



## Building a hybrid algorithm based decision support system to prevent ship collisions

Timur Inan<sup>1</sup> , Ahmet Fevzi Baba<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Computer Programming, Istanbul Arel University, Istanbul, 34295, Turkey

<sup>2</sup>Electrics-Electronics Engineering, Marmara University, City, 34930, Turkey

### Highlights:

- CSGA for collision avoidance
- Fuzzy for collision risk assesment
- Neural network for position estimation

### Keywords:

- Collision Avoidance
- Decision Support System
- Hybrid Algorithm
- Collision Risk Assesment
- Cuckoo-Search Genetic Algorithm

### Article Info:

Research Article  
Received: 07.08.2019  
Accepted: 24.12.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.603464

### Correspondence:

Author: Timur Inan  
e-mail:  
timurinan@arel.edu.tr  
phone: +90-537 669 6627

### Graphical/Tabular Abstract

Collision risk assessment and collision avoidance of vessels have always been an important area of research in the field of ocean engineering. Decision support systems constitute the focus of many studies in the maritime industry as vessel accidents are often caused by human errors. In this study, an anti-collision decision support system is proposed. The proposed system can determine surrounding obstacles by using the information it receives from the AIS and Radar equipments, obtain the position of obstacles within a certain time period, calculate the TCPA (Time to the Closest Point of Approach) and DCPA (Distance at Closest Point of Approach) using a fuzzy system in the light of COLREGs (Collision prevention regulations at sea) and suggest the optimal route to prevent collisions using a hybrid cuckoo search-genetic algorithm.

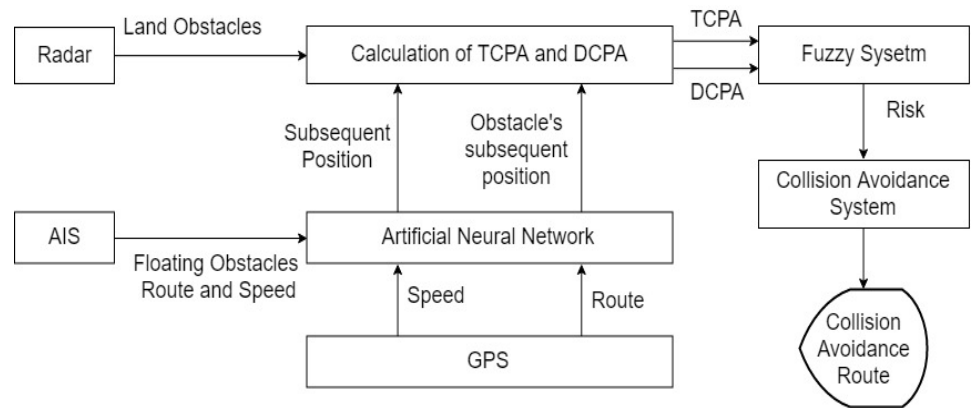


Figure A. General structure of the proposed system

**Purpose:** As collision of ships are because of the human errors. Decision support systems have become very popular for ship collision avoidance. We propose an on board collision risk assesment and collision avoidance system to prevent ships from collisions.

### Theory and Methods:

We used three methods in this study. A neural network to predict next positions of the targets. A fuzzy system to obtain risk assesment and a hybrid method based collision avoidance algorithm.

### Results:

The proposed system has been tried for some scenarios and found to be successful. Also the improvements of the study have been shown both numerically and graphically.

### Conclusion:

A collision risk assesment and collision avoidance system has been proposed. The system has given fast and reliable solution for the examined scenarios. The usage of the CSGA algorithm for collision avoidance is found to be high.



## Gemi çarpışmalarının önlenmesi için melez algoritma tabanlı bir karar destek sisteminin oluşturulması

Timur İnan<sup>1\*</sup>, Ahmet Fevzi Baba<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Arel Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Programı, Sefaköy, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kadıköy, İstanbul, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- CSGA algoritması tabanlı, gemiler için çarpışma önleme sistemi
- Yapay sinir ağları ile pozisyon tahmini
- Bulanık mantık ile çarpışma riski hesaplanması

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 07.08.2019  
Kabul: 24.12.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.603464

### Anahtar Kelimeler:

Guguk kuşu algoritması,  
çarpışma önleme,  
çarpışma riski belirleme,  
yapay sinir ağı,  
bulanık mantık

### ÖZET

Gemi kazalarının çoğunluğunun insan hatalarından kaynaklanması, bu hataları en aza indireyecek karar destek sistemleri ile alakalı çalışmaların artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, gemi çarpışmalarını önleyebilecek bir karar destek sistemi ortaya konulmuştur. Sistem üç ana parçadan oluşmaktadır. Gemilerin ileriki pozisyonlarını tahmin edebilen bir yapay sinir ağı sistemi, çevredeki gemilerin hangisi ile çarpışma riskinin daha fazla olduğunu hesaplayan bir bulanık mantık sistemi ve CSGA (Cuckoo Search-Genetic Algorithm) algoritması kullanarak çarpışma önleme rotası hesaplayabilen sistem. Bu çalışmada, çarpışma önleme sisteminin başarısının ölçülmesi amacıyla senaryolar oluşturulmuştur. Çarpışma önleme rotalarının hesaplanması aşamasında kullanılan CSGA algoritması ile literatürde daha önce kullanılmış olan KKA (Karınca Kolonisi Algoritması), PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu), ve GA (Genetik Algoritma) algoritmaları, elde edilen sonuçların verimliliği açısından karşılaştırılmıştır. Algoritmaların verimliliği ölçülürken; hesaplama için harcadıkları zamanın az olması ve önerdikleri çarpışma önleme rotalarının gemiyi rotasından en az sapma ile tekrar rotasına döndürmesi kriterleri göz önüne alınmıştır. CSGA algoritması ile çarpışma önleme sisteminde, hesaplama süreleri göz önüne alındığında, ortalama olarak, KKA'ya nazaran 29,47 kat, PSO'ya nazaran 5,78 kat, GA'ya nazaran 2,72 kat daha hızlı sonuç vermiştir. Algoritmaların hesapladığı yolların uygunluğu göz önüne alındığında CSGA algoritması, yapılan hesaplamalarda, ortalama olarak karınca KKA'ya nazaran %7,85, PSO'ya nazaran %2,62, GA'ya nazaran %1,18 daha uygun sonuçlar bulabilmiştir.

