıyla yöneltilen soru neticesinde elde edilen bulgular tablo 16'da gösterilmektedir. Katılımcıların 6 mil ile 50 mil arasında değişen mesafeler ile hedef gemiyi takibe başladıkları tespit edilmiştir. Hedef gemiyi 12 milden itibaren takibe başlama ise en sık ifade edilen kod olarak ortaya çıkmıştır.

**Tablo 16:** "Hedef gemiyi takibe başlama mesafesi" Teması Analiz Özeti

| Kod | Veri Kaynağı | Atıf | Kapsam(%) | Kelime Bulutu |
|---|---|---|---|---|
| 12 milden itibaren | 3 | 3 | 30,00 |  |
| 20 milden itibaren | 2 | 2 | 20,00 | |
| 6 milden itibaren | 1 | 1 | 10,00 | |
| 10 milden itibaren | 1 | 1 | 10,00 | |
| 15 milden itibaren | 1 | 1 | 10,00 | |
| 30 milden itibaren | 1 | 1 | 10,00 | |
| 50 milden itibaren | 1 | 1 | 10,00 | |
| **Toplam** | | **10** | **100** | |



COLREG Kural 8(d) çatışmadan kaçınma manevrasının ne durumda sonuçlanması gerektiğini ifade etmektedir. Bu açıdan ilgili kuralda "hareketin etkili olup olmadığı diğer tekne neta oluncaya kadar dikkatle kontrol edilecektir" ifadesi yer almaktadır. Bu kuralın ve özellikle kural içinde geçen ***" diğer tekne neta oluncaya kadar"*** ifadesinin uzmanlar tarafından nasıl algılandığı ve pratikte nasıl uygulandığına yönelik yöneltilen soru neticesinde ortaya çıkan bulgular tablo 17'de gösterilmektedir. Katılımcıların büyük çoğunluğu hedef gemiyi bordaladıkları andan itibaren neta kabul

ettiklerini ve böylelikle çatışmadan kaçınma hareketini sonlandırıp orijinal rotalarına dönüş yaptıklarını ifade etmişlerdir.

**Tablo 17:** "Neta kabul etme" Teması Analiz Özeti

| Kod | Veri Kaynağı | Atıf | Kapsam(%) | Kelime Bulutu |
|---|---|---|---|---|
| Hedef gemiyi bordada gördüğüm an | 5 | 6 | 54,54 |  |
| Hedef geminin kıç tarafı kıç doğrultumdan ayrıldığı an | 1 | 2 | 18,18 | |
| AYNZ artmaya başladığı an | 3 | 3 | 27,27 | |
| **Toplam** | | **11** | **100** | |



COLREG Kural 17(a-II) yol vermesi gereken teknenin gerekli manevrayı yapmaması durumunda geçiş üstünlüğü olan teknenin çatışmayı önleyici manevrayı yapması gerektiği ifade etmektedir. Böyle bir durumda geçiş üstünlüğü olan tekne olarak katılımcıların nasıl hareket ettikleri ve ne kadar beklediklerine ilişkin yöneltilen soru neticesinde ortaya çıkan bulgular tablo 18'de gösterilmektedir. Katılımcıların 3 mil ile 8 mil arasında değişen mesafe aralığında karşı gemiyi bekledikleri tespit edilmiştir. "Karşı geminin 6 milden ve 3 milden daha yakın yaklaşmasına izin vermem" ifadeleri ise en sık ifade edilen kodlar olarak ortaya çıkmıştır.

**Tablo 18:** "Yol vermesi gereken geminin gerekli hareketi yapmaması" Teması Analiz Özeti

| Kod | Veri Kaynağı | Atıf | Kapsam(%) | Kelime Bulutu |
|---|---|---|---|---|
| 6 milden yakın bırakmam | 2 | 3 | 33,33 |  |
| 3 milden yakın bırakmam | 3 | 3 | 33,33 | |
| 4 milden yakın bırakmam | 2 | 2 | 22,22 | |
| 8 milden yakın bırakmam | 1 | 1 | 11,11 | |
| **Toplam** | | **9** | **100** | |



Gemi emniyet alanının her ihlalinin çatışma riski olarak görülüp görülmediğine ilişkin yöneltilen soru neticesinde ortaya çıkan bulgular tablo 19'da gösterilmektedir. Katılımcıların büyük çoğunluğunun her ihlali çatışma riski olarak değerlendirmedikleri tespit edilmiştir. Küçük oranda gerçekleşen ihlalleri çatışma riski olarak değerlendirip manevra yapmanın gereksiz zaman ve yakıt kaybına neden olacağını ifade etmişlerdir. Diğer katılımcılar ise bunun bir kural olduğunu ve bu nedenle belirlenen emniyet alanına küçük ihlallerde dâhil hiçbir engelin sokulmaması gerektiğini savunmuşlardır.

**Tablo 19:** "Emniyet alanı ihlalinde tolerans payı" Teması Analiz Özeti

| Kod | Veri Kaynağı | Atıf | Kapsam(%) |
|---|---|---|---|
| Her ihlal çatışma riski olarak değerlendirilmez | 6 | 6 | 66,66 |
| Her ihlal çatışma riskidir | 3 | 3 | 33,33 |
| **Toplam** | | **9** | **100** |

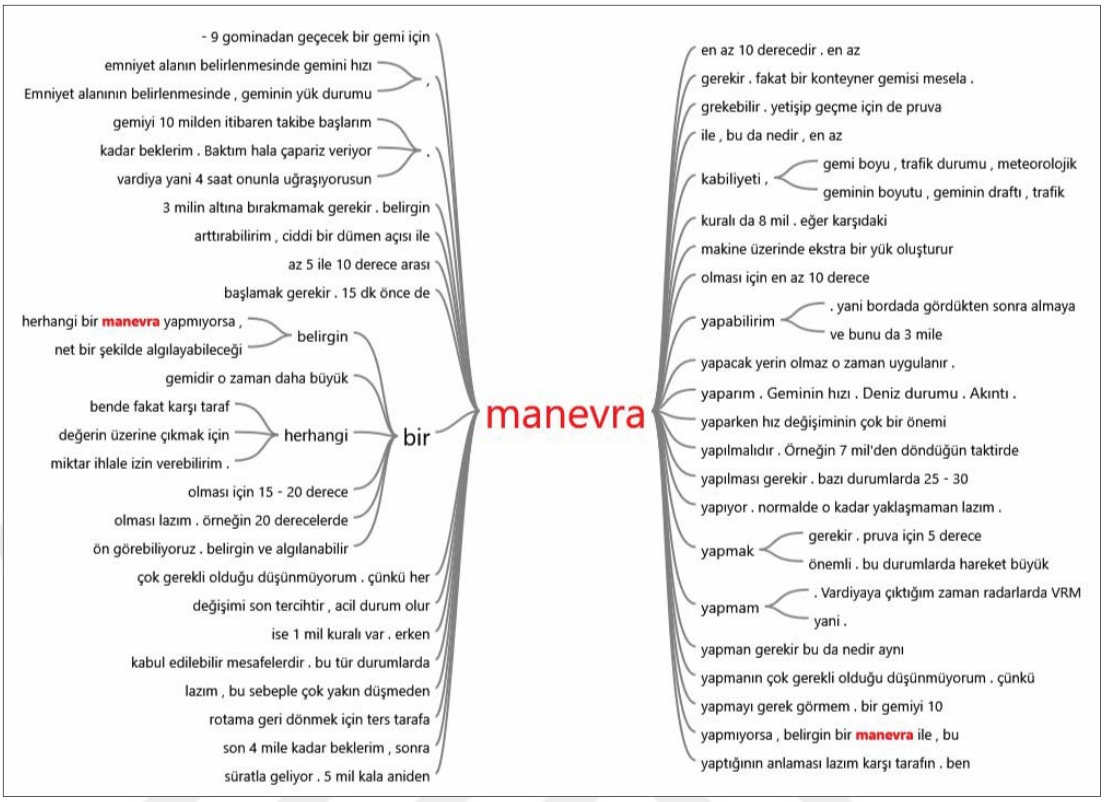
Gemi emniyet alanının belirlenmesinde karar vericinin kim olduğuna ilişkin yöneltilen soru neticesinde ortaya çıkan bulgular tablo 20'de gösterilmektedir. Katılımcıların çoğu emniyet alanı boyutunun şirket politikasında minimum değer olarak yer aldığını ve bu değerin altına inilemeyeceğini ifade etmişlerdir. Diğer katılımcılar ise şirketlerinde böyle bir politikanın olmadığını, kaptanın karar verdiğini belirtmişlerdir.

**Tablo 20:** "Emniyet alanının belirlenmesinde karar verici" Teması Analiz Özeti

| Kod | Veri Kaynağı | Atıf | Kapsam(%) |
|---|---|---|---|
| Minimum değer şirket politikasında yer alır | 6 | 6 | 66,66 |
| Şirketin böyle bir politikası yok, kaptan karar verir | 3 | 3 | 33,33 |
| **Toplam** | | **9** | **100** |

Son olarak şekil 65'te tüm verilerin kelime ağacı analizi gösterilmektedir.

**Şekil 65:** Tüm Verilerin Kelime Ağacı Analizi




### 4.5.5. Nicel Araştırma Süreci

Bu bölümde, GA ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak denizde çatışmadan kaçınma rotasının planlaması ve optimizasyonuna yönelik uygulanan araştırma sürecinin detaylarına yer verilmektedir. Bu amaçla, problem tanımı, tasarlanan matematiksel model ve sistemin geçerlik ve güvenirlik kontrolü için uygulanan köprüüstü simülatörü ve ASV senaryo testleri ile ilgili süreçler detaylandırılarak sırasıyla sunulmuştur.

Metasezgisel bir algoritma olan GA, karmaşık ve zor problemleri, bir başlangıç aday çözüm kümesinin tekrarlanan bir süreç kullanılarak evrilmesi yoluyla, çözüm uzayındaki daha iyi çözümlere ulaşmaya çalışarak çözmeye çalışan bir yaklaşımdır. Diğer optimizasyon tekniklerinin aksine yerel minimumlarda takılıp kalma ihtimali düşüktür. Bunun sebebi uygunluk değeri en iyi olan bireyler ile yola devam etmesi ve seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin rastgele olarak gerçekleştiriliyor olmasıdır. Bu çalışmada, problem çözümü için tasarlanan genetik algoritma yapısı Microsoft Visual Studio 2017 platformu üzerinde C# yazılım dili kullanılarak

oluşturulmuştur. Form uygulaması üzerinden tasarlanan bir kullanıcı arayüzü ile problem girdilerinin sisteme girişi sağlanarak çözümler elde edilmektedir. Geliştirilen arayüzde gemilerin hareket simülasyonları da gösterilmektedir. Böylelikle optimal sonuçlara göre hareket eden gemilerin takip edilebilme olanağı sağlanmıştır.

Diğer taraftan problem çözümü için gerekli olan değişkenlerde biri olan gemi emniyet alanın belirlenmesinde yapay zekâ yöntemlerinden biri olan bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır. MATLAB R2016b kullanılarak Mamdani tip FIS yaklaşımı ile bulanık kurallar oluşturulmuş ve çıktı olarak gemi emniyet alanı yarıçapı uzunluğu elde edilmiştir.

#### 4.5.5.1. Problem Tanımı

Denizde kazalarının en büyük nedeni insan faktörüdür. Seyir zabitleri ya da operatörler yüksek eğitim ve tecrübeye sahip olsalar da doğası gereği hata yapma eğilimindedirler. Bu nedenle akıllı sistemler ve karar destek sistemleri seyir emniyeti açısından önemli bir yere sahiptir (Perera vd., 2015: 374).

Denizde karşılaşma durumları, kıyı bölgeleri ve açık deniz olmak üzere iki alt çevresel durumda gerçekleşmektedir. Kıyı bölgelerinde destek hizmeti sağlayan ve seyre yardımcı birçok dış sistem (GTH, Seperasyon Hattı vs.) bulunmasına rağmen açık denizde çatışmayı önlemeye yönelik seyre yardımcı herhangi bir dış sistem bulunmamaktadır. Açık denizde çatışma riski içeren karşılaşma durumlarında zabitler geminin sahip olduğu köprüüstü cihazlarından destek alarak karar vermektedirler. Arpa Radar bu konuda kritik öneme sahiptir ve karşılaşma durumlarında en sık desteği alınan köprüüstü cihazıdır. Karşılaşma durumlarında özellikle çatışma riskinin değerlendirilmesi konusunda desteğine başvurulan en önemli sistemdir. Arpa Radar çatışma riskinin değerlendirilmesi olanağı sağlamasına rağmen kaçınma rotası desteği sunamamaktadır. Her ne kadar “deneme modu (trial mode)” özelliği süreç içinde gemilerin nasıl hareket edeceği ve nerede olacağı hakkında fikir verse de yapılacak olan çatışmadan kaçınma hareketi içeriğinin ne olması gerektiğine dair bilgi verememektedir. Bu sebeplerden dolayı bu çalışma açık denizde veya rahat suda optimal çatışmadan kaçınma rotasının planlanması üzerine odaklanmıştır.

Denizde çatışma riski söz konusu olduğu karşılaşma durumlarında gemilerin hareket yükümlülükleri COLREG kuralları ile düzenlemektedir. Bu kurallar gereği yol vermesi gereken tekne çatışmayı önlemek amacıyla rotasını, hızını veya her ikisini birden değiştirmek durumundadır. COLREG karşılaşma durumlarında gemileri yol vermesi gereken tekne (give-way vessel) ve geçiş üstünlüğü olan tekne (stand-on vessel) olarak sınıflandırmakta ve sadece iki geminin dâhil olduğu birebir karşılaşma durumları için düzenleme yapmaktadır. Bu sebeple gemi sayısının arttığı karmaşık trafik koşullarında sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu tip durumlarda uygulamada zabitler birbirleri ile iletişim kurarak COLREG kurallarını da uyacak şekilde manevra kararlarını vermektedirler. Buradan hareketle bu çalışma birebir karşılaşma durumlarını (one-to-one encounter situation) kapsam dâhiline alarak gerçekleştirilmiştir.

Sahip olduğu farklı amaçlara göre çatışmadan kaçınma manevrası dört aşamaya ayrılabilir (Li ve Ma, 2016: 140).

*(i) Seyir aşaması:* Bu aşamada çevre gözlemlenerek civarda bulunan engellerin (gemiler, su üstü diğer yapıları vs.) AYN değerleri takip edilir ve belirlenmiş olan emniyet alanını ihlal eden bir engelin olması durumunda uyarı vermesi için gerekli alarmlar devrede tutulur.

*(ii) Uyarı aşaması:* Takip edilmekte olan bir engelin emniyet alanını ihlali söz konusu olması durumunda eğer engel bir gemi ise COLREG kurallarına göre karşılaşma tipi ve gemilerin rolleri belirlenir. Eğer kendi gemimiz yol veren gemi ise çatışma riskini ortadan kaldırmaya yönelik gerekli manevranın yapılması için planlama yapılır. Geçiş üstünlüğüne sahip gemi olarak hedef gemi ise mevcut durumunu (rota ve hız) koruma yükümlülüğüne sahiptir.

*(iii) Çatışmadan kaçınma manevrası aşaması:* Yapılan planlama doğrultusunda karar verilen manevra gerçekleştirilir. Uygulanacak manevranın boyutu, ne hedef geminin algılamada zorlanacağı kadar küçük, ne de orijinal rotadan çok uzaklaşacak kadar büyük olmalıdır. Burada amaç, emniyet alanı ihlalinin önüne geçilerek çatışma riskini ortadan kaldırmaktır.

*(iv) Orijinal rotaya dönüş aşaması:* Çatışmadan kaçınma manevrasının başarılı olarak sonlandığından ve hedefin neta olduğuna emin olduktan sonra orijinal rotaya dönüş yapılır.

#### 4.5.5.2. Algoritma Yapısı

Bu bölümde, GA ve bulanık mantık kullanılarak denizde çatışmadan kaçınma rotası planlama ve optimizasyonu probleminin çözümüne yönelik matematiksel model, GA yapısı ve bulanık gemi emniyet alanının oluşturulması ile ilgili detaylar verilmektedir.

##### 4.5.5.2.1. Matematiksel Model

Optimizasyon problemlerinde en iyi çözüme ulaşma, amaç fonksiyonu, değişkenler ve bu değişkenleri etkileyen kısıtlar üzerinden gerçekleşmektedir. Hedef, amaç fonksiyonunu belirlenmiş olan kısıtlar çerçevesinde optimize etmektir (Ünal, 2018: 22). Bu çalışmanın problemi için belirlenen amaç fonksiyonu modeli, değişkenler ve kısıtlar aşağıda sırasıyla detaylandırılmıştır.

###### 4.5.5.2.1.1. Amaç Fonksiyonu Modeli

GA'da minimum veya maksimum değeri aranan her problem için bir amaç (uygunluk) fonksiyonu tanımlanmaktadır. Popülasyonda yer alan her bir birey (kromozom) bu amaç fonksiyonuna göre bir uygunluk değerine sahip olarak bir çözümü temsil etmektedir. Her bireyin sahip olduğu bu uygunluk değeri, temsil ettiği çözümün kalitesini ve en iyi çözüme ne kadar yakın olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada en kısa çatışmadan kaçınma rotası uzunluğu değerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Daha açık bir ifade ile geminin çatışmadan kaçınma manevrasını yaptığı noktadan ($wp_1$) orijinal rotaya dönüş manevrasını yaptığı noktaya ($wp_2$) kadar oluşan rota bacağı ile orijinal rotaya dönüş manevrasını yaptığı noktadan ($wp_2$) orijinal rotaya giriş yaptığı noktaya ($wp_3$) kadar oluşan rota bacağı toplamının minimize edilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla problem çözümü için belirlenen amaç fonksiyonu denklem (15) ile tanımlanmıştır.

$$f(x) = min \sum_{i=1}^{n-1} m_i \tag{15}$$

Burada,

$f(x)$: amaç fonksiyonu değerini,

$n$: çatışmadan kaçınma rotasının *wp* sayısını,

$m_i$: çatışmadan kaçınma rotasının *i.* bacağında kat edilen mesafeyi ifade etmektedir.

Şekil 66'da gösterildiği üzere, çatışmadan kaçınma rotası toplam üç *wp*'den yani iki rota bacağında oluşmaktadır. Bu nedenle, *n=3* olacağından dolayı amaç fonksiyonu denklem (16) ile diğer bir şekilde ifade edilebilir.

$$n = 3 \rightarrow f(x) = min_{i=1}^{2} \{m_{(wp_1_wp_2)} + m_{(wp_2_wp_3)}\} \quad (16)$$

Bu denklemde,

$m_{(wp_1_wp_2)}$: çatışmadan kaçınma manevrası sonrası kat edilen mesafeyi (çatışmadan kaçınma rotasının ilk bacağının uzunluğu),

$m_{(wp_2_wp_3)}$: orijinal rotaya dönüş manevrası sonrası kat edilen mesafeyi (çatışmadan kaçınma rotasının ikinci bacağının uzunluğu) ifade etmektedir.

Çatışmadan kaçınma rotasının ilk bacağının uzunluğu ($m_{(wp_1_wp_2)}$) ve ikinci bacağının uzunluğu ($m_{(wp_2_wp_3)}$) denklem (17) ve denklem (18) ile hesaplanmıştır.

$$m_{(wp_1_wp_2)} = t_{(wp_1_wp_2)} V_{os} \quad (17)$$

$$m_{(wp_2_wp_3)} = t_{(wp_2_wp_3)} V_{os} \quad (18)$$

Bu denklemlerde,

$t_{(wp_1_wp_2)}$: çatışmadan kaçınma rotasının ilk bacağında kat edilen süreyi,

$t_{(wp_2_wp_3)}$: çatışmadan kaçınma rotasının ikinci bacağında kat edilen süreyi,

$V_{os}$: OS'nin hızını ifade etmektedir.

OS ve TS'nin rota açılarına göre hareketleri kinematik model kullanılarak denklem (19), (20), (21), (22) ile hesaplanmıştır. Gemiler arası uzaklık ise ($D_{(os_ts)}(t)$), 2-boyutlu Öklit uzaklık (2-dimensional Euclidean distance) formülü kullanılarak denklem (23) ile hesaplanmıştır.

$$x_{os}(t) = x_{os}(t-1) + Sin(\phi_{os})V_{os}(t) \quad (19)$$

$$y_{os}(t) = y_{os}(t-1) + Cos(\phi_{os})V_{os}(t) \quad (20)$$

$$x_{ts}(t) = x_{ts}(t-1) + Sin(\phi_{ts})V_{ts}(t) \quad (21)$$

$$y_{ts}(t) = y_{ts}(t-1) + Cos(\phi_{ts})V_{ts}(t) \quad (22)$$

$$D_{(os_ts)}(t) = \sqrt{(x_{os}(t) - x_{ts}(t))^2 + (y_{os}(t) - y_{ts}(t))^2} \quad (23)$$

Bu denklemlerde,

$x_{os}(t)$ :OS'nin *t* anındaki konumunun apsis (x) değerini,

$y_{os}(t)$ :OS'nin *t* anındaki konumunun ordinat (y) değerini,

$x_{ts}(t)$ :TS'nin *t* anındaki konumunun apsis (x) değerini,

$y_{ts}(t)$ :TS'nin *t* anındaki konumunun ordinat (y) değerini,

$\phi_{os}$ :OS'nin rota açısını,

$\phi_{ts}$ :TS'nin rota açısını,

$V_{ts}$ :TS'nin hızını ifade etmektedir.

Gemiler arası nisbi hız ($V_{(os_ts)}$) kosinüs teoremi ile denklem (24) ile hesaplanmıştır.

$$V_{(os_ts)} = \sqrt{V_{os}^2 + V_{ts}^2 - 2V_{os}V_{ts}cos\phi_{(os_ts)}} \quad (24)$$

Bu denklemde,

$\phi_{(os_ts)}$: OS'nin rota açısı ile TS'nin rota açısı farkını ifade etmektedir ve denklem (25) ile hesaplanmıştır.

$$\phi_{(os_ts)} = \phi_{os} - \phi_{ts} \quad (25)$$

AYN, AYNZ ve AYNM'nin hesaplanmasında, gemiler başlangıç rotalarında ilerletilerek aralarındaki mesafe anlık ölçülmüş ve birbirlerine en yakın oldukları anda aralarındaki mesafe AYN değeri olarak kayıt edilmiştir. AYN anında OS'nin pozisyonu kaydedilmiş ve ilk pozisyonu ile arasında ki mesafe ölçülerek AYNM değeri ve bunun da hıza bölünmesi ile AYNZ değeri elde edilmiştir.

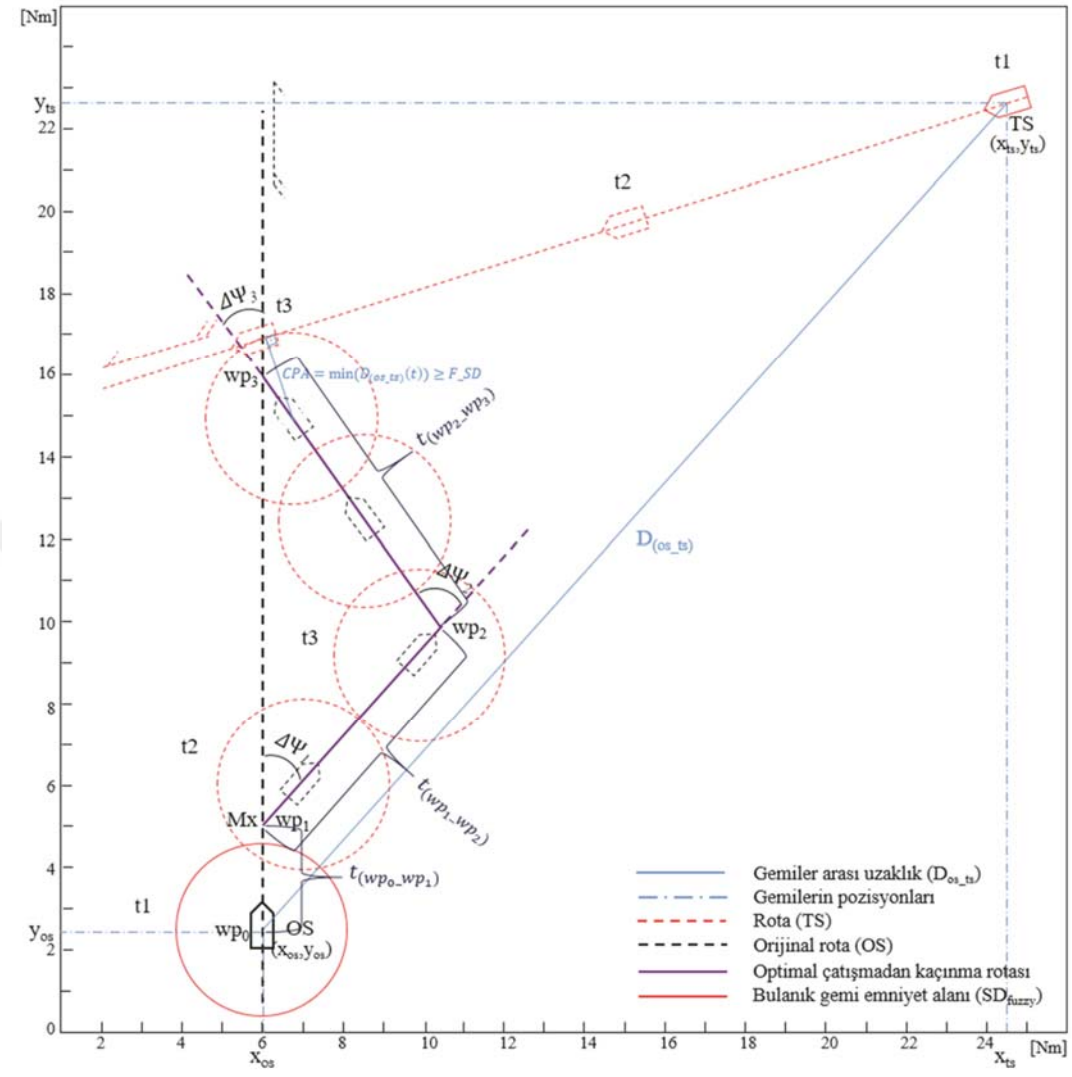
Geliştirilen sistem hangi pozisyonda hangi hıza geçilmesi gerektiğini söyleyerek hız değişimi ile optimal çatışmadan kaçınma olanağı da sunmaktadır. Hız değişimi manevrası ile optimal çatışmadan kaçınma hareketinde gemi aynı rotasında ilerlemekte ve herhangi bir rota değişimi yapmamaktadır. Bu sebeple gemi çatışmadan kaçınma amacıyla orijinal rotasından sapmayarak ekstra yol kat etmemektedir. Yapılan uzman görüşmelerine göre gerçek hayatta çok uygulanmadığı sonucu çıkmasına rağmen, adım kontrollü tahrik sistemine sahip gemilerde ve özellikle ileride insansız gemilerde kullanılmasının mümkün olabileceği düşüncesiyle alternatif olarak sisteme eklenmiştir.

#### 4.5.5.2.1.2. Karar Değişkenleri

Problem çözümünde algoritma inşası rota değişimi manevrası için 6 karar değişkeni üzerinden oluşturulmuştur. Bu karar değişkenleri,

- Başlangıç pozisyonundan ($wp_0$) çatışmadan kaçınma rota değişimi ($\Delta\Psi_1$) pozisyonuna ($wp_1$) kadar seyir süresi $t_{(wp_0_wp_1)}$,
- $wp_1$'de çatışmadan kaçınma amacıyla uygulanacak rota değişimi $\Delta\Psi_1$,
- $wp_1$'den orijinal rotaya dönüş rota değişimi ($\Delta\Psi_2$) pozisyonuna ($wp_2$) kadar seyir süresi $t_{(wp_1_wp_2)}$,
- $wp_2$'de orijinal rotaya dönüş için uygulanacak rota değişimi $\Delta\Psi_2$,
- $wp_2$'den orijinal rotaya giriş rota değişimi ($\Delta\Psi_3$) pozisyonuna ($wp_3$) kadar seyir süresi $t_{(wp_2_wp_3)}$,
- $wp_3$'te orijinal rotaya giriş için uygulanacak olan rota değişimi $\Delta\Psi_3$ olarak belirlenmiştir.

**Şekil 66:** Problemin Karar Değişkenleri




#### 4.5.5.2.1.3. Değişken Kısıtları

Optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonunun en iyi sonucu karar değişkenleri için belirlenmiş kısıtlar aralığında aranmaktadır. Bu çalışmada karar değişkenleri için belirlenen kısıtlar şu şekildedir;

$$10 \leq t_{(wp_0_wp_1)} \leq 63 \;\&\; t_{(wp_0_wp_1)} < AYNZ \tag{26}$$

$$5 \leq \Delta\Psi_1 \leq 63 \tag{27}$$

$$5 \geq t_{(wp_1_wp_2)} \geq 31 \tag{28}$$

$$-10 \leq \Delta\Psi_2 \leq -63 \tag{29}$$

$$AYN = min(D_{os,ts}(t)) = SD_{fuzzy} \tag{30}$$

$t_{(wp_0_wp_1)}$ ($\in$ [10,63]) karar değişkeni, başlangıç pozisyonundan ($wp_0$) çatışmadan kaçınma rota değişimi ($\Delta\Psi_1$) pozisyonuna ($wp_1$) kadar dakika cinsinden seyir süresini ifade etmektedir. Bu değişken sistemde, literatürdeki mevcut modellerden farklı olarak hedef gemiye sistem kullanıcı tarafından belirlenen mesafe ($Mx_{toTS}$) kadar önce çatışmadan kaçınma manevrasının yapılması ve herhangi bir mesafe belirlenmeden sonucunun GA tarafından bulunması olarak iki farklı yaklaşım ile hesaplanmaktadır. İki alternatif olarak sunulmuş olan bu yaklaşımların birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. İlk yaklaşımın uzman görüşmeleri neticesinde gerçek hayata daha uygun olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Görüşülen uzmanlar, hedef gemiye belirli bir mesafe kala (çoğunlukla 8-10 mil) dönüşlerini gerçekleştirdiklerini ifade etmişlerdir. Bu mesafe sisteme verildiğinde geminin hangi noktada döneceği belli olduğu için bu karar değişkeni için GA çözüm aramamaktadır. Bu durum iki noktada avantaj sağlamaktadır. Yukarıda da ifade edildiği üzere gerçek hayata daha uygun olması ve GA'nın bu değişken için çözüm aramaması sebebiyle algoritmanın optimal çözüme ulaşma süresinin düşmesi olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan bu yaklaşım COLREG Kural 16'da geçen *"olabildiğince önceden manevra yapılacaktır"* kuralını da karşılamaktadır. İkinci yaklaşımda ise bu değişkenin çözümünü GA yapmaktadır. Bu yaklaşımda manevra için herhangi bir mesafe belirlenmemesi sebebiyle hedef gemiye çok yaklaşıldığı tespit edilmiştir. Fakat düşük süratlerde, sakin suda ve manevra kabiliyeti yüksek gemilerde kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu yaklaşımın sahip olduğu avantaj ise optimal kaçınma rotası uzunluğunun diğer yaklaşıma göre daha kısa olmasıdır. Bu değişkenin kısıt aralığı sonunun 63 dakika olarak belirlenmesinin sebebi ise manevraya kadar en fazla 1 saatlik seyir süresinin yeterli olacağının düşünülmesidir. 60 dakikadan 3 dakika fazla olmasının sebebi ise algoritma yapısında bu değişkeninin ikilik sayı sisteminde [0,1]

6 bitlik gen dizisi ile temsil edilmiş olmasıdır [$111111_2$=$63_{10}$]. Bu değişkenin aynı zamanda AYNZ değerinden de küçük olması gerekmektedir.

$\Delta\Psi_1$ ($\in$ [5,63]) karar değişkeni, *wp1*'de çatışmadan kaçınma amacıyla uygulanacak rota değişimi açısını ifade etmektedir. Bu manevranın COLREG Kural 16'da geçen *"diğer bir teknenin rahatlıkla algılayabileceği kadar belirgin olacak"* ifadesine uygun olarak yapılması gerekmektedir. İlgili kuralın gerçek hayatta nasıl uygulandığının ortaya konması amacıyla uzmanlara yöneltilen soru neticesinde elde edilen bulgulara göre, bu değişkene ait kısıt aralığı [5,63] olarak belirlenmiştir. Bir önceki karar değişkenine benzer olarak 6 bitlik gen dizisi ile temsil edildiği için kısıt aralığı sonu 60 yerine 63 olarak belirlenmiştir.

$t_{(wp_1_wp_2)}$ ($\in$ [5,31]) karar değişkeni, *wp1*'den orijinal rotaya dönüş rota değişimi manevrası ($\Delta\Psi_2$) pozisyonuna (*wp2*) kadar dakika cinsinden seyir süresini ifade etmektedir. COLREG Kural 8(d)'de geçen *"*manevranın etkili olup olmadığı diğer tekne neta oluncaya kadar dikkatle kontrol edilecektir*"* ifadesine uygunluk gereği orijinal rotaya dönüş manevrası için beklenmesi gerekmektedir. Uzman görüşmeleri neticesinde hedef gemi bordalandığında neta kabul edildiği ortaya çıkmıştır. Bu kurala uygunluk gereği bu değişken, hedef gemi bordalandıktan sonra orijinal rotaya dönüş manevrası yapılacak şekilde, [5,31] kısıt aralığında hesaplanmaktadır. Bu değişken 5 bitlik gen disizi ile temsil edilmektedir. İkilik sayı sisteminde 5 bitlik bir dizinin alabileceği en büyük değer 31 olduğu için kısıt aralığı sonu 30 yerine 31 olarak belirlenmiştir [$11111_2$=$31_{10}$].

$\Delta\Psi_2$ ($\in$ [-10,-63]) karar değişkeni *wp2*'de orijinal rotaya dönüş için uygulanacak rota değişimi açısını ifade etmektedir. Eksi (-), ters tarafa yani iskele tarafa dönüş anlamına gelmektedir. İlk değişkene benzer olarak 6 bitlik gen dizisi ile temsil edildiği için kısıt aralığı sonu 60 yerine 63 olarak belirlenmiştir. Buradan gelen değer $\Delta\Psi_1$ değeri üzerine eklenerek nihai orijinal rotaya dönüş rota değişimi değeri elde edilmektedir.

Son kısıt olarak ise, gemilerin en yakın oldukları an aralarındaki uzaklık ($min(D_{os,ts}(t))$ diğer bir ifade ile AYN değerinin gemi emniyet alanına ($SD_{fuzzy}$) büyük eşit olması gerekmektedir. Optimal değerin elde edilmesi için ise eşit olması gerekmektedir.

#### 4.5.5.2.1.4. Varsayımlar

Algoritma yapısı oluşturulmadan önce problemin karmaşıklığını sadeleştirmek amacıyla bazı varsayımlar kabul edilmiştir. Bu varsayımlar şu şekildedir;

- Çatışma riski değerlendirmesi gemi emniyet alanının ihlal edilip edilmemesi üzerinden yapılmaktadır.
- Geçiş üstünlüğüne sahip gemi olarak TS'nin hızını ve rotasını koruyarak hareketini sabit tutuğu kabul edilmiştir.
- Gemiler ile ilgili seyir bilgilerinin (hız, rota vs.) herhangi bir sistemden sağlandığı kabul edilmiştir. Gerçek hayatta gemilerde bu veriler AIS, ARPA, ECDIS gibi cihazlar aracılığı ile elde edilmektedir.
- Gemilerin COLREG kurallarına uyduğu ve kurallara göre hareket ettiği kabul edilmiştir.
- Gemi hareketleri kinematik model yaklaşımı ile hesaplanmıştır.
- Emniyetli gemi kontrol süreci, çatışmadan kaçınma manevrasının yapılacağı noktaya kadar seyir, çatışmadan kaçınma manevrası ve orijinal rotaya geri dönüş süreçlerinden oluşmaktadır.
- Dönüşlerde oluşan zaman ve hız kaybı göz ardı edilmiştir.

### 4.5.5.2.2. Genetik Algoritma Yapısı

GA'da uygun çözümlerin elde edilebilmesi için probleme özgü algoritma yapısının oluşturulması ve doğru parametrelerin seçilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, değişkenleri temsil eden kromozom ve gen yapısının kodlanma yöntemi, popülasyondaki birey sayısı, yeniden üreme yöntemi, çaprazlama/mutasyon yöntemi/oranı ve sonlandırma ölçütü gibi yapıların belirlenmesi gerekmektedir.

#### 4.5.5.2.2.1. Genetik Gösterim ve Kromozom Yapısı

GA'da karar değişkenleri kromozomlar ile temsil edilmektedir ve bu kromozomların probleme uygun şekilde kodlanması gerekmektedir. Kromozomları kodlama işlemi, problemin olası çözüm kümesini temsil edebilecek ve genetik

işlemlere olanak verecek şekilde uygulanmalıdır (Özdemir, 2017: 218). GA'da kromozomlar, çözüme ait tüm bilgilere sahiptirler (Ünal, 2018: 49).

Bu çalışmada kromozomların kodlanmasında ikili kodlama sistemi [0,1] kullanılmıştır. Bu sistemde kromozomların uzunluğu her bir karar değişkeninin sahip olduğu gen sayısı toplamına eşittir. Yani burada bir kromozom, karar değişkenlerinin sahip olduğu gen sayısı toplamı uzunluğu kadardır. Her bir kromozom amaç fonksiyonuna göre bir çözümü temsil etmektedir. Tablo 21'de bu çalışmada oluşturulan kromozomların ikili sistem kodlama örneği gösterilmektedir. Bu kodlama ile $2^{23} = 8.388.608$ adet kromozom ve her bir kromozomun temsil ettiği olası uygun çözüm bulunmaktadır.

**Tablo 21:** Kromozom ve Gen Yapısı

| **Değişken** | **Gen yapısı** | | | | | | **Uzunluk** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_{(wp_0_wp_1)} \Longrightarrow$ | 0 | . | . | . | . | 1 | 6 gen |
| $\Delta\Psi_1 \Longrightarrow$ | 0 | . | . | . | . | 1 | 6 gen |
| $t_{(wp_1_wp_2)} \Longrightarrow$ | 1 | . | . | . | 0 | | 5 gen |
| $\Delta\Psi_2 \Longrightarrow$ | 0 | . | . | . | . | 1 | 6 gen |
| ⇩ | | | | | | | |
| **Kromozom Yapısı** | | | | | | | |

| | $t_{(wp_0_wp_1)}$ | $\Delta\Psi_1$ | $t_{(wp_1_wp_2)}$ | $\Delta\Psi_2$ |
|---|---|---|---|---|
| n. kromozom | 0 . . . . 1 | 0 . . . . 1 | 1 . . . 0 | 0 . . . . 1 |
| **Toplam uzunluk 23 gen** | | | | |

#### 4.5.5.2.2.2. Başlangıç Popülasyonunun Belirlenmesi

Başlangıç popülasyonu algoritma performansını ve çözüm kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Popülasyonda yer alan kromozomların birbirinden farklı olması çözüm uzayında her bölgeye dağılmasını ve algoritmanın çeşitlendirme stratejisini en iyi şekilde uygulamasını sağlamaktadır. Böylelikle çözüm uzayının her bölgesinde arama gerçekleştirilerek en iyi çözüme ulaşma olasılığı artmaktadır (Erol, 2006: 128).

Popülasyonda yer alan birey sayısı GA'nın performansını ve verimliliğini etkileyen önemli parametredir. Lokal optimale yakınsama ihtimalini azaltacak ve sonlandırma ölçütü sağlanana kadar uygun çözümü ortaya koyabilecek bir popülasyon büyüklüğünün belirlenmesi gerekmektedir (Vural, 2005: 60). Problem tipine göre farklılık göstermekle birlikte, literatürde genel olarak 25-100 (Stockton vd., 2004; Baş, 2015; Elen, 2011) arası bireyden oluşan popülasyon büyüklüklerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu parametre, popülasyonda yer alan kromozom sayısını ve çözüm uzayı büyüklüğünü belirlemektedir. Literatürde yer alan çalışmalar göz önünde tutularak bu çalışmada popülasyonda yer alan kromozom sayısı 50 olarak belirlenmiştir. Bu popülasyon boyutunun evrim süreci boyunca tüm çözümleri kapsayabileceği düşünülmüştür.

GA'da başlangıç popülasyonunda yer alan kromozomların gen dizileri genellikle rassal olarak belirlenmektedir (Vural, 2005: 60). Bu çalışmada da benzer olarak başlangıç popülasyonu rassal olarak belirlenmiştir. Bunun yanında popülasyonda benzer kromozomların olmamasına dikkat edilmiş ve birey sayısı her nesilde sabit tutulmuştur. Başlangıç popülasyonu oluşturma sözde kodu (pseudo code) tablo 22'de gösterilmektedir.

**Tablo 22:** Başlangıç Popülasyonu Oluşturma Sözde Kodu

*fonksiyon baslangic_populasyonu_olustur*

```
1   başla
2       popülasyon boyutunu belirle
3       her bir kromozom için
4       {
5           rastgele gen ata
6           çakışma var mı kontrol et
7           eğer (çakışma varsa)
8           {
9               adım 6'ya geri dön
10          }
11          değilse
12          {
13              atama yap
14          }
15      }
16      popülasyonu döndür
17  bitir
```

#### 4.5.5.2.2.3. Kromozomların Uygunluklarının Değerlendirilmesi

GA'da ebeveyn seçimi aşamasından önce amaç fonksiyonuna göre popülasyonda yer alan her kromozomun değerlendirilmesi ve güçlülerin belirlenmesi gerekmektedir. Amaç fonksiyonuna göre her kromozom bir sonuç değeri temsil etmekte ve bu değere göre popülasyondaki yeri belirlenmektedir. Böylelikle popülasyondaki güçlü kromozomların ayırt edilmesi sağlanmaktadır. Yüksek uygunluk değerine sahip kromozomlar popülasyonun en güçlü bireyleridir ve genlerinin sonraki nesillere aktarılma olasılıklarının yüksek olması gerekmektedir. Böylelikle daha iyi nesiller üretilerek algoritmanın en iyi sonuca yakınsaması sağlanabilmektedir. Uygunluk değeri hesaplama sözde kodu tablo 23'te gösterilmektedir.

**Tablo 23:** Uygunluk Değeri Hesaplama Sözde Kodu

*fonksiyon uygunluk_hesapla*

```
1   başla
2       popülasyon listesini al
3       amaç fonksiyonuna göre her bir kromozom için
4       {
5           f(x) = min ∑_{i=1}^{n-1} m_i  hesapla
6       }
7       uygunluk değerlerini döndür
8   bitir
```

#### 4.5.5.2.2.4. Yeniden Üreme (Seçim) İşlemi

Başlangıç popülasyonunun oluşturulması ve popülasyonda yer alan kromozomların uygunluk değerlerinin hesaplanmasının ardından ebeveyn seçimi işlemi yapılmaktadır. Seçim işlemi ile çocukların üretileceği bireyler belirlenerek eşleştirilir. Bu işlem güçlü bireylerin yaşaması prensibine göre işlemektedir. Uygunluk değeri yüksek olan bireylerin seçilme olasılığı ve genlerinin bir sonraki nesle aktarılma olasılığı daha yüksektir. GA'da seçim işlemi için birkaç farklı yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada literatürde sıklıkla kullanılan rulet çarkı yöntemi kullanılmıştır.

Seçim işlemi her ne kadar güçlü bireylerin seçilmesi ve gelecek nesillere aktarılması üzerine kurgulanmış olsa da, süreç rassal olarak gerçekleştiği için bazı güçlü bireylerin seçilememe ihtimali bulunmaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için en güçlü birey veya belirlenen sayıda güçlü birey herhangi bir işlem uygulanmadan direkt yeni nesle aktarılabilir. Elitizm işlemi olarak ifade edilen bu yöntem ile güçlü bireylerin yeni nesle aktarılması garanti altına alınmış olur. Bu amaçla bu çalışmada elitizm işlemi de uygulanmıştır. Seçim işlemi sözde kodu tablo 24'te gösterilmektedir.

**Tablo 24:** Seçim İşlemi Sözde Kodu

*fonksiyon rulet_carki_secim*

```
1    başla
2        popülasyon listesini al
3        uygunluk değeri hesaplanmış her bir birey için
4    {
5        seçilme olasılıkları belirle P_i = f(x_i)/∑_{i=1}^{NP} f(x_i)
6    }
7        çarkı döndür ve bireyleri seç
8        popülasyonu döndür
9    bitir
```

#### 4.5.5.2.2.5. Çaprazlama İşlemi

Seçim işlemi sonucu seçilmiş olan bireylerden bir eşleştirme havuzu oluşturulur ve havuzda yer alan bireyler eşleştirilirler. Güçlü bireyler ile zayıf bireyleri birbirleri ile eşleştirmek gibi yöntemler olsa da bireyler genellikle rassal olarak eşleştirilirler. Çaprazlamanın hangi bireyler arasında olacağı, yeni neslin kalitesi açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada eşleştirme havuzunda yer alan bireyler rassal olarak eşleştirilmiştir.

Eşleştirilmiş olan bireyler arasında yeni neslin oluşturulması, diğer bir ifade ile çocuk kromozomların üretimi için çaprazlama işlemi uygulanmaktadır. Çaprazlama işleminde amaç, ebeveynlerin sahip olduğu gen özelliklerinin bir kısmını yeni nesle aktarmaktadır. GA'nın temel operatörlerinden biri olan çaprazlama işlemi kromozom

çiftleri arasında genlerin yerini değiştirerek farklı bireylerin yaratılmasına olanak sağlamaktadır.