## Building a hybrid algorithm based decision support system to prevent ship collisions

### H I G H L I G H T S

- Collision avoidance system for ships based on CSGA algorithm
- Position estimation with artificial neural networks
- Collision risk calculation with fuzzy logic

### Article Info

Research Article  
Received: 07.08.2019  
Accepted: 24.12.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.603464

### Keywords:

Cuckoo search algorithm,  
collision avoidance,  
collision risk assesment,  
artificial neural network,  
fuzzy

### ABSTRACT

Decision support systems constitute the focus of many studies in the maritime industry as vessel accidents are often caused by human errors. In this study, an anti-collision decision support system is proposed. The system consists of three main parts. An artificial neural network system capable of predicting the forward position of ships, a fuzzy logic system that calculates which of the surrounding ships is at greater risk of collision, and a collision avoidance route using the CSGA (Cuckoo Search-Genetic Algorithm) algorithm. In this study, scenarios have been created in order to measure the success of collision prevention system. The CSGA algorithm used in the calculation of collision prevention routes and the ACO (Ant Colony Optimization), PSO (Particle Swarm Optimization), and GA (Genetic Algorithm) algorithms previously used in the literature were also used for calculation and the results compared in terms of efficiency. While measuring the efficiency of algorithms; the time spent on the calculation and the efficiency of the recommended collision avoidance routes are considered. In the collision avoidance system with the CSGA algorithm, on average, the calculation times were 29.47 times faster than ACO, 5.78 times faster than PSO, and 2.72 times faster than GA. Considering the appropriateness of the paths calculated by the algorithms, the CSGA algorithm has found an average of %7.85 in comparison to PSO, %2.62 in comparison to PSA, and %1.18 in comparison to GA.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: timurinan@arel.edu.tr, fbaba@marmara.edu.tr / Tel: +90 537 669 6627

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

3Gemi çarpışma olaylarının önlenmesi, hem can ve mal güvenliği hem de gemi kazaları sonrası meydana gelen çevre kirliliğinin önlenmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Gemi kazalarının meydana gelmesinde insan hatası en önemli faktördür. Gemi karaya oturma olaylarının %79'u ve gemi çarpışmalarının %89 ila %96'sı insan hatalarından kaynaklanmaktadır [1]. Bu hataların en aza indirgenmesi için karar destek sistemleri geliştirilmektedir. Karar destek sistemleri, yapılan seyrin daha güvenli hale getirilmesi açısından önem arz etmektedir. Gemi çarpışmalarının önlenmesi için çevredeki gemilerin hangisinin ne kadar risk oluşturduğu belirlenmelidir. Bu risk TCPA (Time to Closest Point of Approach) ve DCPA (Distance to Closest Point of Approach) değerleri bulunarak hesaplanabilmektedir. DCPA, iki gemi arasındaki en yakın geçiş mesafesi, TCPA ise en yakın geçiş mesafesine kadar geçecek zamanı temsil etmektedir. Yüksek riske sahip engel gemi ile çarpışmayı önlemek için manevra kararı verilebilir, ancak yapılacak manevranın COLREGS (Collision Regulations at Sea) tüzüğüne uygun olması zorunludur. COLREGS, uluslararası denizde çatışmayı önleme tüzüğüdür. COLREGS kurallarına göre geçiş üstünlüğü olan gemi belirlenerek, yol vermesi gereken geminin manevra yapması gereklidir. Hesaplamalar sonucunda geminin manevra yapmasının gerektiği belirlendiyse, bu manevranın nasıl yapılması gerektiği, çevredeki diğer engeller ve kara parçaları da hesaba katılarak belirlenmelidir. Bu çalışmada ortaya konulan sistem, tüm bu sorulara cevap verebilen bir çarpışma önleme sistemidir. Şekil 1'de sistemin genel yapısı görülmektedir. Önerilen çarpışma önleme sistemi, üç kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım, pozisyon tahmini için yapay sinir ağı tabanlı bir tahmin sistemidir. İkinci kısım, bulanık mantık tabanlı bir çarpışma risk tespit sistemidir ve üçüncü kısım ise COLREGS kurallarına göre yapılması gereken en uygun manevrayı hesaplayabilen CSGA tabanlı bir karar sistemidir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

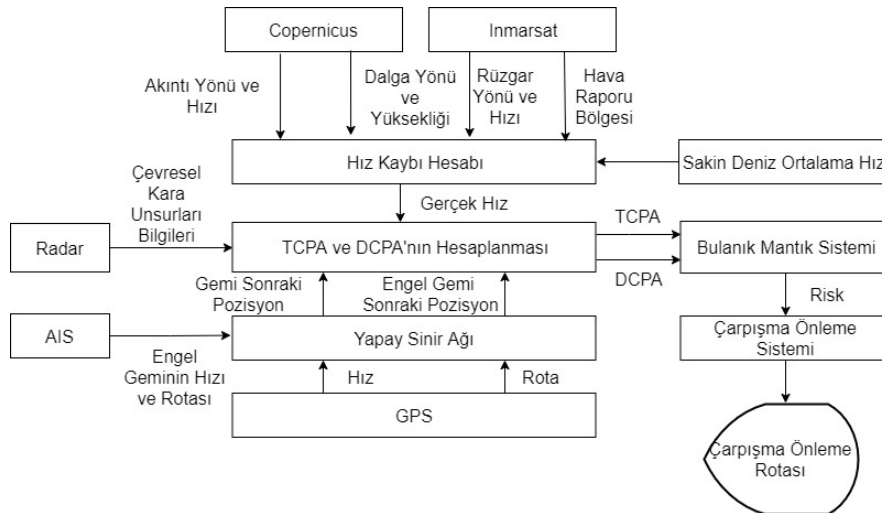
Karar destek sistemleri, güvenlik, maliyet azaltma ve verimliliğin artırılması gibi birçok amaçla kullanılabilen sistemlerdir. Yurdakul ve İpek tarafından, malzeme taşıma sistemlerinin seçilmesine yönelik bir karar destek sistemi ortaya konulmuştur. Ortaya konulan sistemde, soru yöneltme, ekonomik analiz, analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve ideal çözüme yakınlığa göre sıralama yapma yöntemi (TOPSIS) kullanılmıştır [2].

İç ve Yurdakul tarafından, işleme merkezi seçilmesine yönelik bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu karar destek sisteminde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği (TOPSIS) yöntemleri kullanılmıştır [3].

Melez algoritmalar ise, birden çok optimizasyon ve/veya arama algoritmalarının faydalı yönlerinin birleştirilerek en iyi çözüme en yakın sonuca hızlı şekilde ulaşılması için kullanılan algoritmalar. Günümüzde, melez algoritmalar, optimizasyon amacıyla yapılan çalışmalar açısından popüler bir konudur.

Belgin tarafından melez algoritma tabanlı bir optimizasyon sistemi ortaya konulmuştur. Bu çalışmada Meta-Model ve Gri İlişkisel Analiz yöntemleri bir arada kullanılmıştır. Çalışmada, üretim hattında çalışanların en uygun kombinasyonunun belirlenmesi hedef alınmıştır [4].

Çalışmamız, literatürde bulunan bu karar destek sistemlerinden, hedeflenen optimizasyon işlemi ve kullanılan melez algoritma bakımından farklılık göstermektedir. Çalışmamızda genetik algoritma ve guguk kuşu algoritmalarının bir karışımı olan Cuckoo Search Genetic Algorithm (CSGA) algoritması kullanılmıştır.



Şekil 1. Sistemin genel yapısı (General structure of the proposed system)

Geçmişten günümüze çarpışma ihtimali hesaplanması ve çarpışma önleme konularında denizcilik alanında birçok çalışma ortaya konulmuştur. Optimizasyon algoritmaları, geçmişten günümüze kadar birçok çalışmada çarpışma önleme sistemlerinde ve karar destek sistemlerinde kullanılmıştır.

Liang ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada parçacık sürü optimizasyonu algoritması tabanlı bir sistem ortaya konulmuştur. Bu sistem otonom olarak çalışan bir yüzey aracının çarpışma olasılığında çarpışmadan kaçınabilmesi için izlemesi gereken rotayı hesaplayan bir sistem olarak ortaya konulmuştur [5].

Chen ve diğerleri sundukları bir bildiriye yapay balık sürüsü algoritması tabanlı bir karar destek sistemi ortaya koymuşlardır. Bu çarpışma önleme sisteminde AIS bilgisi kullanılmıştır. Bu sistem gemi üzerinde çalışan bir sistem değil, karada bulunan ve elde ettiği bilgiler sayesinde denizde bulunan gemiler arasındaki çarpışma riskini hesaplayarak, çarpışmadan kaçınmaları için rota tavsiyesi veren bir sistem olarak ortaya konulmuştur [6].

Shena ve diğerleri tarafından derin öğrenme tabanlı bir çarpışma önleme sistemi ortaya koyulmuştur. Birden fazla model geminin bir havuz içerisinde seyir yaptırılmasıyla çarpışma senaryoları elde edilmiş ve ortaya konulan sistemin başarısı bu senaryolardan elde edilen veriler ışığında ortaya koyulmuştur [7].

Geng ve diğerleri tarafından, otonom gemilerde kullanılması amacıyla bir çarpışma önleme sistemi önerilmiştir. Çalışmada dinamik programlama metodu kullanılmıştır. Gemi hızı, yakıt tüketimi, güvenlik gibi konular dikkate alınarak bir çarpışma önleme sistemi ortaya konulmuştur [8].

Tarafımızdan Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences dergisinde yayınlanan makalede parçacık sürü algoritması tabanlı, çarpışma ihtimali hesaplayabilen, optimal çarpışma önleme manevrası önerebilen bir karar destek sistemi ortaya konulmuştur [9].

Li ve diğerleri tarafından, birden çok geminin çarpışma durumuna karşı, sistemin çalıştığı geminin rotasının ayarlayabilmesi için tavsiye verebilen bir sistem ortaya konulmuştur. Sistem, birden çok gemi türünün aynı anda çarpışma durumuna gelmesi senaryoları için çözüm üretmektedir [10]. Literatürde bulunan çalışmaların incelendiğinde, çalışmamızın kullanılan yöntemler açısından diğer çalışmalar ile farklılık gösterdiği görülmüştür. Çalışmamız, çarpışma önleme manevrasının hesaplanması amacıyla CSGA algoritmasının kullanıldığı ilk çalışmadır. Ayrıca çoğu çalışma hesaplama yöntemi üzerinde dururken, ortaya koyduğumuz sistem gerçek bir harita üzerinde çalışmaktadır ve bu yüzden de çarpışma senaryoları gerçek çarpışma senaryolarına oldukça yakındır.

2018 yılında yine tarafımızdan ortaya konulan çalışma ile bu çalışma arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu

çalışmada, önerilen bulanık mantık sistemi değiştirilmiş, optimal rota hesaplama için ise literatürde daha önceden çarpışma önleme alanında hiç kullanılmamış olan CSGA algoritması kullanılmıştır. CSGA algoritmasının başarısının ortaya koyulabilmesi amacıyla çeşitli çarpışma senaryoları oluşturulmuştur. Senaryolar KKA, PSO ve GA ile ayrı ayrı çözülmüştür. Elde edilen çözümler hesaplama zamanı ve algoritmaların buldukları çarpışma önleme rotalarının uygunlukları bakımından karşılaştırılmış ve CSGA algoritmasının en başarılı sonuçları elde ettiği görülmüştür.

### 3. YÖNTEMLER (EXPERIMENTAL METHODS)

Bu çalışmada beş ayrı yöntem kullanılmaktadır. Sistemi kullanan gemi ve çevredeki engel gemilerin ileride hangi pozisyonlarda olabileceğini tahmin ettirebilmek amacıyla NARX tipi yapay sinir ağı kullanılmıştır. Yapay sinir ağını eğitebilmek amacıyla bir radar simülasyonu oluşturulmuştur. Çarpışma riskinin büyüklüğünün hesaplanabilmesi için bulanık mantık kullanılmıştır. Çarpışma önleme manevrasını hesaplayabilmek amacıyla CSGA algoritması kullanılmıştır. Radar simülasyonunun gerçekleştirilebilmesi için de bir gemi matematiksel modeli kullanılmıştır [11].

#### 3.1. Kullanılan Matematiksel Gemi Modeli (Ship Mathematical Model)

Gemi hareketinin benzetim yoluyla elde edilebilmesi için Fossen tarafından ortaya konulan “Deniz Simülasyon Sistemi” içerisinde bulunan dosyalar kullanılmıştır. Sistem MATLAB üzerinde çalıştığı için bu dosyaların kullanılması tercih edilmiştir. Deniz Simülasyon Sistemi içerisinde bulunan gemi matematiksel modellerinden “tanker” isimli .m uzantılı dosya kullanılmıştır [11]. Matematiksel modele uygulanan girişler ve modelden alınan çıkışlar Eş. 1, Eş. 2 ve Eş. 3’te verilmiştir. Eş. 1’de tanker fonksiyonuna uygulanan girişler ve çıkışlar görülmektedir.

$$[x\dot{dot}, U] = \text{tanker}(x, ui) \quad (1)$$

Burada; x ve ui, fonksiyona uygulanan girişler, xdot ve U ise fonksiyondan elde edilen çıkışlardır. x girişinin içeriği Eş. 2’de verilmiştir.

$$x = [u, v, r, x, y, \psi, \delta, n]^T \quad (2)$$

Burada u, geminin x eksenindeki hızı (m/s), v, geminin y eksenindeki hızı (m/s), r, geminin kendi etrafında dönüşünün açısal hızı (rad/s), x geminin x eksenindeki pozisyonu (m), y, geminin y eksenindeki pozisyonu (m), psi, geminin y eksenine etrafındaki dönüş açısı (rad), delta, geminin anlık dümen açısı (rad), n, geminin anlık şaft hızı (rpm) dir. ui girişinin içeriği Eş. 3’te verilmiştir.

$$ui = [\delta_c, n_c, h]^T \quad (3)$$

Burada  $\delta_c$ , geminin dümeninin getirilmek istenilen açısı (rad),  $n_c$ , geminin şaft hızının getirilmek istenilen değeri (rpm), h, su derinliği (m). Çıkışlardan U, geminin hızı (m/s)

ve  $\dot{x}$  ise  $x$  girişine karşılık girişlerdeki değerlerin zamana göre değişmiş değerlerinin barındırmaktadır.