Çaprazlama yöntemi ve olasılığı çaprazlama işleminin önemli iki unsurudur. Çaprazlama olasılığı popülasyonda yer alan kromozom çiftlerinin çaprazlanma ihtimalini gösteren bir parametredir. Çaprazlama yöntemi ise çiftler arasında çaprazlama işleminin nasıl uygulanacağını göstermektedir. Problem tipine göre farklılık gösterse de literatürde, 0,5-1,0 aralığında çaprazlama olasılığı oranları (Tuna, 2014; Stockton vd., 2004; Lin vd., 2003) ve tek nokta çaprazlama yöntemi (Ünal, 2018; Altay, 2007; Balkaya, 2011) sıklıkla kullanılmaktadır. Literatür göz önünde tutularak bu çalışmada, çaprazlama olasılığı 0,7 belirlenmiş ve çaprazlama yöntemi olarak tek nokta çaprazlama yöntemi uygulanmıştır. Çaprazlama işlemi sözde kodu tablo 25'te gösterilmektedir.

**Tablo 25:** Çaprazlama İşlemi Sözde Kodu

*fonksiyon caprazlama*

```
1    başla
2        eşleştirme havuzunda yer alan bireylerin listesini al
3        bireyleri rastgele eşleştir
4        çaprazlama oranını belirle
5        her bir çift için
6        eğer (rand(0,1) < C_R)
7        {
8            çaprazlama noktası rastgele belirle
9            çaprazlama noktasında çiftler arasında genlerin yerini değiştir
10       }
11       çocuk bireyleri döndür
12   bitir
```

#### 4.5.5.2.2.6. Mutasyon İşlemi

GA'da çaprazlama işlemi ile üretilen çocuk bireyler mutasyon işlemine tabi tutulur. Mutasyon işlemi, çözüm uzayının farklı bölgelerinde arama yapılmasını sağlayarak lokal optimuma takılma ihtimalini düşüren etkili bir işlemdir.

Mutasyon yöntemi ve olasılığı çaprazlama işleminde olduğu gibi mutasyon işleminin de iki önemli unsurudur. Mutasyon olasılığı bireyleri mutasyona uğratma

ihtimalini gösteren bir parametredir. Mutasyon yöntemi ise mutasyon işleminin nasıl uygulanacağını göstermektedir. Literatürde 0,01-0,05 aralığında mutasyon olasılığı oranlarının (Tuna, 2014; Ünal, 2018; Özdemir, 2017) ve bitsel tersleme (nokta) yönteminin (Özdemir, 2017; Balkaya, 2011) sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Bitsel tersleme işlemi, belirlenen mutasyon olasılığına göre seçilmiş olan bireylerin sahip oldukları genlerden birinin rassal olarak seçilip tersine (0 ise 1, 1 ise 0) çevrilmesidir. Literatür göz önünde tutularak bu çalışmada, mutasyon olasılığı 0,03 belirlenmiş, mutasyon yöntemi olarak ise bitsel tersleme yöntemi kullanılmıştır. Mutasyon işlemi sözde kodu tablo 26'da gösterilmektedir.

**Tablo 26:** Mutasyon İşlemi Sözde Kodu

*fonksiyon mutasyon*

```
1    başla
2        çocuk bireylerin listesini al
3        mutasyon oranını belirle
4        her bir birey için
5        eğer (rand(0,1) < M_R)
6        {
7            mutasyona uğratılacak geni rastgele belirle ve tersine çevir
8        }
9        yeni popülasyonu döndür
10   bitir
```

#### 4.5.5.2.2.7. Sonlandırma Ölçütü

GA'da karar verilmesi gereken diğer önemli bir nokta evrim sürecinin sonlandırılacağı sonlandırma ölçütüdür. Sonlandırma ölçütü, maksimum iterasyon sayısı, aynı sonuçları tekrarlama sayısı ve hesaplama süresi gibi ölçütler olabilmektedir (Reeves, 2010: 119). Belirlenen bu ölçütlerden biri sağlandığında algoritma sonlanarak, mevcut nesilde en iyi uygunluk değerine sahip bireyin temsil ettiği sonucu en iyi sonuç olarak çıktıya vermektedir. (Özdemir, 2017: 221). Bu çalışmada maksimum iterasyon sayısı algoritmayı sonlandırma ölçütü olarak belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 100 iterasyon sonunda algoritma sonlandırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan GA parametreleri tablo 27'de, uygulanan algoritmaya ilişkin sözde kod tablo 28'de, algoritma akış diyagramı ise şekil 67'de gösterilmektedir.

**Tablo 27:** Algoritmada Kullanılan GA Parametreleri

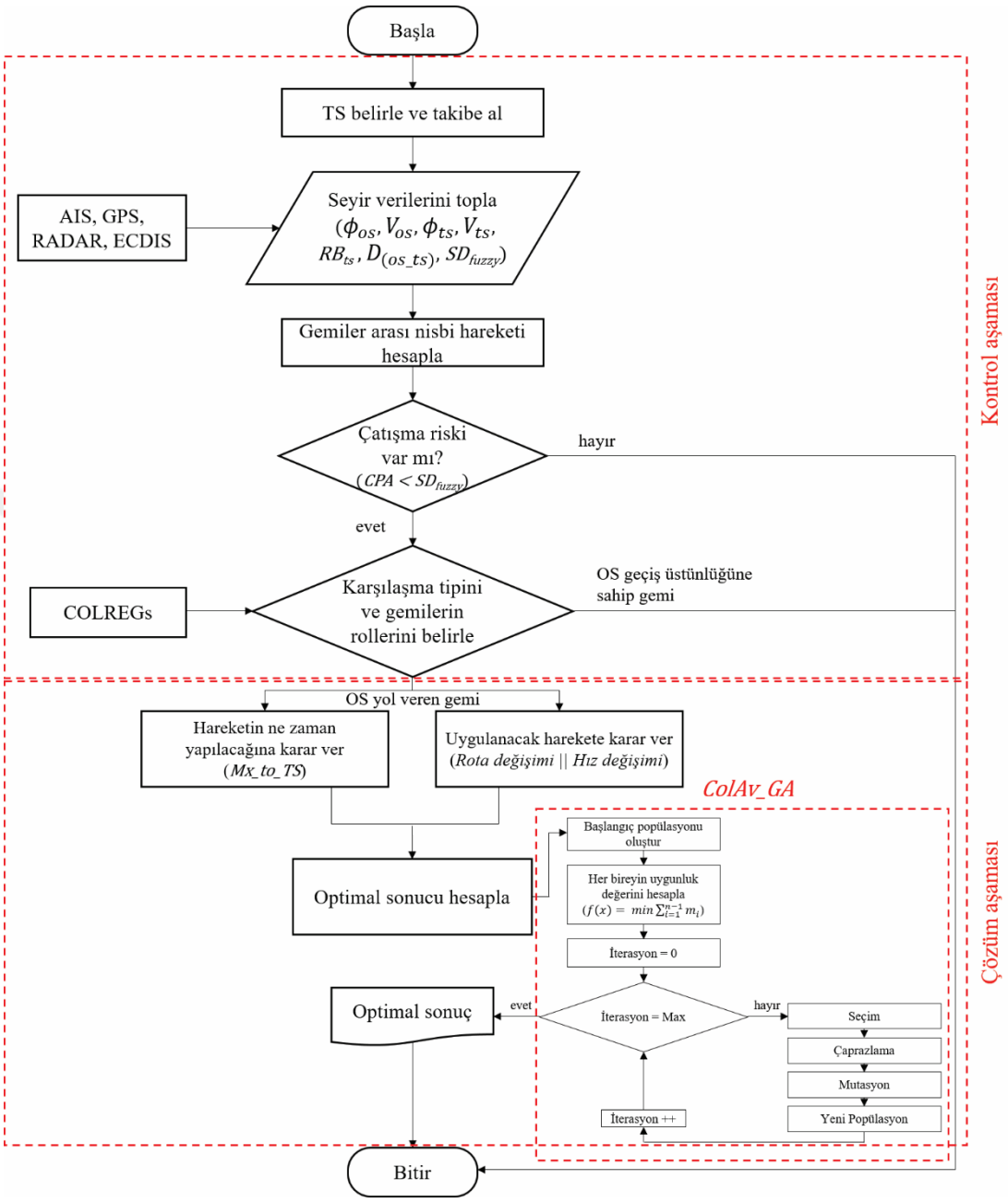
| **Parametre** | **Değer** | **Operasyon** | **Düzenleme** |
|---|---|---|---|
| Genetik gösterim | ([0],[1]) | Kodlama | İkili sistem kodlama |
| Başlangıç popülasyonu (P_S) | 50 (sabit) | Popülasyon oluşturma | Her bireyin ikili sistemde kodlanması ve bir sonucu temsil etmesi |
| Seçim işlemi | - | Ebeveyn seçimi | Rulet çarkı, elitizm |
| Çaprazlama oranı (C_R) | 0,7 | Çaprazlama | Tek nokta çaprazlama |
| Mutasyon oranı (M_R) | 0,03 | Mutasyon | Bitsel tersleme |
| Sonlandırma Ölçütü (G_S) | 100 | Uygunluk değerinin hesaplanması | En kısa rota uzunluğu |

**Tablo 28:** Uygulanan Algoritmaya İlişkin Sözde Kod

*fonksiyon GA*

```
başla
// fonksiyon baslangic_populasyonu_olustur
{
    popülasyon boyutunu belirle
    her bir birey için
    {
        rastgele gen ata
        çakışma var mı kontrol et
        eğer (çakışma varsa)
        {
            adım 8'e geri dön
        }
        değilse
        {
            atama yap
        }
    }
    popülasyonu döndür
}
// fonksiyon uygunluk_hesapla
{
    popülasyon listesini al
    her bir birey için
    {
        f(x) = min ∑_{i=1}^{n-1} m_i  hesapla
    }
    uygunluk değerlerini döndür
}
en iyi çözüm_o = min(uygunluk_hesapla_o)
en iyi bireyi belirle (elitizm)
iterasyon=0
tekrarla
{
    // fonksiyon rulet_carki_secim
    {
        popülasyon listesini al
        uygunluk değeri hesaplanmış her bir birey için
        {
            seçilme olasılıkları belirle (P_i = f(x_i)/∑_{i=1}^{N_P} f(x_i))
        }
        çarkı döndür ve bireyleri seç
    }   popülasyonu döndür
    // fonksiyon caprazlama
    {
        eşleştirme havuzunda yer alan bireylerin listesini al
        bireyleri rastgele eşleştir
        çaprazlama oranını belirle
        her bir çift için
        eğer (rand(0,1) < C_R)
        {
            çaprazlama noktası rastgele belirle
            çaprazlama noktasında çiftler arasında genlerin yerini değiştir
        }
        çocuk bireyleri döndür
    }
    // fonksiyon mutasyon
    {
        çocuk bireylerin listesini al
        mutasyon oranını belirle
        her bir birey için
        eğer (rand(0,1) < M_R)
        {
            mutasyona uğratılacak geni rastgele belirle ve tersine çevir
        }
        yeni popülasyonu döndür
    }
}
uygunluk hesapla
en iyi çözüm_t = min(uygunluk_hesapla_t)
eğer (en iyi çözüm_t < en iyi çözüm_o)
{
    en iyi çözüm_o = en iyi çözüm_t
}
iterasyon ++
eğer (iterasyon > iterasyon sayısı)
{
    bitir
}
değilse
{
    adım 32'ye geri dön
}
bitir
```

**Şekil 67:** Çözüm Algoritması Akış Diyagramı




#### 4.5.5.2.3. Bulanık Gemi Emniyet Alanı

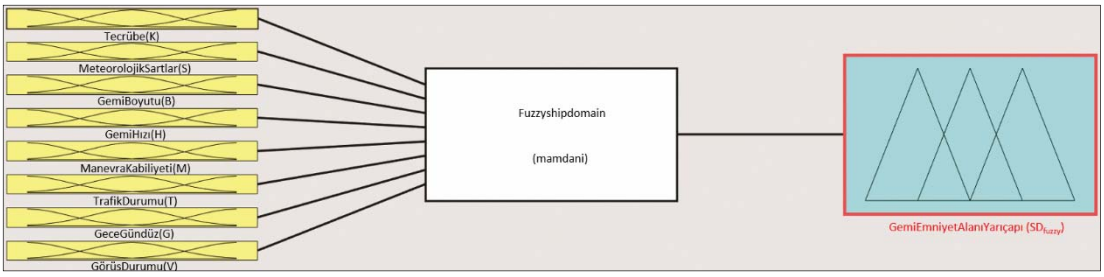
Gemi emniyet alanı (ship safety domain), gemiyi diğer su üstü cisimlerinden (diğer gemiler, sabit cisimler vs.) uzak tutan ve etrafını çevreleyen alandır (Goodwin, 1975). Seyir yapmakta olan her gemi bir emniyet alanı belirler ve herhangi bir hareketli veya hareketsiz cismin bu alana girmesi durumunu çatışma riski olarak kabul eder.

Çatışma riskinin ortadan kaldırılması için diğer cisimlerin bu alanın dışında tutulması gerekir.

Gemi emniyet alanı yarıçapı büyüklüğüne kaptanlar genellikle tecrübelerine dayanarak belirlemektedirler. Bunun yanında şirketler de minimum mesafeyi belirleyerek şirket prosedürlerine eklemektedirler. Genellikle AYN mesafesi olarak verilen bu değer yarıçap olarak kabul edilerek emniyet alanı belirlenir. Büyük ölçüde tecrübe ve deneyime dayalı olarak belirlenen gemi emniyet alanı büyüklüğüne hangi unsurun ne kadar önemli olduğunun tespit edilmesinin önemli olacağı düşüncesiyle bu çalışmada, emniyet alanının belirlenmesinde FIS kullanılmıştır. Kao vd. (2007)'nin tasarlamış olduğu 3 giriş 1 çıkış bulanık çıkarım sistemi modeli üzerinden Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi yöntemi ile çok girişli tek çıkışlı (MISO) eğer – o halde (IF – THEN) kuralları kullanılarak bulanık küme ve bulanık kural tabanı oluşturulmuştur.

Bulanık gemi emniyet alanı ($SD_{fuzzy}$) oluşturmada, Bulanıklaştırma (Fuzzification) aşamasında Üçgen (Triangular) ve Yamuk (Trapezoid) üyelik fonksiyonları, Birleştirme (Aggregation) metodu olarak Toplam (Sum) metodu, Durulaştırma (Defuzzification) metodu olarak ise Ağırlık Merkezi (Centroid) metodu kullanılmıştır. MATLAB R2016b bulanık mantık aracı kullanılarak oluşturulan sistem 8 sözel girdi değişkeni ve 1 sözel çıktı değişkeni üzerinden tanımlanmıştır. Girdi değişkenleri uzman görüşmeleri neticesinde; *zabitin tecrübesi ve yetkinliği (K), meteorolojik şartlar (S), gemi boyutu (B), gemi hızı (H), geminin manevra kabiliyeti (M), trafik durumu (T), gece-gündüz durumu (G)* ve *görüş durumu (V)* olarak oluşturulmuştur. Çıktı değişkeni ise *gemi emniyet alanı yarıçapı* ($SD_{fuzzy}$) olarak belirlenmiştir. Bu durum kısaca, sekiz-boyutlu (n=8) girdi vektörü ile $SD_{fuzzy}$ = [K, S, B, H, M, T, G, V] olarak ifade edilebilir. Bütün girdi değişkenleri ile birlikte toplam 231 bulanık kural oluşturulmuştur. Oluşturulan bulanık kurallar ve kural yüzeyleri ek 3 ve ek 4'te paylaşılmıştır. Şekil 68'de gemi emniyet alanı bulanık çıkarım sistemi model yapısı gösterilmektedir.

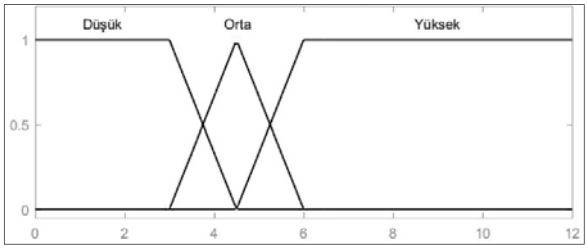
**Şekil 68:** Bulanık Çıkarım Sistemi Model Yapısı




Her bir değişken için tanımlanan sözel değişkenler, bulanık değerler, üyelik fonksiyonu tipi ve evrensel boyut aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.

*Zabitin Tecrübesi ve Yetkinliği (K)* girdi değişkeni Türk gemi adamları terfi süreleri göz önünde tutularak, *3/4,5/6* yıl ve sözel değişkenler *düşük, orta* ve *yüksek* olarak belirlenmiştir (Evrensel boyut ($E_{tecrübeyetkinlik}$) = [3;6]). Bu üç sözel değişkenin bulanık değerleri şu şekilde oluşturulmuştur: *düşük = (0 0 3 4,5), orta = (3 4,5 6), yüksek = (4,5 6 6 6)*. Burada, *düşük* ve *yüksek* sözel değişkenleri için yamuk, *orta* sözel değişkeni için ise üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Bknz. şekil 69).

**Şekil 69:** Zabitin Tecrübesi ve Yetkinliği (K) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu



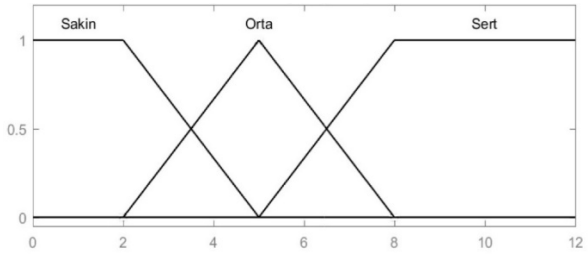

$$\mu_{düşük}(k) = \begin{cases} 1, & k \leq 3 \\ \dfrac{4{,}5 - k}{1{,}5}, & 3 \leq k \leq 4{,}5 \end{cases}$$

$$\mu_{orta}(k) = \begin{cases} \dfrac{k - 3}{1{,}5}, & 3 \leq k \leq 4{,}5 \\ \dfrac{6 - k}{1{,}5}, & 4{,}5 \leq k \leq 6 \end{cases}$$

$$\mu_{yüksek}(k) = \begin{cases} \dfrac{k - 4{,}5}{1{,}5}, & 4{,}5 \leq k \leq 6 \\ 1, & 6 \leq k \end{cases}$$

*Meteorolojik Şartlar (S)* girdi değişkeni uluslararası bofor (beaufort) çizelgesi göz önünde tutularak, *2/5/8* sözel değişkenleri *sakin, orta* ve *sert* olarak belirlenmiştir (Evrensel boyut ($E_{meteoroloji}$) = [2;8]). Bu üç sözel değişkenin bulanık değerleri şu şekilde oluşturulmuştur: *sakin = (0 0 2 5), orta = (2 5 8), sert = (5 8 8 8)*. Burada, *sakin* ve *sert* sözel değişkenleri için yamuk, *orta* sözel değişkeni için ise üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Bknz. şekil 70).

**Şekil 70:** Meteorolojik Şartlar (S) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu



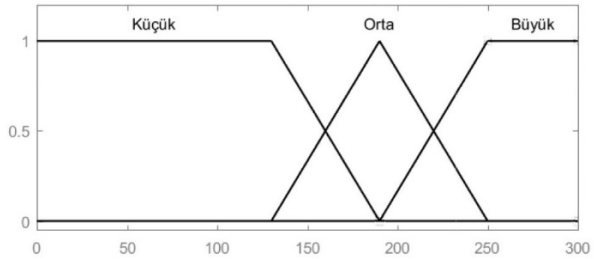

$$\mu_{sakin}(s) = \begin{cases} 1, & s \leq 2 \\ \frac{5-s}{3}, & 2 \leq s \leq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{orta}(s) = \begin{cases} \frac{s-2}{3}, & 2 \leq s \leq 5 \\ \frac{8-s}{3}, & 5 \leq s \leq 8 \end{cases}$$

$$\mu_{sert}(s) = \begin{cases} \frac{s-5}{3}, & 5 \leq s \leq 8 \\ 1, & 8 \leq s \end{cases}$$

*Gemi Boyutu (B)* girdi değişkeni Kao vd. (2007) çalışmasında yer alan ClassNk (Nippon Kaiji Kyokai)'in AIS verileri analiz sonucu oluşturulan gemi boyutları sınıflamasına göre, *130/190/250* m sözel değişkenleri *küçük, orta* ve *büyük* olarak belirlenmiştir (Evrensel boyut ($E_{gemiboyutu}$) = [130;250]). Bu üç sözel değişkenin bulanık değerleri şu şekilde oluşturulmuştur: *küçük = (0 0 130 190), orta = (130 190 250), büyük = (190 250 250 250).* Burada, *küçük* ve *büyük* sözel değişkenleri için yamuk, *orta* sözel değişkeni için ise üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Bknz. şekil 71).

**Şekil 71:** Gemi Boyutu (B) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu



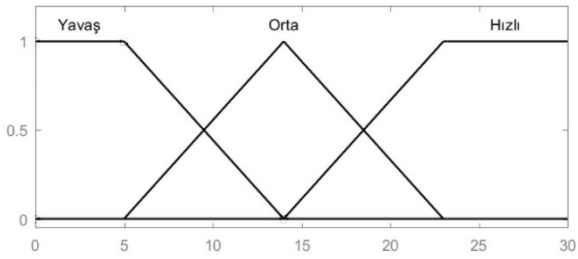

$$\mu_{küçük}(b) = \begin{cases} 1, & b \leq 130 \\ \frac{190-b}{60}, & 130 \leq b \leq 190 \end{cases}$$

$$\mu_{orta}(b) = \begin{cases} \frac{b-130}{60}, & 130 \leq b \leq 190 \\ \frac{250-b}{60}, & 190 \leq b \leq 250 \end{cases}$$

$$\mu_{büyük}(b) = \begin{cases} \frac{b-190}{60}, & 190 \leq b \leq 250 \\ 1, & 250 \leq b \end{cases}$$

*Gemi Hızı (H)* girdi değişkeni ITU-R M1371-1 raporunda yer alan gemi hızı sınıflamasına göre, *5/14/23 knot* sözel değişkenleri *yavaş, orta* ve *hızlı* olarak belirlenmiştir (Evrensel boyut ($E_{gemihızı}$) = [5;23]). Bu üç sözel değişkenin bulanık değerleri şu şekilde oluşturulmuştur: *yavaş = (0 0 5 14), orta = (5 14 23), hızlı = (14 23 23 23).* Burada, *yavaş* ve *hızlı* sözel değişkenleri için yamuk, *orta* sözel değişkeni için ise üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Bknz. şekil 72).

**Şekil 72:** Gemi Hızı (H) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu



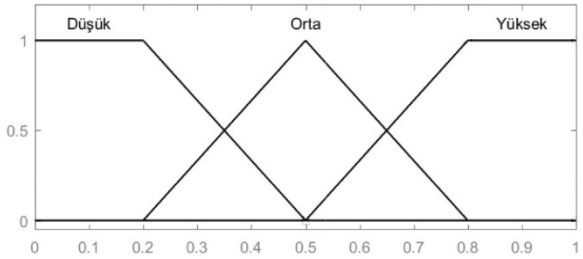

$$\mu_{yavaş}(h) = \begin{cases} 1, & h \leq 5 \\ \dfrac{14-h}{9}, & 5 \leq h \leq 14 \end{cases}$$

$$\mu_{orta}(h) = \begin{cases} \dfrac{h-5}{9}, & 5 \leq h \leq 14 \\ \dfrac{23-h}{9}, & 14 \leq h \leq 23 \end{cases}$$

$$\mu_{hızlı}(h) = \begin{cases} \dfrac{h-14}{9}, & 14 \leq h \leq 23 \\ 1, & 23 \leq h \end{cases}$$

*Geminin Manevra Kabiliyeti (M)* girdi değişkeni, *0.2/0.5/0.8* sözel değişkenleri *düşük, orta* ve *yüksek* olarak belirlenmiştir (Evrensel boyut ($E_{manevra}$) = [0,2;0,8]). Bu üç sözel değişkenin bulanık değerleri şu şekilde oluşturulmuştur: düşük = *(0 0 0,2 0,5), orta = (0,2 0,5 0,8), yüksek = (0,5 0,8 0,8 0,8).* Burada, *düşük* ve *yüksek* sözel değişkenleri için yamuk, *orta* sözel değişkeni için ise üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Bknz. Şekil 73).

**Şekil 73:** Geminin Manevra Kabiliyeti (M) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu



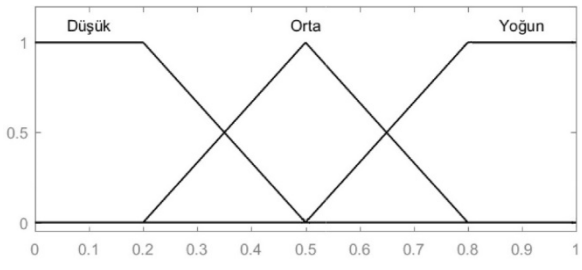

$$\mu_{düşük}(m) = \begin{cases} 1, & m \leq 0{,}2 \\ \dfrac{0{,}5-m}{0{,}3}, & 0{,}2 \leq m \leq 0{,}5 \end{cases}$$

$$\mu_{orta}(m) = \begin{cases} \dfrac{m-0{,}2}{0{,}3}, & 0{,}2 \leq m \leq 0{,}5 \\ \dfrac{0{,}8-m}{0{,}3}, & 0{,}5 \leq m \leq 0{,}8 \end{cases}$$

$$\mu_{yüksek}(m) = \begin{cases} \dfrac{m-0{,}5}{0{,}3}, & 0{,}5 \leq m \leq 0{,}8 \\ 1, & 0{,}8 \leq m \end{cases}$$

*Trafik Durumu (T)* girdi değişkeni, *0,2/0,5/0,8* sözel değişkenleri *düşük, orta* ve *yoğun* olarak belirlenmiştir (Evrensel boyut ($E_{trafikdurumu}$) = [0,2;0,8]). Bu üç sözel değişkenin bulanık değerleri şu şekilde oluşturulmuştur: *düşük = (0 0 0,2 0,5), orta = (0,2 0,5 0,8), yoğun = (0,5 0,8 0,8 0,8).* Burada, *düşük* ve *yoğun* sözel değişkenleri için yamuk, *orta* sözel değişkeni için ise üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Bknz. şekil 74).

**Şekil 74:** Trafik Durumu (T) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu



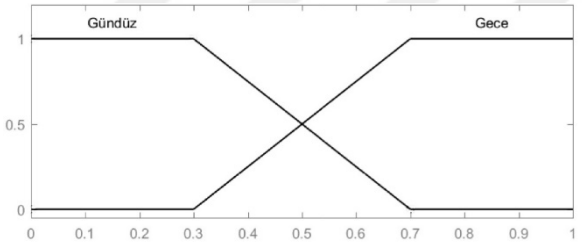

$$\mu_{düşük}(t) = \begin{cases} 1, & t \leq 0{,}2 \\ \dfrac{0{,}5 - t}{0{,}3}, & 0{,}2 \leq t \leq 0{,}5 \end{cases}$$

$$\mu_{orta}(t) = \begin{cases} \dfrac{t - 0{,}2}{0{,}3}, & 0{,}2 \leq t \leq 0{,}5 \\ \dfrac{0{,}8 - t}{0{,}3}, & 0{,}5 \leq t \leq 0{,}8 \end{cases}$$

$$\mu_{yoğun}(t) = \begin{cases} \dfrac{t - 0{,}5}{0{,}3}, & 0{,}5 \leq t \leq 0{,}8 \\ 1, & 0{,}8 \leq t \end{cases}$$

*Gece Gündüz Durumu (G)* girdi değişkeni, *0,3/0,7* sözel değişkenleri *gündüz* ve *gece* olarak belirlenmiştir (Evrensel boyut ($E_{gecegündüz}$) = [0,3;0,7]). Bu iki sözel değişkenin bulanık değerleri şu şekilde oluşturulmuştur: *gündüz = (0 0 0,3 0,7), gece = (0,3 0,7 0,7 0,7).* Burada, bu iki sözel değişken için yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Bknz. şekil 75).

**Şekil 75:** Gece Gündüz Durumu (G) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu

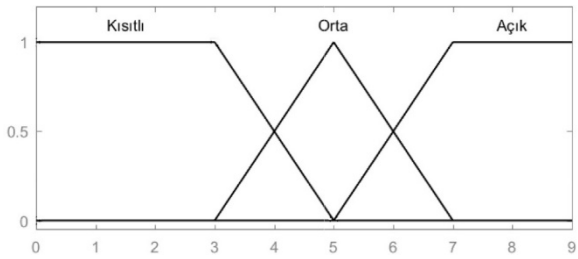



$$\mu_{gündüz}(g) = \begin{cases} 1, & g \leq 0{,}3 \\ \dfrac{0{,}7 - g}{0{,}4}, & 0{,}3 \leq g \leq 0{,}7 \end{cases}$$

$$\mu_{gece}(g) = \begin{cases} \dfrac{g - 0{,}3}{0{,}4}, & 0{,}3 \leq g \leq 0{,}7 \\ 1, & 0{,}7 \leq g \end{cases}$$

*Görüş Durumu (V)* girdi değişkeni, Pick (1932) çalışmasında yer alan görüş durumu sınıflamasına göre, *3/5/7* sözel değişkenleri *kısıtlı, orta* ve *açık* olarak belirlenmiştir (Evrensel boyut ($E_{gorusdurumu}$) = [3;7]). Bu üç sözel değişkenin bulanık değerleri şu şekilde oluşturulmuştur: *kısıtlı = (0 0 3 5), orta = (3 5 7), açık = (5 7 7 7).* Burada, *kısıtlı* ve *açık* sözel değişkenleri için yamuk, *orta* sözel değişkeni için ise üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Bknz. şekil 76).

**Şekil 76:** Görüş Durumu (V) Girdi Değişkeni Üyelik Fonksiyonu



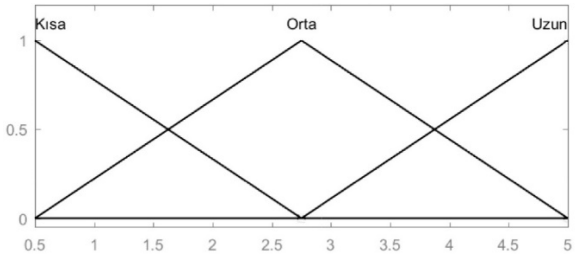

$$\mu_{kısıtlı}(v) = \begin{cases} 1, & v \leq 3 \\ \dfrac{5-v}{2}, & 3 \leq v \leq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{orta}(v) = \begin{cases} \dfrac{v-3}{2}, & 3 \leq v \leq 5 \\ \dfrac{7-v}{2}, & 5 \leq v \leq 7 \end{cases}$$

$$\mu_{açık}(v) = \begin{cases} \dfrac{v-5}{2}, & 5 \leq v \leq 7 \\ 1, & 7 \leq v \end{cases}$$

*Gemi Emniyet Alanı Yarıçapı* ($SD_{fuzzy}$) çıktı değişkeni, *0,5/2,75/5* ve sözel değişkenler *kısa, orta* ve *uzun* olarak belirlenmiştir (Evrensel boyut ($E_{SDfuzzy}$) = [0,5;5]. Bu üç sözel değişkenin bulanık değerleri şu şekilde oluşturulmuştur: *kısa = (0,5 0,5 0,5 2,75), orta = (0,5 2,75 5), uzun = (2,75 5 5 5).* Burada, *kısa* ve *uzun* sözel değişkenleri için yamuk, *orta* sözel değişkeni için ise üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Bknz. şekil 77).

**Şekil 77:** Gemi Emniyet Alanı Yarıçapı ($SD_{fuzzy}$) Çıktı Değişkeni Üyelik Fonksiyonu




$$\mu_{kısa}(r) = \begin{cases} 1, & r \leq 0{,}5 \\ \dfrac{2{,}75-r}{2{,}25}, & 0{,}5 \leq r \leq 2{,}75 \end{cases}$$

$$\mu_{orta}(r) = \begin{cases} \dfrac{r-0{,}5}{2{,}25}, & 0{,}5 \leq r \leq 2{,}75 \\ \dfrac{5-r}{2{,}25}, & 2{,}75 \leq r \leq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{uzun}(r) = \begin{cases} \dfrac{r-2{,}75}{2{,}25}, & 2{,}75 \leq r \leq 5 \\ 1, & 5 \leq r \end{cases}$$

Girdi değişkenleri için uzman görüşmelerinde aldıkları atıf sayısı temel alınarak önem sıralaması yapılmıştır. Bu önem sıralamasına göre yer aldıkları bulanık kurallara ağırlık katsayıları tanımlanmıştır. Bulanık kuralların sahip oldukları ağırlık katsayıları bulanık sisteme etkilerini belirlemektedir. Her kuralın etkisi sahip olduğu ağırlık katsayısı oranı kadardır. Bulanık kuralların katsayıları şu şekilde belirlenmiştir. Girdi değişkenlerinin aldıkları atıf sayısının toplam atıf sayısı içindeki oranları belirlenmiştir. Gemi boyu, draftı ve tonajı tek bir başlık altında gemi boyutu (B) değişkeni olarak tanımlanmıştır. Bu değişken 25,93 ile en yüksek orana sahiptir

(kategori a). Gemi hızı (H), meteorolojik şartlar (S) ve trafik durumu (T) değişkenlerinin her biri 14,82 oranına sahiptir (kategori b). Geminin manevra kabiliyeti (M), zabitin tecrübesi ve yetkinliği (K), gece-gündüz durumu (G) ve görüş durumu (V) değişkenlerinin her biri ise 7,41 oranına sahiptir (kategori c).

Her bulanık kural iki girdi değişkeni içerdiği için (Ör: *EĞER (**GemiHızı(H)** Orta) VE (**GemininManevraKabiliyeti(M)** Düşük) İSE (GemiEmniyetAlanıYarıçapı($SD_{fuzzy}$) Uzun))* değişkenlerin kategorilere göre sahip olduğu ağırlık katsayıların hesaplanması tablo 29'da gösterilmektedir.

**Tablo 29:** Bulanık Kuralların Ağırlık Katsayılarının Tanımlanması

| **Kategoriler** | **Atıf Oranları Ortalaması** | | | **Ağırlık Katsayısı** |
|---|---|---|---|---|
| a+b | = (25,93+14,82)/2 | = 20,38 | [0,1] Normalizasyon → | 0,79 |
| a+c | = (25,93+7,41)/2 | = 16,70 | | 0,64 |
| b+b | = (14,82+14,82)/2 | = 14,82 | | 0,57 |
| b+c | = (14,82+7,41)/2 | = 11,12 | | 0,43 |
| c+c | = (7,41+7,41)/2 | = 7,41 | | 0,29 |

#### 4.5.5.3. Deneysel Bulgular

Bu bölümde, geliştirilen sistemin geçerliği, güvenirliği ve uygulanabilirliğinin test edilmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel uygulamalar sonucu ortaya çıkan bulgulara yer verilmektedir. Bu kapsamda köprüüstü simülatörü ile sanal ortamda (DEÜ Denizcilik Fakültesi), NTNU AMOS ve Maritime Robotics AS (MR) işbirliği ile birlikte ASV ile gerçek ortamda (Trondheim, Norveç) deneysel testler uygulanmıştır. Norveç'te gerçekleştirilen araştırma süreci MR ve NTNU ile birlikte yürütülmüştür. Bu süreç içinde geliştirilen program ASV ile testlerin uygulanabilmesi için hazır hale getirilmiştir.

##### 4.5.5.3.1. Sanal Çevre Uygulamaları: Köprüüstü Simülatörü Testleri

Bu bölümde, köprüüstü simülatöründe uygulanan senaryo testlerinin detaylarına yer verilmektedir. Testler, pruva-pruva (head-on) yaklaşma, kesişme

(crossing) ve yetişip geçme (overtaking) karşılaşma türlerinde örnek senaryolar oluşturularak gerçekleştirilmiştir.

#### 4.5.5.3.1.1. Pruva-Pruva (Head-on) Yaklaşma Örnek Senaryo Uygulaması

Bu senaryo örneğinde karşılaşma tipi olarak *pruva-pruva yaklaşma (COLREG kural 14)* durumu ele alınmıştır. Senaryo girdileri tablo 30'da gösterildiği üzere; $SD_{fuzzy}$ 2 mil, $V_{os}$ 14 knot, $\phi_{os}$ 000°, $V_{ts}$ 15 knot, $\phi_{ts}$ 184°, $RB_{ts}$ 002°, $D_{(os_ts)}$ 31 mil ve $Mx_{toTS}$ 8 mil olarak belirlenmiştir.

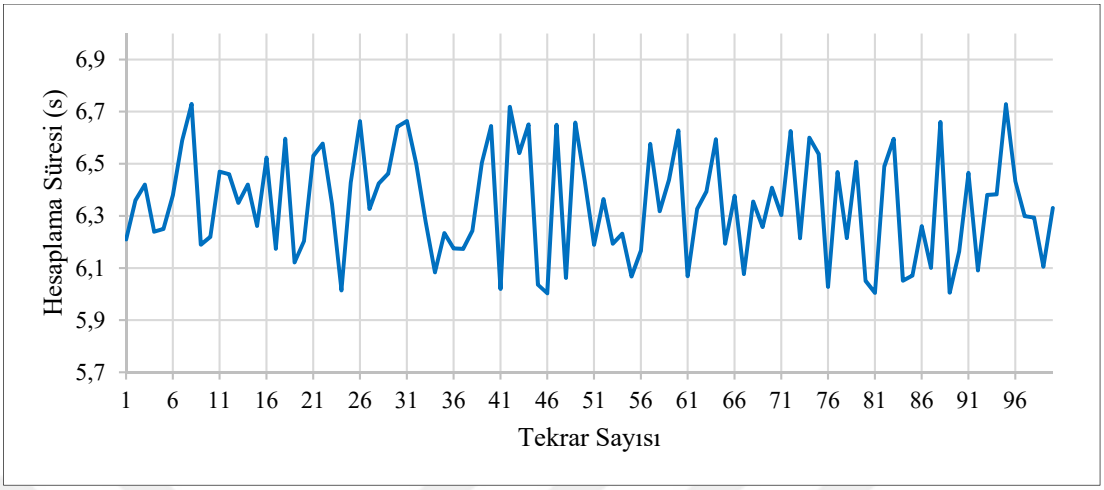
**Tablo 30:** Pruva-Pruva Yaklaşma Örnek Senaryo Girdileri.

| | $SD_{fuzzy}$ [mil] | $V$ [knot] | $\phi$ [°] | $RB_{ts}$ [°] | $D_{(os_ts)}$ [mil] | $Mx_{toTS}$ [mil] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **OS** | 2 | 14 | 000 | - | - | 8 |
| **TS** | - | 15 | 184 | 002 | 31 | - |

Bu örnekte, program tarafından AYN 0,04 mil (AYNZ 64,2 dk, AYNM 14,98 mil) olarak hesaplanmıştır. Çatışma riskinin ortadan kalkması ve emniyetli bir geçişin sağlanabilmesi için AYN değerinin gemi emniyet alanından büyük eşit olması gerekmektedir ($AYN \geq SD_{fuzzy}$). $SD_{fuzzy}$ = 2 mil olması sebebiyle iki gemi arasında çatışma riski söz konusu olduğu kabul edilerek çatışmadan kaçınma manevrası yapılması gerekmektedir. AYN değeri köprüüstü simülatörü tarafından da 0,04 mil olarak hesaplanmıştır. Bu durum geliştirilen programın AYN değerini doğru hesapladığını göstermektedir.

Intel Core i7-7700 2.80 Ghz işlemci, 16GB RAM bellek, 64-Bit işletim sistemi özelliklerine sahip bir bilgisayar ile şekil 78'de gösterildiği üzere 100 defa çalıştırılan program 5,99 sn - 6,73 sn (ortalama: 6,35 sn) aralığında değişen sürelerde çözüme ulaşmış ve her çalıştırmada özdeş sonuçlar üretmiştir.

**Şekil 78:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Algoritmanın Her Çalıştırmada Çözüme Ulaşma Süresi




Pruva-pruva yaklaşma örnek senaryosu için programın üretmiş olduğu çözüm tablo 31'de gösterilmektedir. İlgili tabloda en üst satırda yer alan değerler optimal değerleridir. Programın vermiş olduğu çıktı sözel olarak; *"48 dakika ilerle 32 derece sancağa dön, 16,8 dakika yeni rotada ilerle, ters yönde 62 derece dön, yeni rotada 17,81 dakika ilerle, 30 derece dön"* ifade etmektedir. Bu sonuca göre gemi hareket ettiğinde çatışmadan kaçınma için kat edilen mesafe 8,07 mil olarak ortaya çıkmaktadır.

**Tablo 31:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Program Çözümü.

| $t_{(wp_0_wp_1)}$ [dk] | $\Delta\Psi_1$ [°] | $t_{(wp_1_wp_2)}$ [dk] | $\Delta\Psi_2$ [°] | $t_{(wp_2_wp_3)}$ [dk] | $\Delta\Psi_3$ [°] | $m_{(wp_1_wp_2)} + m_{(wp_2_wp_3)}$ [mil] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **48** | **32** | **16,8** | **[-]62** | **17,81** | **30** | **8,07** |
| 48 | 34 | 16,8 | [-]64 | 18,79 | 30 | 8,3 |
| 48 | 40 | 15,6 | [-]70 | 20,05 | 30 | 8,32 |
| 48 | 32 | 16,8 | [-]60 | 18,96 | 28 | 8,34 |
| 48 | 48 | 14,4 | [-]78 | 21,4 | 30 | 8,35 |
| 48 | 50 | 14,4 | [-]80 | 22,06 | 30 | 8,51 |
| 48 | 46 | 14,4 | [-]74 | 22,06 | 28 | 8,51 |
| 48 | 42 | 15,6 | [-]72 | 20,88 | 30 | 8,51 |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |

Şekil 79'da program arayüzü gösterilmektedir. Arayüzde gemi girdileri, genetik algoritma girdileri, veri güncelleme gibi menüler yer almaktadır. Veri girişi

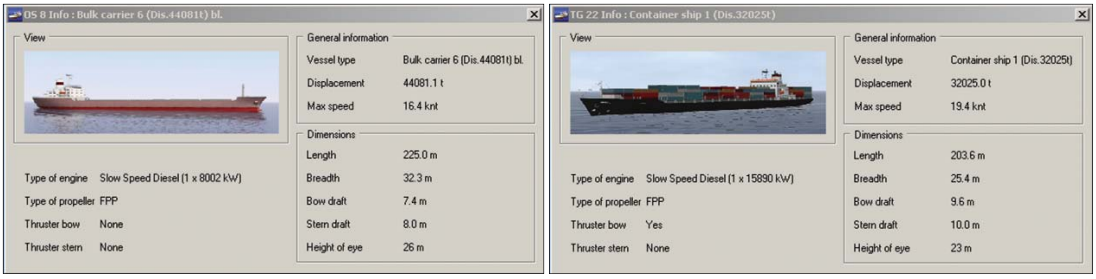
yapıldıktan sonra hesapla butonuna basılarak genetik algoritmanın hesaplama işlemini gerçekleştirmesi beklenmektedir. Birkaç saniye içinde mevcut girdilere göre sonuçlar üretilmektedir. Yeşil çizgiler algoritmanın ürettiği diğer aday rotaları, mor çizgi ise optimal çatışmadan kaçınma rotasını göstermektedir. Optimal sonuca göre simülasyon çalışarak gemiler hareket etmektedir. Böylelikle çatışmadan kaçınma hareketinin nasıl gerçekleştiği ile ilgili görsel olarak benzetim imkânı da sunulmuştur.

**Şekil 79:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Program Arayüzü



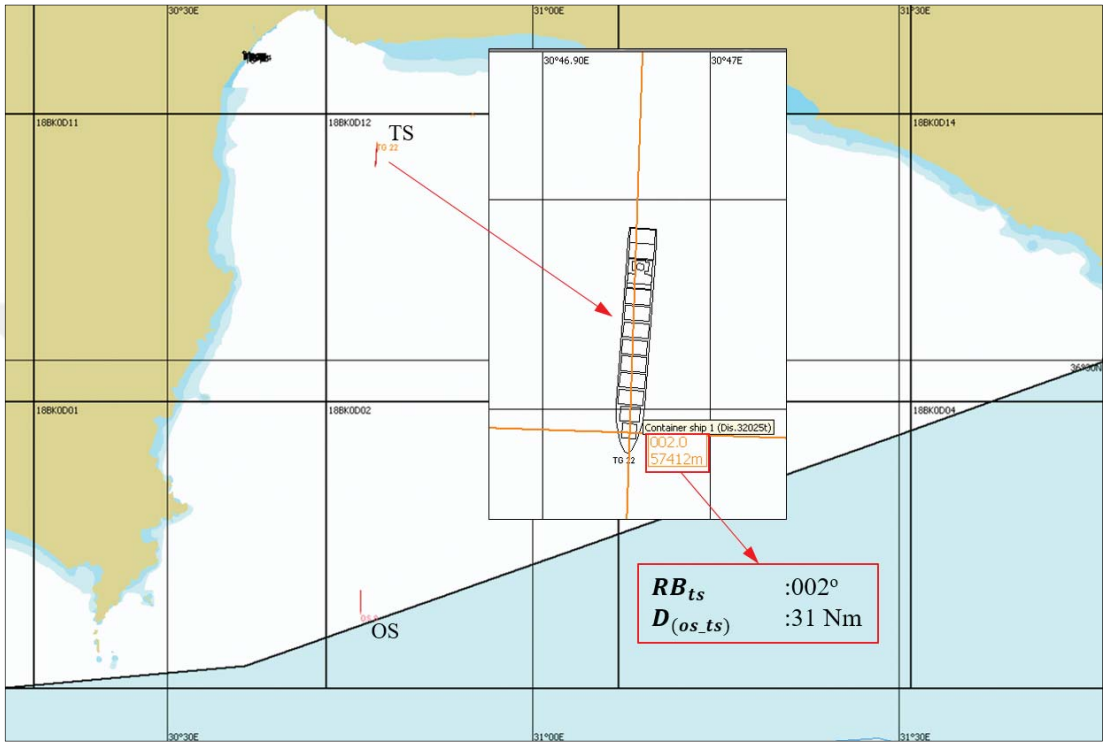

Örnek senaryo girdilerine göre köprüüstü simülatörünün senaryo tasarımı oluşturulmuştur. Bu örnekte, şekil 80'de gösterildiği üzere OS, deplasmanı 44081 ton olan bir dökme yük gemisi, TS ise deplasmanı 32025 ton olan bir konteyner gemisi seçilmiştir.