### 3.2. Radar Simülasyon Sistemi (Radar Simulation System)

Sistemin üzerinde bulunduğu geminin veya çevredeki gemilerin ilerideki zaman dilimleri içinde nerede olabileceklerini tahmin ettirebilmek amacıyla yapay sinir ağları kullanılmıştır. Ancak, yapay sinir ağlarının doğru tahminler yapabilmesi için eğitilmesi gerekmektedir. Bu amaçla bir radar simülasyon sistemi gerçekleştirilmiştir. Radar simülasyon sistemi, rastgele başlangıç ve varış limanları arasında seyir yapan geminin ve çevredeki gemilerin rota ve hız bilgilerini toplayarak veritabanına kaydetmektedir. Sistemin gerçek gemiler üzerinde kullanılabilirliğinin artırılması için, bu sistem gerçek bir harita üzerinde çalıştırılmış ve gemi hareketlerinin de gerçeğe yakın olabilmesi için gemi matematiksel modeli kullanılmıştır. Şekil 2’de oluşturulan radar simülasyon sistemi görülmektedir.

Radar simülasyonu, geminin kalkış ve varış limanlarını, seyir için hangi düğümleri kullanacağını, ne kadar mesafe katedildiğini, varış limanına ne kadar mesafe kaldığını, geminin rotasını, geminin hızını ve koordinatlarını kullanıcıya sunabilmekte, arka planda ise elde ettiği rota, hız, enlemsel ve boylamsal yer değiştirme verilerini 1 saniye aralıklarla veritabanına kayıt etmektedir. Radar simülasyonu bu şekilde birden çok rastgele seyir senaryosu için çalıştırılmış ve yapay sinir ağının eğitilmesi için gerekli veriler toplanmıştır.

### 3.3. İleriki Pozisyonların Tahmini (Estimation of the Subsequent Positions)

Sistemi kullanan geminin ve çevredeki gemilerin belli bir zaman aralığı sonunda nerede olacağını tahmin edilebilmesi, çarpışma riskinin hesaplanabilmesi ve çarpışma önleme manevrasının en uygun şekilde hesaplanabilmesi için önem arz etmektedir. Kullanılan yapay sinir ağı NARX (Nonlinear Autoregressive Exogenous) tipi bir yapay sinir ağıdır [12]. Zaman serisi verilerini (hız ve rota) kullanarak gemilerin, enlemsel ve boylamsal düzlemde ne kadar hareket edebileceğini tahmin etmektedir. Radar

simülasyon sisteminden elde edilen verilerin %15’i doğrulama, %15’i test ve %70’i ise eğitim amacıyla kullanılarak yapay sinir ağının eğitilmesi sağlanmıştır. Önerilen yapay sinir ağı 3 katmanlıdır ve 50 adet gizli nörona sahiptir. Gizli katmanda transfer fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant transfer fonksiyonu kullanılmaktadır, çıkış katmanı için ise lineer transfer fonksiyonu kullanılmaktadır. Önerilen yapay sinir ağı Şekil 3’te görülmektedir.

NARX tipi yapay sinir ağlarının giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanları arasındaki bağıntılar Eş. 4 ve Eş. 5’te detaylı olarak verilmektedir [13].

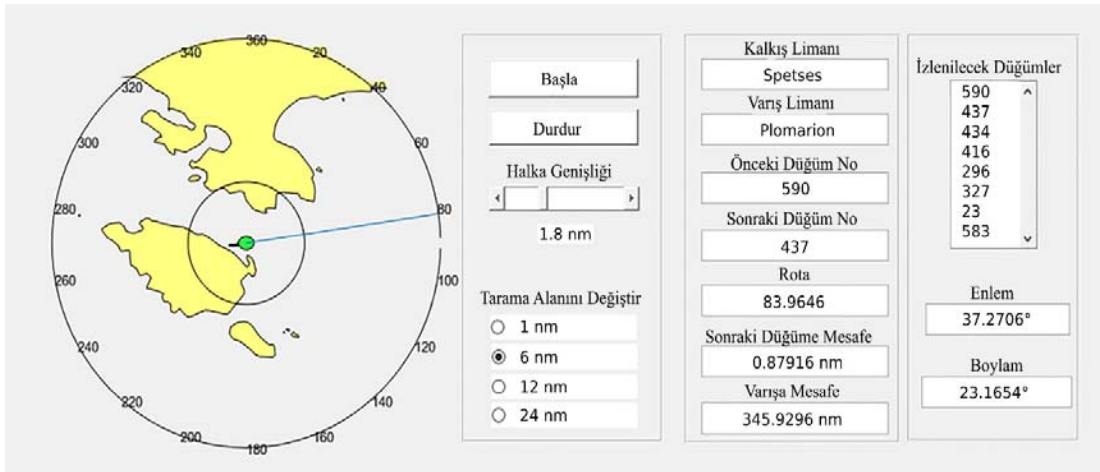
$$h_i = \Pi[\sum_{j=1}^{\Phi} w_{i,j}x_j + b_i^H] \quad (4)$$

$$y_k = \Pi[\sum_{i=1}^H w_{k,i}h_i + b_i^O] \quad (5)$$

Burada,  $h_i$ ,  $i$  numaralı nöronun çıkış değeri,  $w_{i,j}$ ,  $i$  numaralı nöronun  $j$  adımıdaki ağırlık değeri,  $x_j$ ,  $j$  adımıdaki giriş değeri,  $b_i^H$ ,  $i$  numaralı nöronun çıkışa etki katsayısı,  $\Phi$ , girişler ile gizli katman arasındaki bağlantıların sayısı,  $H$ , nöron sayısı,  $O$  yapay sinir ağının çıkış sayısı,  $y_k$ , yapay sinir ağının çıkışıdır. Zaman serisi verilerine göre tahmin yapabilen bu yapay sinir ağının tahminlerini başarı ile gerçekleştirebilmesi için ileriye dönük tahmin yapmadan önce belli bir süre rota ve hız verilerini kayıt altına alması gerekmektedir. Bu amaçla, yapay sinir ağının tahmin üretmeye başlamadan 60 saniyelik rota ve hız verisini depolaması ve bu verileri kullanarak tahminler yapabilmesi sağlanmıştır. Yapay sinir ağının performansı MSE (Mean Squared Error) yöntemiyle hesaplanmıştır. Yöntem Eş. 6’da görülmektedir.