**Şekil 80:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Senaryo Gemileri



Şekil 81'de senaryo başlangıcında gemilerin harita üzerindeki konumları gösterilmektedir. Senaryo örneği girdilerine göre TS, nisbi kerterizi 002º, mesafesi 31 mil olarak konumlandırılmıştır.

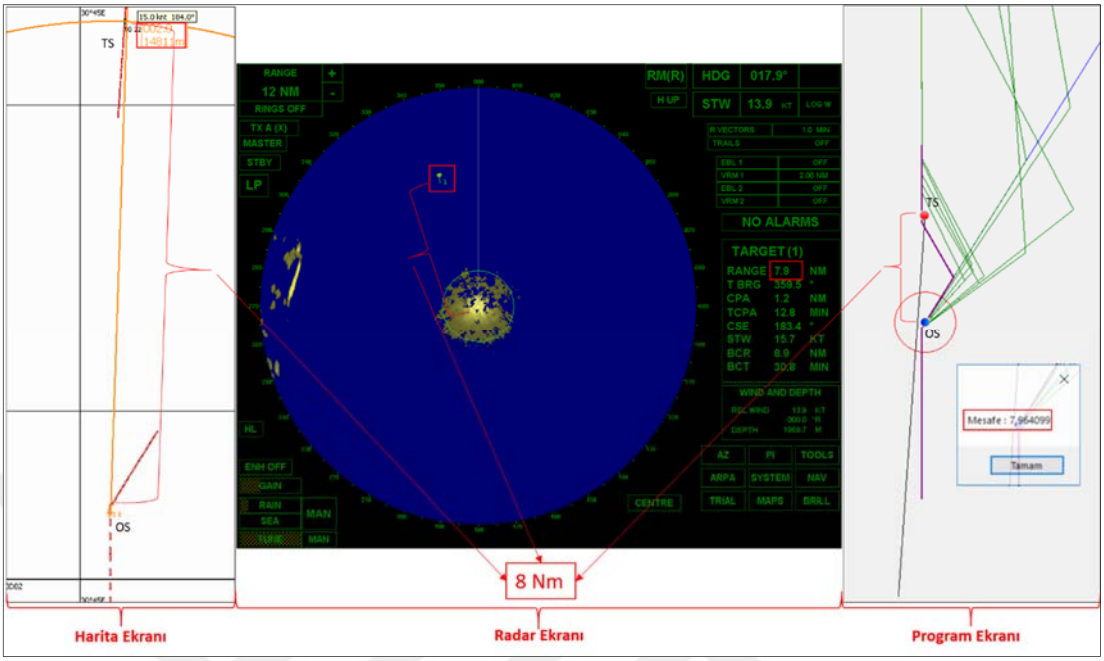
**Şekil 81:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Gemilerin Harita Üzerindeki Konumları




Şekil 82 ve şekil 83'te köprüstü simülatörü ve geliştirilen programın adım adım karşılaştırmalı görselleri paylaşılmıştır. İlgili şekillerin sol tarafında köprüstü simülatörü harita ekranı, ortada köprüstü simülatörü radar ekranı ve sağ tarafında programın gemi hareketleri simülasyonu yer almaktadır.

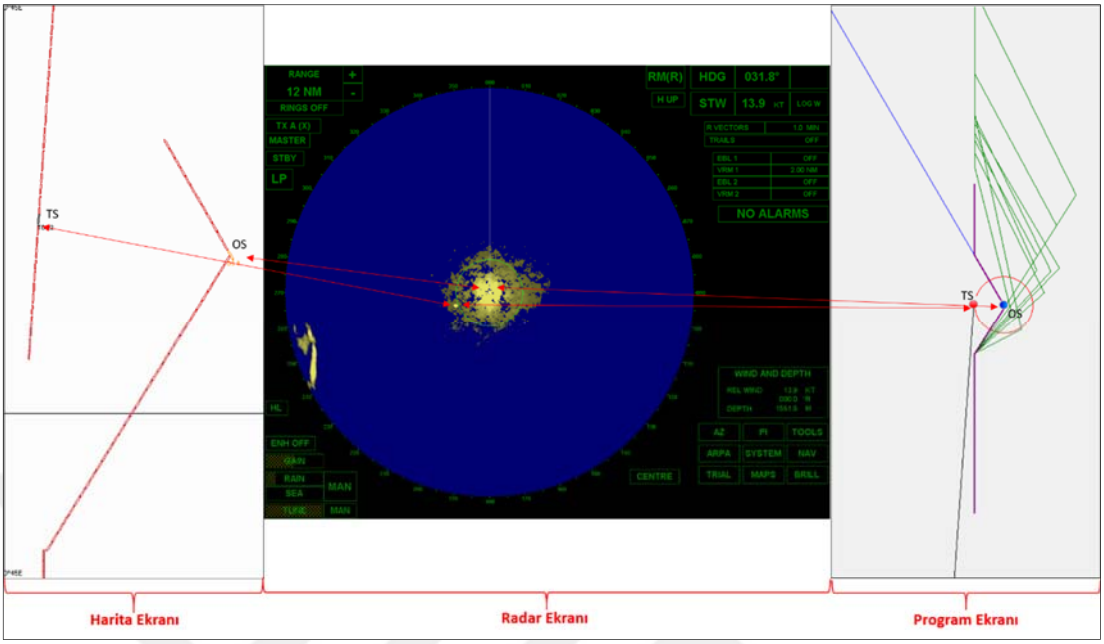
Şekil 82'de OS, programın sağlamış olduğu optimal sonuca göre 48 dk ($\boldsymbol{t_{(wp_0_wp_1)}}$) ilerlemiş ve çatışmadan kaçınma manevrasını ($\boldsymbol{\Delta\Psi_1}$) yapacağı pozisyona ($\boldsymbol{wp_1}$) ulaşmıştır. $\boldsymbol{t_{(wp_0_wp_1)}}$ süresi sonunda OS, çatışmadan kaçınma hareketi için manevrasını gerçekleştirmek üzere TS'ye 8 mil kala ($Mx_{toTS}$) programın önerdiği dönüş açısı olan 32º ($\boldsymbol{\Delta\Psi_1}$)' ye dönmüştür. Dönüşün ardından çatışmadan kaçınma rotasının ilk bacağında seyredilecek süre olan $\boldsymbol{t_{(wp_1_wp_2)}}$ süresi başlamıştır.

**Şekil 82:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması 1.



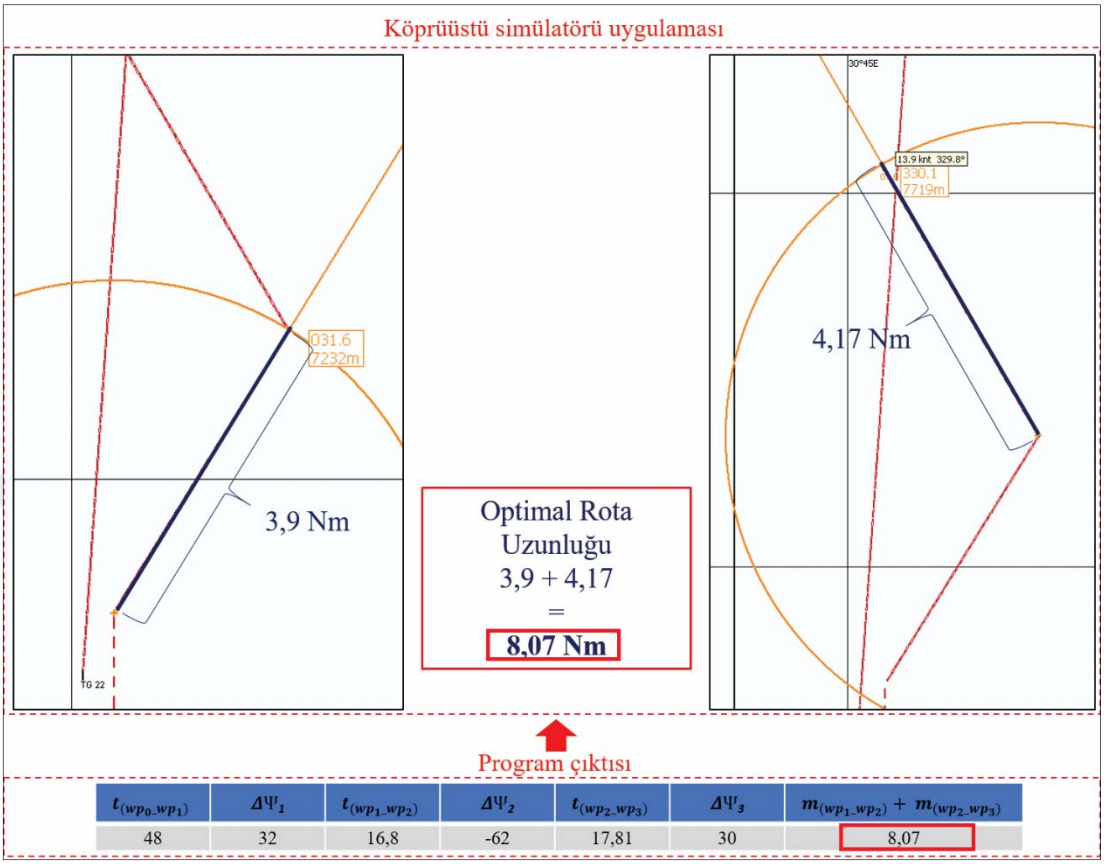

Şekil 83'te OS, algoritma çözümüne göre 16,8 dk ($\boldsymbol{t_{(wp_1_wp_2)}}$) ilerleyerek orijinal rotasına dönüş yapacağı pozisyona ($\boldsymbol{wp_2}$) ulaşmış ve -62° ($\boldsymbol{\Delta}\Psi_2$)' ye rota değişimini gerçekleştirmiştir. Devamında ise OS 17,81 dk ($\boldsymbol{t_{(wp_2_wp_3)}}$) ilerlemiş ve programın önerdiği şekilde 30° ($\boldsymbol{\Delta}\Psi_3$)'ye dönüş yaparak orijinal rotasına giriş yapmış ve optimal çatışmadan kaçınma manevrasını sonlandırmıştır.

**Şekil 83:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması 2.




Köprüüstü simülatörü kontrol konsolu ekranı üzerinde gemilerin takip ettikleri yörünge izlerini kaydetme özelliğine bulunmaktadır. Bu kontrol ekranı gemilerin kat etmiş olduğu mesafenin ölçülebilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 84'de gemilerin ilgili senaryoda ortaya çıkan yörünge izleri gösterilmektedir. Çatışmadan kaçınma rotasının ilk bacağı 3,9 mil, ikinci bacağı ise 4,17 mil olarak ölçülmüş ve toplamda 8,07 mil olduğu ortaya çıkmıştır. Bu değer, programın önermiş olduğu sonuca göre ortaya çıkan optimal çatışmadan kaçınma rotası uzunluğuna eşit olarak programın doğru çalıştığını göstermektedir. Geliştirilen programın performansının tam olarak ölçülebilmesi için dönüşlerde yol ve hız kaybı olmaması adına bu senaryo örneğinde gemi dönüş noktalarına geldiğinde simülasyon duraklatılarak gemi yeni rotasına yerleştirilmiştir.

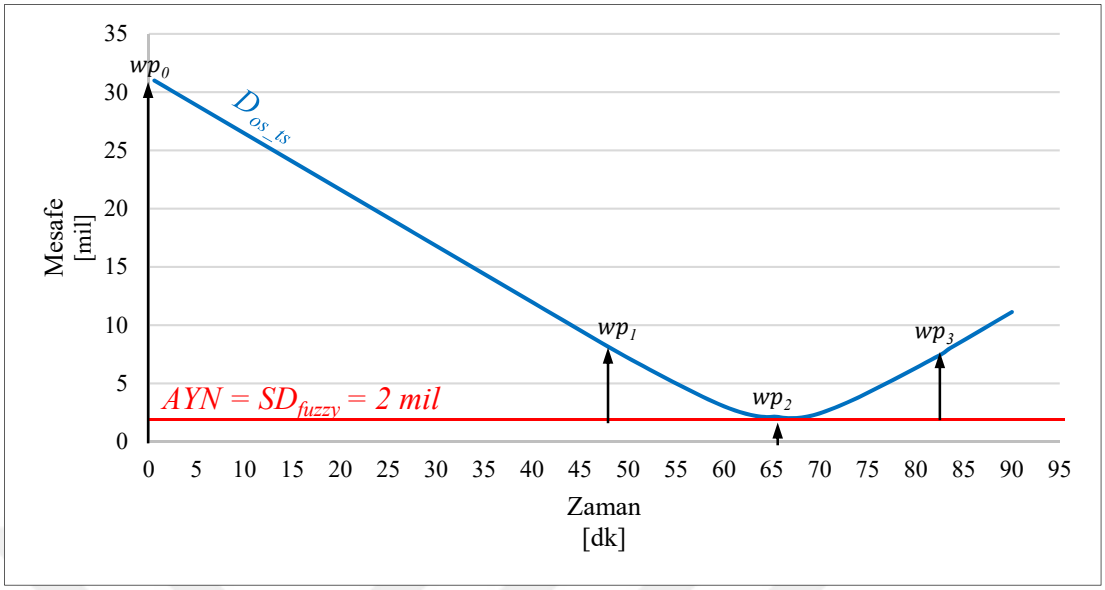
**Şekil 84:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü Optimal Çatışmadan Kaçınma Rotası Uzunluğu.




| $t_{(wp_0_wp_1)}$ | $\Delta\Psi_1$ | $t_{(wp_1_wp_2)}$ | $\Delta\Psi_2$ | $t_{(wp_2_wp_3)}$ | $\Delta\Psi_3$ | $m_{(wp_1_wp_2)} + m_{(wp_2_wp_3)}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 48 | 32 | 16,8 | -62 | 17,81 | 30 | 8,07 |

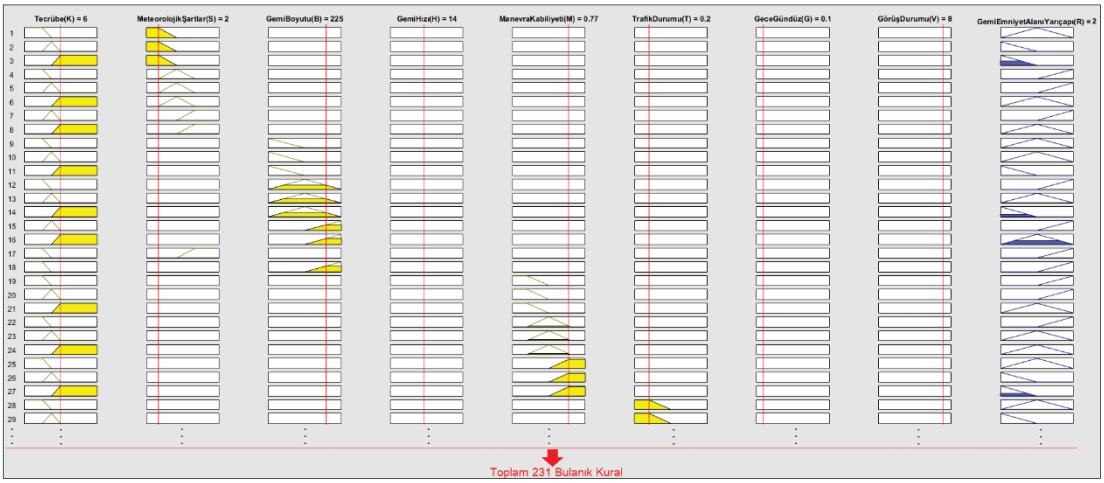
Şekil 85'de zamana bağlı olarak gemiler arası anlık mesafe grafiği gösterilmektedir. Gemilerin birbirlerine en yakın oldukları an aralarındaki mesafenin (AYN) gemi emniyet alanına eşit olduğu ve bu andan itibaren gemiler arasındaki mesafenin giderek arttığı görülmektedir.

**Şekil 85:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Gemiler Arası Anlık Mesafe




Son olarak şekil 86'da $SD_{fuzzy}$ hesabı için oluşturulan bulanık çıkarım sistemine tanımlanan sözel girdi değişkenlerinin değerleri ve bu girdi değişkenleri sonucunda elde edilen çıktı değişkeni değeri ($SD_{fuzzy}$) gösterilmektedir. İlgili şekilde görüldüğü üzere, sözel girdi değişkenlerinin değerleri [K, S, B, H, M, T, G, V] => [6,2,225,14,0.77,0.2,0.1,8] olarak tanımlanmıştır. Bulanık çıkarım sistemi bu girdiler sonucunda bulanık gemi emniyet alanı yarıçapı uzunluğunu ($SD_{fuzzy}$) 2 mil olarak hesaplamıştır. Elde edilen bu değer, pruva-pruva yaklaşma senaryo örneği için, OS'nin emniyet alanı olarak çatışmadan kaçınma sistemine tanımlanmıştır.

**Şekil 86:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Bulanık Emniyet Alanı Hesabı



#### 4.5.5.3.1.2. Kesişme (Crossing) Örnek Senaryo Uygulaması

Bu senaryo örneğinde karşılaşma tipi olarak *kesişme (COLREG kural 15)* durumu ele alınmıştır. Senaryo girdileri tablo 32'de gösterildiği üzere; $SD_{fuzzy}$ 2 mil, $V_{os}$ 14 knot, $\phi_{os}$ 000°, $V_{ts}$ 15 knot, $\phi_{ts}$ 240°, $RB_{ts}$ 030°, $D_{(os_ts)}$ 20 mil ve $Mx_{toTS}$ 7 mil olarak belirlenmiştir.

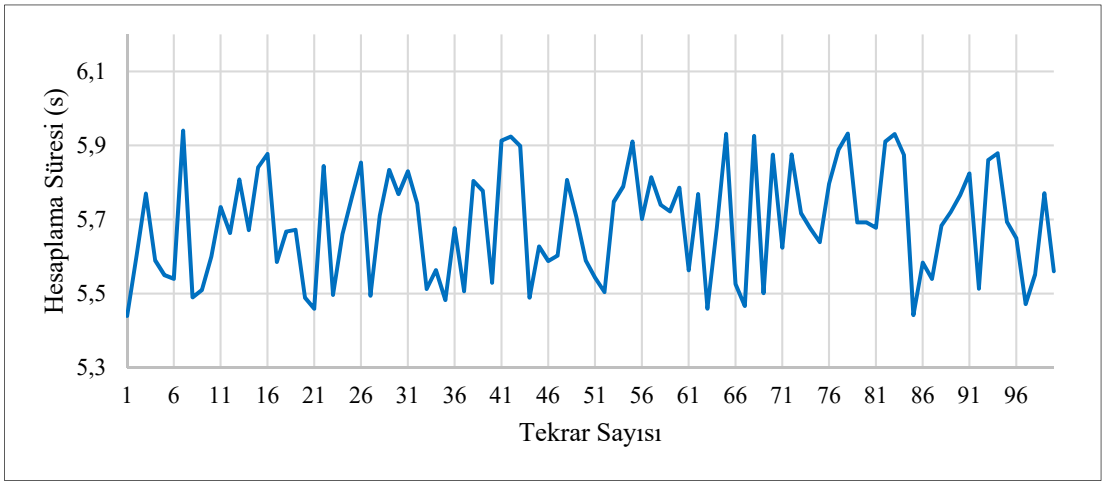
**Tablo 32:** Kesişme Örnek Senaryo Girdileri.

| | $SD_{fuzzy}$ [mil] | $V$ [knot] | $\phi$ [°] | $RB_{ts}$ [°] | $D_{(os_ts)}$ [mil] | $Mx_{toTS}$ [mil] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **OS** | 2 | 14 | 000 | - | - | 7 |
| **TS** | - | 15 | 240 | 030 | 20 | - |

Bu örnek senaryoda program tarafından AYN 0,41 mil (AYNZ 48 dk, AYNM 11,2 mil) olarak hesaplanmıştır. $SD_{fuzzy}$ = 2 mil olması sebebiyle iki gemi arasında çatışma riski söz konusu olduğu kabul edilerek çatışmadan kaçınma manevrası yapılması gerekmektedir. AYN değeri köprüüstü simülatörü tarafından da 0,4 mil olarak hesaplanmıştır.

Bir önceki örnek senaryoda belirtilen özelliklere sahip bir bilgisayar ile şekil 87'de gösterildiği üzere 100 defa çalıştırılan program 5,44 sn – 5,94 sn (ortalama: 5,69 sn) aralığında değişen sürelerde çözüme ulaşmış ve her çalıştırmada özdeş sonuçlar üretmiştir.

**Şekil 87:** Kesişme Senaryosu: Her Çalıştırmada Algoritmanın Çözüme Ulaşma Süresi



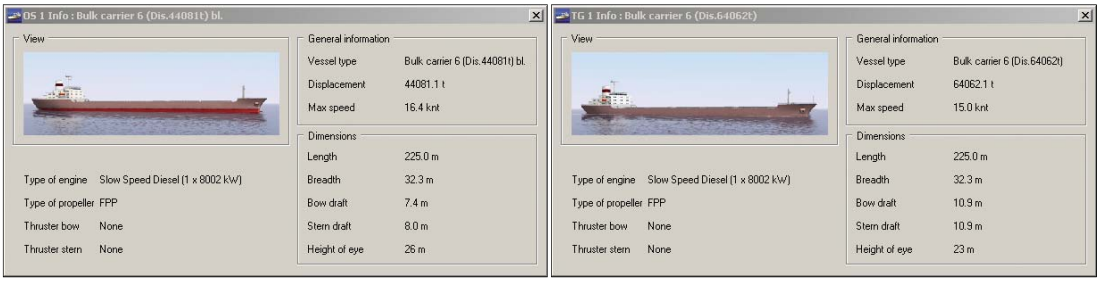
Kesişme senaryosu için programın üretmiş olduğu çözüm tablo 33'te gösterilmektedir. İlgili tabloda en üst satırda yer alan değerler bu senaryonun optimal sonucudur. Bu sonuca göre gemi hareket ettiğinde çatışmadan kaçınma için kat edilen mesafe 6,6 mil olarak ortaya çıkmaktadır. Bu senaryo örneğinde pruva-pruva yaklaşma örnek senaryo uygulamasından farklı olarak dönüşler gerçek hayata uygun şekilde yapılmıştır. Bu sebeple dönüşlerde düşük oranda hız kaybı oluşmuş ve bu durum zaman ve yol kaybına neden olmuştur.

**Tablo 33:** Kesişme Senaryosu: Algoritma Çözümü.

| $t_{(wp_0_wp_1)}$ [dk] | $\Delta\Psi_1$ [°] | $t_{(wp_1_wp_2)}$ [dk] | $\Delta\Psi_2$ [°] | $t_{(wp_2_wp_3)}$ [dk] | $\Delta\Psi_3$ [°] | $m_{(wp_1_wp_2)} + m_{(wp_2_wp_3)}$ [mil] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **31,2** | **54** | **10,8** | **-84** | **17,47** | **30** | **6,6** |
| 31,2 | 44 | 12 | -74 | 16,67 | 30 | 6,69 |
| 31,2 | 56 | 10,8 | -86 | 17,91 | 30 | 6,7 |
| 31,2 | 58 | 10,8 | -88 | 18,32 | 30 | 6,79 |
| 31,2 | 46 | 12 | -76 | 17,26 | 30 | 6,83 |
| 31,2 | 54 | 10,8 | -82 | 18,61 | 28 | 6,86 |
| 31,2 | 60 | 10,8 | -90 | 18,71 | 30 | 6,88 |
| 31,2 | 32 | 14,4 | [-]62 | 15,26 | 30 | 6,92 |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |

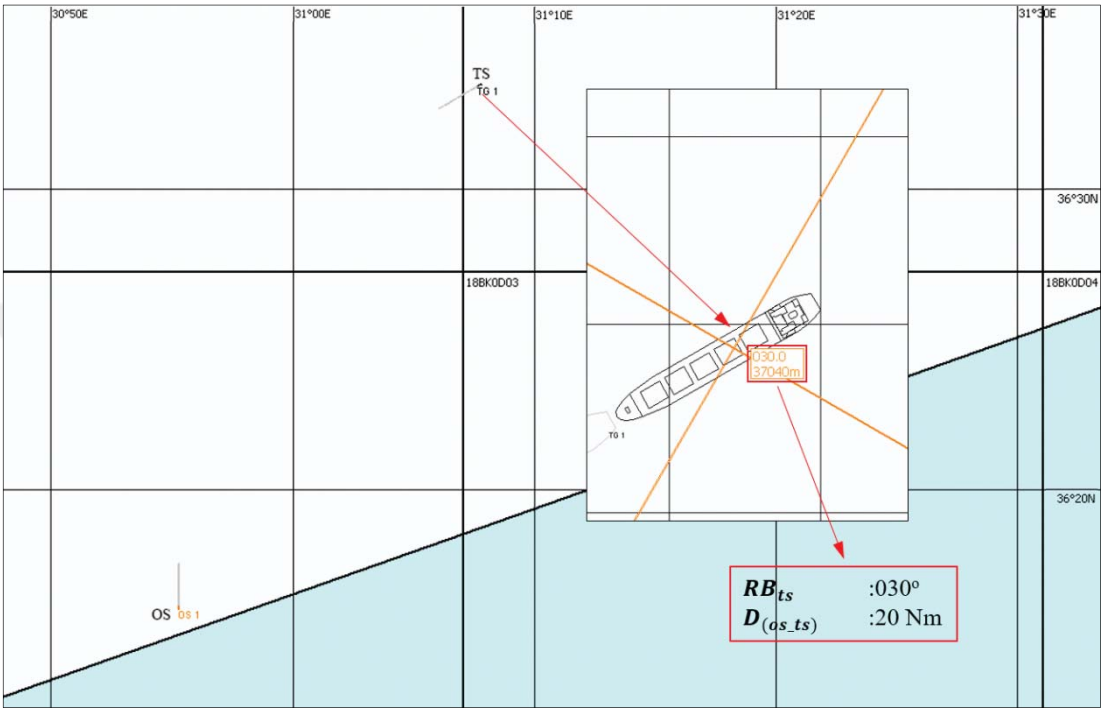
Örnek senaryo girdilerine göre köprüüstü simülatörünün senaryo tasarımı oluşturulmuştur. Bu örnekte, şekil 88'de gösterildiği üzere OS, deplasmanı 44081 ton olan bir dökme yük gemisi, TS ise deplasmanı 64062 ton olan başka bir dökme yük gemisi seçilmiştir.

**Şekil 88:** Kesişme Senaryosu: Senaryo Gemileri



Şekil 89'da senaryo başlangıcında gemilerin harita üzerindeki konumları gösterilmektedir. Senaryo örneği girdilerine göre TS, nisbi kerterizi 030º, mesafesi 20 mil olarak konumlandırılmıştır.

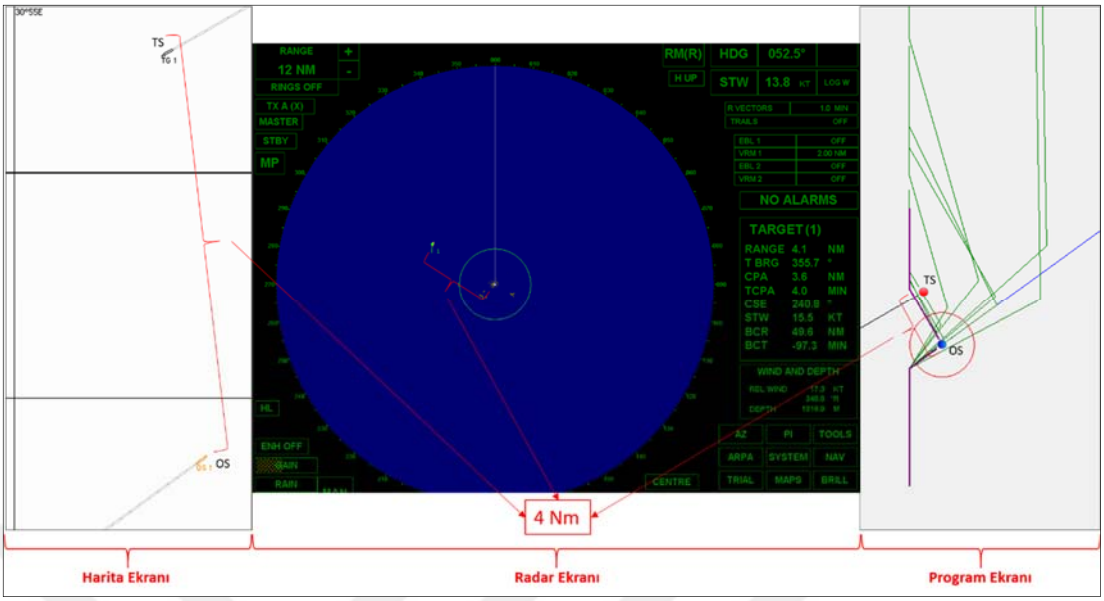
**Şekil 89:** Kesişme Senaryosu: Gemilerin Harita Üzerindeki Konumları




Şekil 90 ve şekil 91'de köprüstü simülatörü ve geliştirilen programın adım adım karşılaştırmalı görselleri paylaşılmıştır. İlgili şekillerin sol tarafında köprüstü simülatörü harita ekranı, ortada köprüstü simülatörü radar ekranı ve sağ tarafında programın gemi hareketleri simülasyonu yer almaktadır.

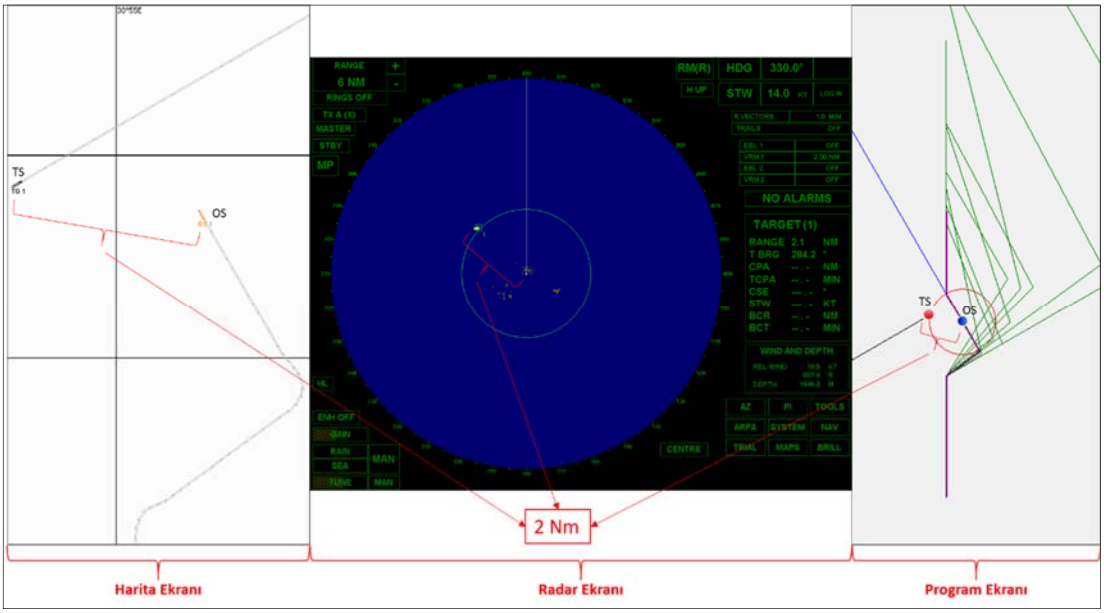
Şekil 90'da OS, programın sağlamış olduğu optimal sonuca göre sırasıyla 31,2 dk ($\boldsymbol{t_{(wp_0_wp_1)}}$) ilerlemiş, çatışmadan kaçınma manevrasını ($\boldsymbol{\Delta\Psi_1}$) yapacağı pozisyona ($\boldsymbol{wp_1}$) ulaşmış, programın önerdiği dönüş açısı olan 54º ($\boldsymbol{\Delta\Psi_1}$)' ye dönmüş, dönüşün ardından çatışmadan kaçınma rotasının ilk bacağında seyredilecek süre olan $\boldsymbol{t_{(wp_1_wp_2)}}$ süresi kadar (10,8 dk) ilerlemiş ve orijinal rotasına dönüş için -84º ($\boldsymbol{\Delta\Psi_2}$) rota değişimini gerçekleştireceği pozisyona ($\boldsymbol{wp_2}$) ulaşmıştır.

**Şekil 90:** Kesişme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması 1.



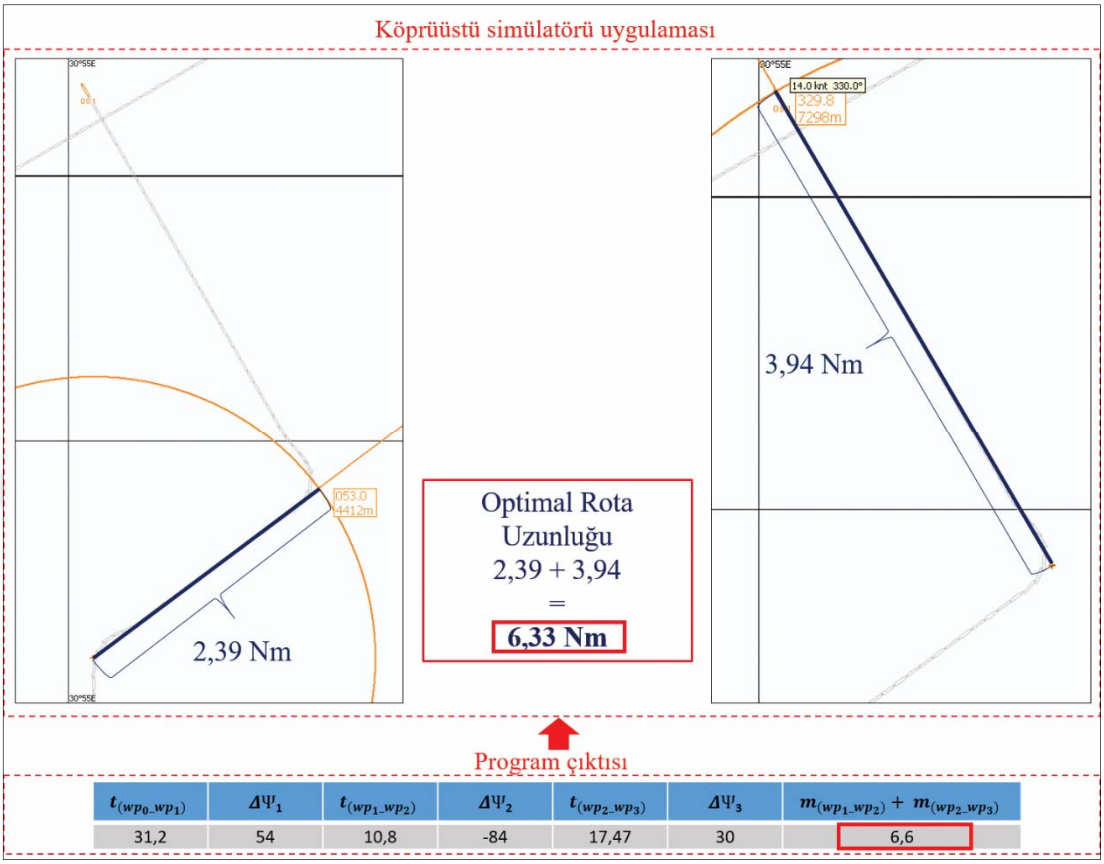

Şekil 91'de OS, algoritma çözümüne göre 10,8 dk ($\boldsymbol{t_{(wp_1_wp_2)}}$) ilerleyerek orijinal rotasına dönüş yapacağı pozisyona ($\boldsymbol{wp_2}$) ulaşmış ve -84° ($\boldsymbol{\Delta}\Psi_2$)' ye rota değişimini gerçekleştirmiştir. Devamında ise 17,47 dk ilerleyeceği $\boldsymbol{t_{(wp_2_wp_3)}}$ orijinal rotaya dönüş seyri süresi başlamıştır. İlgili şekilde de vurgulandığı üzere OS, çatışmadan kaçınma rotası ikinci bacağında ilerlerken TS 2 mil olarak belirlenen gemi emniyet alanına teğet olarak geçişini gerçekleştirmiştir.

**Şekil 91:** Kesişme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması 2.



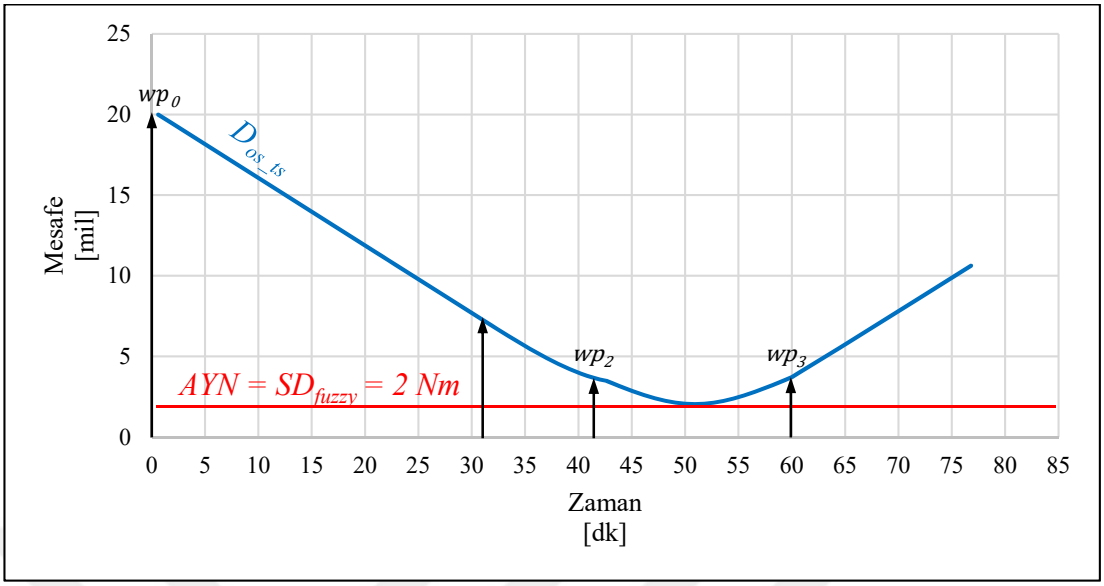
Şekil 92'de gemilerin bu senaryo özelinde harita üzerinde ortaya çıkan yörünge izleri gösterilmektedir. Çatışmadan kaçınma rotasının ilk bacağı 2,39 mil, ikinci bacağı ise 3,94 mil olarak ölçülmüş ve toplamda 6,33 mil olduğu ortaya çıkmıştır. Bu değer, programın önermiş olduğu sonuca göre ortaya çıkan optimal çatışmadan kaçınma rotası uzunluğuna (6,6 mil) yakın bir değer olarak programın doğru çalıştığını göstermektedir. Gemi dönüş hareketlerinin gerçeğe uygun olarak yapılmış olan bu senaryo örneğinde çatışmadan kaçınma rotası uzunluğunda oluşan bu farkın nedeni, gemi dönüş hareketini gerçekleştirirken aniden yeni rotasına dönemediği için önerilen rotaya tam girene kadar zaman ve yol kaybının olmasıdır. Her gemi deplasman ve hız durumuna göre dakika başına gerçekleştireceği dönüş derecesine (ROT - Rate of Turn) sahiptir. Pratikte zabitler bu değeri göz önünde tutarak dönüşlerini gerçekleştirirler. Bu çalışmada dönüşlerde oluşan kayıpların en aza indirilmesi adına köprüüstü simülatörü testlerinde ROT değerlerine göre dönüşler yapılmaya çalışılmıştır. Fakat buna rağmen dönüş noktalarında küçük kayıplar meydana gelmiş ve bu sebeple optimal rota uzunluğu programın hesapladığı değerden farklı olarak ortaya çıkmıştır.

**Şekil 92:** Kesişme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü Optimal Çatışmadan Kaçınma Rotası Uzunluğu




Şekil 93'te zamana bağlı olarak gemiler arası anlık mesafe grafiği gösterilmektedir. Gemilerin birbirlerine en yakın oldukları an aralarındaki mesafenin (AYN) gemi emniyet alanına eşit olduğu ve bu andan itibaren gemiler arasındaki mesafenin giderek arttığı görülmektedir.

**Şekil 93:** Kesişme Senaryosu: Gemiler Arası Anlık Mesafe




#### 4.5.5.3.1.3. Yetişip Geçme (Overtaking) Örnek Senaryo Uygulaması

Bu senaryo örneğinde karşılaşma tipi olarak *yetişip geçme (COLREG kural 13)* durumu ele alınmıştır. Senaryo girdileri tablo 34'te gösterildiği üzere; $SD_{fuzzy}$ 2 mil, $V_{os}$ 16 knot, $\phi_{os}$ 000º, $V_{ts}$ 7 knot, $\phi_{ts}$ 000º, $RB_{ts}$ 000º, $D_{(os_ts)}$ 12 mil ve $Mx_{toTS}$ 5 mil olarak belirlenmiştir. Programın uygulanmasına hava şartlarının nasıl etki edeceği sonucunu elde etmek amacıyla bu senaryo, 5 kuvvete sahip bir havada gerçekleştirilmiştir.

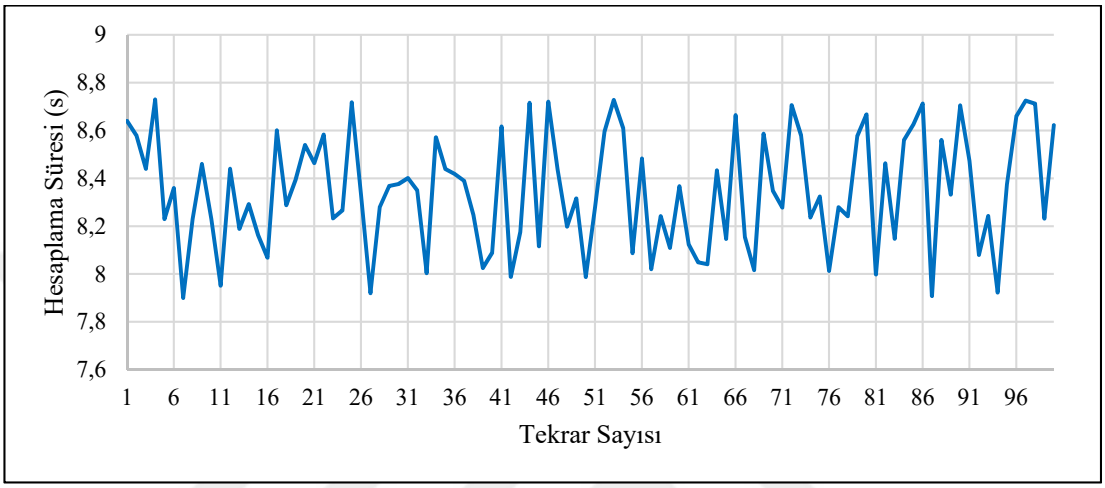
**Tablo 34:** Yetişip Geçme Örnek Senaryo Girdileri

| | $SD_{fuzzy}$ [mil] | $V$ [knot] | $\phi$ [º] | $RB_{ts}$ [º] | $D_{(os_ts)}$ [mil] | $Mx_{toTS}$ [mil] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **OS** | 2 | 16 | 000 | - | - | 5 |
| **TS** | - | 7 | 000 | 000 | 12 | - |

Bu örnek senaryoda program tarafından AYN 0 mil (AYNZ 79,8 dk, AYNM 21,28 mil) olarak hesaplanmıştır. $SD_{fuzzy}$ = 2 mil olması sebebiyle iki gemi arasında çatışma riski söz konusu olduğu kabul edilerek çatışmadan kaçınma manevrası yapılması gerekmektedir. AYN değeri köprüüstü simülatörü tarafından da 0 mil olarak hesaplanmıştır.

İlk örnek senaryoda belirtilen özelliklere sahip bir bilgisayar ile şekil 94'te gösterildiği üzere 100 defa çalıştırılan program 7,9 sn – 8,73 sn (ortalama: 8,34 sn) aralığında değişen sürelerde çözüme ulaşmış ve her çalıştırmada özdeş sonuçlar üretmiştir.

**Şekil 94:** Yetişip Geçme Senaryosu: Her Çalıştırmada Algoritmanın Çözüme Ulaşma Süresi



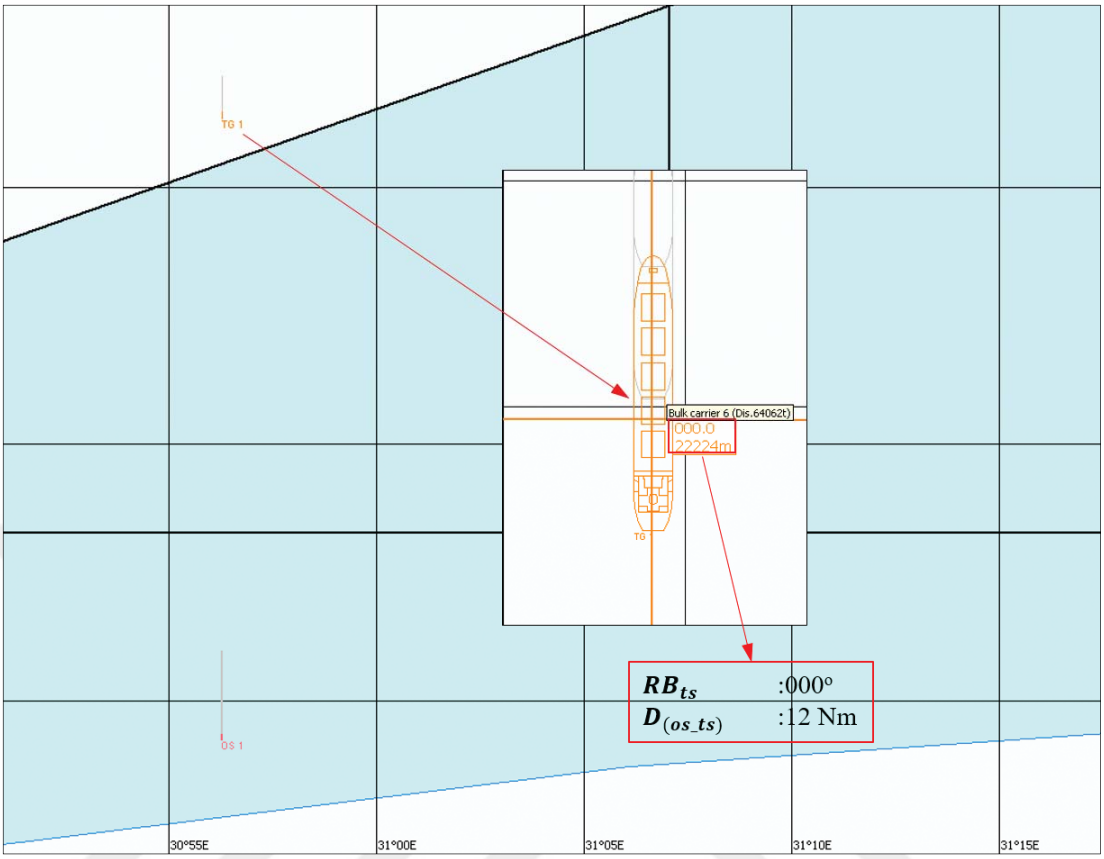

Yetişip geçme senaryosu için programın üretmiş olduğu çözüm tablo 35'te gösterilmektedir. İlgili tabloda en üst satırda yer alan değerler bu senaryonun optimal sonucudur. Bu sonuca göre gemi hareket ettiğinde çatışmadan kaçınma için kat edilen mesafe 15,19 mil olarak ortaya çıkmaktadır. Bu senaryo örneğinde pruva-pruva yaklaşma örnek senaryo uygulamasından farklı olarak kesişme senaryosuna benzer şekilde dönüşler gerçek hayata uygun şekilde yapılmıştır. Bu sebeple dönüşlerde düşük oranda hız kaybı oluşmuş ve bu durum zaman ve yol kaybına neden olmuştur.

**Tablo 35:** Yetişip Geçme Senaryosu: Algoritma Çözümü.

| $t_{(wp_0_wp_1)}$ [dk] | $\Delta\Psi_1$ [°] | $t_{(wp_1_wp_2)}$ [dk] | $\Delta\Psi_2$ [°] | $t_{(wp_2_wp_3)}$ [dk] | $\Delta\Psi_3$ [°] | $m_{(wp_1_wp_2)} + m_{(wp_2_wp_3)}$ [mil] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **46,8** | **14** | **38,4** | **[-]44** | **18,58** | **30** | **15,19** |
| 46,8 | 14 | 38,4 | [-]42 | 19,79 | 28 | 15,52 |
| 46,8 | 14 | 39,6 | [-]44 | 19,16 | 30 | 15,67 |
| 46,8 | 14 | 37,2 | [-]38 | 22,13 | 24 | 15,82 |
| 46,8 | 16 | 38,4 | [-]46 | 21,17 | 30 | 15,89 |
| 46,8 | 14 | 38,4 | [-]40 | 21,19 | 26 | 15,89 |
| 46,8 | 14 | 39,6 | [-]42 | 20,41 | 28 | 16 |
| 46,8 | 20 | 34,8 | [-]48 | 25,35 | 28 | 16,04 |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |

Örnek senaryo girdilerine göre köprüüstü simülatörünün senaryo tasarımı oluşturulmuştur. Bu senaryoda OS ve TS, kesişme senaryosunda kullanılan gemiler ile aynıdır. Şekil 95'te senaryo başlangıcında gemilerin harita üzerindeki konumları gösterilmektedir. Senaryo örneği girdilerine göre TS, nisbi kerterizi 000°, mesafesi 12 mil olarak konumlandırılmıştır.

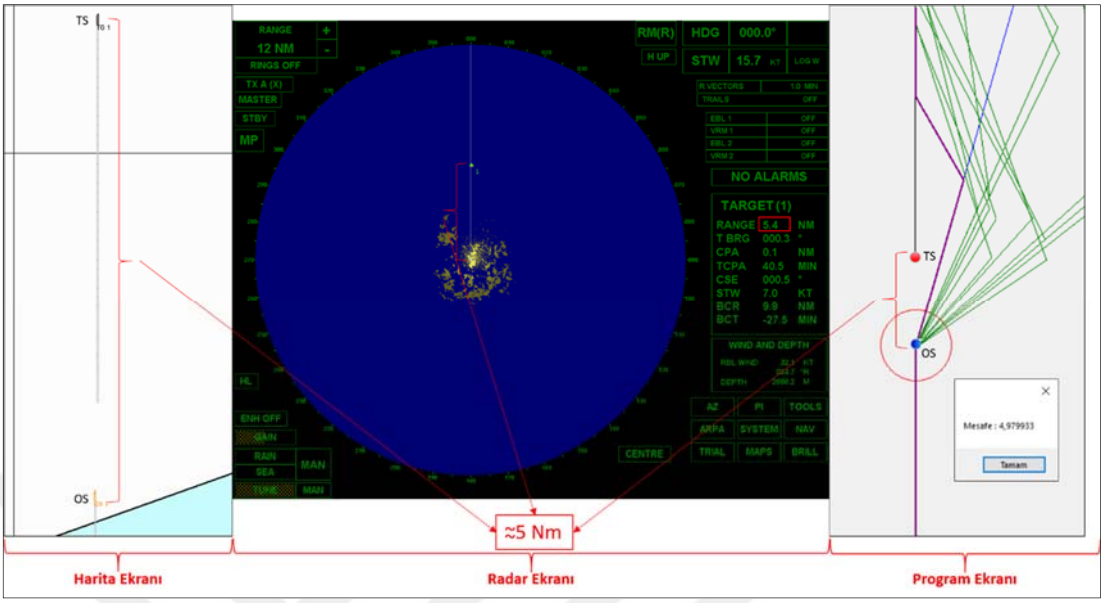
**Şekil 95:** Yetişip Geçme Senaryosu: Gemilerin Harita Üzerindeki Konumları




Şekil 96 ve şekil 97'de köprüstü simülatörü ve geliştirilen programın adım adım karşılaştırmalı görselleri paylaşılmıştır. İlgili şekillerin sol tarafında köprüstü simülatörü harita ekranı, ortada köprüstü simülatörü radar ekranı ve sağ tarafında programın gemi hareketleri simülasyonu yer almaktadır.

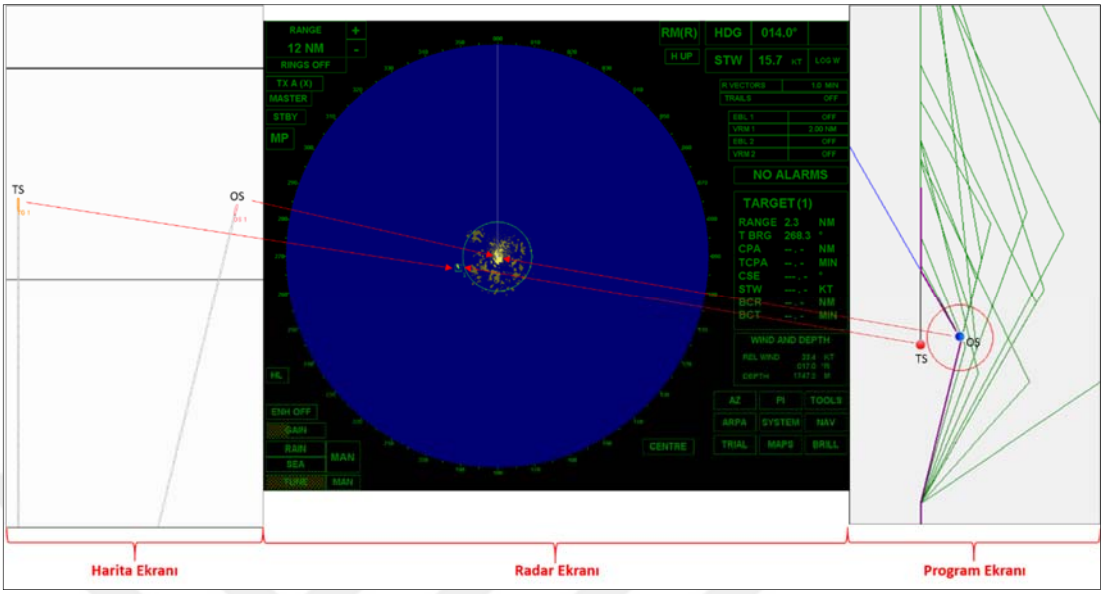
Şekil 96'da OS, programın sağlamış olduğu optimal sonuca göre 46,8 dk ($\boldsymbol{t_{(wp_0_wp_1)}}$) ilerlemiş ve çatışmadan kaçınma manevrasını ($\boldsymbol{\Delta\Psi_1}$) yapacağı pozisyona ($\boldsymbol{wp_1}$) ulaşmıştır. $\boldsymbol{t_{(wp_0_wp_1)}}$ süresi sonunda OS, çatışmadan kaçınma hareketi için manevrasını gerçekleştirmek üzere TS'ye yaklaşık 5 mil kala ($MX_{toTS}$) programın önerdiği dönüş açısı olan 14° ($\boldsymbol{\Delta\Psi_1}$)' ye dönmüştür. Dönüşün ardından çatışmadan kaçınma rotasının ilk bacağında seyredilecek süre olan $\boldsymbol{t_{(wp_1_wp_2)}}$ süresi başlamıştır. Bu senaryo örneğinde havanın etkisiyle geminin baş tutma ve hızı ile ilgili anlık sapmalar oluşmuştur. Bu etkiyle oluşan yol ve zaman kaybı şekil 96'daki radar ekranı görselinde de görüleceği üzere 5 mil olması gereken $MX_{toTS}$ mesafesinin 5,4 olarak gerçekleşmesine neden olmuştur.

**Şekil 96:** Yetişip Geçme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması 1.



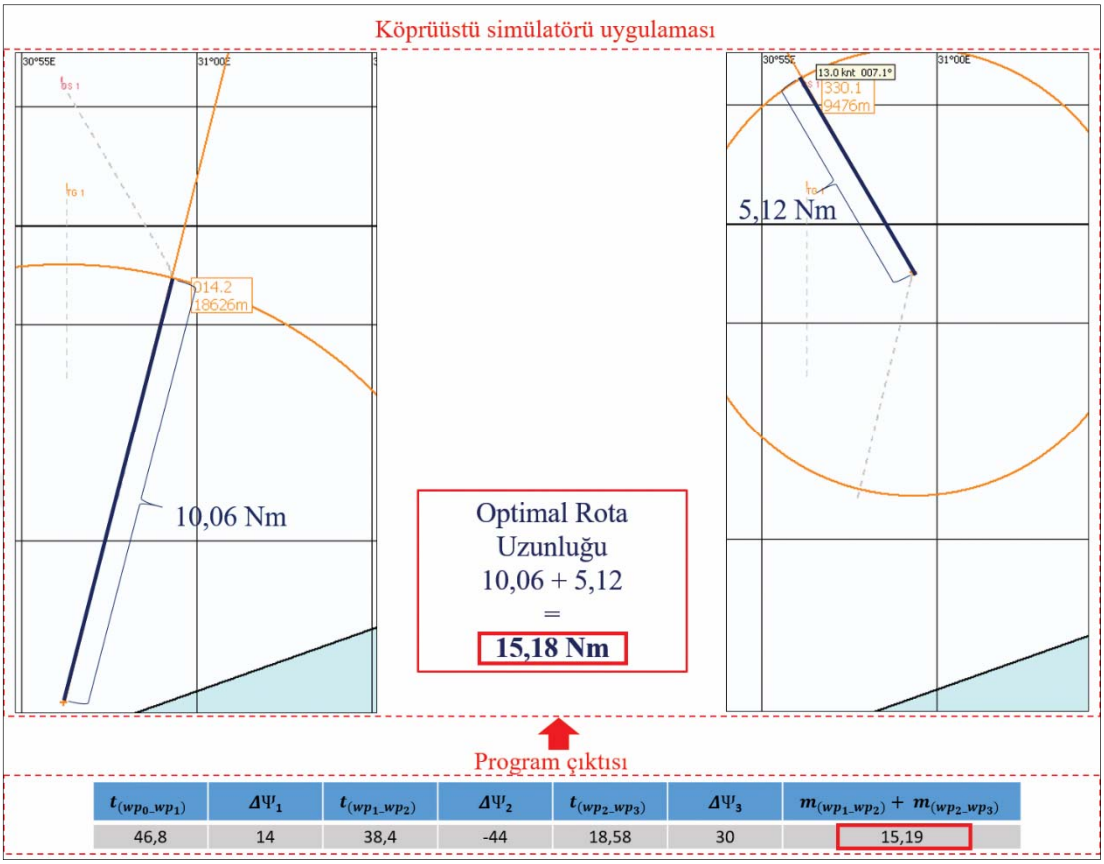

Şekil 97'de OS, algoritma çözümüne göre 38,4 dk ($t_{(wp_1_wp_2)}$) ilerleyerek orijinal rotasına dönüş yapacağı pozisyona ($wp_2$) ulaşmış ve algoritma çözümüne göre -44° ($\Delta\Psi_2$)' ye rota değişimini gerçekleştirmiştir. Devamında ise OS 18,58 dk ($t_{(wp_2_wp_3)}$) ilerlemiş ve programın önerdiği şekilde 30° ($\Delta\Psi_3$)'ye dönüş yaparak orijinal rotasına giriş yapmış ve optimal çatışmadan kaçınma manevrasını sonlandırmıştır.

**Şekil 97:** Yetişip Geçme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü ve Program Simülasyonu Karşılaştırması 2.




Şekil 98'de gemilerin bu senaryo özelinde harita üzerinde ortaya çıkan yörünge izleri gösterilmektedir. Çatışmadan kaçınma rotasının ilk bacağı 10,06 mil, ikinci bacağı ise 5,12 mil olarak ölçülmüş ve toplamda 15,18 mil olduğu ortaya çıkmıştır. Bu değer, programın önermiş olduğu sonuca göre ortaya çıkan optimal çatışmadan kaçınma rotası uzunluğu (15,19 mil) ile birebir aynı değer olarak programın doğru çalıştığını göstermektedir. Bir önceki senaryoya benzer şekilde dönüş hareketlerinin gerçeğe uygun olarak uygulandığı bu senaryo örneğinde, çatışmadan kaçınma rotası uzunluğunda bir önceki senaryonun aksine, herhangi bir zaman ve yol kaybı ortaya çıkmamıştır.

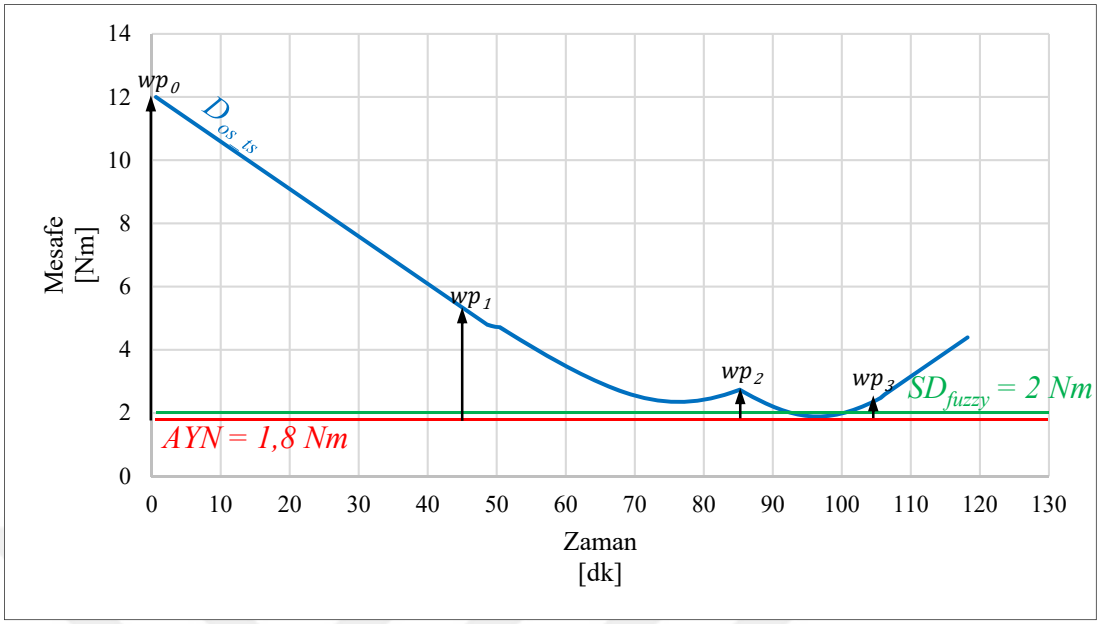
**Şekil 98:** Yetişip Geçme Senaryosu: Köprüüstü Simülatörü Optimal Çatışmadan Kaçınma Rotası Uzunluğu.




| $t_{(wp_0_wp_1)}$ | $\Delta\Psi_1$ | $t_{(wp_1_wp_2)}$ | $\Delta\Psi_2$ | $t_{(wp_2_wp_3)}$ | $\Delta\Psi_3$ | $m_{(wp_1_wp_2)} + m_{(wp_2_wp_3)}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 46,8 | 14 | 38,4 | -44 | 18,58 | 30 | 15,19 |

Şekil 99'da zamana bağlı olarak gemiler arası anlık mesafe grafiği gösterilmektedir. Bu senaryo da gemilerin birbirlerine en yakın oldukları an aralarındaki mesafe (AYN) 1,8 mil olarak ölçülmüş ve yaklaşık %10 oranında bir emniyet alanı ihlali tespit edilmiştir. Havanın etkisiyle geminin baş tutma ve hızı ile ilgili değişimlerin bu ihlale neden olduğu düşünülmektedir.

**Şekil 99:** Yetişip Geçme Senaryosu: Gemiler Arası Anlık Mesafe




#### 4.5.5.3.2. Gerçek Çevre Uygulamaları: Otonom Suüstü Aracı (ASV) Testleri

Simülasyonlar bir algoritmanın performansını ve doğruluğunu test etmek için iyi bir araçtır, ancak gerçek ölçekli testlerin yerini alamazlar. Simülatörde yapılan testler sadeleştirme ve basitleştirme içerebilir ve bu durum algoritma performansının tam anlamıyla ölçülmesine engel olabilir. Bu sebeple simülasyon ile elde edilen sonuçlara ek olarak gerçek ölçekli testlerin de uygulanması algoritma performansının değerlendirilmesinde önemlidir (Hagen, 2017).

Bu bölümde, NTNU AMOS ve MR işbirliği ile birlikte ASV ile uygulanan senaryo testlerinin detaylarına yer verilmektedir. Testler, pruva-pruva (head-on) yaklaşma, kesişme (crossing) ve yetişip geçme (overtaking) karşılaşma türlerinde örnek senaryolar oluşturularak gerçekleştirilmiştir. Deneysel testlerde uygulanmak üzere birçok senaryo örneği oluşturulmuştur. Simülasyon testi sonucu alan testinde uygulanmak üzere her bir karşılaşma durumu için bir senaryo seçilmiştir. Bu senaryolar ve bu senaryolara ait girdilere göre programın ulaştığı optimal sonuçlar ek 5'te gösterilmektedir.

Deneysel testlerde OS olarak *Telemetron* (Şekil 100) isimli bir tam otonom su üstü aracı (Autonomous Surface Vehicle - ASV), TS olarak ise Trondheim Liman Başkanlığı'na ait bir römorkör olan *Munkholmen II* (Şekil 101) kullanılmıştır.

**Şekil 100:** Telemetron (ASV)



Kaynak: NTNU

**Şekil 101:** Munkholmen II



Kaynak: shipspotting.com

MR'ın sahibi olduğu Telemetron tamamen otonom olup, V şeklinde bir gövde yapısı ile stabil ve yüksek manevra kabiliyetine sahip bir teknedir. Munkholmen II ise konvansiyonel tip bir römorkördür. Bu araçlara ait bazı teknik özellikler tablo 36'da gösterilmektedir.

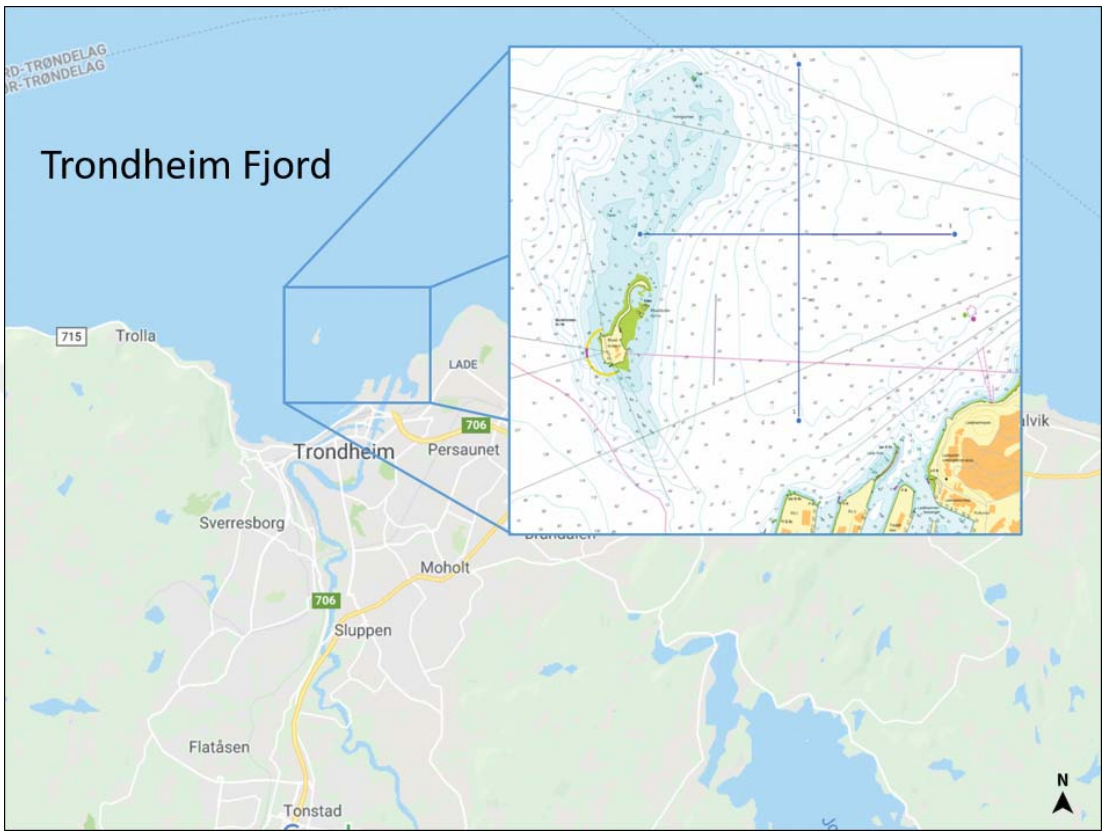
**Tablo 36:** Gerçek Çevre Uygulamalarında Kullanılan Teknelerin Teknik Özellikleri

| Teknik Özellikler | Telemetron (ASV) | Munkholmen II |
|---|---|---|
| Boy [m] | 10.0 | 14.0 |
| En [m] | 3.0 | 6.0 |
| Ağırlık [kg] | ≈2000 | - |
| Güç [hp] | 225 | 520 |
| Maks. Hız [kn] | ≈34 | ≈10 |

Deneysel testler şekil 102'de gösterildiği üzere Munkholmen Adası'nın doğu tarafında sığlık bölgeler ve trafik hatları göz önünde tutularak yaklaşık 2 mil çapında bir alanda gerçekleştirilmiştir. İlgili bölge Trondheim Körfezi (Trondheim Fjorden), Norveç 63° 26' 28.7" N / 10° 23' 35.8" E, 63° 28' 9.1" N / 10° 23' 41.6" E koordinatları arasında yer almaktadır. Bu araştırma kapsamında testlerin uygulandığı bu körfez aynı zamanda, Avrupa Birliği (AB)'nin otonom gemiler üzerine bugüne kadar finanse ettiği en önemli projelerden biri olan *Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks (MUNIN*) projesinin test alanı olma özelliğini göstermektedir (EU, 2016). Diğer taraftan Uluslararası Otonom Gemiler Birliği (International Network for

Autonomous Ships – INAS)'nin otonom gemi araştırmaları için belirlediği test alanları içinde de yer almaktadır (INAS, 2019).

**Şekil 102:** Deneysel Testlerin Uygulandığı Bölge




ASV ile uygulanan deneysel test süreci simülasyon testi ve alan testi olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar ile ilgili detaylar tablo 37'de gösterilmektedir.

**Tablo 37:** ASV ile Uygulanan Deneysel Test Sürecinin Aşamaları

| Gün | Yer | Aşama | Uygulama | Rüzgâr | Araçlar |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Gün (11.02.2019) | MR ofis | Simülasyon testi | Köprüüstü simülatörü simülasyon testi | - | Sanal OS<br>Sanal TS |
| 2. Gün (20.02.2019) | Trondheim Körfezi | Alan testi | Sanal TS ile alan testi | 3,02 knot | Telemetron (ASV)<br>Sanal TS |
| 3. Gün (21.02.2019) | Trondheim Körfezi | Alan testi | Gerçek TS ile alan testi | 8,12 knot | Telemetron (ASV)<br>Munkholmen II |

ASV ile uygulanacak olan alan testlerinden önce gemilerin hareketlerini önceden görerek senaryoları doğrulamak amacıyla MR tarafından geliştirilmiş

köprüüstü simülatöründe simülasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyon testi senaryoların alan testi için uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Sadece kesişme senaryosunda OS ile TS'nin risk oluşturabilecek kadar yaklaştığı görülerek emniyet alanı ve $Mx_{toTS}$ girdileri alan testinde uygulanmak üzere revize edilmiştir. Simülasyon testi sonrasında Telemetron ve sanal TS ile alan testleri uygulanmıştır. Son aşamada ise Telemetron ve Munkholmen II üzerinden alan testleri uygulanarak gerçek çevre uygulamaları tamamlanmıştır. Aşağıda deneysel test sürecine ait aşamaların detayları verilmektedir.

#### 4.5.5.3.2.1. Pruva-Pruva (Head-on) Yaklaşma Örnek Senaryo Uygulaması

Bu senaryoda senaryo girdileri tablo 38'de gösterildiği üzere; *SD* 0,15 mil, $V_{os}$ 7 knot, $\phi_{os}$ 000º, $V_{ts}$ 6 knot, $\phi_{ts}$ 180º, $RB_{ts}$ 000º, $D_{(os_ts)}$ 1,5 mil ve $Mx_{toTS}$ 0,5 mil olarak belirlenmiştir ve mevcut durumda gemilerin hareketi çatışma riskine yol açmaktadır (AYN = 0 < SD). Bu girdiler neticesinde optimal sonuç tablo 39'da gösterildiği gibi ortaya çıkmıştır. ASV bu çıktı verilerine göre çatışmadan kaçınma seyrini gerçekleştirmiştir.

**Tablo 38:** Pruva-Pruva Yaklaşma Örnek Senaryo Girdileri

| | ***SD*** **[mil]** | ***V*** **[knot]** | $\boldsymbol{\phi}$ **[º]** | $\boldsymbol{RB_{ts}}$ **[º]** | $\boldsymbol{D_{(os_ts)}}$ **[mil]** | $\boldsymbol{Mx_{toTS}}$ **[mil]** | ***Başlangıç Pozisyonu*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **OS** | 0,15 | 7 | 000 | - | - | 0,5 | 63° 26' 46,63" K<br>010° 24' 3,68" D |
| **TS** | - | 6 | 180 | 000 | 1,5 | - | 63° 28' 26.01" K<br>010° 24' 3.69" D |

**Tablo 39:** Pruva-Pruva Yaklaşma Örnek Senaryo: Optimal Çıktı

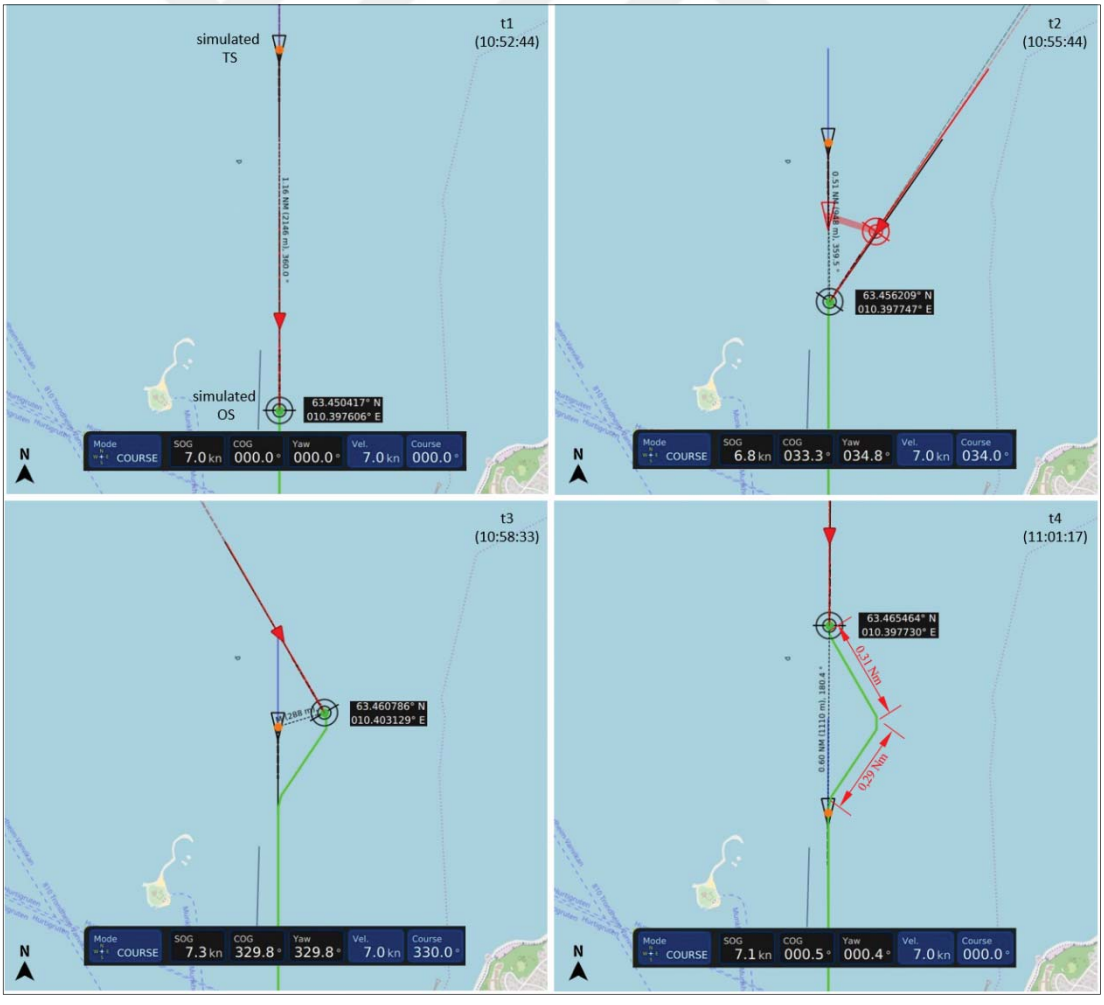
| $\boldsymbol{t_{(wp_0_wp_1)}}$ [dk] | $\boldsymbol{\Delta\Psi_1}$ [º] | $\boldsymbol{t_{(wp_1_wp_2)}}$ [dk] | $\boldsymbol{\Delta\Psi_2}$ [º] | $\boldsymbol{t_{(wp_2_wp_3)}}$ [dk] | $\boldsymbol{\Delta\Psi_3}$ [º] | $\boldsymbol{m_{(wp_1_wp_2)}} + \boldsymbol{m_{(wp_2_wp_3)}}$ [mil] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4,8 | 34 | 2,4 | [-]64 | 2,68 | 30 | 0,59 |

ASV'nin pruva-pruva yaklaşma örnek senaryo uygulamasında çatışmadan kaçınma amacıyla oluşturduğu yörünge şekil 103, şekil 104 ve şekil 106'da sırasıyla simülasyon testi, sanal TS ile alan testi ve gerçek TS (Munkholmen II) ile alan testi olmak üzere zamana bağlı olarak (t1,t2,t3,t4) gösterilmektedir. Şekil 105 ve şekil

107'de ise sırasıyla sanal TS ile alan testinde ve gerçek TS ile alan testinde uygulanan çatışmadan kaçınma seyri süresince ASV'nin beklenen ve ölçülen rota ve hız değerleri gösterilmektedir. Şekillerde yer alan yeşil çizgi ASV'nin çizdiği yörüngeyi ifade etmektedir.

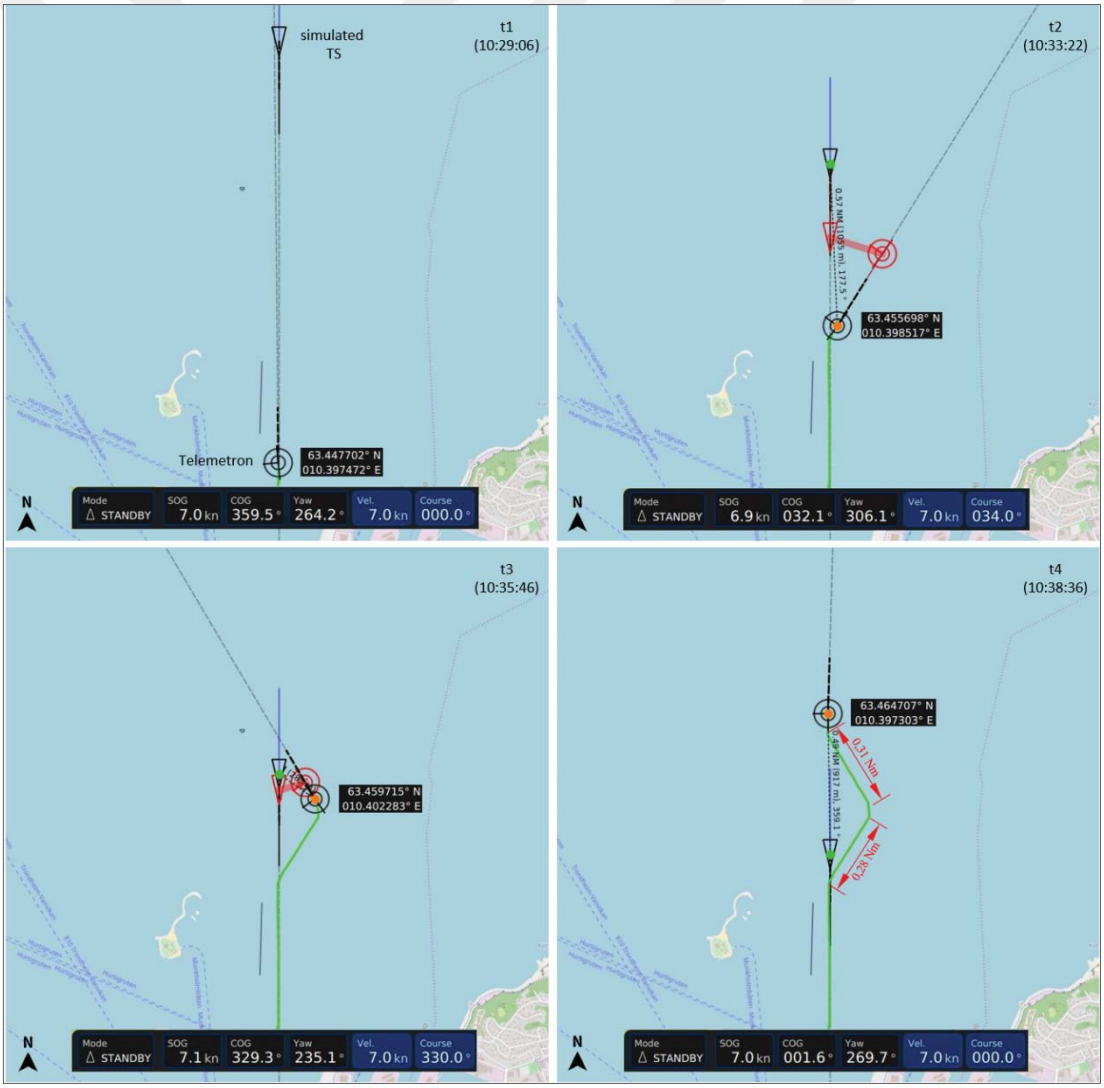
Şekil 103'te gösterildiği üzere pruva-pruva yaklaşma senaryosu simülasyon testinde ASV, programın sağlamış olduğu çıktıya uygun olarak beklendiği şekilde çatışmadan kaçınma seyrini gerçekleştirmiştir. Mevcut senaryo örneğinde hava ve akıntı etkisi olmadığı için ASV'nin hızında ve rotasında anlık değişimler ve sapmalar olmamasından dolayı optimal çatışmadan kaçınma rotası uzunluğu *ColAv_GA* çıktısı ile birebir aynı olarak ölçülmüştür. Sadece dönüşlerde küçük hız değişimleri gözlemlenmiş bunun da optimal çatışmadan kaçınma rotası uzunluğuna etki etmediği görülmüştür.

**Şekil 103:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Sanal OS (ASV) ve Sanal TS Yörüngeleri (Simülasyon Testi)

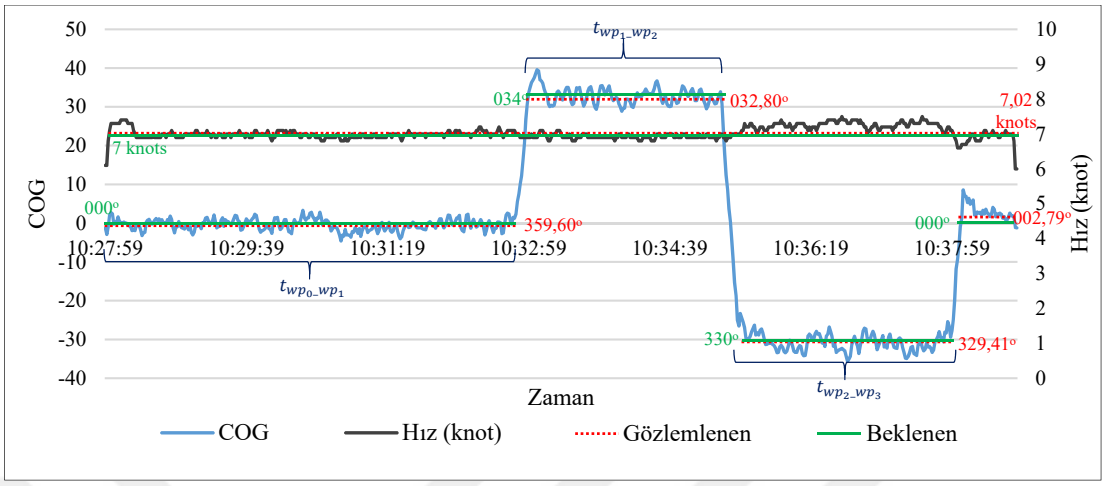


Şekil 104'te gösterildiği üzere pruva-pruva yaklaşma senaryosu sanal TS ile alan testinde ASV, *ColAv_GA*'nın sağlamış olduğu çıktıya uygun olarak beklendiği şekilde çatışmadan kaçınma seyrini gerçekleştirmiştir. Mevcut senaryo örneğinde 3,02 knot kuvvetinde rüzgâr etkisi olması sebebiyle ASV'nin hızında ve rotasında şekil 105'te gösterildiği üzere anlık küçük sapmalar gözlemlenmiştir. Rüzgâr etkisine rağmen ASV genel itibariyle beklenen hızda ve rotada seyrini gerçekleştirmiştir. ASV'nin çatışmadan kaçınma seyri sonunda oluşturduğu yörüngenin uzunluğu (0,59 mil) *ColAv_GA* çıktısı ile birebir aynı olarak ortaya çıkmıştır.

**Şekil 104:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Telemetron ve Sanal TS Yörüngeleri (Sanal TS ile Alan Testi)

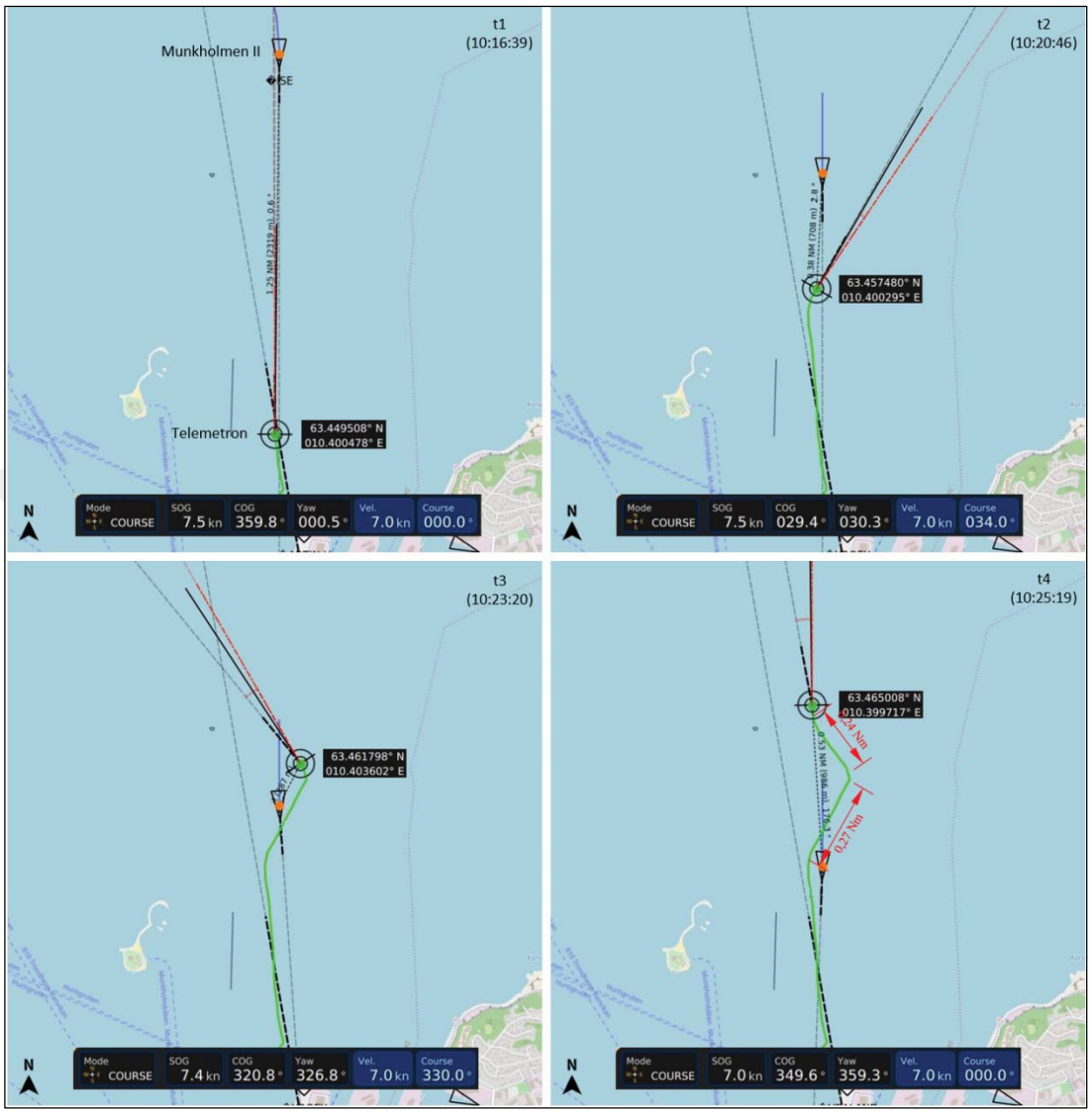


**Şekil 105:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Sanal TS ile Alan Testi)

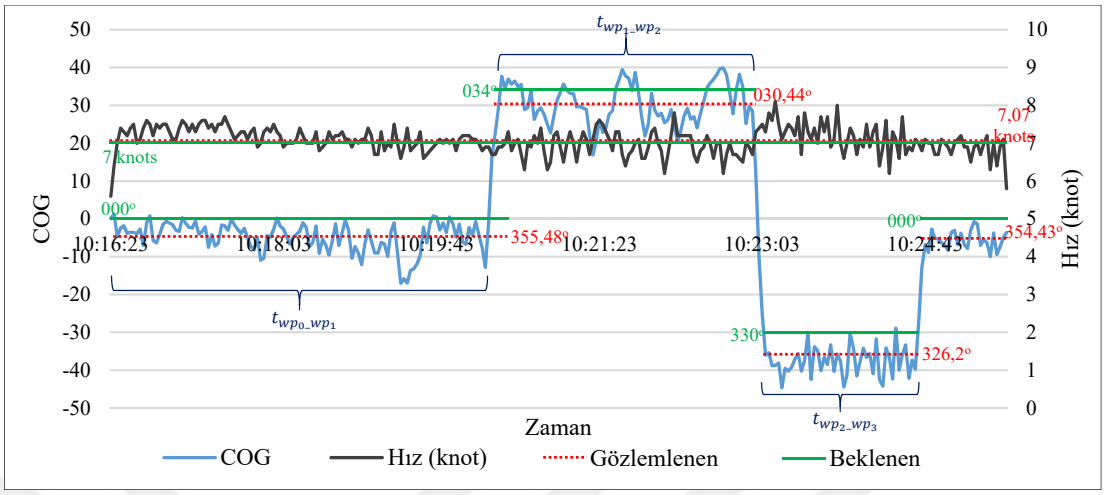



Şekil 106'da gösterildiği üzere pruva-pruva yaklaşma senaryosu Munkholmen II ile alan testinde ASV, *ColAv_GA*'nın sağlamış olduğu çıktıya uygun olarak çatışmadan kaçınma seyrini gerçekleştirmiştir. Bu senaryo örneğinde 8,12 knot kuvvetinde rüzgâr etkisi olması sebebiyle ASV'nin hızında ve rotasında şekil 107'de gösterildiği üzere daha belirgin sapmalar meydana gelmiştir. Bu sapmalara rağmen ASV genel olarak beklenen hızda ve rotada seyrini gerçekleştirerek Munkholmen II'ye karşı çatışmadan kaçınma hareketini emniyetli bir şekilde tamamlamıştır. Daha yüksek bir rüzgâr etkisi olmasına rağmen, ASV'nin çatışmadan kaçınma seyri sonunda oluşturduğu yörüngenin uzunluğu (0,51 mil) *ColAv_GA* çıktısına yakın bir değer ölçülmüştür.