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (e_t - o_t)^2}{n} \quad (6)$$

Burada  $e_t$ ,  $t$  anında eğitim için kullanılan verinin değeri,  $o_t$ , yapay sinir ağının  $t$  anında yaptığı tahmini temsil etmektedir. Eğitim verisi ile tahmin arasındaki fark hatayı vermektedir.  $n$  adet veri için teker teker hataların karesi alınmakta ve hataların kareleri toplamı veri miktarına



Şekil 2. Radar Simülasyon sistemi kullanıcı arayüzü (Radar simulation system user interface)

bölünmektedir. Oluşturulan yapay sinir ağında MSE değeri  $9 \times 10^{-4}$  olarak bulunmuştur. MSE değeri 0'a yakın çıkan bir yapay sinir ağının yapacağı tahminin hata olasılığının oldukça düşük olduğu varsayılmaktadır. Şekil 4'te ise oluşturulan yapay sinir ağının regresyon değerleri görülmektedir. Regresyon değerlerinin 1'e yakın olması hedef ile tahmin değerlerinin birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Regresyon değerlerinin hesaplanmasında Eş. 7 kullanılmıştır.

$$R = \frac{\sum_{t=1}^n (e_t - \bar{e}_t)(o_t - \bar{o}_t)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (e_t - \bar{e}_t)^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (o_t - \bar{o}_t)^2}} \quad (7)$$

Burada  $e_t$ ,  $t$  anında eğitim verisinin aldığı değeri,  $o_t$ ,  $t$  anında yapay sinir ağının yaptığı tahmini,  $\bar{e}_t$ , eğitim verisinin türevini,  $\bar{o}_t$ , tahmin verisinin türevini temsil etmektedir. Eğitim regresyon değerinin 0.9, test regresyon değerinin 0.89 olması, yapay sinir ağının gemi hareketini tahmin etmekte oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

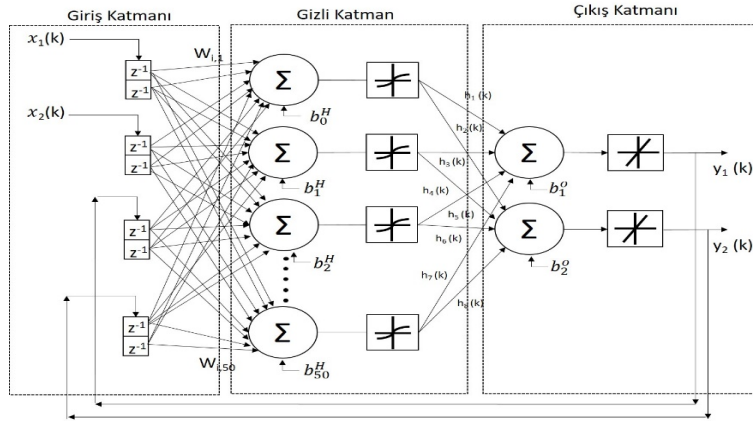
### 3.4. TCPA, DCPA Değerlerinin Hesaplanması ve Risk Seviyesi Belirlenmesi

(Calculation of TCPA, DCPA and Risk Assessment)

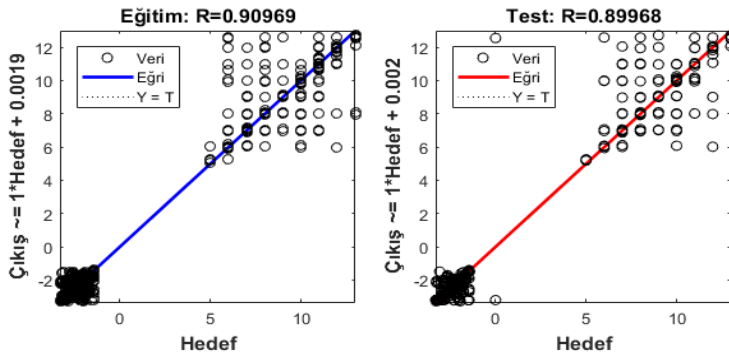
Çarpışmanın önlenmesi için TCPA ve DCPA değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu değerler Şekil

5'teki akış diyagramı kullanılarak hesaplanmaktadır. Sistemi kullanan gemi ve çevredeki gemiler son buldukları pozisyon, rota ve hız bilgilerine göre yapay sinir ağları ile hareket ettirilerek ilerideki zaman dilimlerinde nerede olabilecekleri tahmin edilmektedir. Yapay sinir ağı, eğitilmek için kullandığı verileri bir saniye aralıklı olarak aldığı için tahminleri de bir saniye sonrası için yapmaktadır. Hesaplamalar sonunda çevredeki her bir gemi için TCPA ve DCPA değerleri belirlenmektedir. Bu değerlerden yola çıkarak hangi gemi ile çarpışma olasılığının daha yüksek olacağı hesaplanmaktadır. Bu amaçla çalışmamızda Mamdani tipi bir bulanık mantık sistemi kullanılmıştır [14]. Şekil 6'da oluşturulan bulanık mantık sisteminin giriş ve çıkışları görülmektedir.

Bulanık mantık sistemine uygulanan TCPA girişi için aralık 0 ile 1000 saniye, DCPA girişi için 0 ile 10 mil aralığında tutulmuştur. Risk çıkışı için aralık 0 ile 1 aralığındadır. 0 en düşük riski, 1 ise en yüksek riski temsil etmektedir. Gemilerden hangisinin en yüksek riske sahip olduğu bu değere bakılarak anlaşılmaktadır. TCPA ve DCPA değerleri küçüldükçe çarpışma olasılığı yükselmekte, arttıkça azalmaktadır. Ancak DCPA değerinin düşük olması durumunda TCPA değerine bakılarak karar vermek gerekmektedir. Çünkü DCPA değeri düşük olsa bile TCPA değeri yüksek olan gemi için çarpışma önleme manevrası



Şekil 3. Yapay sinir ağı yapısı (Diagram of the proposed neural network)

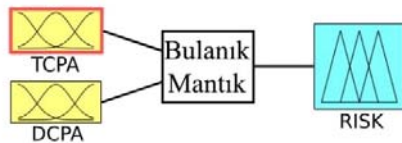


Şekil 4. Yapay sinir ağının regresyon değerleri (Regression values of the proposed neural network)

hesaplanmasının aciliyeti olmadığından riskin TCPA değeri daha az olan gemilere göre düşük olduğu kabul edilmektedir. Şekil 7’de bulanık mantık sisteminin giriş ve çıkışlarına ait üyelik fonksiyonları görülmektedir.



Şekil 5. TCPA ve DCPA değerlerinin hesaplanması (Calculation of TCPA and DCPA)



Şekil 6. Önerilen bulanık mantık sistemi giriş ve çıkışları (Input and output of the proposed fuzzy system)

Üyelik fonksiyonları için gbell fonksiyonu kullanılmıştır. Eş. 8’de gbell fonksiyonu görülmektedir.