**Şekil 106:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: Telemetron ve Munkholmen II Yörüngeleri (Munkholmen II ile Alan Testi)



**Şekil 107:** Pruva-Pruva Yaklaşma Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Munkholmen II ile Alan Testi)




#### 4.5.5.3.2.2. Kesişme (Crossing) Örnek Senaryo Uygulaması

Bu senaryoda senaryo girdileri tablo 40'da gösterildiği üzere; *SD* 0,2 mil, $V_{os}$ 7 knot, $\phi_{os}$ 090º, $V_{ts}$ 6 knot, $\phi_{ts}$ 000º, $RB_{ts}$ 040º, $D_{(os_ts)}$ 1 mil ve $Mx_{toTS}$ 0,5 mil olarak belirlenmiştir ve mevcut durumda gemilerin hareketi çatışma riskine yol açmaktadır (AYN = 0,0177 < SD). Bu girdiler neticesinde optimal sonuç tablo 41'de gösterildiği gibi ortaya çıkmıştır. ASV bu çıktı verilerine göre çatışmadan kaçınma seyrini gerçekleştirmiştir.

**Tablo 40:** Kesişme Örnek Senaryo Girdileri

| | ***SD*** **[mil]** | ***V*** **[knot]** | $\boldsymbol{\phi}$ **[º]** | $\boldsymbol{RB_{ts}}$ **[º]** | $\boldsymbol{D_{(os_ts)}}$ **[mil]** | $\boldsymbol{Mx_{toTS}}$ **[mil]** | ***Başlangıç Pozisyonu*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **OS** | 0,2 | 7 | 090 | - | - | 0,5 | 63° 27' 30,00" K<br>010° 22' 10,24" D |
| **TS** | - | 6 | 000 | 040 | 1 | - | 63° 26' 46,63" K<br>010° 24' 3.68" D |

**Tablo 41:** Kesişme Örnek Senaryo: Optimal Çıktı

| $\boldsymbol{t_{(wp_0_wp_1)}}$ [dk] | $\boldsymbol{\Delta\Psi_1}$ [º] | $\boldsymbol{t_{(wp_1_wp_2)}}$ [dk] | $\boldsymbol{\Delta\Psi_2}$ [º] | $\boldsymbol{t_{(wp_2_wp_3)}}$ [dk] | $\boldsymbol{\Delta\Psi_3}$ [º] | $\boldsymbol{m_{(wp_1_wp_2)}} + \boldsymbol{m_{(wp_2_wp_3)}}$ [mil] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,6 | 58 | 2,4 | [-]88 | 4,07 | 30 | 0,75 |

ASV'nin kesişme örnek senaryo uygulamasında çatışmadan kaçınma amacıyla oluşturduğu yörünge şekil 108, şekil 109 ve şekil 111'de sırasıyla simülasyon testi, sanal TS ile alan testi ve gerçek TS ile alan testi olmak üzere zamana bağlı olarak (t1,t2,t3,t4) gösterilmektedir. Şekil 110 ve şekil 112'de ise sırasıyla sanal TS ile alan testinde ve gerçek TS ile alan testinde uygulanan çatışmadan kaçınma seyri süresince ASV'nin beklenen ve ölçülen rota ve hız değerleri gösterilmektedir.

Şekil 108'de gösterildiği üzere kesişme senaryosu simülasyon testinde ASV, pruva-pruva yaklaşma senaryosuna benzer bir şekilde, programın sağlamış olduğu çıktıya uygun olarak çatışmadan kaçınma seyrini gerçekleştirmiştir. Mevcut senaryo örneğinde hava ve akıntı etkisi olmadığı için ASV'nin hızında ve rotasında anlık değişimler ve sapmalar olmamasından dolayı optimal çatışmadan kaçınma rotası uzunluğu ColAv_GA çıktısı ile birebir aynı olarak ölçülmüştür. Sadece dönüşlerde küçük hız değişimleri gözlemlenmiş bunun da optimal çatışmadan kaçınma rotası uzunluğuna etki etmediği görülmüştür.

**Şekil 108:** Kesişme Senaryosu: Sanal OS (ASV) ve Sanal TS Yörüngeleri (Simülasyon Testi)

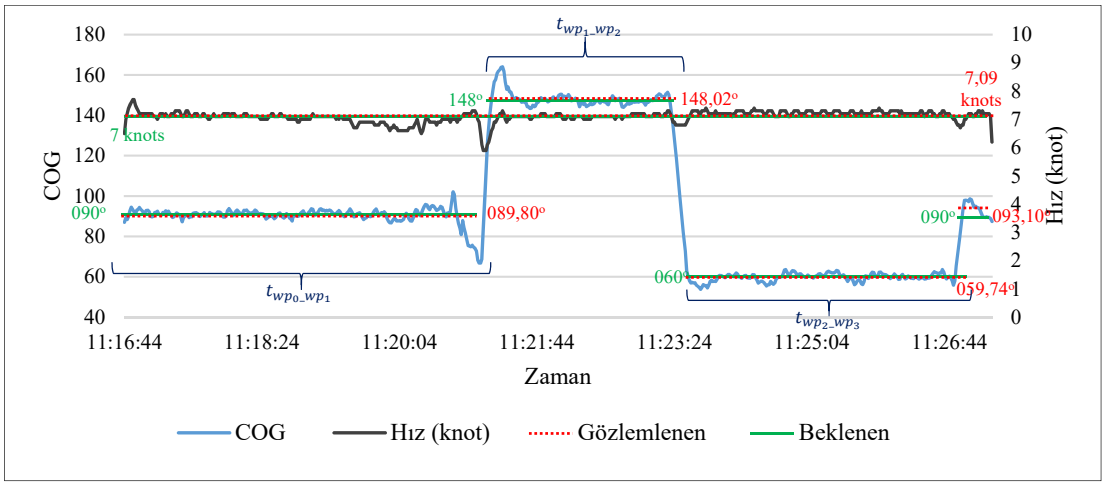



Şekil 109'da gösterildiği üzere kesişme senaryosu sanal TS ile alan testinde ASV, *ColAv_GA*'nın sağlamış olduğu çıktıya uygun olarak çatışmadan kaçınma seyrini gerçekleştirmiştir. Mevcut senaryo örneğinde 3,02 knot kuvvetinde rüzgâr etkisi olması sebebiyle ASV'nin hızında ve rotasında şekil 110'da gösterildiği üzere anlık küçük sapmalar gözlemlenmiştir. Rüzgâr etkisine rağmen ASV genel itibariyle beklenen hızda ve rotada seyrini gerçekleştirmiştir. ASV'nin çatışmadan kaçınma seyri sonunda oluşturduğu yörüngenin uzunluğu (0,70 mil) *ColAv_GA* çıktısına yakın bir değer ölçülmüştür.

**Şekil 109:** Kesişme Senaryosu: Telemetron ve Sanal TS Yörüngeleri (Sanal TS ile Alan Testi)




**Şekil 110:** Kesişme Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Sanal TS ile Alan Testi)

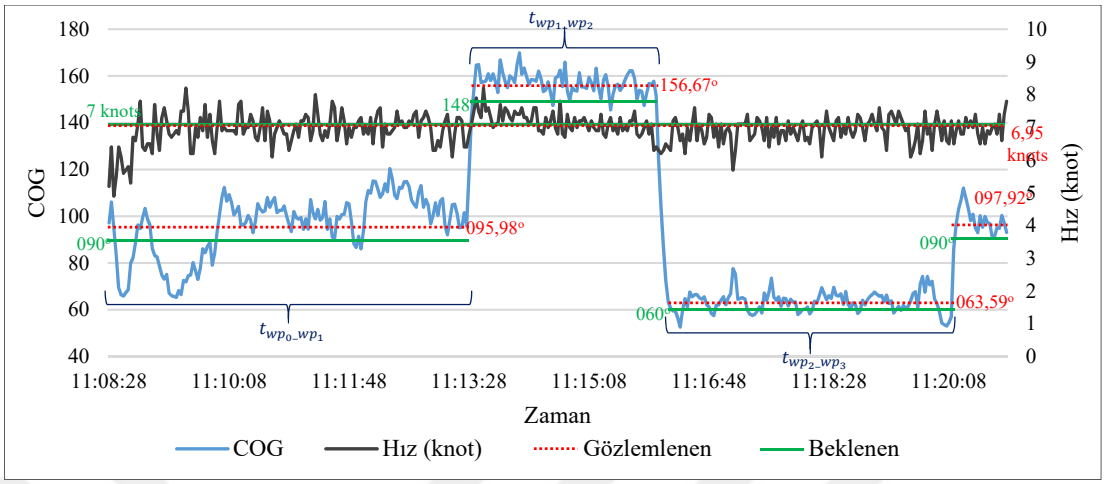


Şekil 111'de gösterildiği üzere kesişme senaryosu Munkholmen II ile alan testinde ASV, *ColAv_GA*'nın sağlamış olduğu çıktıya uygun olarak çatışmadan kaçınma seyrini gerçekleştirmiştir. Bu senaryo örneğinde 8,12 knot kuvvetinde rüzgâr etkisi olması sebebiyle ASV'nin hızında ve rotasında şekil 112'de gösterildiği üzere daha belirgin sapmalar meydana gelmiştir. Bu sapmalara rağmen ASV, Munkholmen II'ye karşı çatışmadan kaçınma hareketini emniyetli bir şekilde tamamlamıştır. Daha yüksek bir rüzgâr etkisi olmasına rağmen, ASV'nin çatışmadan kaçınma seyri sonunda oluşturduğu yörüngenin uzunluğu (0,76 mil) *ColAv_GA* çıktısı ile aynı ölçülmüştür. Fakat rüzgârı kuzey yönünden ve bordadan alması sebebiyle ASV, rotasını beklenen açıda tutmada zorlanmıştır.

**Şekil 111:** Kesişme Senaryosu: Telemetron ve Munkholmen II Yörüngeleri (Munkholmen II ile Alan Testi)



**Şekil 112:** Kesişme Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Munkholmen II ile Alan Testi)




#### 4.5.5.3.2.3. Yetişip Geçme (Overtaking) Örnek Senaryo Uygulaması

Bu senaryoda senaryo girdileri tablo 42'de gösterildiği üzere; *SD* 0,2 mil, $V_{os}$ 9 knot, $\phi_{os}$ 000º, $V_{ts}$ 4 knot, $\phi_{ts}$ 000º, $RB_{ts}$ 000º, $D_{(os_ts)}$ 0,5 mil ve $Mx_{toTS}$ 0,3 mil olarak belirlenmiştir ve mevcut durumda gemilerin hareketi çatışma riskine yol açmaktadır (AYN = 0 < SD). Bu girdiler neticesinde optimal sonuç tablo 43'te gösterildiği gibi ortaya çıkmıştır. ASV bu çıktı verilerine göre çatışmadan kaçınma seyrini gerçekleştirmiştir.

**Tablo 42:** Yetişip Geçme Örnek Senaryo Girdileri

| | ***SD*** **[mil]** | ***V*** **[knot]** | ***ϕ*** **[º]** | $RB_{ts}$ **[º]** | $D_{(os_ts)}$ **[mil]** | $Mx_{toTS}$ **[mil]** | ***Başlangıç Pozisyonu*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **OS** | 0,2 | 9 | 000 | - | - | 0,3 | 63° 26' 46,63" K<br>010° 24' 3,68" D |
| **TS** | - | 4 | 000 | 000 | 0,5 | - | 63° 27' 16,63" K<br>010° 24' 3.69" D |

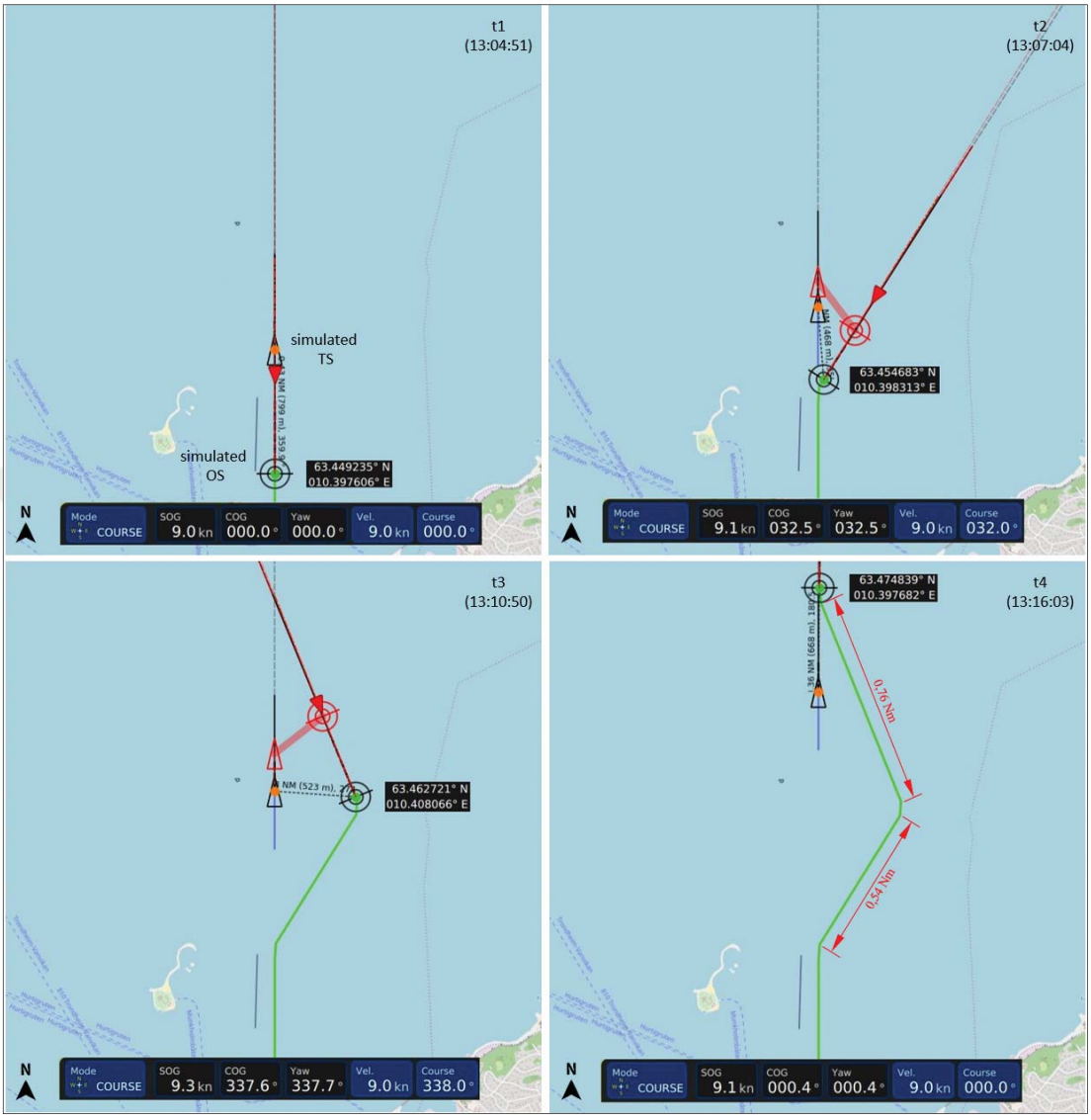
**Tablo 43:** Yetişip Geçme Senaryo: Optimal Çıktı

| $t_{(wp_0_wp_1)}$ [dk] | $\Delta\Psi_1$ [º] | $t_{(wp_1_wp_2)}$ [dk] | $\Delta\Psi_2$ [º] | $t_{(wp_2_wp_3)}$ [dk] | $\Delta\Psi_3$ [º] | $m_{(wp_1_wp_2)} + m_{(wp_2_wp_3)}$ [mil] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 32 | 3,6 | [-]54 | 5,09 | 22 | 1,3 |

ASV'nin yetişip geçme örnek senaryo uygulamasında çatışmadan kaçınma amacıyla oluşturduğu yörünge şekil 113, şekil 114 ve şekil 116'da sırasıyla simülasyon testi, sanal TS ile alan testi ve gerçek TS ile alan testi olmak üzere zamana bağlı olarak (t1,t2,t3,t4) gösterilmektedir. Şekil 115 ve şekil 117'de ise sırasıyla sanal TS ile alan testinde ve gerçek TS ile alan testinde uygulanan çatışmadan kaçınma seyri süresince ASV'nin beklenen ve ölçülen rota ve hız değerleri gösterilmektedir.

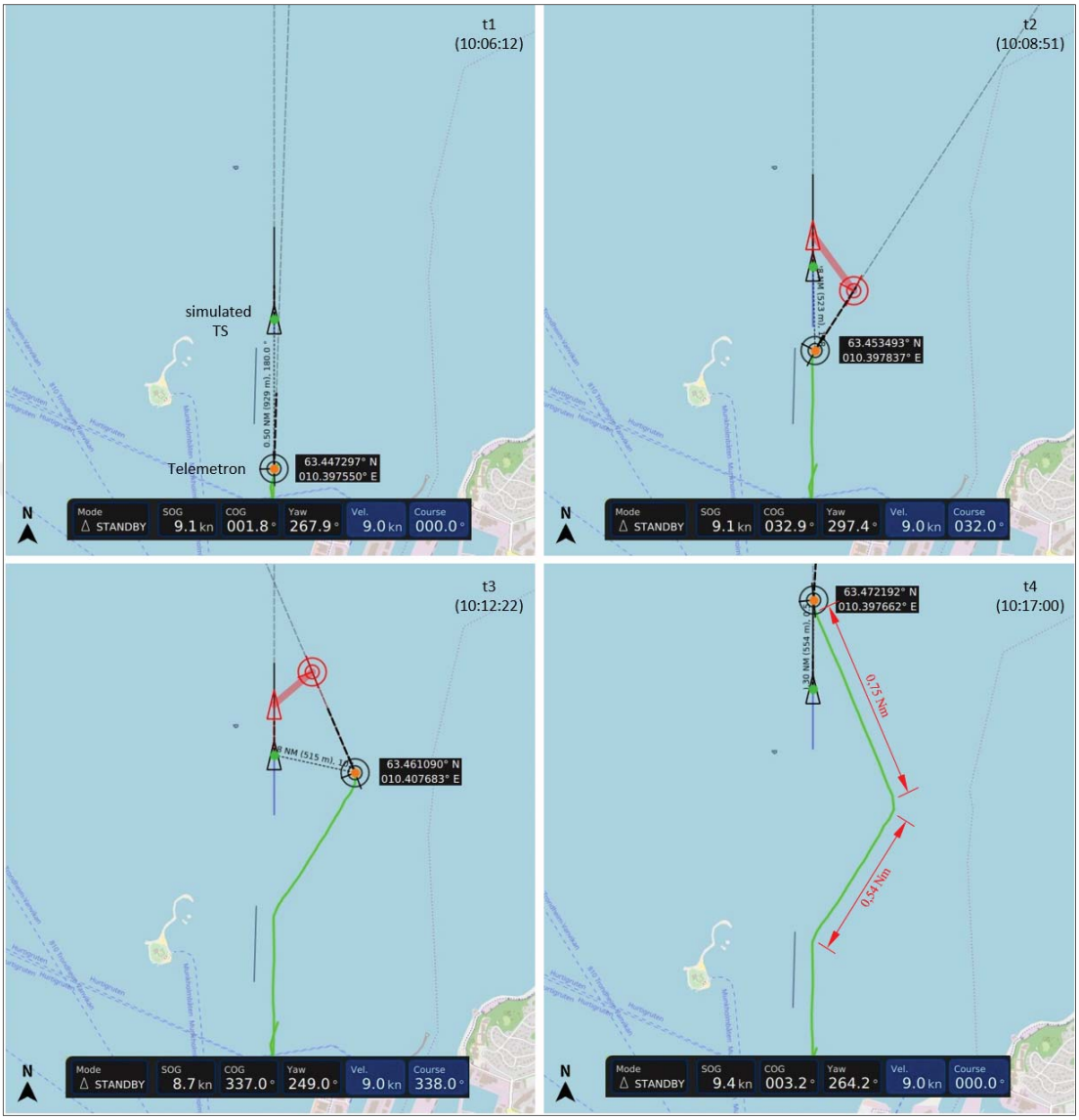
Şekil 113'te gösterildiği üzere yetişip geçme senaryosu simülasyon testinde ASV programın sağlamış olduğu çıktıya uygun olarak çatışmadan kaçınma seyrini emniyetli bir şekilde gerçekleştirmiştir. Mevcut senaryo örneğinde hava ve akıntı etkisi olmadığı için ASV'nin hızında ve rotasında anlık değişimler ve sapmalar meydana gelmemiştir. Bu sebeple optimal çatışmadan kaçınma rotası uzunluğu ColAv_GA çıktısı ile birebir aynı olarak ölçülmüştür. Sadece dönüşlerde küçük hız değişimleri gözlemlenmiş bunun da optimal çatışmadan kaçınma rotası uzunluğuna etki etmediği tespit edilmiştir.

**Şekil 113:** Yetişip Geçme Senaryosu: Sanal OS (ASV) ve Sanal TS Yörüngeleri (Simülasyon Testi)

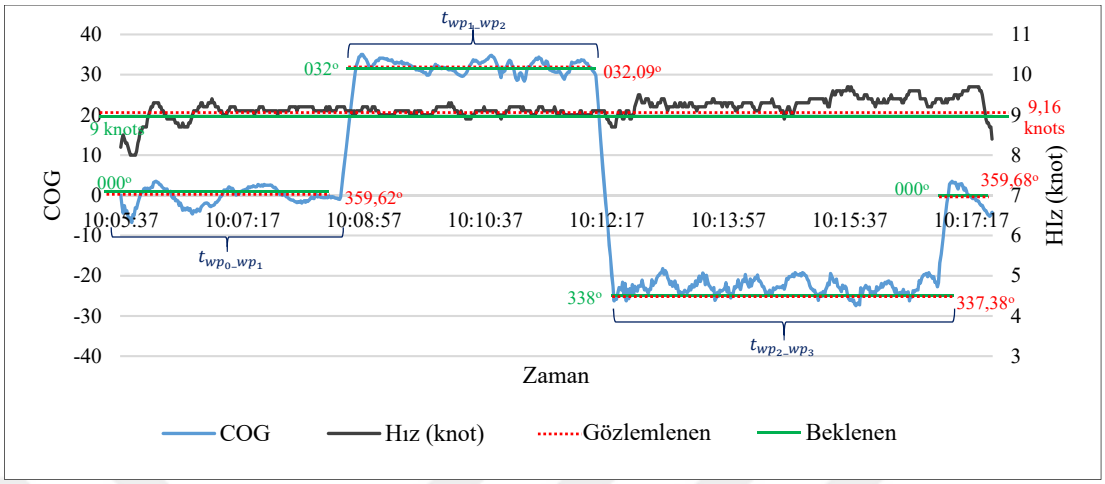



Şekil 114'te gösterildiği üzere yetişip geçme senaryosu sanal TS ile alan testinde ASV, *ColAv_GA*'nın sağlamış olduğu çıktıya uygun olarak çatışmadan kaçınma seyrini gerçekleştirmiştir. Mevcut senaryo örneğinde 3,02 knot kuvvetinde rüzgâr etkisi olması sebebiyle ASV'nin hızında ve rotasında şekil 116'da gösterildiği üzere anlık küçük sapmalar gözlemlenmiştir. Rüzgâr etkisine rağmen ASV beklenen hızda ve rotada seyrini gerçekleştirmiştir. ASV'nin çatışmadan kaçınma seyri sonunda oluşturduğu yörüngenin uzunluğu (1,29 mil) *ColAv_GA* çıktısı ile birebir aynı ölçülmüştür.

**Şekil 114:** Yetişip Geçme Senaryosu: Telemetron ve Sanal TS Yörüngeleri (Sanal TS ile Alan Testi)

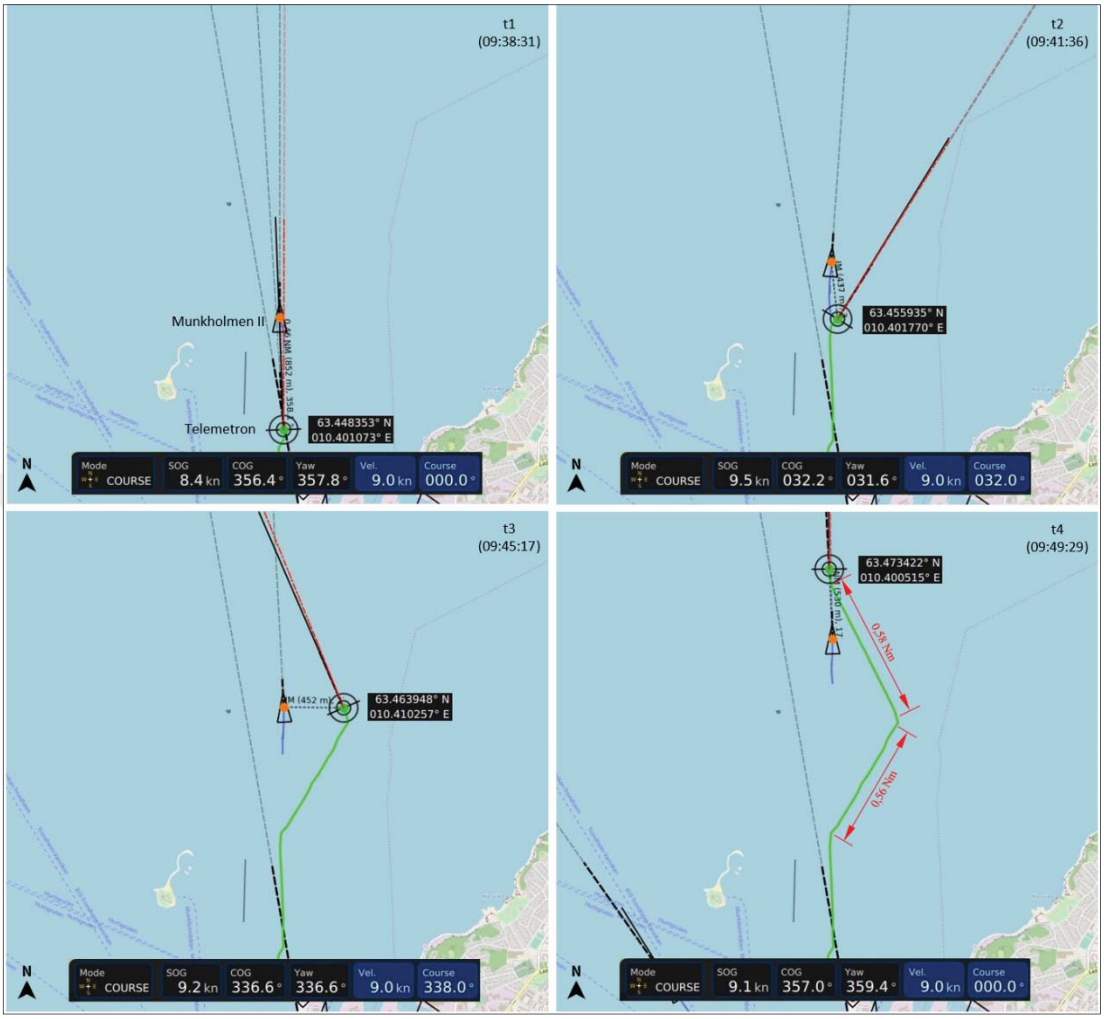


**Şekil 115:** Yetişip Geçme Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Sanal TS ile Alan Testi)

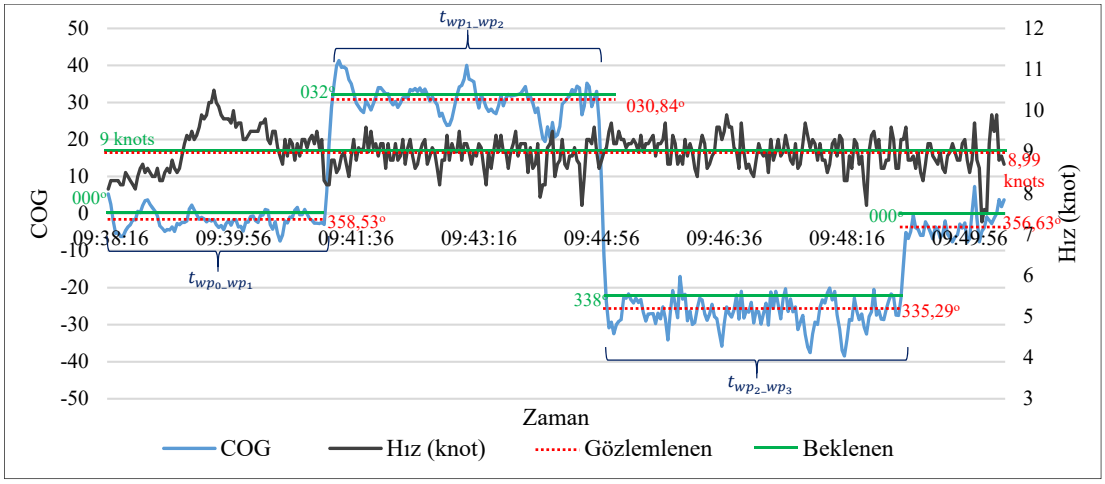



Şekil 116'da gösterildiği üzere yetişip geçme senaryosu Munkholmen II ile alan testinde ASV, *ColAv_GA*'nın sağlamış olduğu çıktıya uygun olarak çatışmadan kaçınma seyrini gerçekleştirmiştir. Bu senaryo örneğinde 8,12 knot kuvvetinde rüzgâr etkisi olması sebebiyle ASV'nin hızında ve rotasında şekil 117'de gösterildiği üzere daha belirgin sapmalar meydana gelmiştir. Bu sapmalara rağmen ASV, Munkholmen II'ye karşı çatışmadan kaçınma hareketini emniyetli bir şekilde tamamlamıştır. Daha yüksek bir rüzgâr etkisi olmasına rağmen, ASV'nin çatışmadan kaçınma seyri sonunda oluşturduğu yörüngenin uzunluğu (1,14 mil) *ColAv_GA* çıktısı ile aynı ölçülmüştür.

**Şekil 116:** Yetişip Geçme Senaryosu: Telemetron ve Munkholmen II Yörüngeleri (Munkholmen II ile Alan Testi)




**Şekil 117:** Yetişip Geçme Senaryosu: ASV'nin Rota ve Hızının Gözlemlenen ve Beklenen Değerleri (Munkholmen II ile Alan Testi)



# SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde optimizasyon, kaynakları verimli kullanarak maksimum fayda elde etmek amacıyla, mühendislik tasarımından ekonomiye, endüstriyel uygulamalardan günlük aktivitelere kadar her alanda karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, denizde çatışma riski olduğu kabul edilen karşılaşma durumlarında COLREG'e göre yol vermesi gereken geminin (give-way vessel) çatışmadan kaçınma amacıyla oluşturacağı yeni rotanın planlaması ve optimizasyonu yapılmıştır. Bu amaçla metasezgisel bir optimizasyon algoritması olan GA ve bulanık mantık temelli bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Tasarlanan algoritma yapısı Microsoft Visual Studio 2017 platformu üzerinde C# yazılım dili ile kodlanmıştır. Diğer taraftan problem çözümü için gerekli olan girdilerden biri olan gemi emniyet alanın belirlenmesinde bulanık mantık kullanılmıştır. Mamdani tipi Bulanık Çıkarım Sistemi (Fuzzy Inference System – FIS) kullanılarak bulanık kurallar oluşturulmuş ve böylelikle gemi emniyet alanı yarıçapı uzunluğu elde edilmiştir.

GA çözüm uzayında eş zamanlı olarak farklı noktalarda arama yapabilme özelliği ile lokal çözümlere takılmadan optimal çözüme kısa sürede ulaşabilmektedir. GA'da uygun çözümlerin elde edilebilmesi için doğru parametre değerlerinin seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada oluşturtulan GA yapısında literatürde kabul gören parametre değerleri seçilmiştir. Başlangıç popülasyonu 50 birey olarak belirlenmiş ve her nesilde birey sayısı sabit tutulmuştur. Çaprazlama oranı 0,7, mutasyon oranı 0,03 ve sonlandırma ölçütü 100 iterasyon olarak belirlenmiştir. Bu parametre değerleri ile sistem başarılı sonuçlar üretmiştir. Geliştirilmiş olan sistem *kesişme (crossing - COLREG kural 15), pruva pruva yaklaşma (head–on - COLREG kural 14) ve yetişip geçme (overtaking - COLREG kural 13)* karşılaşma durumları olmak üzere üç farklı senaryo örneği ile test edilmiştir. Bu senaryo örnekleri üzerinden sistemin gerçek hayatta uygulanabilir olup olmadığına yönelik geçerliliğinin kontrol edilmesi amacıyla DEÜ Denizcilik Fakültesi Köprüüstü Simülatörü ile (TRANSAS 5000) sanal ortamda, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi ve Maritime Robotics firması işbirliğinde ASV ile Trondheim, Norveç'te gerçek ortamda testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sistemin optimal çatışmadan kaçınma rotasının planlanması ve optimizasyonunda etkin olarak uygulanabildiğini göstermiştir.

Bu araştırma nitel ve nicel olmak üzere iki temel araştırma süreci içermektedir. Nitel araştırma sürecinde görüşme yöntemi kullanılarak elde edilen bulgular neticesinde, problem çözümü için oluşturulan matematiksel modelde yer alan değişken kısıtları ve senaryo testlerinin girdileri belirlenmiştir. Nicel araştırma sürecinde ise GA ve bulanık mantık yaklaşımları ile oluşturulmuş çözüm algoritması ile problem çözümüne ulaşılmış ve elde edilen sonuçlar otonom su üstü aracı ile gerçek ortamda, köprüüstü seyir simülatörü ile sanal ortamda test edilmiştir.

Görüşme yöntemi kullanılarak yürütülen nitel araştırma süreci sonucunda elde edilen bulgular neticesinde ortaya çıkan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

Gemi boyu, gemi tonajı, manevra kabiliyeti gibi gemi karakteristiğine ait değişkenlerin ve meteorolojik şartlar, trafik durumu, seyir yapılan bölge gibi çevresel faktörlerin gemi emniyet alanı boyutunun belirlenmesinde önemli ölçütler olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle gemi hızı ve meteorolojik şartların diğer ölçütlere göre daha kritik öneme sahip olduğu ve emniyet alanının belirlenmesinde öncelikli olarak bu ölçütlerin dikkate alındığı ortaya çıkmıştır. Emniyet alanı büyüklüğünün nasıl belirlendiği ile ilgili elde edilen bulgulara neticesinde, minimum değerin şirket seyir politikasında yer aldığı ve bu değerin altına inilemeyeceğini ortaya çıkmıştır. Bazı katılımcılar ise şirketin böyle bir politikasının olmadığını ve bu değere kaptanın karar verdiğini ifade etmişlerdir.

COLREG kural 8(b) ve kural 16'da geçen "belirgin rota değişimi", belirgin hız değişimi" ve "olabildiğince önceden manevra yapılması" ifadelerinin uzmanlar tarafından nasıl algılandığı ve gerçek hayatta nasıl uygulandığına yönelik ortaya çıkan sonuçlar ise şu şekildedir. Belirgin ve karşı tarafın kolay algılayabileceği rota değişimi ile ilgili $5^{o}$ ile $60^{o}$ aralığında değişen değerler ortaya çıkmıştır. Katılımcıların büyük çoğunluğu belirgin rota değişiminin en az $10^{o}$ veya en az $20^{o}$ olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Belirgin rota değişimi algısının uygulayıcılar arasında geniş bir aralığa sahip olduğu ($5^{o}$-$60^{o)}$ fakat uygulamada en az $10^{o}$ ve en az $20^{o}$ rota değişiminin belirgin bir rota değişimi olarak kabul gördüğü sonucuna varılmıştır. Belirgin hız değişimi ile ilgili ise bir alt ya da bir üst makine komutu vermenin algılanabilir olacağı sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan hız değişimini diğer çevreler tarafından kolay algılanamayacağı ve acil durumlar dışında çok fazla kullanılmadığı ortaya çıkmıştır. Denizde çatışma riski içeren karşılaşma durumlarında kaçınma manevrasının hedef

gemiye ne kadar uzaklıkta uygulanması gerektiği ile ilgili elde edilen bulguya göre 3 mil ile 10 mil arasında bir uzaklıkta olması gerektiği tespit edilmiştir. Katılımcıların büyük çoğunluğu ise hedef gemi 8-10 mil uzaklıkta iken manevranın yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

COLREG kural 8(d)'de yer alan "diğer tekne neta oluncaya kadar kontrol edilecektir" ifadesinin de gerçek hayatta nasıl algılandığı ve uygulandığının tespit edilmesine yönelik elde edilen bulgulara göre hedef geminin bordada görülmesinden itibaren neta kabul edildiği ve çatışmadan kaçınma hareketinin sonlandırılarak orijinal rotaya dönüş yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Denizde karşılaşma durumlarında hedef gemiyi takibe başlama mesafesi risk değerlendirmesi açısından önemli bir faktördür. Belli bir mesafeden itibaren gemiler izlenmeye başlanmakta, hareketleri takip edilmekte ve gerekli olması durumunda çatışmayı önleyici manevra yapılmaktadır. Gerçek hayatta takibe başlama mesafesinin 6 mil ile 50 mil arasında değişen aralıkta uygulandığı, genellikle 12 mil ve 20 mil mesafeden hedefin takibe başlandığı sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, bu araştırma kapsamında denizde optimal çatışmadan kaçınma rotası planlama için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Karar destek sistemleri öznel yargılardan kaynaklanan insan hatalarını azaltmaktadır ve bu tür sistemler karar verme noktasında karar verici üzerinde psikolojik ve fiziksel yükü azaltarak seyir emniyetinin artmasına yardımcı olmaktadır.

Geliştirilmiş olan bu sistem ile emniyetli gemi kontrolü otomasyonunun artacağı ve ileride geliştirilebilecek profesyonel bir yazılım ile deniz trafik hizmetleri operatörleri ve gemi kaptanları tarafından kolaylıkla kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bu araştırma sonucunda elde edilen çıktı ile seyir zabiti üzerindeki psikolojik ve fiziksel yük azalarak çatışma riskinin düşeceği ve böylelikle seyir emniyetine katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Seyir emniyetine ek olarak, çatışmadan kaçınma amacıyla ortaya çıkacak yeni rotanın optimal uzunluğa sahip olmasından dolayı seyir maliyetinin düşmesine de katkı yapacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan geliştirilen çözüm algoritması otonom gemilere ve insansız su üstü araçlarına entegre edilerek çatışmadan kaçınma seyir alt modülü olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

Özetlemek gerekirse bu araştırmanın ortaya koyduğu kazanımlar şu şekilde sıralanabilir:

- COLREG gereksinimlerini karşılamaktadır.
- Algoritma her hesaplamada özdeş çözümler üretmektedir.
- Algoritmanın hesaplama süresi oldukça kısadır. Bu durum gerçek zamanlı (real time) olarak uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır.
- Karar değişkenleri kısıtları ve örnek senaryo girdileri uzmanlar ile yapılan görüşmeler sonucu belirlenmiştir.
- ASV ile gerçek ortamda, köprüüstü simülatörü ile sanal ortamda senaryo testleri uygulanmıştır.
- Gemi emniyet alanı hesabında bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır. Böylelikle emniyet alanı büyüklüğünün belirlenmesi subjektiflikten çıkarılarak, kural ve objektif esaslara bağlanmıştır.
- COLREG kural 16 dikkate alınarak TS'ye operatör tarafından belirlenen mesafede çatışmadan kaçınma hareketi uygulanmaktadır. Böylelikle ilgili kural göz önünde tutularak OS'nin emniyetli mesafede manevra yapması sağlanmıştır.
- COLREG kural 8(d) dikkate alınarak TS neta kabul edildikten sonra orijinal rotaya dönüş yapılmaktadır.
- Operatörün optimizasyon hedefine göre (en kısa yol veya TS'ye olan mesafeye göre) sonuç üretmektedir.
- Rota veya hız değişimi manevra opsiyonları ile sonuç üretmektedir.

Diğer taraftan araştırmanın yürütülmesi ve uygulanmasında bazı kısıtlar mevcuttur. Bu araştırmada veri toplama aracı olarak görüşme yöntemi kullanılmıştır. Görüşme yönteminde ana kütlenin tamamına ulaşma imkânı mümkün olmadığı için araştırma örneklem üzerinden yürütülmektedir. Örneklem büyüklüğü 1 Pilot görüşme dâhil olmak üzere toplam 10 kişiden oluşmaktadır. Her ne kadar anahtar verilerin elde edilmesinin amaçlandığı görüşmeler için yeterli görülen örneklem sayısına ulaşılsa da, verilerin daha detaylı ortaya çıkarılması açısından mevcut örneklem sayısı nitel araştırmanın kısıtlarından biri olarak kabul edilebilir. Görüşme yönteminde bazı katılımcılarından bazı sorulara araştırmanın amacı doğrultusunda ulaşılmak istenen hedeflere uygun net cevaplar alınamamaktadır. Bu durum araştırmanın bir diğer kısıtı olarak ortaya çıkmaktadır. TS'nin hareket stratejisindeki değişiklikler dikkate

alınmamıştır. TS'ye ait rota veya hız değişikliğinin tespit edilmesi durumunda yeni verilere göre tekrar hesaplama yapılmaktadır.

Sistemin daha da geliştirilebilmesi açısından gelecek çalışmalarda, bulanık gemi emniyet alanı değişkenlerinin çok kriterli bir karar verme yöntemi (AHP ANP vb.) ile önem sıraları belirlenerek, sahip oldukları önem sırasına göre bulanık kuralların ağırlıkları tanımlanabilir. Böylelikle değişkenlerin önem sıraları sübjektiflikten çıkarak daha net ortaya konmuş olacaktır.

**KAYNAKÇA**


ABB. (2012). Azipod Propulsion: Azimuthing Electric Propulsion Drive. http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/589ea2a5cd61753ec12570c9002ab1d1/$file/AzipodNew.pdf, (29.12.2017).

Abdulmalek, F. A. ve Rajgopal, J. (2007). Analyzing the Benefits of Lean Manufacturing and Value Stream Mapping Via Simulation: A Process Sector Case Study. *International Journal of Production Economics*, 107(1): 223-236.

Abril, J., Salom, J. ve Calvo, O. (1997). Fuzzy Control of a Sailboat. *International Journal of Approximate Reasoning*, 16(3-4): 359-375.

Ahmadpur, M. (2016). *Bir Koridor Boyunca Trafik Sinyal Optimizasyonu İçin Sezgisel Algoritmaların Değerlendirilmesi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ahmed, M. A. ve Alkhamis, T. M. (2009). Simulation Optimization for an Emergency Department Healthcare Unit in Kuwait. *European Journal of Operational Research*, 198(3): 936-942.

Akkoyunlu, M. C. ve Engin, O. (2011). Kesikli Harmoni Arama Algoritması İle Optimizasyon Problemlerinin Çözümü: Literatür Araştırması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 26(4): 140-148.

Akten, N. (2006). Shipping Accidents: A Serious Threat for Marine Environment. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 12(3): 269-304.

Akyol, S. ve Alataş, B. (2012). Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1): 36-50.

Alcan, P. (2014). *İlişkisiz Paralel Makineli Hibrit Akış Tipi Sıralama Probleminde Üstünlük Özellikleri ve Genetik Algoritma Kullanarak İş Sıralama.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Almutairi, N. B. ve Zribi, M. (2016). Fuzzy Controllers for a Gantry Crane System with Experimental Verifications. *Mathematical Problems in Engineering,* 2016: 1-5.

Altan, A. (2013). *Genetik Algoritmada Çaprazlama Operatörü için Bir Benzerlik Ölçütü Geliştirilmesi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Bursa: Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Altaş, İ. H. (1999). Bulanık Mantık: Bulanıklık Kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e,* 62(1999): 80-85.

Altay, A. (2007). *Genetik Algoritma ve Bir Uygulama.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Altunışık, R., Coşkun, R., Bayraktaroğlu, S. ve Yıldırım, E. (2012). Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri. Adapazarı: Sakarya Kitabevi.

Andrews, S. S. ve Bray, D. (2004). Stochastic Simulation of Chemical Reactions with Spatial Resolution and Single Molecule Detail. *Physical Biology*, 1(3): 137.

Anıker, A. T. (2008). *Kaptanın Manevra Kılavuzu*. İstanbul: Denizler Kitapevi.

Arango, C., Cortés, P., Muñuzuri, J. ve Onieva, L. (2011). Berth Allocation Planning in Seville Inland Port by Simulation and Optimization. *Advanced Engineering Informatics*, 25(3): 452-461.

Arango, C., Cortés, P., Onieva, L. ve Escudero, A. (2013). Simulation-Optimization Models for the Dynamic Berth Allocation Problem. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering,* 28(10): 769-779.

Aras, N. (2011). *Doğrusal Olmayan Programlama - Dışbükeylik / İçbükeylik*. Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Yöneylem Araştırması 2 Dersi Sunumu.

Arastaman, G., Fidan, İ. Ö. ve Fidan, T. (2018). Nitel Araştırmada Geçerlik ve Güvenirlik: Kuramsal Bir İnceleme. *YYÜ Eğitim Fakültesi Dergisi,* 15(1): 37-75.

Arıkan, M. (2017). İş Yükü Dengelemeli İkinci Tip Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Bir Tabu Arama Algoritması. *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 32(4): 1169-1179.

Armstrong, C.M. (1994). *Practical Ship Handling*. Glasgow: Son & Ferguson Ltd.

Arslan, M. (2007). *Bulanık Mantık Yönteminin Liman Planlamasına Uygulanması.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Arslantaş, H. (2017). *Bulanık Mantık ile Kablosuz Vücut Alan Ağlarında Yönlendirme Metodunun Geliştirilmesi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kayseri: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Artır, A. E. (2016). *Haber Ajanslarında Kaynak Yönetimi Problemi İçin Bir Sezgisel Çözüm Yaklaşımı.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Asyalı, E. ve Kızkapan T. (2012). Türkiye Kıyılarında 2004-2008 Yıllarında Uluslararası Sefer Yapan Gemilerin Karıştığı Deniz Kazalarının Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi.* 4(2): 27-45.

Atighehchian, A., Bijari, M. ve Tarkesh, H. (2009). A Novel Hybrid Algorithm for Scheduling Steel-Making Continuous Casting Production. *Computers & Operations Research*, 36(8): 2450-2461.

Atik, O. (2013). *Takım Liderliğinin Mesleki Kültür Yönünden İncelenmesi: Gemi Kaptanları Üzerine Bir Araştırma* (Yayınlanmış Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Ay, R. (2000). *İstanbul Boğazı'ndaki Deniz Fenerleri ve Tahlisiye Yapılarının Koruma ve Değerlendirilmesi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ayer, T., Alagoz, O., Chhatwal, J., Shavlik, J. W., Kahn, C. E. ve Burnside, E. S. (2010). Breast Cancer Risk Estimation with Artificial Neural Networks Revisited. *Cancer*, 116(14): 3310-3321.

Aykanat, E. (2010). *Liman ve Bayrak Devleti Kontrolleri Verileri Yardımıyla Gemi Kazalarının Analizi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aytaç, E. (2011). *Kalite İyileştirme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Uygulama Örneği.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Ayyıldız, E. (2018). *Çelik Lifli Betonların Malzeme Karışım Oranlarını ver Beton Basınç Dayanımınlarını Bulanık Mantık Kullanarak Modelleme.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Azarian, A., Siadat, A. ve Martin, P. (2011). Optimization of a Knowledge-Based System by a Meta-Heuristic Approach for the Automotive Diagnosis. In Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2011 IEEE International Conference on (pp. 1617-1622). IEEE.

Baesler, F. F. ve Sepúlveda, J. A. (2001). Healthcare II: Multi-Objective Simulation Optimization for A Cancer Treatment Center. In *Proceedings of the 33nd Conference on Winter Simulation* (pp. 1405-1411). IEEE Computer Society.

Bai, Y. ve Wang, D. (2006). *Fundamentals of Fuzzy Logic Control—Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications.* In Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications (pp. 17-36). London: Springer.

Balduzzi, M., Pasta, A. ve Wilhoit, K. (2014). *A Security Evaluation of AIS Automated Identification System.* In Proceedings of The 30th Annual Computer Security Applications Conference (pp. 436-445).

Balkaya, A. H. (2011). *Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Optimizasyonu*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Bandler, W. ve Kohout, L. J. (1980). Fuzzy Relational Products as a Tool for Analysis and Synthesis of the Behavior of Complex Natural and Artificial Systems. In *Fuzzy Sets* (pp. 341-367). Germany: Springer.

Bartels, J. E. ve Jürgens, D. (2006). The Voith Schneider Propeller Current Applications and New Developments. https://pdfs.semanticscholar.org/b2d7/8bedbdff5893120de12a7a1d128045e8712d.pdf, (10.01.2017).

Baş, M. (2015). *Sarmal ve Çevik Yazılım Geliştirme Çizelgesinin Sezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu ve Karşılaştırması*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Başkale, H. (2016). Nitel Araştırmalarda Geçerlik, Güvenirlik ve Örneklem Büyüklüğünün Belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi,* 9(1): 23-28.

Bazargan, M., Fleming, K. ve Subramanian, P. (2002). Advanced Aviation Concepts Via Simulation: A Simulation Study to Investigate Runway Capacity Using TAAM. In *Proceedings of the 34th conference on Winter Simulation: Exploring New Frontiers* (pp. 1235-1243). Winter Simulation Conference.

Becker. (2017a). *Becker Marine Systems: Manoeuvring Systems.* https://www.becker-marine systems.com/files/content/pdf/product_pdf/Becker_Rudder_Systems.pdf, (31.12.2017).

Becker. (2017b). Becker Marine System: Kort Nozzles. http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/81738p009%20becker%20kort%20 nozzles.pdf, (15.01.2018).

Bell, C. E. ve Han, J. (1991). A New Heuristic Solution Method in Resource-Constrained Project Scheduling. *Naval Research Logistics,* 38(3): 315-331.

Bellman, R. (1978). *An Introduction to Artificial Intelligence: Can Computers Think?* USA: Boyd & Fraser Publishing.

Bellman, R.E. (1957). Dynamic Programming, New York: Princeton University Press.

Berking, B. (2003). Potential and Benefits of AIS to Ships and Maritime Administrations. *WMU Journal of Maritime Affairs,* 2(1): 61-78.

Bhattacharjee, S. (2017). What is Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)? https://www.marineinsight.com/marine-navigation/what-is-electronic-chart-display-and-information-system-ecdis/, (13.06.2018).

Bilgi, R. (2018). *Türkiye'deki İş Sağlığı ve Güvenliğinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Analizi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Bolu: Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Birattari, M., Paquete, L., Stützle, T. ve Varrentrapp, K. (2001). Classification of Metaheuristics and Design of Experiments for the Analysis of Components. Technical Report, AIDA-01-05.

Bish, E. K. (2003). A Multiple-Crane-Constrained Scheduling Problem in a Container Terminal. *European Journal of Operational Research*, 144(1): 83-107.

Biswal, B., Dash, P. K. ve Mishra, S. (2011). A Hybrid Ant Colony Optimization Technique for Power Signal Pattern Classification. *Expert Systems with Applications,* 38(5): 6368-6375.

Blum, C. ve Roli, A. (2003). Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *ACM Computing Surveys (CSUR),* 35(3): 268-308.

Blum, C. ve Roli, A. (2008). Hybrid Metaheuristics: An Introduction. In *Hybrid Metaheuristics* (pp. 1-30). Germany: Springer.

Bole, A. G. ve Dineley, W. O. (1990). *Radar and ARPA Manual*. Oxford: Heinemann Newnes.

Boussaid, I., Lepagnot, J. ve Siarry, P. (2013). A Survey on Optimization Metaheuristics. *Information Sciences*, 237 (2013): 82-117.

Bouthillier, A. L. ve Crainic, T. G. (2005). A Cooperative Parallel Meta-Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Computers & Operations Research*, 32(7): 1685-1708.

Bowditch, J. I. (1995). *The American Practical Navigator: An Epitome of Navigation.* 1995 Edition. USA: Government Printing Office.

Boyacı, A. (2016). NP-Hard Problem Örnekleri Optimum Çözülebilirler. https://tr.linkedin.com/pulse/np-hard-problem-%C3%B6rnekleri-optimum-%C3%A7%C3%B6z%C3%BClebilirler-arman-boyac%C4%B1-ph-d-, (07.03.2018)

Burns, R. S. (1995). The Use of Artificial Neural Networks for the Intelligent Optimal Control of Surface Ships. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 20(1): 65-72.

Buyya, R. ve Murshed, M. (2002). Gridsim: A Toolkit for The Modeling and Simulation of Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 14(13):1175-1220.

Büyükyazıcı, M. ve Taşar, E. (2011). Monte Carlo Stokastik Optimizasyonu İle Optimal Saklama Payı Seviyesi Hesabı. *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik ve Aktüerya*, 4(2011): 1-8.

Carlton, J. (2007). *Marine Propellers and Propulsions*. London: Lloyd's Register.

Castillo, O. ve Melin, P. (2008). *Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications.* Germany: Springer.

Cergibozan, Ç. (2013). *Meta-Heuristic Solution Approaches for Traveling Salesman and Traveling Repairman Problems.* (Unpublished Master of Science Dissertation). Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences.

Charniak, E. ve McDermott, D. (1985). *Introduction to Artificial Intelligence*. USA: Addison-Wesley.

Chen, A., Leung, M. ve Daouk, H. (2003). Application of Neural Networks to an Emerging Financial Market: Forecasting and Trading the Taiwan Stock Index. *Computers & Operations Research*, 30(6): 901-923.

Chen, G., Yin, Y. ve Li, L. (2010). Mechanism and Simulation of Personifying Intelligent Decision-Making for Vessel Collision Avoidance. *International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010* (Vol. 4, pp. 681-686). IEEE.

Chen, L., Bostel, N., Dejax, P., Cai, J. ve Xi, L. (2007). A Tabu Search Algorithm for The Integrated Scheduling Problem of Container Handling Systems İn A Maritime Terminal. *European Journal of Operational Research*, 181(1): 40-58.

Cheng, X. D ve Liu, Z. Y. (2007). Trajectory Optimization for Ship Navigation Safety Using Genetic Annealing Algorithm. *In Third International Conference on Natural Computation*, 4: 385-392.

Cheng, X. D., Liu, Z. Y. ve Zhang, X. T. (2007). Trajectory Optimization for Ship Collision Avoidance System Using Genetic Algorithm. *In OCEANS 2006-Asia Pacific* (pp. 1-5). IEEE.

Chica, M., Juan Pérez, A. A., Cordon, O. ve Kelton, D. (2017). Why Simheuristics? Benefits, Limitations, and Best Practices When Combining Metaheuristics with Simulation.
https://ssrn.com/abstract=2919208, (15.07.2018).

Chou, C. C., Gou, R. H., Tsai, C. L., Tsou, M. C., Wong, C. P. ve Yu, H. L. (2010). Application of A Mixed Fuzzy Decision Making and Optimization Programming Model to The Empty Container Allocation. *Applied Soft Computing*, 10(4): 1071-1079.

Chou, J. S. ve Ngo, N. T. (2016). Time Series Analytics Using Sliding Window Metaheuristic Optimization-Based Machine Learning System for Identifying Building Energy Consumption Patterns. *Applied Energy,* 177: 751-770.

Clark, I.C. (2005). *Ship Dynamics for Mariners*. London: Nautical Institute.

Çokluk, Ö., Yılmaz, K. ve Oğuz, E. (2011). Nitel Bir Görüşme Yöntemi: Odak Grup Görüşmesi. *Kuramsal Eğitimbilim Dergisi*, 4(1): 95-107.

Coley, D. A. (1999). An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers. World Scientific Publishing Company.

Copado Méndez, P. J. (2011). *Development of a Hybrid Metaheuristic for the Efficient Solution of Strategic Supply Chain Management Problems: Application to the Energy Sector.* (Unpublished Master of Science Dissertation). Polytechnic University of Catalonia.

Corker, K. M. ve Smith, B. R. (1993). An Architecture and Model for Cognitive Engineering Simulation Analysis: Application to Advanced Aviation Automation. In *Proceedings of the AIAA Computing in Aerospace 9 Conference* (pp. 1079-1088).

Costa, Á. ve Markellos, R. (1997). Evaluating Public Transport Efficiency with Neural Network Models. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 5(5): 301-312.

Cunkaş, M. (2006). *Genetik Algoritmalar ve Uygulamaları* (Ders Notları). Konya: Selçuk Üniversitesi.

Cura, T. (2004). *Karar Verme Aracı Olarak Yapay Sinir Ağları Ve Yapay Sinir Ağları İle Portföy Optimizasyonu.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Çetin, M. (2007). *Gezgin Satıcı Örnek Problemlerinin Optimum Sonuçlarının Grid Aracılığı ile Hesaplanması.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çevik, M. B. (2008). *Deniz Seyir Haritalarının Üretimi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dahal, K. P., Burt, G. M., Ncdonald, J. R. ve Moyes, A. (2001). A Case Study of Scheduling Storage Tanks Using a Hybrid Genetic Algorithm. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, 5(3): 283-294.

Danton, G. (2002). *Theory and Practice of Seamanship XI*. UK: Routledge.

Daoud, S., Chehade, H., Yalaoui, F. ve Amodeo, L. (2014). Efficient Metaheuristics for Pick and Place Robotic Systems Optimization. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25(1): 27-41.

Demirkıran, M. (2014). *Sağlık Bakanlığı'ndaki Nitelikli Personel Devrinin Nedenlerine ve Önlenmesine Yönelik Nitel Bir Çalışma* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Derisa, S., Omatu, S., Ohta, H., Kutar, L. C. S. ve Samat, P. A. (1999). Ship Maintenance Scheduling by Genetic Algorithm and Constraint-Based Reasoning. *European Journal of Operational Research*, 112(3): 489-502.

Di Caro, G. (2004). Ant Colony Optimization and Its Application to Adaptive Routing in Telecommunication Networks (Unpublished PhD Dissertation). Université libre de Bruxelles, Faculté des sciences appliquées – Informatique, Bruxelles.

Digital Yacht. (2008). *An Explanation of AIS and Class B.* http://www.mesltd.co.uk/aisguide, (12.06.2018).

Dorigo, M. (1992). *Optimization, Learning and Natural Algorithms*. (Unpublished PhD Dissertation). Italy: Politecnico Di Milano.

Dragger, K.H., Kristiansen, S., Karlsen, J.E. ve Wrencke, R.M. (1981). Cause Relationships of Collisions and Groundings Conclusions of Statistical Analysis. *Norwegian Maritime Research,* 3(1981): 20-32.

Drew, P. J. ve Monson, J. R. (2000). Artificial Neural Networks. *Surgery*, 127(1): 3-11.

Du, K. L. ve Swamy, M. N. S. (2016). *Search and Optimization by Metaheuristics*. Germany: Springer.

Duarte, A., Sánchez, Á., Fernández, F. ve Montemayor, A. S. (2006). Improving Image Segmentation Quality Through Effective Region Merging Using a Hierarchical Social Metaheuristic. *Pattern Recognition Letters,* 27(11): 1239-1251.

Dullens, F. P. M. (2009). *Modeling and Control of a Controllable Pitch Propeller.* (Unpublished Master of Science Dissertation). Holland: Eindhoven University of Technology, Department Mechanical Engineering.

Eiben, A. E. ve Smith, J. E. (2015). *Introduction to Evolutionary Computing*. Germany: Germany: Springer.

Eke, A. B. (2010). *Römorkör İşletmeciliği Uygulama Yöntemlerine Göre Çekme Kuvveti Hesaplamaları* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Elen, A. (2011). *Çizelgeleme Probleminin Sezgisel Optimizasyon Yaklaşımıyla Çözümü.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Karabük: Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Emel, G. G. ve Taşkın, Ç. (2002). Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,* 21(1): 129-152.

EMSA (European Maritime Safety Agency). (2015). *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2015.*

EMSA (European Maritime Safety Agency). (2017). *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2017.*

Erdal, M. (2007). *Kısıtlı Kaynak Koşullarında Yapı Projelerinin Genetik Algoritma ile Programlanması*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ergün, K. (2004). *Kesme ve Paketlemeye Problemleri ve Araştırmaya Yönelik Bir Metot Geliştirilmesi ve Bu Metodun Etkinliğinin Sınanması.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erol, A. (1987). *Gemi Kullanma Kuramsal Temel Bilgiler*. İstanbul: Güryay Matbaacılık.

Erol, V. (2006). *Araç Rotalama Problemleri İçin Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Escario, J. B., Jimenez, J. F. ve Giron-Sierra, J. M. (2012). Optimization of Autonomous Ship Manoeuvres Applying Ant Colony Optimization Metaheuristic. *Expert Systems with Applications*, 39(11): 10120-10139.

Esmer, S. (2009). *Konteyner Terminallerinde Lojistik Süreçlerin Optimizasyonu ve Bir Simülasyon Modeli* (Yayınlanmış Doktora Tezi), İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü.

EU (European Union). (2016). MUNIN Project (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Network): Test Area for Autonomous Ship Installed. http://www.unmanned-ship.org/munin/test-area-for-autonomous-ship-installed/, (15.02.2019).

Expósito-Izquiero, C., Lalla-Ruiz, E., Lamata, T., Melián-Batista, B. ve Moreno-Vega, J. M. (2016). Fuzzy Optimization Models for Seaside Port Logistics: Berthing and Quay Crane Scheduling. In *Computational Intelligence* (pp. 323-343). Germany: Springer.

Fan, L. ve Mumford, C. L. (2010). A Metaheuristic Approach to the Urban Transit Routing Problem. *Journal of Heuristics*, 16(3): 353-372.

Fni, R.R. (2000). *The Shiphandlers Guide for Masters and Navigating Officers, Pilots and Tug Masters*. London: Nautical Institute.

Furuno. (2014). Marine Equipment for Merchant Marine: ECDIS Mandatory. https://www.furuno.com/en/merchant/ecdis/carriage/, (15.06.2018).

Galindo, J., Urrutia, A. ve Piattini, M. (2006). *Fuzzy Database: Modelling, Design and Implementation*. USA: Idea Group Publishing.

Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E. ve Zaffalon, M. (1998). Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal. *Journal of Simulation*, 71(2): 107-116.

Garayev, K. (2017). *Portföy Optimizasyonunda Algoritma Kullanımının Etkinliğinin İrdelenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Sakarya: Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Geem, Z. W., Kim, J. H. ve Loganathan, G. V. (2001). A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search. *Simulation,* 76(2): 60-68.

Gemmrich, S. (2012). *Multilevel Monte Carlo Methods for American Options*. (Unpublished Master of Science Dissertation). UK: University of Oxford Kellog College.

Genel, H. (2004). *Genetik Algoritmalarla Portföy Optimizasyonu.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Ghose, J. P. (2004). *Basic Ship Propulsion.* New Delhi: Allied Publishers.

Ghosh, S. (2017). Understanding Different Types of Manoeuvers of a Vessel. https://www.marineinsight.com/naval-architecture/different-types-of-manoeuvres-of-a-vessel/, (23.01.2018).

Gibson, M. A. ve Bruck, J. (2000). Efficient Exact Stochastic Simulation of Chemical Systems with Many Species and Many Channels. *The Journal of Physical Chemistry A*, 104(9): 1876-1889.

Gillespie, D. T. (1977). Exact Stochastic Simulation of Coupled Chemical Reactions. *The Journal of Physical Chemistry*, 81(25): 2340-2361.

Glover, F. (1986). Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence. Computers & Operations Research, 13:533–549.

Glover, F. (1989). Tabu Search—part I. ORSA. *Journal on Computing*, 1(3): 190-206.

Glover, F. (1990). Tabu Search—part II. ORSA. *Journal on Computing,* 2(1): 4-32.

Goldberg D.E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning.* USA: Addison-Wesley.

Gonzalez-Martin, S., Juan, A. A., Riera, D., Elizondo, M. G. ve Ramos, J. J. (2016). A Simheuristic Algorithm for Solving the Arc-Routing Problem with Stochastic Demands. *Journal of Simulation*, 2016: 1-12.

Goodwin, E. M. (1975). A Statistical Study of Ship Domain. *The Journal of Navigation*, 28, 328–344.

Görmüş, Ş. (2018). İktisadi Matematik: Kısıtlı Optimizasyon. http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/68289/42923/13._b%C3%B6l%C3%BCm_k%C4%B1s%C4%B1tl%C4%B1_optimizasyon.docx, (03.03.2018)

Grinyak, V. M. ve Devyatisil'nyi, A.S. (2016). Fuzzy Collision Avoidance System for Ships. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 55(2): 249–259.

Gupta, B. ve Prasad, K. S. (2006). *Azipod Propulsion System.* http://www.dieselduck.info/machine/02%20propulsion/2006%20Introduction%20to%20Azipod%20Propulsion.pdf, (15.01.2017).

Güçlü, A. (2004). *Yüksek Gerilim Tekniğinde Genetik Algoritma Uygulamaları.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Günay, D. (2003). Bilimin Matematiksel Temeli. İstanbul: Kültür Üniversitesi Yayınları.

Gürses, B. (2013). *E-Seyir, E-Seyrin Bileşenleri ve Ülkemizdeki E-Seyir Kullanıcı İhtiyaçlarının Belirlenmesi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güven, C. (2014). *Online Stacking Policies for Container Storage Optimization* (Unpublished Master of Science Dissertation), İzmir: İzmir University of Economics the Graduate School of Natural and Applied Sciences.

Hagen, I. B. (2017). Collision Avoidance for ASVs using Model Predictive Control (Master of Science Dissertation), Trondheim: Norwegian University of Science and Technology Department of Engineering Cybernetics.

Han, M., Li, P. ve Sun, J. (2006, December). The Algorithm for Berth Scheduling Problem by The Hybrid Optimization Strategy GASA. In *Control, Automation, Robotics and Vision, 2006. ICARCV'06. 9th International Conference On* (Pp. 1-4). IEEE.

Hansen, P. H., Hegedahl, B., Hjortkjaer, S. ve Obel, B. (1994). A Heuristic Solution to the Warehouse Location-Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 76(1): 111-127.

Hao, J. L., Zhao, L. N., Hu, J. F. ve Yang, X. B. (2007). Decision-Making Model for Multi-Ship Collision Avoidance Based on Adaptive Genetic Algorithm. *In International Conference on Transportation Engineering.* (pp. 606-611).

Hasegawa, K., Kang, D., Sano, M., Nagarajan, V. ve Yamaguchi, M. (2006). A Study on Improving the Course-Keeping Ability of a Pure Car Carrier in Windy Conditions. *Journal of Marine Science and Technology,* 11(2): 76-87.

Hassan, S. A. (1993). Port Activity Simulation: An Overview. *ACM SIGSIM Simulation Digest*, 23(2): 17-36.

Haugeland, J. (1989). *Artificial Intelligence: The Very Idea*. USA: MIT Press.

Hays, C. (2015). ECDIS, Vector Charts, & Raster Charts. https://www.amnautical.com/blogs/news/17037716-ecdis-vector-charts-raster-charts#.W7cYk2gzaUl, (12.06.2018).

He, J., Chang, D., Mi, W. ve Yan, W. (2010). A Hybrid Parallel Genetic Algorithm for Yard Crane Scheduling. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(1): 136-155.

He, Q., Head, K. ve Ding, J. (2011). Heuristic Algorithm for Priority Traffic Signal Control. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2259: 1-7.

Hegazy, T. (1999). Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Genetic Algorithms. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(3): 167-175.

Hemmati, M., Amjady, N. ve Ehsan, M. (2014). System Modeling and Optimization for Islanded Micro-Grid Using Multi-Cross Learning-Based Chaotic Differential Evolution Algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems,* 56: 349-360.

Herbert-Acero, J. F., Martínez-Lauranchet, J., Probst, O., Méndez-Díaz, S., Castillo-Villar, K. K., Valenzuela-Rendón, M. ve Réthoré, P. E. (2014). A Hybrid Metaheuristic-Based Approach for the Aerodynamic Optimization of Small Hybrid Wind Turbine Rotors. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014:1-18.

Hesse-Biber, S.N. ve Leavy, P. (2006). *The Practice of Qualitative Research*. London: Sage Publications.

Holmblad, L. P. ve Ostergaard, J. J. (1981). Control of a Cement Kiln by Fuzzy Logic Techniques. In Proceeding IFAC Control Science and Technology, 14(2): 809-814.

Homberger, J. ve Gehring, H. (2005). A Two-Phase Hybrid Metaheuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. *European Journal of Operational Research*, 162(1): 220-238.

Hooyer, H. H. (1983). Behaviour and Handling of Ships. USA: Cornell Maritime Press/Tidewater Publishers.

Hosny, M. I. (2010). *Investigating Heuristic and Meta-Heuristic Algorithms for Solving Pickup and Delivery Problems.* (Unpublished PhD Dissertation). UK: Cardiff University School of Computer Science and Informatics.

House, D. J. (2007). *Ship handling: Theory and Practice*. UK: Routledge.

http://folk.ntnu.no/edmundfo/autoseastudents/autoseastudents.html, (13.12.2018).

http://www.metaheuristics.org/index.php%3Fmain=1.html, (17.04.2018).

http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=922041, (13.12.2018).

IALA (International Association of Lighthouse Authorities). (2017). IALA Recommendation R1001: The IALA Maritime Buoyage System.

IAPH (2001) IAPH Guidelines for Port Planning and Design, Port Planning and Construction Committee, International Association of Ports and Harbours, Tokyo.

IHO (International Hydrographic Organization). (2000). *IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data: Publication S-57.* Edition 3.1. Monaco: International Hydrographic Bureau.

IMO (International Maritime Organization). (1968). *Recommendation on Pilotage.* Res. A.159 (ES.IV).

IMO (International Maritime Organization). (1972). Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGs, 1972).

IMO (International Maritime Organization). (1985). *Guidelines for Vessel Traffic Services.* Res. A.578 (14).

IMO (International Maritime Organization). (1995). Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). Res. A.817(19).

IMO (International Maritime Organization). (1998). *Adoption of New and Amended Performance Standards for Navigational Equipment.* Res. MSC.86(70).

IMO (International Maritime Organization). (1999). *Amendments to the Code for the Investigation of Marıne Casualtıes and Incidents Appendix 3, Definition Human Element Terms*, Resolutıon a.849(21).

IMO (International Maritime Organization). (2002a). *Standards for Ship Manoeuvrability*. Res. MSC.137(76).

IMO (International Maritime Organization). (2002b). *Guidelines for The Onboard Operational Use of Shipborne AIS*. Res. A.917(22).

IMO (International Maritime Organization). (2006). Adoption of The Revised Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). Res. MSC.232(82).

IMO (International Maritime Organization). (2007). *Safety of Navigation*. SOLAS V/12.

IMO (International Maritime Organization). (2008a). *Casualty-Related Matters Reports on Marıne Casualtıes and Incıdents*, MSC-MEPC.3/Circ.3.

IMO (International Maritime Organization). (2008b). *Adoption of the Code of the International Standards and Recommended Practices for a Safety Investigation into Marine Casualty or Marine Incident (Casualty Investigation Code)* - Resolution MSC.255(84).

IMO (International Maritime Organization). (2009a). Carriage Requirements for Shipborne Navigational Systems and Equipment. SOLAS V/19.

IMO (International Maritime Organization). (2009b). *Adoption of Amendments to The International Convention for The Safety of Life at Sea, 1974.* As Amended. Res. MSC.282(86).

IMO (International Maritime Organization). (2018a). *AIS Transponders: Regulations for carriage of AIS.*
http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Navigation/Pages/AIS.aspx, (10.06.2018).

IMO (International Maritime Organization). (2018b). *Vessel Traffic Services.*
http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Navigation/Pages/VesselTrafficServices.aspx, (17.06.2018).

INAS (International Network for Autonomous Ships). (2019). Autonomous Ships Test Areas.
http://www.autonomous-ship.org/testarea.html, (12.02.2019).

Iori, M. (2005). *Metaheuristic Algorithms for Combinatorial Optimization Problems* (Unpublished Doctoral Dissertation). Italy: University of Bologna.

ISU (The International Salvage Union). (2018). Types of Casualty.
http://www.marine-salvage.com/overview/types-of-casualty/, (27.02.2018).

ITU (International Telecommunication Union). (1998). Technical Characteristics for a Universal Shipborne Automatic Identification System Using Time Division Multiple Access in the VHF Maritime Mobile Band (ITU-R M.1371-1).

Jackson, R. L., Drummond, D. K. ve Camara, S. (2007). What is Qualitative Research? Qualitative Research Reports in Communication, 8(1): 21-28.

Jakob, M., Vaněk, O., Hrstka, O. ve Pěchouček, M. (2012). Agents vs. Pirates: Multi-Agent Simulation and Optimization to Fight Maritime Piracy. *In Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*-Volume 1 (pp. 37-44).

Jang, J. S. R., Sun, C. T. ve Mizutani, E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing; A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. USA: Prentice-Hall.

Jenny, P., Pope, S. B., Muradoglu, M. ve Caughey, D. A. (2001). A Hybrid Algorithm for The Joint PDF Equation of Turbulent Reactive Flows. *Journal of Computational Physics*, 166(2): 218-252.

Johansen, T. A., Perez, T. ve Cristofaro, A. (2016). Ship Collision Avoidance and COLREGS Compliance Using Simulation-Based Control Behavior Selection with Predictive Hazard Assessment. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(12): 3407-3422.

Juan, A. A., Faulin, J., Grasman, S. E., Rabe, M. ve Figueira, G. (2015). A Review of Simheuristics: Extending Metaheuristics to Deal with Stochastic Combinatorial Optimization Problems. *Operations Research Perspectives*, 2: 62-72.

Juan, A. A., Faulin, J., Ruiz, R., Barrios, B. ve Caballé, S. (2010). The SR-GCWS Hybrid Algorithm for Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Applied Soft Computing,* 10(1): 215-224.

Jun, J., Kang, J., Jeong, D. ve Lee, H. (2017). An Efficient Approach for Optimizing Full Field Development Plan Using Monte-Carlo Simulation Coupled with Genetic Algorithm and New Variable Setting Method for Well Placement Applied to Gas Condensate Field in Vietnam. *Energy Exploration & Exploitation,* 35(1): 75-102.

Jürgens, D. ve Beu, I. (2006). *Offshore Supply Vessels Equipped with Voith Schneider Propellers.* http://www.dieselduck.info/machine/02%20propulsion/2006%20VSP%20in%20OSV.pdf, (10.01.2017).

Kahn, R. ve Cannell, C. (1957). The Dynamics of Interviewing. New York: John Wiley.

Kalogirou, S. A., Neocleous, C. C. ve Schizas, C. N. (1996). Artificial Neural Networks in Modelling the Heat-Up Response of a Solar Steam Generation Plant. In *Proceedings of the International Conference EANN* (Vol. 96, Pp. 1-4).

Kantharia, R. (2016). *A Brief Introduction to Important Vessel Mooring Techniques.* Marine Insight.

Kao, S. L., Lee, K. T., Chang, K. Y. ve Ko, M. D. (2007). A Fuzzy Logic Method for Collision Avoidance in Vessel Traffic Service. *Journal of Navigation*, 60(1): 17-31.

Karaboğa, D. (2005). *An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization* (Vol. 200). Technical Report-Tr06, Kayseri: Erciyes University.

Karataş, Z. (2017). Sosyal Bilim Araştırmalarında Paradigma Değişimi: Nitel Yaklaşımın Yükselişi. *Türkiye Sosyal Hizmet Araştırmaları Dergisi,* 1(1): 68-88.

Karimov, A. (2010). Office Rent Variation in İstanbul Cbd: *An Application of Mamdani and TSK-Type Fuzzy Rule Based System.* (Unpublished Master of Science Thesis). Middle East Technical University: The Graduate School of Applied Mathematics.

Karlsen, A. T. (2012). *On Modelling of a Ship Propulsion System for Control Purposes.* (Unpublished Master of Science Dissertation). Norway: Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Information Technology and Electrical Engineering, Department of Engineering Cybernetics.

Kawamura, K. ve Miyamoto, A. (2003). Condition State Evaluation of Existing Reinforced Concrete Bridges Using Neuro-Fuzzy Hybrid System. *Computers & Structures*, 81(18): 1931-1940.

Kaya, S. ve Fığlalı, N. (2017). Çok Amaçlı Optimizasyon Problemlerinde Pareto Optimal Kullanımı. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 5(2): 9-18.

KEGM (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü). (2017). *2016 Yılı Sektör Raporu.* https://kiyiemniyeti.gov.tr/userfiles/editor/pdf/sektor-raporu-2016.pdf, (12.06.2018).

Kelton, W. D., Sadowski, R. P. ve Sadowski, D. A. (2003). Simulation with Arena. McGraw-Hill.

Kennedy, J. ve Eberhart, R. C. (1995). Particle Swarm Applied Optimization. *Proc. of the IEEE Int. Conference on Neural Networks,* 4: 1942-1948.

Kıran, M. S. (2014). *Optimizasyon Problemlerinin Çözümü İçin Yapay Arı Kolonisi Algoritması Tabanlı Yeni Yaklaşımlar.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kırda, K. (2013). *Evsel İlaç Atıklarının Toplanması Projesindeki Tersine Lojistik Sürecinin Modellenmesi İçin Genetik Algoritmaların Kullanılması.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Kıyak, E. (2013). *Gemi Üzeri Yedek Parça Stoklarının Genetik Algoritma ile Optimizasyonu.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kızılkaya, O. (2017). *Para Krizlerinin Tahmininde Logit-Probit Modelleri ve Yapay Sinir Ağları: Türkiye Örneği.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Malatya: İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Kızkapan, T. (2010). *Kıyı Alanlarında Gemi Emniyet Yönetimi ve Deniz Kazaları Analizi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Kiefer, J. ve Wolfowitz, J. (1952). Stochastic Estimation of the Maximum of a Regression Function. *The Annals of Mathematical Statistics*, 23: 462–466.

Kim, K. H. ve Kim, K. Y. (1999). Routing Straddle Carriers for the Loading Operation of Containers Using a Beam Search Algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 36(1): 109-136.

Kim, T., Oh, K., Sohn, I. ve Hwang, C. (2004). Usefulness of Artificial Neural Networks for Early Warning System of Economic Crisis. *Expert Systems with Applications*, 26(4): 583-590.

Kiranyaz, S., Ince, T. ve Gabbouj, M. (2014). *Multidimensional Particle Swarm Optimization for Machine Learning and Pattern Recognition*. Germany: Springer.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. ve Vecchi, M. P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220(4598): 671-680.

Klein, R. (2000). Bidirectional Planning: Improving Priority Rule-Based Heuristics for Scheduling Resource-Constrained Projects. *European Journal of Operational Research*, 127(3): 619-638.

Koç, İ. (2016). *Sınıflandırma Problemlerinde Meta-Sezgisel Optimizasyon Yöntemlerinin Özellik Seçimi ve Ayrıklaştırma Amacıyla Kullanımı.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kolisch, R. ve Hartmann, S. (1999). Heuristic Algorithms for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem: Classification and Computational Analysis. *In Project Scheduling: Recent Models, Algorithms and Applications* (pp. 147-178). Germany: Springer.

Konaçoğlu, J. (2017). *Bulanık Mantık Yaklaşımı ile İnsan Kaynakları Yönetimi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Koncavar, M. (2004). Pod Tipi Sevk Sistemleri. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, 160: 2-5.

Korsvik, J. E., Fagerholt, K. ve Laporte, G. (2010). A Tabu Search Heuristic for Ship Routing and Scheduling, *Journal of the Operational Research Society*, 61(4): 594–603.

Korupolu, M. R., Plaxton, C. G. ve Rajaraman, R. (2000). Analysis of a Local Search Heuristic for Facility Location Problems. *Journal of Algorithms*, 37(1): 146-188.

Kosmas, O. T. ve Vlachos, D. S. (2012). Simulated Annealing for Optimal Ship Routing. *Computers & Operations Research*, 39(3): 576-581.

Köseoğlu, B. (2014). *Liman Modelleme ve Seyir: Optimizasyon Tekniklerinin Uygulanması*. (Yayınlanmış Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Krasnogor, N. (2004). Self - Generating Metaheuristics in Bioinformatics: The Proteins Structure Comparison Case. *Genetic Programming and Evolvable Machines,* 5(2): 181-201.

Krishnakumar, K. ve Goldberg, D. E. (1992). Control System Optimization Using Genetic Algorithms. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics,* 15(3): 735-740.

Kristiansen, S. (2013). *Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis.* USA: Routledge.

Kulkarni, A. J., Krishnasamy, G. and Abraham, A. (2017). Cohort Intelligence: A Socio-Inspired Optimization Method. Switzerland: Germany: Springer.

Kuo, H., Wu, L. ve Chen, J. (2002). Neural-Fuzzy Fault Diagnosis in a Marine Propulsion Shaft System. *Journal of Materials Processing Technology*, 122(1): 12-22.

Kurzweil, R. (1990). *The Age of Intelligent Machines*. USA: MIT Press.

Kuwata, Y., Wolf, M. T., Zarzhitsky, D. ve Huntsberger, T. L. (2014). Safe Maritime Autonomous Navigation with COLREGS, Using Velocity Obstacles. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 39(1): 110-119.

Küçük, A. (2016). *Hemşire Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritmalarla Optimizasyonu ve Bir Uygulama*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Kvale, S. (1996). *Interviews: An Introduction to Qualitative Research Interviewing.* Thousand Oaks, CA: Sage.

Kwik, K. H. (1989). Calculation of Ship Collision Avoidance Maneuvers: A Simplified Approach. *Ocean Engineering*, 16(5/6): 475-491.

Lazarowska, A. (2012). Decision Support System for Collision Avoidance at Sea. *Polish Maritime Research.* 19(Special): 19-24.

Lazarowska, A. (2014). Ant Colony Optimization Based Navigational Decision Support System. *18th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering System*, pp. 1014-1022.

Lazarowska, A. (2015a). Ship's Trajectory Planning for Collision Avoidance at Sea Based On Ant Colony Optimization. *Journal of Navigation*. 68(2): 291-307.

Lazarowska, A. (2015b). Parameters Influence on the Performance of an Ant Algorithm for Safe Ship Trajectory Planning. *IEEE 2nd Cybernetics International Conference*, pp. 140-145.

Lee, I. L., Kim, S. G. ve Kim, Y. G. (2015). Fuzzy Relational Product for Collision Avoidance of Autonomous Ships. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 21(1): 21-38.

Lee, J., Almond, D. ve Harris, B. (1999). The Use of Neural Networks for the Prediction of Fatigue Lives of Composite Materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 30(10): 1159-1169.

Legato, P. ve Mazza, R. M. (2001). Berth Planning and Resources Optimization at a Container Terminal Via Discrete Event Simulation. *European Journal of Operational Research*, 133(3): 537-547.

Legato, P., Mazza, R. M. ve Trunfio, R. (2008). Simulation-Based Optimization for the Quay Crane Scheduling Problem. *In Simulation Conference*, 2008. WSC 2008. Winter (pp. 2717-2725). IEEE.

Lemaréchal, C. (2012). Cauchy and the Gradient Method. *Math Extra*, 251-254.

Li, H., Huo, J. Z. ve Chen, Y. (2006). A Hybrid Genetic Algorithm for The Ship Stowage Planning Problem. *Industrial Engineering and Management*, 3, 007.

Li, J. ve Parsons, M. G. (1997). Forecasting Tanker Freight Rate Using Neural Networks. *Maritime Policy & Management*, 24(1): 9-30.

Li, W. ve Ma, W. (2016). Simulation on Vessel Intelligent Collision Avoidance Based on Artificial Fish Swarm Algorithm. *Polish Maritime Research,* 23(s1): 138-143.

Li, X. ve Gao, L. (2016). An Effective Hybrid Genetic Algorithm and Tabu Search for Flexible Job Shop Scheduling Problem. *International Journal of Production Economics*, 174: 93-110.

Li, Z., Yan, X., Yuan, C., Zhao, J. ve Peng, Z. (2011). Fault Detection and Diagnosis of a Gearbox in Marine Propulsion Systems Using Bispectrum Analysis and Artificial Neural Networks. *Journal of Marine Science and Application*, 10(1): 17-24.

Liao, T. W. (2010). Two Hybrid Differential Evolution Algorithms for Engineering Design Optimization. *Applied Soft Computing,* 10(4): 1188-1199.

Lin, W. Y., Lee, W. Y. ve Hong, T. P. (2003). Adapting Crossover and Mutation Rates in Genetic Algorithms. *Journal of Information Science and Engineering,* 19(5): 889-903.

Lipowski, A. ve Lipowska, D. (2012). Roulette-wheel Selection via Stochastic Acceptance. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,* 391(6): 2193-2196.

Lisowski, J. (2000). Multistage Ship's Optimal Control in Collision Situations Using a Neural Network. *In II International Conference Safe Navigation Beyond 2000* (pp. 109-119).

Lisowski, J. (2016). Analysis of Methods of Determining the Safe Ship Trajectory. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10(2): 223-228.

Lisowski, J. ve Smierzchalski, R. (1995). Methods to Assign the Safe Maneuver and Trajectory Avoiding Collision at Sea. *WIT Transactions on the Built Environment*, 12: 495-502.

Liu, Y. H., Sun, Z. Q. ve Du, X. M. (2007). Modeling Ship Behaviors as an Intelligent Agent for Collision Avoidance Simulation. *In Machine Learning and Cybernetics*, 2007 International Conference on (Vol. 1, pp. 88-93). IEEE.

Loukil, T., Teghem, J. ve Tuyttens, D. (2005). Solving Multi-Objective Production Scheduling Problems Using Metaheuristics. *European Journal of Operational Research,* 161(1): 42-61.

Luh, G. C. ve Lin, C. Y. (2009). Structural Topology Optimization Using Ant Colony Optimization Algorithm. *Applied Soft Computing*, 9(4): 1343-1353.

Lyridis, D., Zacharioudakis, P., Mitrou, P. ve Mylonas, A. (2004). Forecasting Tanker Market Using Artificial Neural Networks. *Maritime Economics & Logistics*, 6(2): 93-108.

Ma, F., Wu, Q., Yan, X., Chu, X. ve Zhang, D. (2015). Classification of Automatic Radar Plotting Aid Targets Based on Improved Fuzzy C-Means. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies,* 51: 180-195.

MAIB (Marine Accident Investigation Branch) (2014). Supporting Documents for Annual Report 2013. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/386365/Supporting_documents_for_Annual_Report_2013.pdf, (27.02.2018).

Maier, H. R. ve Dandy, G. C. (1996). The Use of Artificial Neural Networks for the Prediction of Water Quality Parameters. *Water Resources Research*, 32(4): 1013-1022.

Mamdani, E.H. (1974). Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant, *In Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 121(12): 1585-1588.

Mamdani, E.H. ve Assilian, S. (1975). An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *Int. J. Man-Machine Studies,* 7: 1-13.

MAN. (2013). *Basic Principles of Ship Propulsion*. Denmark: MAN Diesel and Turbo.

Mandal, T. ve Acharyya, S. (2015). Optimal Task Scheduling in Cloud Computing Environment: Meta Heuristic Approaches. In Electrical Information and Communication Technology (EICT), 2015 2nd International Conference On (Pp. 24-28). IEEE.

MAN. (2017). Marine Engines and Systems: Two-Stroke Technology. http://marine.man.eu/technology/low-speed-technology, (29.12.2017).

Marie, S. ve Courteille, E. (2014). Sail-Assisted Motor Vessels Weather Routing Using a Fuzzy Logic Model. *Journal of Marine Science and Technology*, 19(3): 265-279.

Marshall, C. ve Rossman, G. B. (2014). *Designing Qualitative Research.* London: Sage Publications.

Martí, R. ve Reinelt, G. (2011). *The Linear Ordering Problem: Exact and Heuristic Methods in Combinatorial Optimization*. Germany: Springer.

Martin, G. L. (1982). *A Containership Load Planning Heuristic for a Transtainer Based Container Port* (Doctoral Dissertation) USA: Oregon State University.

Mason, J. (2002). Qualitative Researching. USA: Sage.

MathWorks. (2018a). Fuzzy Inference Process. https://www.mathworks.com/help/fuzzy/fuzzy-inference-process.html#a1054218744b1, (03.06.2018).

MathWorks. (2018b). Types of Fuzzy Inference Systems. https://www.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html#bu_nr46-1, (07.06.2018).

MathWorks. (2018c). *Comparison of Sugeno and Mamdani Systems.* https://www.mathworks.com/help/fuzzy/comparison-of-sugeno-and-mamdani-systems.html, (08.06.2018).