$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (8)$$

Burada, c parametresi, fonksiyonunun merkez noktasını belirlemektedir. a parametresi, gbell fonksiyonu eğrisinin yükselişte ve düşüşte 0,5 değerini aldığı yerlerin aralarındaki mesafenin yarısını temsil etmektedir. b parametresi ise eğimi belirlemektedir. Tablo 1’de üyelik fonksiyonları için

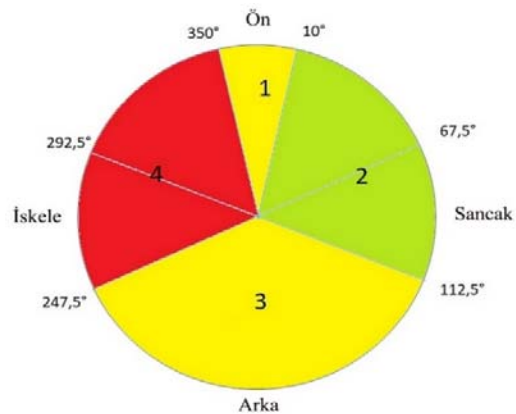
kullanılan kısaltmaların anlamları ve her üyelik fonksiyonunun gbell fonksiyonu parametreleri görülmektedir.

Oluşturulan bulanık karar sistemine ait kural tablosu, Tablo 2’de verilmiştir.

### 3.5. COLREGs (COLREGs)

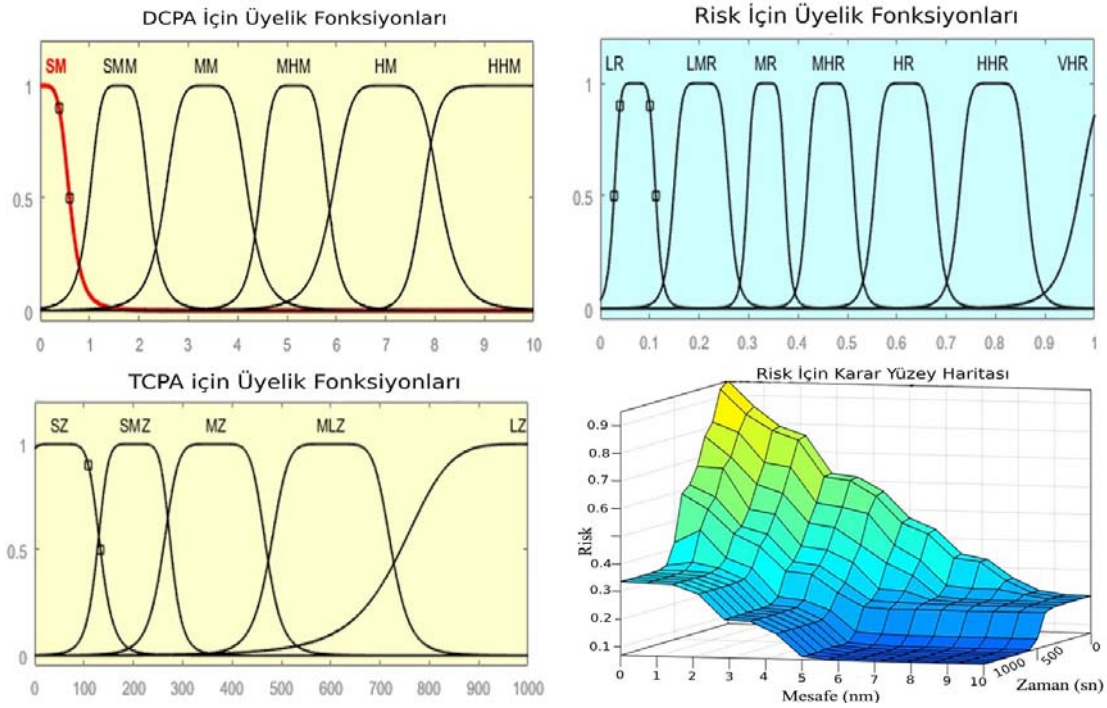
Riski en yüksek olan gemi veya gemiler belirlendikten sonra manevra yapılıp yapılmayacağına karar verilmesi gerekir. Sistem sadece geçiş üstünlüğü sistemi kullanan gemide değil ise çarpışma önleme manevrası hesaplamaktadır. Geçiş üstünlüğünün hesaplanması için ise COLREGs kuralları kullanılmaktadır. Geçiş üstünlüğü gemilerin üzerine bulunan fenerler sayesinde belirlenmektedir. Gemilerin sol yani iskele tarafındaki fener kırmızı, sağ yani sancak tarafındaki fener ise yeşil renkte yanmaktadır. Gemiler ön ve arka taraflarındaki fenerler ise sarı renkte görünmektedir. Fenerlerin hangi açılardan görülebileceği Şekil 8’de görülmektedir. Şekil 8, geminin kuşbakışı görüntüsü üzerinden, geminin pruvasının 000° olduğu farzedilerek hazırlanmıştır. Uluslararası denizde çatışmayı önleme tüzüğüne göre;

- İki gemi birbirlerinin ön fenerlerini görüyorsa, yani birbirlerine zıt yönde birbirlerine doğru hareket ediyorlarsa, gemilerden herhangi biri rotasını sancak tarafa doğru olmak üzere değiştirir. Çalışmamızda bu durum sistemin üzerinde bulunduğu geminin sancak tarafa manevra yapacağı farz edilerek planlanmıştır.
- Eğer bir gemi diğerinin iskele tarafını görüyorsa ve çarpışma ihtimalleri mevcut ise diğer geminin iskele tarafını gören gemi manevra yapmak zorundadır.
- Eğer bir gemi diğerine arkadan yaklaşıyorsa, yaklaşan gemi diğer gemiden uzak durarak herhangi bir çarpışma durumuna mahal vermemelidir.



Şekil 8. Seyir fenerleri ve görünüş açıları (Ship’s top view and navigation lights)

Şekil 8’e göre hangi geminin diğer gemilere göre hangi numaralı bölümlerini gördüğü Eş. 9 ve Eş. 10 kullanılarak hesaplanmaktadır.