MATLAB ve Statistics Toolbox Release, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States.

Mccartney, S., Weltin, M. ve Burchiel, K. J. (2014). Use of an Artificial Neural Network for Diagnosis of Facial Pain Syndromes: An Update. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*, 92(1): 44-52.

Mcculloch, W. S. ve Pitts, W. (1943). A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4): 115-133.

MEB (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı). (2008). *Güverte Makineleri. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/G%C3%BCverte%20Makineleri.pdf,* (21.01.2018).

MEB (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı). (2011). *Gemi Dizel Motorları – 1.* http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Gemi%20Dizel%20Motorlar%C4%B1%201.pdf, (29.12.2017).

MEB (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı). (2012). *Güverte Teçhiz ve Donanımı Çizimi. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/G%C3%BCverte%20Te%C3%A7hiz%20Ve%20Donan%C4%B1m%C4%B1%20%C3%87izimi.pdf,* (21.01.2018).

MEB (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı). (2015). *Denizcilik: Gemi Makinesiyle Yol Vermek ve Yol Kesme.* http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Gemi%20Makinesiyle%20Yol%20Vermek%20Ve%20Yol%20Kesme.pdf, (31.12.2017).

MEB (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı). (2016a). *Halatlar ve Halat İşleri.* http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Halatlar%20ve%20Halat%20%C4%B0%C5%9Fleri.pdf, (21.01.2018).

MEB (Millî Eğitim Bakanlığı). (2016b). Makine ve Dümen ile Manevra. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Makine%20ve%20D%C3%BCmen%20ile%20Manevra.pdf, (28.01.2018).

Mei, H., Tian, Y. ve Zu, L. (2006). A Hybrid Ant Colony Optimization Algorithm for Path Planning of Robot in Dynamic Environment. *International Journal of Information Technology*, 12(3): 78-88.

Meisel, F. ve Bierwirth, C. (2011). A Unified Approach for the Evaluation of Quay Crane Scheduling Models and Algorithms, Computers *& Operations Research*, 38(3): 683–693.

Meloni, C., Pacciarelli, D. ve Pranzo, M. (2004). A Rollout Metaheuristic for Job Shop Scheduling Problems. *Annals of Operations Research*, 131(1): 215-235.

Miele, A. ve Wang, T. (2005). Maximin Approach to The Ship Collision Avoidance Problem Via Multiple-Subarc Sequential Gradient-Restoration Algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 124(1): 29-53.

Mirjalili, S. ve Hashim, S. Z. M. (2010). A New Hybrid PSOGSA Algorithm for Function Optimization. In *Computer and Information Application (ICCIA), 2010 International Conference on* (pp. 374-377).

Mitchell, M. (1999). *An Introduction to Genetic Algorithms*. USA: MIT press.

Molland, A. F. ve Turnock, S. R. (2011). *Marine Rudders and Control Surfaces: Principles, Data, Design and Applications.* UK: Butterworth-Heinemann.

Moncayo-Martínez, L. A. ve Zhang, D. Z. (2011). Multi-Objective Ant Colony Optimisation: A Meta-Heuristic Approach to Supply Chain Design. *International Journal of Production Economics,* 131(1): 407-420.

Mori, M. ve Tseng, C. C. (1997). A Genetic Algorithm for Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*, 100(1): 134-141.

Mostafa, M. M. (2004). Forecasting the Suez Canal Traffic: A Neural Network Analysis. *Maritime Policy & Management*, 31(2): 139-156.

Nabiyev, V. V. (2005), Yapay Zekâ, Seçkin Yayıncılık: Ankara.

Nabiyev, V. V. (2012). *Yapay Zekâ: İnsan-Bilgisayar Etkileşimi*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Nagarajan, V., Kang, D. H., Hasegawa, K. ve Nabeshima, K. (2008). Comparison of the Mariner Schilling Rudder and the Mariner Rudder for VLCCs in Strong Winds. *Journal of Marine Science and Technology*, 13(1): 24-39.

Nas, S. (2013). Teknik Seyir Hizmetlerinde Kaynakların Simülasyon Modellemesi Yöntemiyle Optimizasyonu: Römorkör Park Yeri Seçimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi,* 5(2): 57-81.

Nastasi, B. (2015). Study Notes: Qualitative Research: Sampling and Sample Size Considerations. https://my.laureate.net/Faculty/docs/Faculty%20Documents/qualit_res_smpl_size_consid.doc, (03.07.2018).

Negnevitsky, M. ve Le, T. L. (1995). Artificial Neural Networks Application for Current Rating of Overhead Lines. In *Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on* (Vol. 1, pp. 418-422).

Nguyen, M. D., Nguyen, V. T. ve Tamaru, H. (2012). Automatic Collision Avoiding Support System for Ships in Congested Waters and at Open Sea. *International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), 2012* (pp. 96-101). IEEE.

Niesse, J. A. ve Mayne, H. R. (1997). Global Optimization of Atomic and Molecular Clusters Using the Space-Fixed Modified Genetic Algorithm Method. *Journal of Computational Chemistry,* 18(9): 1233-1244.

Nilsson, N. J. (1998). *Artificial Intelligence: A New Synthesis*. USA: Morgan Kaufmann.

Norris, A. (2008). *Integrating Ship Bridge Systems: A Practical Guide. Radar and AIS.* UK: Nautical Institute.

Norstad, I., Fagerholt, K. ve Laporte, G. (2011). Tramp Ship Routing and Scheduling with Speed Optimization, *Transportation Research*. Part C 19(5): 853–865.

Özdemir, G. (2006). *Kısıtlı Kaynaklarla Proje Çizelgelemesi Problemlerinde Kullanılan Genetik Algoritma Metotları ve Bunların Karşılaştırılması.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Özdemir, M. (2017). Genetik Algoritma ile Doğrusal Regresyonda Tahmin Amaçlı Model Seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27: 213-233.

Özkan, B. (2008). *Dinamik Gezgin Satıcı Probleminin Çözümü için Bir Eniyileme Kütüphanesinin Tasarımı ve Görsel Azılım Geliştirme Ortamı ile Birlikte Gerçekleştirimi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özkan, E. D. ve Atik, O. (2016). Gemi Köprüüstü Otomasyon Sistemlerinin Kaptan ve Kılavuz Kaptanların Durumsal Farkındalık Seviyesiyle İlişkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi,* 8(2): 293-320.

Özkan, E. D., Nas, S. ve Güler, N. (2016). Capacity Analysis of Ro-Ro Terminals by Using Simulation Modeling Method. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 32(3): 139-147.

Özkan, Ö., Erdal, M. ve Baykan, U. N. (2006). Yapı Projelerinin Programlanmasında Öncelik Kuralları Performansları. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 5(1): 10-18.

Özkış, A. (2013). *Sayısal Optimizasyon Problemlerinin Çözümü İçin Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının İyileştirilmesi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Öztemel E. (2012). *Yapay Sinir Ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık.

Öztürk, L. ve Türkay, H. (2005). Aşırı Değer İçeren Veri Kümelerinde Hata Terimlerinin Binom Dağılıma Uyduğu Durumda EKK ve Robust LTS Regresyon Tahmincilerinin Simülasyon Çalışması ile Karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1): 263-279.

Paksoy, S. (2007). *Genetik Algoritma ile Proje Çizelgeleme.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Adana: Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Patır, S. (2009). Dinamik Programlama ve Bir Ecza Deposunun Şehir İçi İlaç Dağıtımına Alternatifli Bir Çözüm Önerisi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(2): 63-79.

Patraiko, D. (2014). Radar Re-examined. *The Navigator,* 2014(6): 2.

Peng, F. ve Cui, G. (2015). Efficient Simultaneous Synthesis for Heat Exchanger Network with Simulated Annealing Algorithm. *Applied Thermal Engineering*, 78: 136-149.

Perera, L. P., Carvalho, J. P. ve Soares, C. G. (2009). Autonomous Guidance and Navigation Based On the Colregs Rules and Regulations of Collision Avoidance. *Advanced Ship Design for Pollution Prevention,* Taylor & Francis Group, London, pp. 205-216.

Perera, L. P., Carvalho, J. P. ve Soares, C. G. (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): 84-99.

Perera, L. P., Ferrari, V., Santos, F. P., Hinostroza, M. A. ve Soares, C. G. (2015). Experimental Evaluations on Ship Autonomous Navigation and Collision Avoidance by Intelligent Guidance. *Journal of Oceanic Engineering.* 40(2): 374-378.

Petrides, D. P., Koulouris, A. ve Lagonikos, P. T. (2002). The Role of Process Simulation in Pharmaceutical Process Development and Product Commercialization. *Pharmaceutical Engineering*, 22(1): 56-65.

Petrides, D., Cooney, C. L., Evans, L. B., Field, R. P. ve Snoswell, M. (1989). Bioprocess Simulation: An Integrated Approach to Process Development. *Computers & Chemical Engineering*, 13(4-5): 553-561.

PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses). (1992). Capability of Ship Manoeuvring Simulation Models for Approach Channels and Fairways in Harbours.

Pick, W. H. (1932). Visibility at Sea, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 58(245): 251-258.

Poole, D. L., Mackworth, A. K. ve Goebel, R. (1998). *Computational Intelligence: A Logical Approach* (Vol. 1). USA: Oxford University Press.

Pooranian, Z., Shojafar, M., Tavoli, R., Singhal, M. ve Abraham, A. (2013). A Hybrid Metaheuristic Algorithm for Job Scheduling on Computational Grids. *Informatica*, 37(2): 157.

Priadi, A. A., Tjahjono, T. ve Benabdelhafid, A. (2012). Assessing Safety of Ferry Routes by Ship Handling Model Through AHP and Fuzzy Approach. *Intelligent Information Management*, 4(5): 277-283.

Psaraftis, H. N., Caridis, P., Desypris, N., Panagakos, G. ve Ventikos, N. (1998). *The Human Element as a Factor in Marine Accidents*. In Proceedings from the IMLA-10 Conference of the International Association of Maritime Lecturers.

Rajesh, G. ve Bhattacharyya, S. (2008). System Identification for Nonlinear Maneuvering of Large Tankers Using Artificial Neural Network. *Applied Ocean Research*, 30(4): 256-263.

Raman, H. ve Sunilkumar, N. (1995). Multivariate Modelling of Water Resources Time Series Using Artificial Neural Networks. *Hydrological Sciences Journal*, 40(2): 145-163.

Rashed, R. (1990). *A Pioneer in Anaclastics: Ibn Sahl on Burning Mirrors and Lenses*. Isis, 81(3): 464-491.

Reeves, C. R. (1993). *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. John Wiley & Sons, Inc.

Reeves, C. R. (2010). Genetic Algorithms. In Handbook of Metaheuristics. USA: Springer.

Rich, E. ve Knight, K. (1991). *Artificial Intelligence*. USA: McGraw-Hill.

Ries, J., González-Ramírez, R. G., ve Miranda, P. (2014). A Fuzzy Logic Model for The Container Stacking Problem at Container Terminals. In *International Conference on Computational Logistics* (pp. 93-111). Germany: Springer.

Robbins, H. ve Monro, S. (1951). A Stochastic Approximation Method. *The Annals of Mathematical Statistics*, 400-407.

Roberge, M. A., Lamarche, L., Karjl, S. ve Moreau, A. (1997). Model of Room Storage Heater and System Identification Using Neural Networks. In *Proc. Of CLIMA 2000 Conf., Brussels, Belgium* (Vol. 265).

Rolls Royce. (2014). *Propulsion: Moving Your Business in the Right Direction*. Norway: Rolls Royce plc.

Rolls-Royce. (2017). *Azimuth Thrusters.* http://www.rolls-royce.com/~/media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ azimuth-thrusters.pdf, (15.01.2017).

Romanycia, M. H. ve Pelletier, F. J. (1985). What is a Heuristic? *Computational Intelligence*, 1(1): 47-58.

Rosenblatt, F. (1958). The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain. *Psychological Review*, 65(6): 386-408.

Rosenstein, M. (2004). General Semantics and Fuzzy Logic. *ETC: A Review of General Semantics,* 61(3): 327-330.

Rossman, G. B. ve Rallis, S. F. (2012). Learning in The Field: An Introduction to Qualitative Research. USA: Sage.

Rothblum, A., Wheal, D., Withington, S., Shappell, S. A., Wiegmann, D. A., Boehm, W. ve Chaderjian, M. (2002). Improving Incident Investigation Through Inclusion of Human Factors. USA: United States Department of Transportation Publications.

Russell, S. ve Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence*: *A modern approach.* United States: Prentice Hall.

Saaty, R. W. (1987). The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5): 161-176.

Sanders, D. A. (2009). Recognizing Shipbuilding Parts Using Artificial Neural Networks and Fourier Descriptors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 223(3): 337-342.

Sarıçiçek, İ. (2012). Metasezgisel Yöntemler: Endüstriyel Çizelgeleme Dersi Sunumu. http://slideplayer.biz.tr/slide/2624694/, (31.05.2018).

Satar, B. (2015). *Çok Amaçlı Optimizasyon Temelli Genel Atama Problemlerinin Metasezgisel Yöntemlerle Çözümü.* Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Savic, D. (2002). Single-objective vs. Multiobjective Optimization for Integrated Decision Support. *9th International Congress on Environmental Modelling and Software* (pp. 7-12).

Sayadi, M., Ramezanian, R. ve Ghaffari-Nasab, N. (2010). A Discrete Firefly Meta-Heuristic with Local Search for Makespan Minimization in Permutation Flow Shop Scheduling Problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 1(1): 1-10.

Schottel. (2010). *Marine Propulsion: SRP Rudderpropeller.* https://www.schottel.de/marine-propulsion/srp-rudderpropeller/, (15.01.2017).

Schottel. (2014). *Schottel CP Propeller: Reliable and Powerful.* https://www.schottel.de/fileadmin/data/pdf/eng/SCP_ENGL_12er_0514_web.pdf, (31.12.2017).

Shannon, R. E. ve Ignizio, J. P. (1970). A Heuristic Programming Algorithm for Warehouse Location. *AIIE Transactions*: 2(4): 334-339.

Shi, X., Liang, Y., Lee, H., Lu, C. ve Wang, L. (2005). An Improved GA and a Novel PSO-GA-based Hybrid Algorithm. *Information Processing Letters*, 93(5): 255-261.

Shimizu, Y., Yamazaki, Y. ve Wada, T. (2008). Multimodal Logistics Network Design Over Planning Horizon Through a Hybrid Meta-Heuristic Approach. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 2(5): 915-925.

Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E. ve Papadimitriou, S. (2007). The Container Shipping Network Design Problem with Empty Container Repositioning, *Transportation Research* 43(1): 39–59.

Siemiatkowski, M. ve Przybylski, W. (2007). Modelling and Simulation Analysis of Process Alternatives in the Cellular Manufacturing of Axially Symmetric Parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(5): 516-530.

Simsir, U., Amasyalı, M. F., Bal, M., Çelebi, U. B. ve Ertuğrul, S. (2014). Decision Support System for Collision Avoidance of Vessels. *Applied Soft Computing*. 25(2014): 369-378.

Sivanandam, S. N. ve Deepa, S. N. (2008). Introduction to Genetic Algorithms. Germany: Springer.

Sivanandam, S. N., Sumathi, S. ve Deepa, S. N. (2007). *Introduction to Fuzzy Logic Using MATLAB*. Berlin: Springer.

Smierzchalski, R. ve Michalewicz, Z. (2000). Modeling of Ship Trajectory in Collision Situations by an Evolutionary Algorithm. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 4(3): 227-241.

Smogeli, Q. N. (2006). *Control of Marine Propellers from Normal to Extreme Conditions*. (Unpublished PhD Dissertation). Norway: Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Marine Technology.

Song, D. W. ve Yeo, K. T. (2004). A Competitive Analysis of Chinese Container Ports Using the Analytic Hierarchy Process. *Maritime Economics & Logistics*, 6(1): 34-52.

Soyaslan, G. (2010). *Genetik Algoritmalarda Atama Problemi ve Buna Yönelik Bir Uygulama.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Sönmez, U. ve Özden, H. (2011). Süratli Bir Geminin Sujeti Sevk Makine Sisteminde Flanş-Şaft Elemanında Ortaya Çıkan Hasarın İncelenmesi. *Mühendis ve Makina,* 52(623), 74-83.

Stateczny, A ve Kazimierski, W. (2009). *Target Tracking in RIS.* Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. London: Taylor and Francis.

Statheros, T., Howells, G. ve Maier, K. M. (2008). Autonomous Ship Collision Avoidance Navigation Concepts, Technologies and Techniques. *Journal of navigation*. 61(1): 129-142.

Stockton, D. J., Quinn, L. ve Khalil, R. A. (2004). Use of Genetic Algorithms in Operations Management: Part 1: Applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture,* 218(3): 315-327.

Storn, R. ve Price, K. (1997). Differential Evolution–A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization Over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization,* 11(4): 341-359.

Stützle, T. (1998). Local Search Algorithms for Combinatorial Problems. (Unpublished PhD Dissertation). Darmstadt University of Technology.

Su, C. M., Chang, K. Y. ve Cheng, C. Y. (2012). Fuzzy Decision on Optimal Collision Avoidance Measures for Ships in Vessel Traffic Service. *Journal of Marine Science and Technology.* 20(1): 38-48.

Sugeno, M. ve Kang, G.T. (1988). *Structure Identification of Fuzzy Model*. Fuzzy Sets and Systems, 28(1): 15-33.

Sun, D., Benekohal, R. F. ve Waller, S. T. (2006). Bi-level Programming Formulation and Heuristic Solution Approach for Dynamic Traffic Signal Optimization. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 21(5): 321-333.

Sutton, R. ve Jess, I. M. (1991). A Design Study of a Self-Organizing Fuzzy Autopilot for Ship Control. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 205(1): 35-47.

Svetak, J. (2001). Ship Squat. *Traffic Engineering*. 13(4): 247-251.

Swanson, N. R. ve White, H. (1997). A Model Selection Approach to Real-Time Macroeconomic Forecasting Using Linear Models and Artificial Neural Networks. *The Review of Economics and Statistics*, 79(4): 540-550.

Szlapczynski, R. (2007). Determining The Optimal Course Alteration Maneuver in A Multi-Target Encounter Situation for A Given Ship Domain Model. *Annual of Navigation*. 12(2007): 75-85.

Szlapczynski, R. (2008). A New Method of Planning Collision Avoidance Maneuvers for Multi-Target Encounter Situations. *Journal of Navigation*. 61(2): 307-321.

Şenol, Ş. (2012). Araştırma ve örnekleme yöntemleri. Ankara: Nobel Yayıncılık.

Tahar, R. M. ve Hussain, K. (2000). Simulation and Analysis for the Kelang Container Terminal operations. *Journal of Enterprise Information Management*, 13(1): 14-20.

Takagi, T. ve Sugeno, M. (1985). Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics, (1): 116-132.

Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: From Design to Implementation* (Vol. 74). USA: John Wiley & Sons Publication.

Tam, C. K. ve Bucknall, R. (2013). Cooperative Path Planning Algorithm for Marine Surface Vessels. *Ocean Enginee*ring. 57(2013): 25-33.

Tatlısuluoğlu, A. (2008). *Çanakkale Boğazı Deniz Kazaları ve Çevreye Olan Etkileri*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.

Topkaya, E. (2006). Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri Güncelleştirilmiş 5. Baskı. *Eğitimde Kuram ve Uygulama,* 2(2): 113-118.

Toroslu, V. (2008). Denizciye Göz Kırpan Sevdalar: Deniz Fenerleri. İzmir: Dev Yayıncılık.

Toscano, R. (2013). *Structured Controllers for Uncertain Systems: A Stochastic Optimization Approach*. Germany: Springer.

Törün, A. (2008). Augustin-Louis Cauchy. *Matematik Dünyası.* 2008(2): 51-57.

Tracy, S. J. (2012). *Qualitative Research Methods: Collecting Evidence, Crafting Analysis, Communicating Impact*. UK: John Wiley & Sons Publication.

Tsou, M. C. ve Hsueh, C. K. (2010). The Study of Ship Collision Avoidance Route Planning by Ant Colony Algorithm. *Journal of Marine Science and Technology.* 18(5): 746-756.

Tsou, M. C., Kao, S. L. ve Su, C. M. (2010). Decision Support from Genetic Algorithms for Ship Collision Avoidance Route Planning and Alerts. *The Journal of Navigation*. 63(1): 167-182.

Tsukamoto, Y. (1979). *An Approach to Fuzzy Reasoning Method*. In Madan M. Gupta, Rammohan K. Ragade, and Ronald R. Yager, editors, Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, pp. 137-149. Amsterdam: North-Holland.

Tuna, T. (2014). *Depo Planlaması ve Ürünlerin Depolara Atanması Probleminin Sezgisel Algoritmalar ile Çözümü.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tuncer, A. (2013). *Otonom Araçlar İçin Yol Bulma Probleminin Genetik Algoritmalar ve FPGA ile Çözümü ve Gerçekleştirilmesi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Turban, E., Aronson, J. E. ve Liang, T. P. (2007). *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. New Delhi: Pearson Prentice-Hall.

Ucan, E. ve Nas, S. (2016). Analysing Istanbul Strait Maritime Pilot Capacity by Simulation Technique. *The Journal of Navigation*, 69(4): 815-827.

UDHB (T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı). (2014). Deniz Kazalarını ve Olaylarını Araştırma ve İnceleme Yönetmeliği.

UDHB (T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı). (2013). Otomatik Tanımlama Sistemi (OTS) Cihazları Uygulama Talimatı.

Uğurlu, Ö. (2011). *Petrol Tankerlerinde Meydana Gelen Deniz Kazalarının Risk Analizi.* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ulusoy, G. (2002). Proje Planlamada Kaynak Kısıtlı Çizelgeleme, *Sabancı Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 8: 23-29.

UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). (2018). *Review of Maritime Transport*. New York & Geneva: United Nations Publication.

U.S. Coast Guard. (2003). Boat Crew Seamanship Manual. http://ppgroup.uscgaux.info/manuals/USCG_Boat_Crew_Seamanship_Manual.pdf, (13.02.2018).

Uzmar. (2016). Photos / Shipyard Photos / Pilbaro Macleod. http://www.uzmar.com/contents/gallerydetails/pilbaro-macleod/142/134, (20.01.2018).

Ünlü, T. (2016). *Anahtarlamalı Relüktans Motorunun Gerçek Zamanlı Olarak Bulanık Mantık ile Denetimi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Karabük: Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ünal, H. T. (2018). *AWACS Uçaklarında Ekip Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritmalar Yöntemiyle Çözümü.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Van Oortmerssen, G. (1976). The Motions of a Ship in Shallow Water. *Ocean Engineering,* 3: 221-255.

Vaněk, O., Jakob, M., Hrstka, O. ve Pěchouček, M. (2011). Using Multi-Agent Simulation to Improve the Security of Maritime Transit. *In International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation* (pp. 44-58). Germany: Springer.

Velagic, J., Vukic, Z. ve Omerdic, E. (2003). Adaptive Fuzzy Ship Autopilot for Track-Keeping. *Control Engineering Practice*, 11(4): 433-443.

Vicen-Bueno, R., Carrasco-Álvarez, R., Rosa-Zurera, M., Nieto-Borge, J. ve Jarabo-Amores, M. (2010). Artificial Neural Network-Based Clutter Reduction Systems for Ship Size Estimation in Maritime Radars. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 1-16.

Virdil, F. (2012). *İhracat Konteynerlerinin Elleçleme Sayısını Enazlamak İçin Sezgisel Yöntemler.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Koç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Voith. (2009). *Voith Schneider Propeller Designer Manuel.* https://resource.voith.com/vt/publications/downloads/810_e_g_1861_e_designer_manual_2010-03-26.pdf, (09.01.2017).

Volvo Penta. (1998). Inboard Propellers and Speed Calculation Marine Engines. http://www.akcaymarin.com/Products/%C3%B6zelklavuzlar/Volvo%20Penta%20prevane%20klavuzu.pdf, (30.12.2017).

Voss, S., Martello, S., Osman, I. H. ve Roucairol, C. (1999). *Meta-heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization.* Germany: Springer.

Vural, M. (2005). *Genetik Algoritma Yöntemi ile Toplu Üretim Planlama.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Wang, D. ve Bai, Y. (2006). *Implementation of Fuzzy Logic Control Systems.* In Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications (pp. 37-52). Germany: Springer.

Wang, K., Yan, X. ve Yuan, Y. (2015). Fuzzy Logic Method for Ship Energy Efficiency Decision-Making Model to Determine Optimal Engine Speed. *Sea Technology*, 56(11): 45-46.

Ward, E. (2014). *Radar Collision Course.* The Navigator. UK: Nautical Institute.

Wartsila. (2018a). *Wartsila Encyclopedia of Marine Technology: Rudder.* https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/rudder, (17.01.2018).

Wartsila. (2018b). *Wartsila Encyclopedia of Marine Technology: Thrusters.* https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/thrusters, (18.01.2018).

Wartsila. (2018c). *Wartsila Encyclopedia of Marine Technology: Bow Thrusters.* https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/bow-thruster, (18.01.2018).

Wei, Z., Zhou, K. ve Wei, M. (2015). Decision-Making in Ship Collision Avoidance Based on Cat-Swarm Biological Algorithm. *International Conference on Computational Science and Engineering* (ICCSE 2015).

Weise, T. (2009). *Global Optimization Algorithms-Theory and Application*. http://www.it-weise.de/projects/book.pdf, (18.04.2018).

Williams, J. F. (1983). A Hybrid Algorithm for Simultaneous Scheduling of Production and Distribution in Multi-Echelon Structures. *Management Science*, 29(1): 77-92.

Winston, P. H. (1992). *Artificial Intelligence*. USA: Addison-Wesley.

Wu, Y., Giger, M. L., Doi, K., Vyborny, C. J., Schmidt, R. A. ve Metz, C. E. (1993). Artificial Neural Networks in Mammography: Application to Decision Making in the Diagnosis of Breast Cancer. *Radiology*, 187(1): 81-87.

Xu, J., Lam, A. Y. ve Li, V. O. (2011). Chemical Reaction Optimization for Task Scheduling in Grid Computing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 22(10): 1624-1631.

Xu, Y., Chen, Q. ve Quan, X. (2012). Robust Berth Scheduling with Uncertain Vessel Delay and Handling Time. *Annals of Operations Research*, 192(1): 123-140.

Yakut Çayır, M. ve Sarıtaş, M. T. (2017). Nitel Veri Analizinde Bilgisayar Kullanımı: Bir Betimsel İçerik Analizi (2011-2016). *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi,* 11(2): 518-544.

Yan, W., Liu, F., Chung, C. Y. ve Wong, K. P. (2006). A Hybrid Genetic Algorithm-Interior Point Method for Optimal Reactive Power Flow. *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(3): 1163-1169.

Yang, X. S. (2008). *Introduction to Mathematical Optimization. From Linear Programming to Metaheuristics*. UK: Cambridge International Science Publishing.

Yang, X. S. (2009). Firefly Algorithms for Multimodal Optimization. *In International Symposium on Stochastic Algorithms* (pp. 169-178). Germany: Springer.

Yang, X. S. (2010a). *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*. UK: Luniver Press.

Yang, X. S. (2010b). *Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications.* USA: John Wiley & Sons.

Yang, X. S. (2012). *Artificial Intelligence, Evolutionary Computing and Metaheuristics: In the Footsteps of Alan Turing*. Germany: Springer.

Yang, X. S., Cui, Z., Xiao, R., Gandomi, A. H. ve Karamanoğlu, M. (2013). *Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation: Theory and Applications.* USA: Elsevier.

Yasdi, R. (1999). Prediction of Road Traffic Using a Neural Network Approach. *Neural Computing & Applications*, 8(2): 135-142.

Yavin, Y., Frangos, C., Miloh, T. ve Zilman, G. (1997). Collision Avoidance by a Ship with a Moving Obstacle: Computation of Feasible Command Strategies. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 93(1): 53-66.

Yegnanarayana, B. (2006). *Artificial Neural Networks*. India: Phi Learning Pvt. Ltd.

Yerlikaya, O. (2011). *İzmit Körfezi'ndeki Tarihi Deniz Fenerlerinin Mimari Analizi ve Koruma Önerileri.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü: Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yıldırım, A ve Şimşek, H. (2011). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri.* Ankara. Seçkin Yayıncılık.

Yıldırım, A. (1999). Nitel Araştırma Yöntemlerinin Temel Özellikleri ve Eğitim Araştırmalarındaki Yeri ve Önemi. *Eğitim ve Bilim*, 23(112): 7-17.

Yıldırım, U. (2012). *Konteyner Gemilerinin Karaya Oturma Kazalarında İnsan Faktörü Analizi.* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, T. (2006). *Gemi Mühendisliği El Kitabı*. İstanbul: Gemi Mühendisleri Odası Yayınları.

Yılmaz, Y., Alper, A., Taner, M. E. ve Kulak, O. (2016). Rıhtım Sahasında Konteyner Sıralama Probleminin Hibrit Tabu Arama Yöntemiyle Çözümü. *V. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, 26-28 Mayıs 2016, Mersin.*

Ypma, T. J. (1995). Historical Development of the Newton–Raphson method. *SIAM Review,* 37(4): 531-551.

Yüksel, Y. ve Çevik, Ö.E. (2009). *Kıyı Mühendisliği.* Deniz Mühendisliği Serisi No:1. İstanbul: Beta Yayınları.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8: 338–353.

Zadeh, L. A. (1973). Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, man, and Cybernetics*, 3(1): 28-44.

Zadeh, L. A. (1973). Outline of A New Approach to The Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics,* 3(1): 28-44.

Zadeh, L. A. (1975a). The Concept of Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning - I. *Information Sciences*, 8: 199-249.

Zadeh, L. A. (1975b). The Concept of Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning - II. *Information Sciences*, 8: 301-357.

Zadeh, L. A. (1975c). The Concept of Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning - III. *Information Sciences*, 9: 43-80.

Zadeh, L. A. (1983a). The Role of Fuzzy Logic in The Management of Uncertainty in Expert Systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 11: 199-227.

Zadeh, L. A. (1983b). A Computational Approach to Fuzzy Quantifiers in Natural Languages. *Computers & Mathematics with Applications*, 9(1): 149-184.

Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy Logic. *Computer,* 21(4): 83-93.

Zadeh, L. A. (1992). *Knowledge Representation in Fuzzy Logic*. In an Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems (pp. 1-25). Germany: Springer.

Zadeh, L.A. (1986). Test-Score Semantics as a Basis for a Computational Approach to the Representation of Meaning, *Literary and Linguistic Computing,* 1: 24-35.

Zahraee, S. M., Hatami, M., Rohani, J. M., Mihanzadeh, H. ve Haghighi, M. (2014). Comparison of Different Scenarios Using Computer Simulation to Improve the Manufacturing System Productivity: Case Study. In *Advanced Materials Research* (Vol. 845, pp. 770-774). Trans Tech Publications.

Zapfel, G., Braune, R. and Bögl, M. (2010). *Metaheuristic Search Concepts: A Tutorial with Applications to Production and Logistics*. Germany: Springer.

Zealand, C. M., Burn, D. H. ve Simonovic, S. P. (1999). Short Term Streamflow Forecasting Using Artificial Neural Networks. *Journal of Hydrology*, 214(1): 32-48.

Zeng, Q. ve Yang, Z. (2009). Integrating Simulation and Optimization to Schedule Loading Operations in Container Terminals. *Computers & Operations Research*, 36(6): 1935-1944.

Zeng, X. M. ve Ito, M. (2001). Planning a Collision Avoidance Model for Ship Using Genetic Algorithm. *International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2001* (Vol. 4, pp. 2355-2360). IEEE.

Zghal, M., Bouali, H. E., Lakhdar, Z. B. ve Hamam, H. (2007). *The First Steps for Learning Optics: Ibn Sahl's, Al-Haytham's and Young's Works on Refraction as Typical Examples.* In Education and Training in Optics and Photonics. Optical Society of America.

Zhang, G., Shao, X., Li, P. ve Gao, L. (2009). An Effective Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm for Multi-Objective Flexible Job-Shop Scheduling Problem. *Computers & Industrial Engineering*, 56(4): 1309-1318.

Zhang, R., Yun, W. Y. ve Kopfer, H. (2010). Heuristic-Based Truck Scheduling for Inland Container Transportation. *Spectrum*, 32(3): 787-808.

Zhang, Z. ve Friedrich, K. (2003). Artificial Neural Networks Applied to Polymer Composites: A Review. *Composites Science and Technology*, 63(14): 2029-2044.

Zhang, Z., Friedrich, K. ve Velten, K. (2002). Prediction on Tribological Properties of Short Fibre Composites Using Artificial Neural Networks. *Wear*, 252(7-8): 668-675.

Zhengjiang, L. (2001). *Identifying and Reducing the Involvement of Human Element in Collisions at Sea.* (Unpublished Master of Science Dissertation). Sweden: World Maritime University.

Zhou, B. ve Shi, A. (2010, August). LSSVM and Hybrid Particle Swarm Optimization for Ship Motion Prediction. In *Intelligent Control and Information Processing (ICICIP), 2010 International Conference On* (Pp. 183-186). IEEE.

Zhou, H., Cheung, W. ve Leung, L. (2009). Minimizing Weighted Tardiness of Job-Shop Scheduling Using a Hybrid Genetic Algorithm. *European Journal of Operational Research*, 194(3): 637-649.

Zhu, H., Wang, Y., Wang, K. ve Chen, Y. (2011). Particle Swarm Optimization (PSO) for the Constrained Portfolio Optimization Problem. *Expert Systems with Applications,* 38(8): 10161-10169.

Zorba, Y. (2007). *Ship Handling.* IMO Model Kurs Eğitim Notları. http://yusufzorba.com/images/GemiManevras%C4%B1_v0207.pdf, (16.01.2018).

# EKLER

**EK 1:** Norveç'te Gerçekleştirilen Araştırma Sürecine İlişkin Detaylar

| **Tarih** | **Yer** | **Faaliyet** |
|---|---|---|
| 31.10.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Tor Arne Johansen (Danışman) görüşme |
| | | Tanışma ve birlikte neler yapılabileceği hakkında tartışma. Yapılmış çalışmalar üzerine kısa bir sunum ve bilgilendirme |
| 31.10.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Kwame Minde Kufoalor (NTNU'da araştırmacı) görüşme |
| | | Tanışma ve birlikte neler yapılabileceği ve araştırma detayları hakkında tartışma |
| 8.11.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Tor Arne Johansen görüşme |
| | | Araştırma detayları hakkında tartışma |
| 8.11.2018 | Doğa Bilimleri Kütüphanesi, NTNU | Akademik Yazım eğitimi |
| | | Akademik yayınların nasıl hazırlanacağı konusunda eğitime katılım |
| 14.11.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Seminer (Yazar: Inger Berge Hagen) |
| | | Başlık: *MPC-based collision avoidance for existing marine vessels* |
| 14.11.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Kwame Minde Kufoalor görüşme |
| | | Önceki çalışmalar üzerine sunum ve tartışma. Çözüm algoritması ve yazılım bölümlerini gözden geçirme ve gerekli revizyonları belirleme |
| 21.11.2018 | Maritime Robotics AS | Toplantı (Tor Arne Johansen, Kwame Minde Kufoalor, Stephanie Kemna, Arild Hepsø) |
| | | Geliştirilen yazılımı ve araştırma ayrıntılarını tanıtmak için bir sunum yapıldı. ASV ile yapılacak deneysel testler için gerekli düzenlemelerin yapılması gerektiği tartışıldı. |
| 21.11.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Seminer (Mikkel Leite Arnø) |
| | | Başlık: D*esign and implementation of an autonomous miniature drilling rig* |
| 26.11.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Kwame Minde Kufoalor görüşme |
| | | Tam elektrikli otonom yolcu feribotu (Autosea Projesi) hakkında sunum dinlendi. Bu feribotu ilerleyen günlerde incelemeye gitmek üzere anlaşıldı |
| 27.11.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Kwame Minde Kufoalor görüşme |
| | | Algoritmanın ve yazılımın gerekli bölümlerinin düzenlenmesi hakkında tartışma |
| 28.11.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Seminer (Anna Kohl) |
| | | Başlık: *The operational space formulation* |
| 5.12.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Tor Arne Johansen görüşme |
| | | Algoritmanın ve yazılımının gerekli bölümlerini gözden geçirme üzerine tartışma |
| 12.12.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Seminer (Johann Dirdal) |
| | | Başlık: *End-to-end learning and sensor fusion with deep convolutional networks for steering and off-road unmanned ground vehicle* |
| 12.12.2018 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Kwame Minde Kufoalor görüşme |
| | | Sistemde yapacağımız revizyon üzerine tartışıldı |
| 14.12.2018 | Scandic Hotel, Trondheim | Yılbaşı yemeği organizasyonu |
| | | Yeni araştırmacılarla tanışıldı, araştırmalar hakkında tartışma yapıldı ve görüş ve bilgi alışverişinde bulunuldu |
| 17.12.2018 | Trondheim | Denizcilik Müzesi gezisi |
| | | Trondheim Denizcilik Müzesi gezildi |

**EK 1:** Norveç'te Gerçekleştirilen Araştırma Sürecine İlişkin Detaylar (Devam)

| | | |
|---|---|---|
| 17.12.2018 | Deniz Teknolojileri Bölümü, NTNU | Doktora tez savunması (Anna Swider) |
| | | Başlık: *Data mining methods for the analysis of power systems of vessels* |
| 9.01.2019 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Seminer (Erik Wilthil) |
| | | Başlık: *Estimation of target detectability for maritime target tracking* |
| 16.01.2019 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Seminer (Krzysztof Jan Zieba) |
| | | Başlık: O*cean school of innovation* |
| 17.01.2019 | VR Lab / Auditorium D12, NTNU | İnovasyon Günü 2019 |
| | | *VR Innovation Day: Extended Reality in Education, Media and Health* |
| 24.01.2019 | Gloshaugen Campus, NTNU | Teknoloji Günü 2019 |
| | | *Electronics & Technology day* |
| 30.01.2019 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Kwame Minde Kufoalor görüşme |
| | | Deneysel testin aşamaları ve testte uygulanacak taslak senaryolar tartışıldı. |
| 31.01.2019 | Gloshaugen Campus, NTNU | İlişki Ağı (Networking) Günü 2019 |
| | | İlişki ağı oluşturma organizasyonuna katılım |
| 4.02.2019 | Maritime Robotics AS | Toplantı (Tor Arne Johansen, Kwame Minde Kufoalor, Stephanie Kemna, Arild Hepsø) |
| | | Deneysel testlerde uygulanacak senaryolar tartışıldı ve tarih belirlendi. |
| 8.02.2019 | Gloshaugen Campus, NTNU | Sempozyum |
| | | Clean Energy Symposium, 2019 |
| 11.02.2019 | Maritime Robotics AS | Simulasyon testleri |
| | | Alan testleri öncesi simülasyon testleri uygulandı |
| 12.02.2019 | Trondheim Pier Terminal | Tam elektrikli otonom yolcu feribotu (Autosea Projesi) |
| | | Tam elektrikli otonom yolcu feribotu incelendi |
| 20.02.2019 | Trondheimsfjord | Sanal TS ile alan testi |
| | | ASV (Telemetron) ve sanal TS ile alan testi uygulandı |
| 21.02.2019 | Trondheimsfjord | Gerçek TS ile alan testi |
| | | ASV (Telemetron) ve gerçek TS (Munkholmen II) ile alan testi uygulandı |
| 26.02.2019 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Kwame Minde Kufoalor görüşme |
| | | Test sonuçları üzerine değerlendirme yapıldı |
| 27.02.2019 | Sibernetik Mühendisliği Bölümü, NTNU | Tor Arne Johansen görüşme |
| | | Test sonuçları üzerine değerlendirme yapıldı |

**EK 2:** Katılımcı Bilgilendirme ve Görüşme Formu

## KATILIMCI BİLGİLENDİRME FORMU

**Sayın Katılımcı,**

Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Denizcilikte Emniyet, Güvenlik ve Çevre Yönetimi Doktora programı kapsamında Dr. Öğr. Üyesi Oğuz Atik danışmanlığında *"Denizde Çatışmadan Kaçınma Rotası Planlama ve Optimizasyonu"* başlıklı doktora tezi için bir uzman görüşü çalışması planlanmıştır.

Bu keşifsel araştırma ile siz değerli uzmanlardan elde edilen bulgular, oluşturulması planlanan optimizasyon algoritmasının değişken kısıtları ve senaryo örneklerinin belirlenmesinde kullanılacaktır. Görüşme süresi yaklaşık olarak 20-25 dk. olarak öngörülmektedir. Çalışmanın verileri herhangi bir yayında ve raporda kullanılırken isminiz kullanılmayacaktır. Çalışmanın bulguları, ulusal ve uluslararası kongre, konferans vb. bilimsel toplantılarda diğer akademisyenlerle paylaşılacaktır.

Denizcilik bilimine yararlı olmasını amaçladığımız bu araştırmaya sağlayacağınız katkılar ve tüm destekleriniz için şimdiden teşekkür ederiz.

**Arş. Gör. Remzi FIŞKIN**
Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi

**Tel:** 0 (232) 301 88 62
0 (507) 474 24 50
**E-Posta:** remzi.fiskin@gmail.com
remzi.fiskin@deu.edu.tr

## GÖRÜŞME FORMU

### 1. Katılımcı Profil Bilgileri

| | |
|---|---|
| **Yaşı** | **:** |
| **Yeterliliği** | **:** |
| **Mezun olduğu okul** | **:** |
| **Deniz tecrübesi** | **:** |
| **Şu anda çalışıyorsa çalışmakta olduğu firma** | **:** |

### 2. Keşifsel Araştırma Uzman Görüşü Soruları

**1.** Gemi emniyet alanı belirlemede neleri dikkate alırsınız?

**2.** Gemi emniyet alanı şekli ve mesafesine şirket yönetimi tarafından mı kaptan tarafından mı karar veriliyor?

**3.** Belirlemiş olduğunuz emniyet alanına herhangi bir tolerans değeri belirliyor musunuz? Her ihlali çatışma riski olarak kabul eder misiniz?

**4.** Karşılaşma durumlarında hedef gemiyi ne kadar mesafeden itibaren takibe başlarsınız?

**5.** Çatışma riski değerlendirmesini nasıl yaparsınız ve hangi durumlarda çatışma riskinin söz konusu olduğunu kabul edersiniz?

**6.** COLREG Kural 8(b) ***"Olayın koşulları elverişli olduğu takdirde çatışmayı önlemek üzere yapılacak her rota ve/veya hız değişimi gözle veya radarla diğer bir teknenin çabucak görebileceği kadar büyük olacak ve birbiri ardından yapılacak küçük rota ve/veya hız değişimlerinden kaçınılacaktır"*** kuralını göz önünde tutarak farklı karşılaşma durumlarında (pruva pruva (head on), kesişme (crossing), yetişip geçme (overtaking) en az kaç derece rota değişimi veya hız değişimi uygulanması gerektiğini düşünmektesiniz?

**7.** COLREG 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"*** kuralını göz önünde tutarak

hedef gemi sizden ne kadar mesafe uzaklaştığında tam olarak geçtiğinizi ve neta olduğunu kabul etmektesiniz?

**8.** COLREG Kural 16 ***"Diğer bir tekneye yol vermekle yükümlü olan tekne iyice neta olmak üzere, olabildiğince önceden ve belirgin manevra yapacaktır"*** kuralını göz önünde tutarak çatışma riski olduğu durumlarda yol vermekle yükümlü olan tekne olarak "olabildiğince önceden ve belirgin manevra yapacaktır" ifadesi size ne anlam ifade ediyor?

**9.** COLREG Kural 17(a-II) ***"Yol vermesi gereken teknenin uygun manevra yapmadığı görülür görülmez, manevra yapmakla yükümlü olmayan tekne çatışmayı sadece kendi manevrası ile önlemek üzere harekete geçebilir"*** kuralını göz önünde tutarak benzer bir durumda çatışmayı önlemeye yönelik neler yapılması gerektiğini düşünmektesiniz? Siz söz konusu durumda sırasıyla neler yapar ve nasıl hareket edersiniz?