Şekil 7. Önerilen bulanık mantık sisteminin üyelik fonksiyonları (Membership functions of the proposed fuzzy system)

Tablo 1. Üyelik fonksiyonu anlamları ve gbell parametreleri (Explanation of membership functions and parameters of gbell functions)

Üyelik Fonksiyonu Adı	a	b	c
Az Zaman (SZ)	85,9	3,28	47,5
Az-Orta Zaman (SMZ)	74,7	2,827	202
Orta Zaman (MZ)	104,6	2,5	367,6
Orta-Geniş Zaman (MLZ)	107	3,41	605,3
Geniş Zaman (LZ)	300	2,86	1042
Az Mesafe (SM)	0,605	2,53	-0,009646
Az-Orta Mesafe (SMM)	0,607	2,39	1,603
Orta Mesafe (MM)	0,8496	2,5	3,37
Orta-Uzak Mesafe (MHM)	0,692	3,322	5,14
Uzak Mesafe (HM)	1,1	2,66	7,011
Çok Uzak Mesafe (HHM)	5,96	18	13,41
Düşük Risk (LR)	0,04227	3,278	0,07002
Düşük-Orta Risk (LMR)	0,05628	3,278	0,2044
Orta Risk (MR)	0,03874	3,278	0,3358
Orta-Yüksek Risk (MHR)	0,04855	3,278	0,466
Yüksek Risk (HR)	0,0624	3,28	0,6162
Yüksek-Çok Yüksek Risk (HHR)	0,06876	3,28	0,795
Çok Yüksek Risk (VHR)	0,118	2,83	1,086

Tablo 2. Bulanık mantık sistemine ait karar tablosu (Fuzzy Rules)

TCPA \ DCPA	SM	SMM	MM	MHM	HM	HHM
	SZ	VHR	HHR	HR	MHR	MR
SMZ	HHR	HR	MHR	MR	LMR	LMR
MZ	HR	MHR	MR	LMR	LMR	LMR
MLZ	MR	MR	LMR	LR	LR	LR
LZ	MHR	MR	MR	LR	LR	LR



$$açı_{gemi} = 360 - rota_{gemi} + derece_{gemi \rightarrow diğer\ gemi} \quad (9)$$

$$açı_{diğer\ gemi} = 180 - rota_{diğer\ gemi} + derece_{gemi \rightarrow diğer\ gemi} \quad (10)$$

Sistemi kullanan geminin engel gemiyi hangi açıdan gördüğü  $açı_{diğer\ gemi}$  değişkeninin içerisinde, diğer geminin sistemi kullanan gemiyi gördüğü açı ise  $açı_{gemi}$  değişkeninin içerisinde tutulmaktadır. Gemilerin birbirlerini hangi açıdan gördükleri bulunduktan sonra bu açının Şekil 8'e göre hangi numaraya denk geldiği ise Eş. 11 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$numara = \begin{cases} açı < 10 \text{ ve } açı \geq 0, 1 \\ açı > 10 \text{ ve } açı \leq 112,5, 2 \\ açı > 112,5 \text{ ve } açı \leq 247,5, 3 \\ diğer\ durumlarda, 4 \end{cases} \quad (11)$$

Risk oluşturacak her geminin numara bilgisi bulunduktan sonra, sistem eğer bu gemiyi riskli görüyorsa COLREGs'e göre manevra yapıp yapılmayacağına karar vermelidir [15]. Çalışmamızda bunun için Tablo 3 kullanılmaktadır.

### 3.6. Melez Guguk Kuşu-Genetik Algoritma (Hybrid Cuckoo-Search Genetic Algorithm)

CSGA algoritması guguk kuşlarının davranışları taklit eden bir arama algoritması ile genetik algoritmanın beraber kullanılması ile elde edilmiş bir optimizasyon algoritmasıdır. Guguk kuşu algoritması Yang ve Deb tarafından 2009 yılında ortaya konulmuş bir arama algoritmasıdır [16]. Algoritma, guguk kuşlarının üreyebilmek için yumurtalarını diğer kuşların yumurtaları arasına bırakmasından esinlenmektedir. Guguk kuşları kendi yumurtalarını başka kuşların yuvalarına koyarak yavrularının diğer cins kuşlar tarafından dünyaya getirilmelerini sağlamakta, dünyaya gelen guguk kuşunun ise ilk işi diğer kuş yumurtalarını yuva dışına itmek olmaktadır. Yuva sahibi kuş, zaman zaman yabancı yumurtayı farkedip yumurtayı yuva dışına atsa da çoğu zaman guguk kuşu yavrusu, diğer cins kuşun yuvasında dünyaya gelmektedir. Bu arama algoritması 4 ana temel üzerine kurulmuştur:

- Her guguk kuşu bir seferde tek yumurtayı rastgele seçtiği bir yuvaya bırakır.
- En kaliteli yumurtaya sahip olan yuva bir sonraki jenerasyona aktarılabilir.
- Yuva sayısı sabittir.
- Yuvaya gizlice sokulan guguk kuşu yumurtası, yuva sahibi kuş tarafından belli bir olasılık değerince keşfedilebilir.

Guguk kuşu arama algoritmasında, üretilen her guguk kuşu yumurtası çözülmeye çalışılan probleme ait bir çözüm olarak kabul edilmektedir. Algoritma sonucunda yuvada kalan yumurta en iyi çözümü temsil etmektedir. Guguk kuşu algoritmasında, yeni yumurtaların kafeslere yerleştirilmesi aşamasında Levy flight metodu kullanılmaktadır. Levy flight metodu yine kuşların yiyecek arama davranışlarından esinlenmiş bir metottur. Guguk kuşu, Levy flight metoduna göre rasgele bir yuva bulup ürettiği yumurtayı o yuvanın içerisine bırakmaktadır. Bu çalışmada kullanılan CSGA algoritması, guguk kuşu algoritması ile genetik algoritmayı bir arada kullanan melez bir algoritmadır. Şekil 9'da kullanılan algoritmanın akış diyagramı görülmektedir. Genetik algoritmadaki yeni bireylerin üretilmesi ve jenerasyonun devamı gibi adımlarda guguk kuşu algoritmasından faydalanılmaktadır. Guguk kuşları yumurtalarını üretmekte, onları rastgele yuvalara bırakmaktadır. Yuvadaki guguk kuşu yumurtası, yuva sahibi kuş tarafından daha önce belirlenmiş bir miktarda olasılıkla bulunmakta ve yuvadan dışarı atılmakta veya yaşamına devam etmektedir. Guguk kuşları yeni yumurtaları üretirken genetik algoritmadaki çaprazlama ve mutasyon yöntemlerini kullanmaktadır. Oluşturulan yeni birey, guguk kuşunun yeni yumurtasını temsil etmektedir. Her iterasyon sonunda yuvalardaki en iyi yumurtalar bulunarak, en başarılı yumurtaya sahip yuvadaki yumurtalar yaşamına devam etmekte, diğer yuvalar ve içlerindeki yumurtalar tekrardan üretilmektedir.

Bu çalışmada CSGA algoritması, en optimal çatışmadan kaçınma rotasını bulmak için kullanılmıştır. Çatışmadan kaçınma rotasının optimal olabilmesi, gemiyi engel gemiye belli bir mesafeden (çalışmamızda 0,3 mil) fazla yaklaştırması ve geminin izlemesi gereken rotadan da mümkün olan en az sapmayı gerçekleştirebilmesine bağlıdır.

Diğer bir deyişle, gemiyi hedef gemiden en kısa yolu kullanarak uzak tutabilen sonuç en optimal sonuç olarak kabul edilmektedir.