**EK 3:** Bulanık Kurallar

1. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
2. If (Tecrübe(K) is Orta) and (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
3. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
4. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
5. If (Tecrübe(K) is Orta) and (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
6. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
7. If (Tecrübe(K) is Orta) and (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
8. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
9. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (GemiBoyutu(B) is Kısa) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
10. If (Tecrübe(K) is Orta) and (GemiBoyutu(B) is Kısa) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
11. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (GemiBoyutu(B) is Kısa) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.64)
12. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (GemiBoyutu(B) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.64)
13. If (Tecrübe(K) is Orta) and (GemiBoyutu(B) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
14. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (GemiBoyutu(B) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.64)
15. If (Tecrübe(K) is Orta) and (GemiBoyutu(B) is Uzun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.64)
16. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (GemiBoyutu(B) is Uzun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
17. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
18. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (GemiBoyutu(B) is Uzun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.64)
19. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
20. If (Tecrübe(K) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
21. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
22. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
23. If (Tecrübe(K) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
24. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
25. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
26. If (Tecrübe(K) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.29)
27. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.29)
28. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
29. If (Tecrübe(K) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
30. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
31. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
32. If (Tecrübe(K) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
33. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
34. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
35. If (Tecrübe(K) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
36. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
37. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
38. If (Tecrübe(K) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
39. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.29)
40. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
41. If (Tecrübe(K) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
42. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.29)
43. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
44. If (Tecrübe(K) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
45. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
46. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
47. If (Tecrübe(K) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
48. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
49. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
50. If (Tecrübe(K) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
51. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.29)
52. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (GemiHızı(H) is Yavaş) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
53. If (Tecrübe(K) is Orta) and (GemiHızı(H) is Yavaş) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
54. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (GemiHızı(H) is Yavaş) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
55. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (GemiHızı(H) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
56. If (Tecrübe(K) is Orta) and (GemiHızı(H) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
57. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (GemiHızı(H) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
58. If (Tecrübe(K) is Düşük) and (GemiHızı(H) is Hızlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
59. If (Tecrübe(K) is Orta) and (GemiHızı(H) is Hızlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
60. If (Tecrübe(K) is Yüksek) and (GemiHızı(H) is Hızlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
61. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (GemiBoyutu(B) is Kısa) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.79)

**EK 3:** Bulanık Kurallar (Devam)

62. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (GemiBoyutu(B) is Kısa) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
63. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (GemiBoyutu(B) is Kısa) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.79)
64. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (GemiBoyutu(B) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.79)
65. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (GemiBoyutu(B) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
66. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (GemiBoyutu(B) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.79)
67. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (GemiBoyutu(B) is Uzun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
68. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (GemiBoyutu(B) is Uzun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.79)
69. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (GemiBoyutu(B) is Uzun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.79)
70. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
71. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
72. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
73. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
74. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
75. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
76. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
77. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
78. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
79. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.57)
80. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
81. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
82. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.57)
83. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
84. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.57)
85. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
86. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.57)
87. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.57)
88. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
89. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
90. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
91. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
92. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
93. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
94. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
95. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
96. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
97. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
98. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
99. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
100. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
101. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
102. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
103. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (GemiHızı(H) is Yavaş) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.57)
104. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (GemiHızı(H) is Yavaş) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
105. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (GemiHızı(H) is Yavaş) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.57)
106. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (GemiHızı(H) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.57)
107. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (GemiHızı(H) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
108. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (GemiHızı(H) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.57)
109. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sakin) and (GemiHızı(H) is Hızlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
110. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Orta) and (GemiHızı(H) is Hızlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
111. If (MeteorolojikŞartlar(S) is Sert) and (GemiHızı(H) is Hızlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.57)
112. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
113. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.64)
114. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.64)
115. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
116. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
117. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.64)
118. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.64)
119. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.64)
120. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
121. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.79)
122. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.79)
123. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
124. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.79)

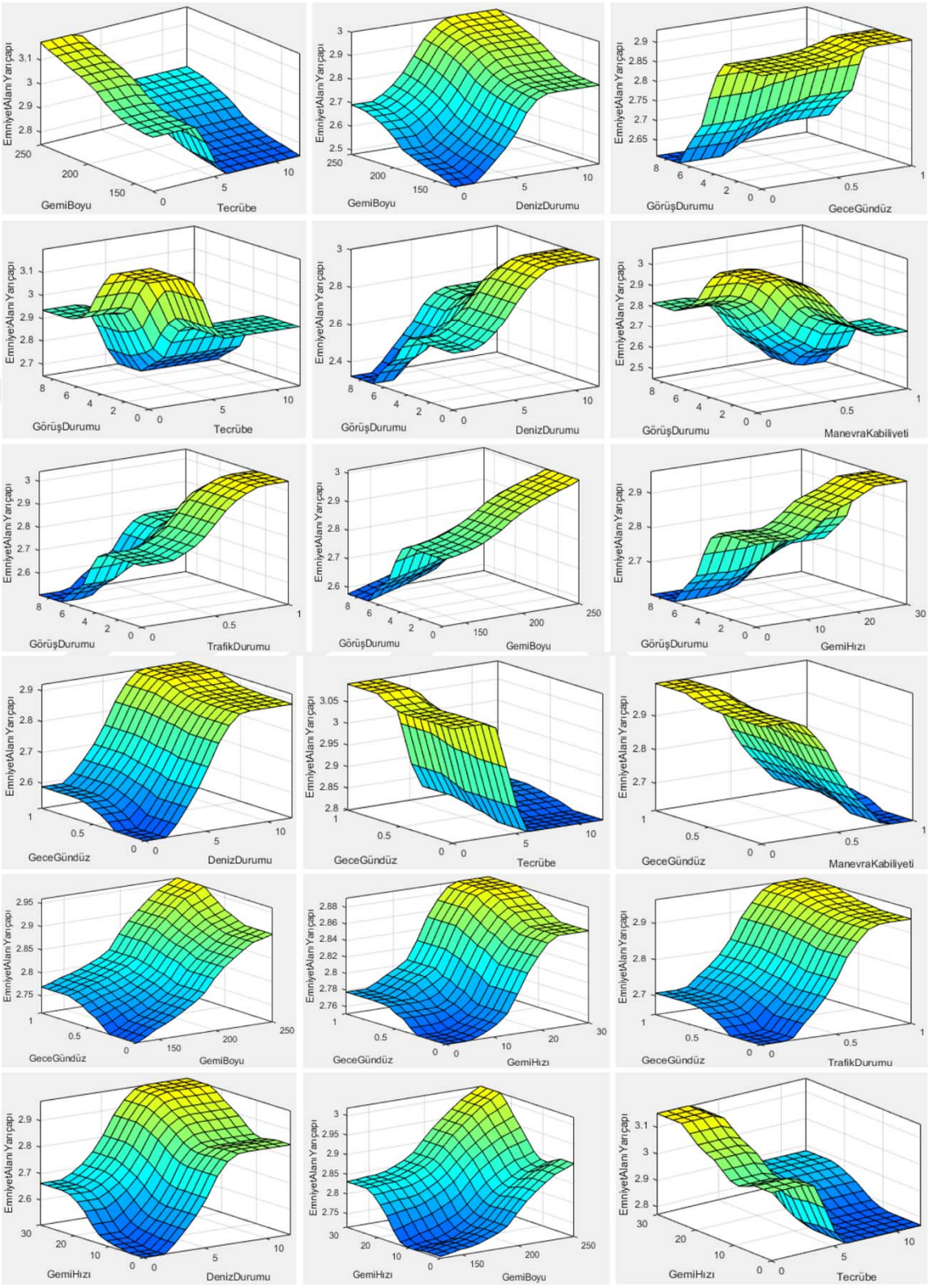
**EK 3:** Bulanık Kurallar (Devam)

125. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
126. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
127. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
128. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.79)
129. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.79)
130. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
131. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
132. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.64)
133. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.64)
134. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
135. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
136. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
137. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.64)
138. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.64)
139. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
140. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
141. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.64)
142. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.64)
143. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.64)
144. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.64)
145. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (GemiHızı(H) is Yavaş) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.79)
146. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (GemiHızı(H) is Yavaş) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.79)
147. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (GemiHızı(H) is Yavaş) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
148. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (GemiHızı(H) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.79)
149. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (GemiHızı(H) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
150. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (GemiHızı(H) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
151. If (GemiBoyutu(B) is Kısa) and (GemiHızı(H) is Hızlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
152. If (GemiBoyutu(B) is Orta) and (GemiHızı(H) is Hızlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.79)
153. If (GemiBoyutu(B) is Uzun) and (GemiHızı(H) is Hızlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.79)
154. If (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
155. If (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
156. If (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
157. If (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
158. If (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
159. If (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
160. If (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
161. If (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
162. If (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
163. If (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
164. If (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
165. If (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.29)
166. If (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
167. If (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
168. If (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.29)
169. If (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
170. If (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
171. If (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
172. If (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
173. If (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
174. If (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.29)
175. If (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
176. If (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
177. If (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.29)
178. If (GemiHızı(H) is Yavaş) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
179. If (GemiHızı(H) is Yavaş) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
180. If (GemiHızı(H) is Yavaş) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
181. If (GemiHızı(H) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
182. If (GemiHızı(H) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
183. If (GemiHızı(H) is Orta) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
184. If (GemiHızı(H) is Hızlı) and (ManevraKabiliyeti(M) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
185. If (GemiHızı(H) is Hızlı) and (ManevraKabiliyeti(M) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
186. If (GemiHızı(H) is Hızlı) and (ManevraKabiliyeti(M) is Yüksek) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
187. If (TrafikDurumu(T) is Düşük) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)

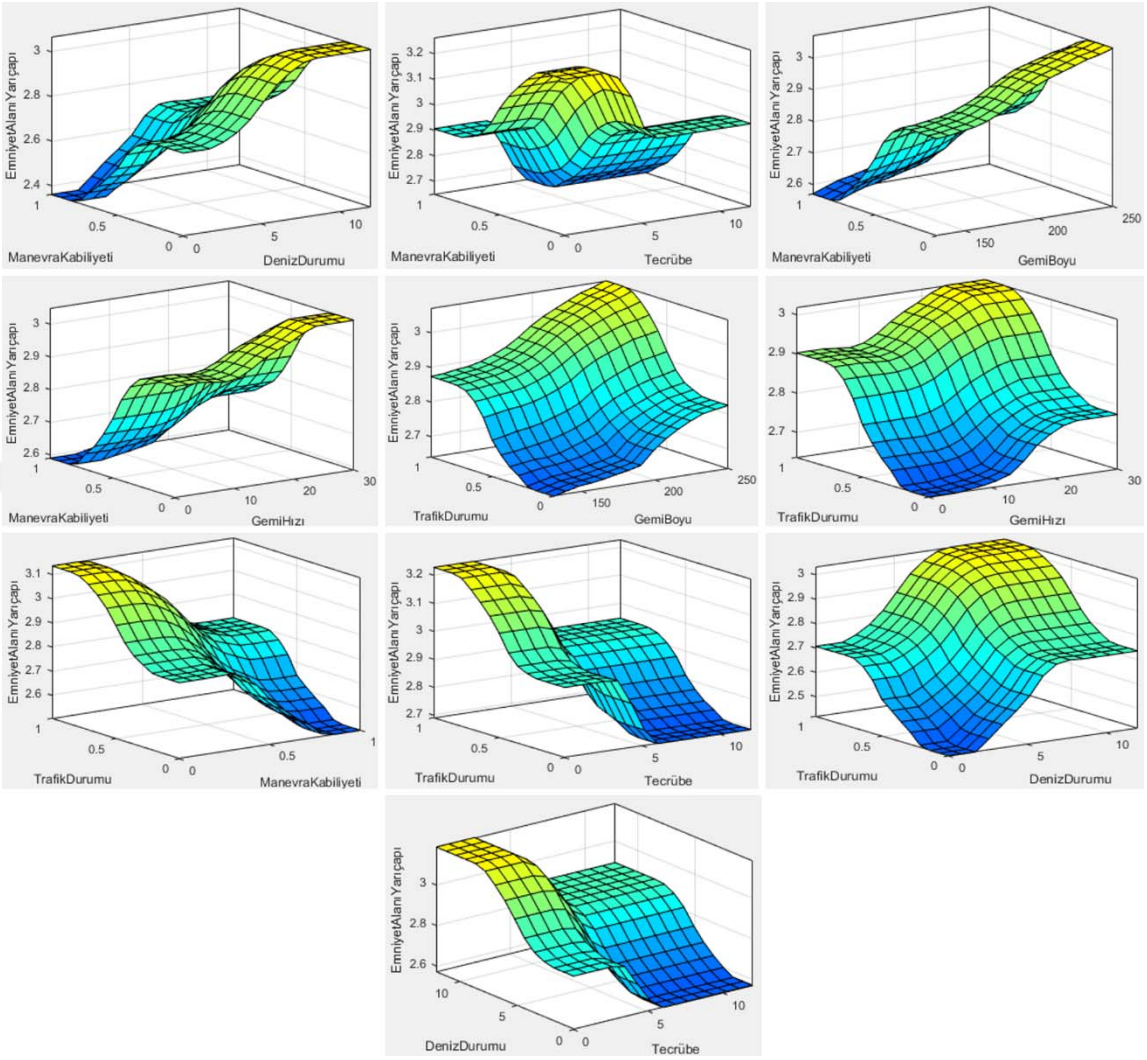
**EK 3:** Bulanık Kurallar (Devam)

188. If (TrafikDurumu(T) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
189. If (TrafikDurumu(T) is Yoğun) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
190. If (TrafikDurumu(T) is Düşük) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
191. If (TrafikDurumu(T) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
192. If (TrafikDurumu(T) is Yoğun) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
193. If (TrafikDurumu(T) is Düşük) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
194. If (TrafikDurumu(T) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
195. If (TrafikDurumu(T) is Yoğun) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
196. If (TrafikDurumu(T) is Düşük) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
197. If (TrafikDurumu(T) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
198. If (TrafikDurumu(T) is Yoğun) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
199. If (TrafikDurumu(T) is Düşük) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
200. If (TrafikDurumu(T) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
201. If (TrafikDurumu(T) is Yoğun) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
202. If (GemiHızı(H) is Yavaş) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.57)
203. If (GemiHızı(H) is Yavaş) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
204. If (GemiHızı(H) is Yavaş) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.57)
205. If (GemiHızı(H) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.57)
206. If (GemiHızı(H) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
207. If (GemiHızı(H) is Orta) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.57)
208. If (GemiHızı(H) is Hızlı) and (TrafikDurumu(T) is Düşük) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
209. If (GemiHızı(H) is Hızlı) and (TrafikDurumu(T) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.57)
210. If (GemiHızı(H) is Hızlı) and (TrafikDurumu(T) is Yoğun) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.57)
211. If (GeceGündüz(G) is Gece) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
212. If (GeceGündüz(G) is Gündüz) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.29)
213. If (GeceGündüz(G) is Gece) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
214. If (GeceGündüz(G) is Gündüz) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
215. If (GeceGündüz(G) is Gece) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.29)
216. If (GeceGündüz(G) is Gündüz) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.29)
217. If (GemiHızı(H) is Yavaş) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
218. If (GemiHızı(H) is Yavaş) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
219. If (GemiHızı(H) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
220. If (GemiHızı(H) is Orta) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
221. If (GemiHızı(H) is Hızlı) and (GeceGündüz(G) is Gece) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
222. If (GemiHızı(H) is Hızlı) and (GeceGündüz(G) is Gündüz) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
223. If (GemiHızı(H) is Yavaş) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
224. If (GemiHızı(H) is Yavaş) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
225. If (GemiHızı(H) is Yavaş) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
226. If (GemiHızı(H) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
227. If (GemiHızı(H) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)
228. If (GemiHızı(H) is Orta) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Kısa) (0.43)
229. If (GemiHızı(H) is Hızlı) and (GörüşDurumu(V) is Kısıtlı) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
230. If (GemiHızı(H) is Hızlı) and (GörüşDurumu(V) is Orta) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Uzun) (0.43)
231. If (GemiHızı(H) is Hızlı) and (GörüşDurumu(V) is Açık) then (GemiEmniyetAlanıYarıçapı(R) is Orta) (0.43)

**EK 4:** FIS Kural Yüzeyleri



**EK 4:** FIS Kural Yüzeyleri (Devam)



**EK 5:** Senaryo Örnekleri

| | Karşılaşma Tipi | No | Gemi | $SD$ [mil] | $V$ [knot] | $\phi$ [º] | $RB_{ts}$ [º] | $D_{(os_ts)}$ [mil] | $Mx_{toTS}$ [mil] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Senaryolar** | Pruva-Pruva | 1 | OS | 0,15 | 7 | 000 | | | 0,5 |
| | | | TS | | 6 | 180 | 000 | 1,5 | |
| | | 2 | OS | 0,1 | 7 | 000 | | | 0,5 |
| | | | TS | | 6 | 180 | 000 | 1,5 | |
| | | 3 | OS | 0,1 | 7 | 045 | | | 0,4 |
| | | | TS | | 7 | 230 | 001 | 1,5 | |
| | | 4 | OS | 0,15 | 9 | 325 | | | 0,4 |
| | | | TS | | 7 | 145 | 003 | 1,5 | |
| | Kesişme | 1 | OS | 0,2 | 7 | 090 | | | 0,5 |
| | | | TS | | 6 | 000 | 040 | 1 | |
| | | 2 | OS | 0,1 | 7 | 090 | | | 0,4 |
| | | | TS | | 6 | 000 | 040 | 1 | |
| | | 3 | OS | 0,2 | 9 | 350 | | | 0,6 |
| | | | TS | | 6 | 280 | 035 | 1,5 | |
| | | 4 | OS | 0,1 | 8 | 10 | | | 0,5 |
| | | | TS | | 6 | 233 | 20 | 1,5 | |
| | Yetişip Geçme | 1 | OS | 0,2 | 9 | 000 | | | 0,3 |
| | | | TS | | 4 | 000 | 000 | 0,5 | |
| | | 2 | OS | 0,2 | 9 | 000 | | | 0,4 |
| | | | TS | | 5 | 000 | 000 | 0,6 | |
| | | 3 | OS | 0,2 | 9 | 343 | | | 0,5 |
| | | | TS | | 5 | 337 | 001 | 0,7 | |
| | | 4 | OS | 0,1 | 10 | 000 | | | 0,3 |
| | | | TS | | 5 | 357 | 002 | 0,6 | |

| | Karşılaşma Tipi | No | AYN | $t_{(wp_0_wp_1)}$ [dk] | $\Delta\Psi_1$ [º] | $t_{(wp_1_wp_2)}$ [dk] | $\Delta\Psi_2$ [º] | $t_{(wp_2_wp_3)}$ [dk] | $\Delta\Psi_3$ [º] | $m_{(wp_1_wp_2)} + m_{(wp_2_wp_3)}$ [mil] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Optimal Çıktı** | Pruva-Pruva | 1 | 0 | 4,8 | 34 | 2,4 | [-]64 | 2,68 | 30 | 0,59 |
| | | 2 | 0 | 4,8 | 20 | 2,4 | [-]50 | 1,64 | 30 | 0,47 |
| | | 3 | 0,0554 | 4,8 | 44 | 1,2 | [-]74 | 1,67 | 30 | 0,33 |
| | | 4 | 0,0975 | 4,2 | 58 | 2,4 | [-]88 | 4,07 | 30 | 0,97 |
| | Kesişme | 1 | 0,0177 | 3,6 | 58 | 2,4 | [-]88 | 4,07 | 30 | 0,75 |
| | | 2 | 0,0177 | 4,2 | 48 | 1,2 | [-]78 | 1,78 | 30 | 0,35 |
| | | 3 | 0,1091 | 6,6 | 28 | 2,4 | [-]56 | 2,4 | 28 | 0,72 |
| | | 4 | 0,0784 | 4,8 | 32 | 2,4 | [-]62 | 2,54 | 30 | 0,66 |
| | Yetişip Geçme | 1 | 0 | 3 | 32 | 3,6 | [-]54 | 5,09 | 22 | 1,3 |
| | | 2 | 0 | 3,6 | 16 | 7,2 | [-]46 | 3,97 | 30 | 1,68 |
| | | 3 | 0,0781 | 3 | 8 | 8,4 | [-]36 | 2,49 | 28 | 1,63 |
| | | 4 | 0,0105 | 3,6 | 12 | 3,6 | [-]42 | 1,5 | 30 | 0,85 |

**EK 6:** Senaryo Araçların Başlangıç Pozisyonları

| | | Senaryolar | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **Yetişip Geçme** | **Pruva-Pruva** | **Kesişme** |
| **Telemetron** | Başlangıç Enlemi | 63º 26,7772' Kuzey | 63º 26,7772' Kuzey | 63º 27,5000' Kuzey |
| | Başlangıç Boylamı | 010º 24,0613' Doğu | 010º 24,0613' Doğu | 010º 22,1706' Doğu |
| | Rota | 000º | 000º | 090º |
| | Hız | 9 knots | 7 knots | 7 knots |
| **Munkholmen** | Başlangıç Enlemi | 63º 27,2772' Kuzey | 63º 28,4335' Kuzey | 63º 26,7772' Kuzey |
| | Başlangıç Boylamı | 010º 24,0615' Doğu | 010º 24,0615' Doğu | 010º 24,0613' Doğu |
| | Rota | 000º | 180º | 000º |
| | Hız | 4 knots | 6 knots | 6 knots |

**EK 7:** Yapılan Görüşmelerin Özet Metni

**Katılımcı 0:**

**1. soruya verilen cevap**

Seyir yapılan bölge, hava şartları, özellikle trafik, geminin manevra kabiliyeti, kaptanın talimatı.

**2. soruya verilen cevap**

Benim çalıştığım firmada mesafe olarak verilmiş talimat var. Kaptan onun üzerine değer belirleyebilir fakat şirketin belirlediği değerden küçük olamaz

**3. soruya verilen cevap**

Bulunulan bölgeye göre değişir bu durum. Rahat suda büyük bir emniyet alanı mesafesi için küçük ihlaller önemli değildir ama kalabalık yerlerde ihlallere izin vermemek gerekir.

**4. soruya verilen cevap**

Aslında civardaki tüm objeleri gözlemlerim, fakat özellikle bana çapariz veren gemileri daha dikkatli gözlemlerim. Çapariz veren, yani emniyet alanımı ihlal eden veya bu alana yakın olan gemileri izlemeye ve takip etmeye başlarım. Radar menziline girince izleme de başlar.

**5. soruya verilen cevap**

Civardaki gemilerin hareketlerini gözlemlerin emniyet alanımı işgal edecek veya yakın düşecek gemileri yüksek riskli kabul ederim ve bu gemiler ile çatışma riski olduğunu kabul ederim.

**6. soruya verilen cevap**

En az 7-8 mil kala hareketimi gerçekleştirmeye başlarım.

**7. soruya verilen cevap**

Karşılaşma durumlarına göre değişmekle birlikte her durumda en az 1 gemi boyu mesafe olması durumunda neta kabul edebilirim.

**8. soruya verilen cevap**

3-5 derecelik dönüşler algılanmaz, karşılaşma durumuna göre değişir. Fakat her koşulda rahatça algılanabilmesi için en az 10 derecelik bir manevra değişimi olması gerektiğini düşünüyorum.

**9. soruya verilen cevap**

Açık denizde sadece dümen manevrası ile çözmeye çalışırım. Özellikle pruva-pruva karşılaşma durumlarında birbirimize yaklaşma hızı bileşke hız sebebiyle yüksek olacağından en az 5 mil kala (5 milden az kesinlikle bırakmam) manevramı yaparım. Kesişme durumunda ise yaklaşma hızı daha yavaş olacağından 3 mil mesafeye kadar beklerim. Hiçbir karşılaşma durumunda 3 mil mesafe altına kesinlikle bırakmam.

**<u>Katılımcı 1:</u>**

**1. soruya verilen cevap**

Özellikle kötü havalarda risk değerlendirmesi yapılması gerekiyor. Trafiği kontrol etmek gerekiyor. Emniyet alanı bizde AYN olarak verilir.

**2. soruya verilen cevap**

Şirket politikasında yer alıyor. "Navigation Policy"de var. Orada AYN değeri belirlidir. Yarıçap uzunluğu olarak değil de AYN olarak veriliyor. Aslında aynı şey baktığın zaman. AYN değeri emniyet alanının yarıçapı oluyor. Örneğin ECDIS'te alarm kuracağın zaman AYN olarak geçmiyor. "Zone" koyma seçeneği var. Ona değer verdiğimiz zaman gemiyi o alan kadar büyütüyor. Senin söylemek istediğine benzer oluyor. “Guard Zone” da denebilir. Aslında anı şey. İfadeleri farklı.

**3. soruya verilen cevap**

Bu değerin üzerine çıkmak için herhangi bir manevra yapmam. Vardiyaya çıktığım zaman radarlarda VRM açıyorum. Bu şekilde takip ediyorum. Kendime referans alıyorum ne kadar emniyetli geçiyor ya da geçmiyor diye. Mesela 1 mil yazıyor. Ama ben onu 0,75 yapıyorum tabi trafiğe de bağlı olarak. Mesela balıkçı teknesi çok ise çok yakın geçiyorsun mecburen.

**4. soruya verilen cevap**

Göz ile gördükten sonra izlemeye devam ederim. 30 mil - 50 mil arası. Radara 3 mil ve 6 mil olmak üzere VRM'ler koyarım.

**5. soruya verilen cevap**

Çatışma riski değerlendirmesinde geminin hızı, trafik durumu, akıntı, rüzgâr, önemli faktörler. Şirket 1 mil, 1,5 mil diyor ama trafiğe giriyorsun. Nasıl o kadar AYN koyabilirsin. Örneğin balıkçıların yoğun olduğu bölgede. Bazı zabitler risk alıp aralarından geçmeye çalışıyor ama ben risk almıyorum, basıyorum alabanda. Belki de

rotadan 3-4 mil düşüyorum hatta. Sonra geri toparlamaya çalışıyorum. Zaten bir vardiya yani 4 saat onunla uğraşıyorsun.

**6. soruya verilen cevap**

Pruva-pruva için 10 mil mesafedeyken 5-10 derece arası yeterli olabilir. Kesişme için ise daha büyük olması lazım. Örneğin 20 derecelerde bir manevra gerekebilir. Yetişip geçme için de pruva pruvaya geliş ile aynı değerlendirilebilir. Hız değişimi için net bir şey diyemem. Bazı gemiler yol kesmek için sancak iskele yapıyorlar mesela.

**7. soruya verilen cevap**

Bordamda görene kadar bekliyorum. Bordamda gördüğüm an benim için netadır. Bordamda gördükten sonra ilk rotama geri dönmek için ters tarafa manevra yapabilirim.

**8. soruya verilen cevap**

Manevra yaptığını anlaması lazım karşı tarafın. Ben bunu şöyle yorumluyorum. Radarı göz önünde tutarak ifade edersem, radarda arpa üzerinden plotlarım. Sonra bakıyorsun rotası kaça gidiyor. "Rate of Turn (ROT)"'ü bellidir. Değiştirdiği an fark edersin. Pruva için 5 derece yetebilir fakat sancaktan gelen bir gemidir o zaman daha büyük bir manevra gerekir. Fakat bir konteyner gemisi mesela, yüksek süratle geliyor. 5 mil kala aniden manevra yapıyor. Normalde o kadar yaklaşmaman lazım.

**9. soruya verilen cevap**

Benim için kriter 10 mil. Karşı tarafın yol vermesi gerekiyorsa ararım. Niyetin nedir, ne yapacaksın diye sormak için. Eğer aradım ulaşamazsam 6 mile kadar beklerim. Bu mesafeye kadar karşı taraf hala hareket yapmıyorsa gerekli manevrayı ben yaparım. Bu tabi gemilerin hızı, geliş yönü vs. bağlı olarak değişebilir.

**<u>Katılımcı 2:</u>**

**1. soruya verilen cevap**

Gemi emniyet alanı belirlemede geminin hızı önemli. Hava koşulları, trafik durumu önemli. Vardiyadaki zabitin tecrübesi ve yetkinliği de önemlidir.

**2. soruya verilen cevap**

Burada en önemli nokta şirket prosedürleridir. Şirketin belirlemiş olduğu bir emniyet payı var altına düşemeyeceğin. Şirket atıyorum 2 mil dediyse AYN için sen 1 mil yapamıyorsun zaten. Bunu yaptığın zaman zaten sıkıntı olur. Yükseltebilirsin ama düşüremezsin.

**3. soruya verilen cevap**

Her ihlali çatışma riski olarak değerlendirmem. Çatışma olmayacağına emin olduğum sürece bir miktar ihlale izin verebilirim. Herhangi bir manevra yapmam yani.

**4. soruya verilen cevap**

Radarda görünmeye başladığı an izlemeye başlarım.

**5. soruya verilen cevap**

Hedeflerin kerteriz ve AYN değenlerini kontrol ederim.

**6. soruya verilen cevap**

Pruva-pruva yaklaşmada örneğin karşı taraf sancağa dönecek ama dönmüyor. En azından 20-30 derece arası değiştirmek gerekir. Pruva pruvaya geliş için bu şekilde. Kesişme için ise bir 45 derece belki yeri gelir 60 derece değiştirmek gerekir. Yetişip geçme için ise, uygulamada en büyük sıkıntı o. Çok yaklaşmadan gerekli hareketi yapman lazım.

**7. soruya verilen cevap**

Pruva-pruva geçişte hedef geminin kıçı benim kıç doğrultumdan ayrıldığı an çatışma riski bitmiştir, yani neta kabul ederim. Kesişmede onun kıçı benim baş tarafıma geldiği an neta kabul ederim. Yetişip geçme için net bir şey söyleyemem, muallak var.

**8. soruya verilen cevap**

En az 4 mil kala dönüş yapman gerekiyor.

**9. soruya verilen cevap**

Mesela karşı gemi yol veren tekne ama hiç bir hareket yapmadı. Artık o noktada senin bir şey yapman gerekir. 6 gomina kala ben yaparım. Dar sularda için bu böyledir. Açık denizde en az 4 mil kala yapman gerekir.

**Katılımcı 3:**

**1. soruya verilen cevap**

Emniyet alanının belirlenmesinde gemini hızı, geminin boyu, geminin draftı, gece gündüz, görüş mesafesi, meteorolojik koşullar önemli ölçütlerdir.

**2. soruya verilen cevap**

Emniyet alanının büyüklüğü konusunda minimumuna şirket karar verir, kaptan bunu düşüremez. Üstüne çıkabilir ama düşüremez.

**3. soruya verilen cevap**

Her ihlali çatışma riski olarak görmem, şartlara bağlı olarak küçük ihlaller tolere edilebilir.

**4. soruya verilen cevap**

Karşılaşma durumlarında karşı gemiyi izlemeye başlama mesafesi hıza bağlı olarak değişir. Örneğin 25 knot ile giden bir gemi ile 10 knot ile giden bir geminin karşılaşma zamanı değişecek. Bence burada kritik olan AYNZ, yani en yakın noktaya olan zaman. Minimum 30 dk önce hedef gemiyi takibe başlamak gerekiyor. Örneğin sen 20 knot ile gidiyorsun karşı gemi 20 knot ile gidiyor, bu durumda 20 mil mesafeden izlemeye başlamak gerekir.

**5. soruya verilen cevap**

Risk değerlendirmesinde öncelik AYN değeri, kerteriz gibi değişkenlerdir.

**6. soruya verilen cevap**

Belirgin rota değişimi mesela pruva pruvaya geçişte küçük bir rota değişimi rahatlıkla algılanabilir. Bu durum için 5 derece olabilir. Ama kesişme ve yetişip geçme durumları için karşı tarafın göz ile net bir şekilde algılayabileceği belirgin bir manevra yapmak önemli. Bu gibi durumlarda hareket büyük olmalı ki karşı taraf rahatlıkla niyetini anlasın. Özellikle kesişme durumunda kazaların en büyük nedenlerinden biri, yapılan manevrayı karşı tarafın fark etmemesidir. Bu sebeple net bir manevranın yapılması gerekir. Bu da en az 10 derece olmalı ve olabildiğince önceden mesela 10 mil gibi mesafeden yapılmalıdır. Daha net bir ifade ile diğer tarafını karşı tarafa göstereceksin. Yani sancak tarafındaki gemiye iskele tarafını, gece ise iskele borda fenerini göstereceksin. Hız değişimi için ise, çok kullanılan bir şey değil ama örneğin trafiğin yoğun olduğu, sığ sularda hız kullanıyorsun. Hız değişimi yapacaksan bunu belirgin bir şekilde yapmak zorundasın. Tam yoldan 3-5 pitch düşeyim falan zaten

gemi o atalet ile hızını düşüremez. O yüzden böyle baya belirgin hızı değişimi yapmak zorundasın.

**7. soruya verilen cevap**

AYN ve AYNZ değerleri artmaya başladığı andan itibaren neta olarak kabul edebilirim.

**8. soruya verilen cevap**

8-10 mil öncesi hareket yapmak gerekir.

**9. soruya verilen cevap**

Bu gibi durumlarda çok yaklaşmasını beklemeden harekete geçmek lazım.

**Katılımcı 4:**

**1. soruya verilen cevap**

Görüş durumu, hava durumu, geminin manevra kabiliyeti, zabitin tecrübesi gibi değişkenler önemlidir.

**2. soruya verilen cevap**

Benim çalıştığım şirketlerde emniyet alanı şu kadar olacak diye bir politika yoktu. Kaptan karar veriyordu. Kaptan bunu "standing order"a yazıyor zaten.

**3. soruya verilen cevap**

Herhangi bir tolerans yoktur. Ne kadar emniyet alanı belirlenmiş ise o alana engel sokmaman gerekir. Çünkü eğer AYN bu alanın yarıçapından daha küçük ise ihlal vardır ve alarm veriyordur. Sen bu alarmı görerek bir şey yapmıyorsun demektir.

**4. soruya verilen cevap**

20 mil gibi bir mesafedeyken dikkatimi çeker, izlemeye başlarım

**5. soruya verilen cevap**

AYNZ, AYNM ve AYN'ye göre risk değerlendirmesi yaparım.

**6. soruya verilen cevap**

Bence en az 10 derece gibi bir dönüş yapılması gerekir. Hız değişimi için ise göz ile algılamak zordur, radar ile algılanabilir ama çok fazla uygulanan bir şey değil. Bir alt hıza geçmek veya bir üst hıza çıkmak örneğin tam yoldan yarım yola gibi, algılanmak için yeterli olabilir.

**7. soruya verilen cevap**

Geminin bordasını geçtiği andan sonra neta kabul ederim. Bu her karşılaşma durumu için kabul edilebilir. Genelde bordanda gördüğün zaman ve AYN emniyet alanının dışındaysa netadır. Böylece çatışma riskini atlatmış oluyorsun. Hatta AYN artmaya başladıktan sonra, aslında doğru cevap bu olmalı.

**8. soruya verilen cevap**

Karşılaşma durumlarında genelde 6 milden önce manevramı yaparım. Karşı tarafın rahatlıkla fark edebilmesi için en az 10 derece dönüş yapmak gerekir.

**9. soruya verilen cevap**

Geçiş üstünlüğü bende fakat karşı taraf herhangi bir manevra yapmıyorsa, acil durum olduğu için sert bir dönüş ile kaçınmaya çalışırım ve bunu 4 mil kala yaparım. Baktım karşı taraf yol vermiyorsa çok beklemeye gerek yok, döner giderim. En son ihtimal 3 mildir. Hareket yapmak için 3 milin altına kesinlikle bırakmam.

**Katılımcı 5:**

**1. soruya verilen cevap**

Gemi emniyet alanının belirlenmesinde trafik durumu, seyir yapılan bölge, geminin hızı, geminin draftı, önemli ölçütlerdir.

**2. soruya verilen cevap**

Gemi emniyet alanının belirlenmesinde kaptanın tecrübesi tabi önemli ama şirketin koyduğu kuraldan daha düşüğünü koyamıyoruz. Sonuç olarak şirket belirliyor. Şirket 3 mil minimum emniyet alanı kuralı koymuş sen kaptan olarak 2 mil olarak belirleyemezsin, üzerine çıkabilirsin ama bu değerin altına düşemezsin.

**3. soruya verilen cevap**

Her ihlal tabi çatışma riski olarak kabul edilmez. O an değerlendirmemi yaparım, eğer çatışma olmayacağına dair kendimden eminsem küçük ihlaller kabul edilebilir.

**4. soruya verilen cevap**

12 milden itibaren izlemeye başlamak gerekir.

**5. soruya verilen cevap**

Çatışma riski değerlendirmesinde AYN önemli bir ölçüt, bunun yanında AIS'den de bakarak geminin rota değiştirip değiştirmeyeceğini ön görebiliyoruz.

**6. soruya verilen cevap**

Belirgin ve algılanabilir bir manevra olması için en az 10 derece dönmek gerekiyor. Hız değişimi ise çok tercih edilen bir şey değil. Acil bir durumda, mecbur kalınırsa kullanılır. Ama olayı o noktaya getirmeden rota değişimi yaparak emniyeti sağlamak gerekir. Hız değişiminin algılanması manevraya göre daha zor. Ama belirgin olması için mesela tam yoldan yarım yola düşürmek olabilir. RPM değerinden değil direk tam yol gidiyorsa yarım yola düşecek şekilde olabilir.

**7. soruya verilen cevap**

Yaşam mahali aynı hizaya geldiğinde neta olarak kabul ederim. Yani bordamda gördüğüm zaman netadır.

**8. soruya verilen cevap**

6 mil mesafe önceden dönüş uygun olacaktır.

**9. soruya verilen cevap**

Geçiş üstünlüğüne sahipken karşı taraf gerekli manevrayı yapmaz ise gerekli hareketi yaparım.

**Katılımcı 6:**

**1. soruya verilen cevap**

Emniyet alanını belirlemede, iki geminin bileşke hızı benim için önemlidir. Ne demek bu. İki gemin toplam hızı ile 15 dk'da alınabilecek mesafeyi hesaplıyorum. O büyüklükte bir emniyet alanı koyuyorum.

**2. soruya verilen cevap**

Emniyet alanı büyüklüğünü belirleme tamamen kaptanın inisiyatifindedir. Bizim şirkette böyle bir prosedür yok. Açık denizde genelde kaptanlar 1 mil istiyor.

**3. soruya verilen cevap**

Her ihlal risk olarak görülmeyebilir. Örneğin, 1 mil emniyet alanı için 8-9 gominadan geçecek bir gemi için manevra yapmayı gerek görmem.

**4. soruya verilen cevap**

Bir gemiyi 10 milden itibaren takibe başlarım.

**5. soruya verilen cevap**

AYN'nin ne kadar olduğunu takip ederim. Hedefin zaman içindeki kerterizi de önemli.

**6. soruya verilen cevap**

Manevra yaparken hız değişiminin çok bir önemi ve uygulanabilirliği yoktur. Rota değişimi çok daha efektif ve uygulanan bir yöntemdir. Karşı tarafın özellikle hız değişimini anlaması daha zor. Algılanabilir olan rota değişimidir. Hız değişimi son tercihtir, acil durum olur, manevra yapacak yerin olmaz o zaman uygulanır.

**7. soruya verilen cevap**

Hedef geminin AYNZ değeri eksiye düşmeye başladığı andan itibaren veya bordamda gördüğümde neta kabul ederim.

**8. soruya verilen cevap**

Durumdan duruma değişir net bir şey söylemek doğru olmaz.

**9. soruya verilen cevap**

İletişim kurulamıyor ve hala niyeti belli değilse gerekli hareketi çok yaklaşmadan ben yaparım.

**Katılımcı 7:**

**1. soruya verilen cevap**

Emniyet alanın belirlenmesinde, geminin boyu, tonajı, taşıdığı yük gibi durumlar önemlidir.

**2. soruya verilen cevap**

Şu ana kadar çalıştığım tüm şirketlerde bununla ilgili prosedür var. Ama bu emniyet alanı olarak değil, AYN olarak veriliyor. Örneğin şu an çalıştığım şirkette pruva-pruva geçiş için 2 mil, kesişme için ise 1 mil kuralı var.

**3. soruya verilen cevap**

Bu bir şirket prosedürü ve uyuluyor. Olması gereken mesafe ne ise onda tutmaya çalışırım. Sonuçta bir şirket prosedürü var ve bunun ihlal edilmemesi gerekir. Bir kaza olur, çatışma olur, sonra sen bu ihlali yapmışsın, prosedüre uymamışsın denebilir.

**4. soruya verilen cevap**

Göz ile fark edildiği andan itibaren takip edilmelidir. Bu da nedir, 15 mil gibi bir mesafeden izlenmeye başlanabilir. Radarlar genelde açık denizde biri 12 milde diğeri 6 milde tutulur. Radara girdikten sonra plotlarsın.

**5. soruya verilen cevap**

Hedef geminin kerterizini takip ederek risk değerlendirmesi yaparım. Buna ek olarak, en yakın gemi ve AYN'si en düşük gemi en risklidir.

**6. soruya verilen cevap**

Algılanabilir bir dönüş için gemiler arası mesafe önemlidir. Örneğin 5 milin üzerinde bir mesafede yapılacak olan 15-20 derece bir dönüş belirgin ve algılanabilir bir dönüştür. Hız değişimi ise çok uygulanan bir şey değil, yani karşı tarafın algılaması çok zor. Örneğin, 12 knot'dan 10 knot'a düştün bunu algılamak çok zor.

**7. soruya verilen cevap**

Pruva-pruva geçişte kıç tarafımdan dik uzaklık olarak 1 gomina gibi uzaklaştığı zaman neta kabul ederim.

**8. soruya verilen cevap**

8 mil altına düşmemek gerekir ve en az 15-20 derece manevra yapmak gerekir.

**9. soruya verilen cevap**

Karşıdaki geminin niyetini anlamadıysan ve çatışma riski söz konu ise 8 mil kala sen manevranı yapmalısın.

**Katılımcı 8:**

**1. soruya verilen cevap**

Emniyet alanı derken, AYN olarak mı soruyorsun? Şirketler bunu AYN olarak verir. AYN, yani ne demek bu hedefe en yakın olma mesafesi 1 mil olacak der mesela, bu mesafeden daha yakın düşemezsin anlamına gelir. Gemi boyu, trafik durumu, gece gündüz durumu önemli ölçütlerdir.

**2. soruya verilen cevap**

AYN değerini şirket belirler. Ama kaptan gerekli gördüğü durumlarda bunu yükseltebilir ama düşürmemesi gerekir.

**3. soruya verilen cevap**

Herhangi bir tolerans olamaz. Örneğin 2 mil ise 2 mildir. Kural bu, bunun altında gemiye yakın olmaman gerekir. Radarına giren her engeli izlemek, takip etmek zorundasın. Göz ile de takip edeceksin. Bir hedefi göz ile gördüğün zaman takip başlar. Belirlenen AYN değerinin altına düşemezsin.

**4. soruya verilen cevap**

Gözünle görmediğimiz şeyler bizi ilgilendirmiyor. 12 milden itibaren izlemeye başlarım.

**5. soruya verilen cevap**

Çevrede bulunan hedeflerin bana mesafeleri ve AYN değerleri risk değerlendirmesi için ölmedir.

**6. soruya verilen cevap**

Manevranın fark edilebilmesi için en az 10 derece dönüş yapılmalıdır. Hız değişimi çok uygulanan bir şey değil ama kuralda var. Öncelikli olarak rota değişimi uygulanır. Hız değişimini algılamak çok zor. Tam yoldan yarım yola çekmek algılanabilir ama zor. Ama radar daha çabuk fark edecektir. Hız değişimi çok yaygın olmasa da uygulamada değişken adım pervaneler için mümkün olabilir.

**7. soruya verilen cevap**

AYN artmaya başlıyorsa neta kabul ederim. Örneğin AYN'yi 2 mil belirledik diyelim. 2 mil'e kadar düşüp tekrar artmaya başladığı anda neta kabul ederim. AYN değerinin artmaya başlaması demek artık senden uzaklaşıyor anlamına gelir.

**8. soruya verilen cevap**

Ben 7 mil'den daha yakın olmam manevraya başlamak için. Mesela bir arıza olsa, çok yakınsan hedef gemiye dönemezsin, kurtaramazsın gemiyi. Karar verebilmen için zaman olması lazım. Bu sebeple çok yakın düşmeden manevra yapılmalıdır. Bu mesafeden döndüğün takdirde zamanın var, herhangi bir aksi durumda kurtarma şansın var.

**9. soruya verilen cevap**

Evet, COLREG kural 17 bununla ilgili. 7 milden daha yakısın artık, karşı tarafı bekliyorsun hareket yapsın diye çünkü yol üstünlüğü sende. O zaman bekleyeceksin belki 4 mile 3 mile inecek mesafe. Aradın cevap vermiyor. Artık sen çatışmayı önleyici hareketi yapacaksın.

**<u>Katılımcı 9:</u>**

**1. soruya verilen cevap**

Emniyet alanının belirlenmesinde, geminin tonajı, manevra kabiliyeti, trafik durumu, meteorolojik koşullar önemli faktörlerdir.

**2. soruya verilen cevap**

Benim çalıştığım şirketlerde bunun büyüklüğü ile ilgili bir politika görmedim. Kaptan tarafından karar verilir.

**3. soruya verilen cevap**

Her ihlalin çatışma riski kabul edilmesi hususunda katı düşünmüyorum. Çok yakın geçiş olmaması ve rahat su olması şartı ile bazı ihlaller göz ardı edilebilir. 1 mil emniyet alanı için 0,9-0,8 mil kabul edilebilir mesafelerdir. Bu tür durumlarda manevra yapmanın çok gerekli olduğunu düşünmüyorum. Çünkü her manevra makine üzerinde ekstra bir yük oluşturur ve bu da ekonomik değildir.

**4. soruya verilen cevap**

Hedef gemiyi izlemeye başlama konusunda gemilerin hızı önemli bir ölçüt. Genel bir durum için 12 milden izlemeye başlarım.

**5. soruya verilen cevap**

Burada dikkat edilmesi gereken nokta AYN değeridir. Hedeflerin kerterizinin değişip değişmediğinin de kontrol edilmesi gerekir.

**6. soruya verilen cevap**

Belirgin ve net algılanabilir olması için 15-20 derece bir manevra yapılması gerekir. Bazı durumlarda 25-30 dereceye kadar çıkabilir. Karşı geminin benim dönüşümü göz ile net bir şekilde algılamasını isterim. Hız değişiminde ise algılanabilir olması için mesela tam yolda yarım yola düşmem gerekir.

**7. soruya verilen cevap**

Hedef gemiyi bordamda gördüğümde neta kabul ederim.

**8. soruya verilen cevap**

3 mil mesafede manevra yapılması gerekir. Dönüş ile ilgili düşüncemi önceki soruda cevaplamıştım.

**9. soruya verilen cevap**

Yol veren tekne olarak karşı taraf herhangi bir hareket yapmazsa, hız kesebilirim, hız arttırabilirim, ciddi bir dümen açısı ile manevra yapabilirim ve bunu da 3 mile geldikten sonra uygularım.