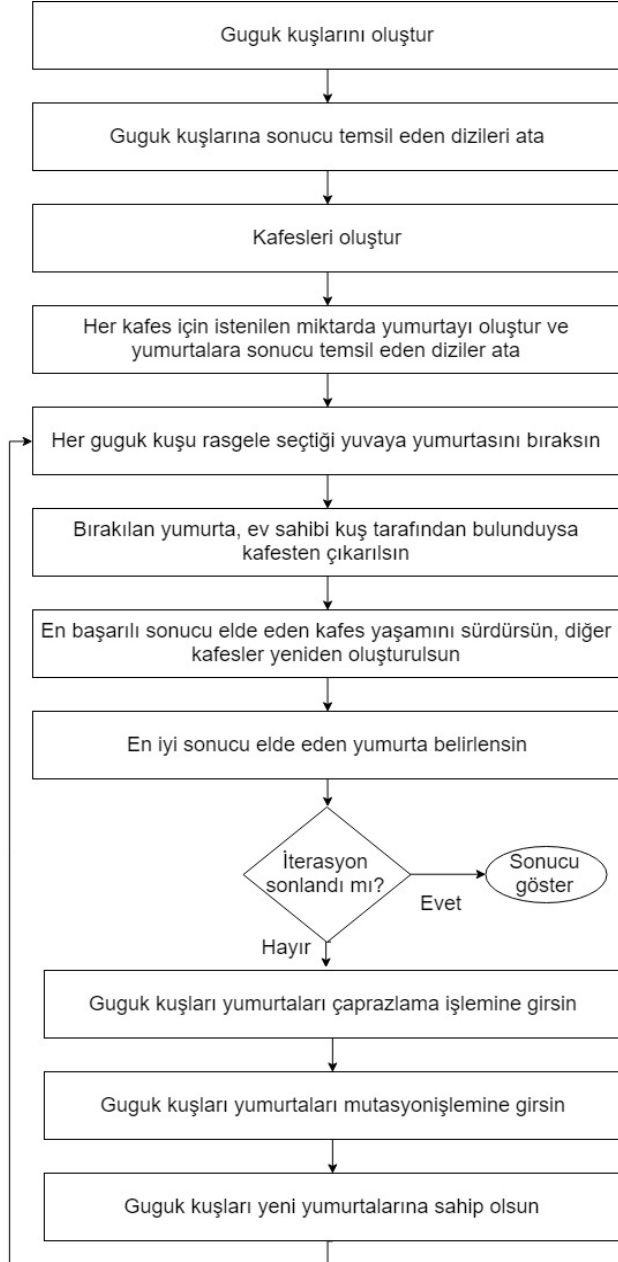
## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada ortaya konulan sistem MATLAB ortamında çalışmaktadır. Sistemi çalıştıran bilgisayar 3,6 GHz hızında i7 işlemcili, 8 GB ram'e sahip bir bilgisayardır. Önerilen sistemin başarısının ölçülmesi amacıyla çarpışma senaryoları üretilmiştir. Sistemin senaryoları çözmek için harcadığı hesaplama zamanı, normal rota uzunluğu, çarpışma önleme rotası uzunluğu ve sistemin önerdiği

**Tablo 3.** Manevra için karar tablosu (Decision table for maneuvering)

Sistemi Kullanan Geminin Durumu	Engel Geminin Durumu			
	Durum	1	2	3
1	Yol Ver	Rotanı Korum	Yol Ver	Yol Ver
2	Yol Ver	Rotanı Korum	Yol Ver	Yol Ver
3	Rotanı Korum	Rotanı Korum	Rotanı Korum	Rotanı Korum
4	Rotanı Korum	Rotanı Korum	Rotanı Korum	Rotanı Korum

rotanın sistemi kullanan gemiyi engel gemiye en fazla ne kadar yaklaştırdığı gibi bilgiler kayıt edilerek bu bölümde sunulmuştur. Sunulan veriler sistemin CSGA algoritması ile elde ettiği verilerdir. Senaryolarda ayrıca PSO, KKA ve GA algoritmaları da denenmiştir. Tüm algoritmalar ile elde edilen veriler karşılaştırılmış ve kıyaslama sonuçları bu bölümde anlatılmıştır.



Şekil 9. CSGA algoritması akış diyagramı  
(Flow chart of CSGA)

#### 4.1. Senaryo 1 (Scenario-1)

Birinci senaryoda sistemin kullanan gemi ile engel gemi birbirlerinin pruvalarını görmektedir (karşı karşıya gelmektedir). COLREGs kurallarına göre bu durumda iki

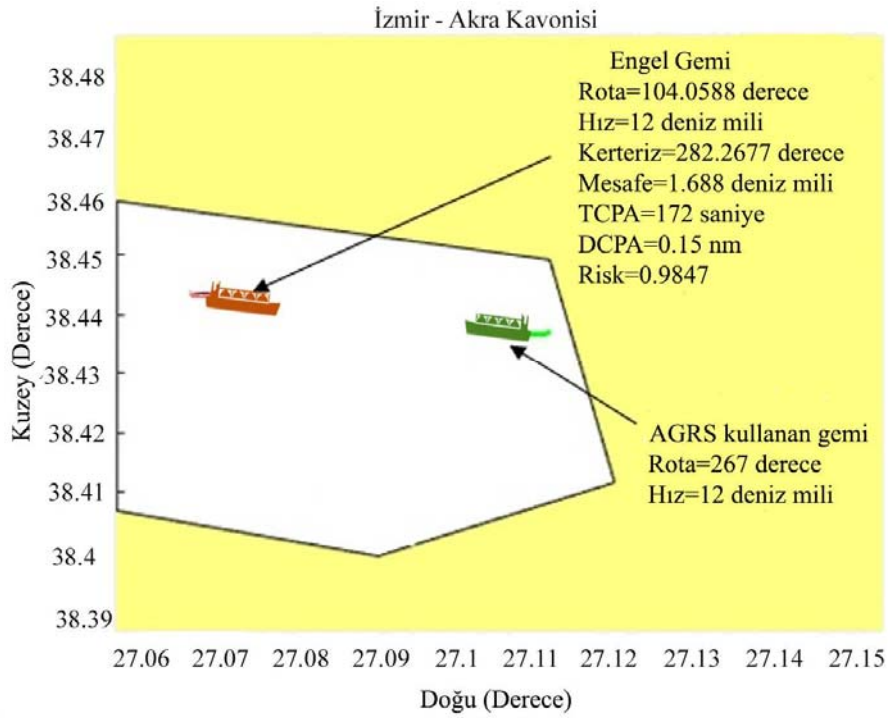
gemiden herhangi birisinin rotasını sancak tarafa doğru değiştirmesi gerekmektedir.

Bu durumda sistemi kullanan geminin manevra yapması planlandığından uygun çarpışma önleme rotası hesaplanarak sonuçlar sunulmuştur. Birinci senaryonun diğer senaryolardan farkı, manevra yapılacak taraf olan sancak tarafa doğru kara parçasının olmasıdır. Sistem hesapladığı manevrada kara parçalarını da dikkate almakta ve bu duruma göre bir rota önermektedir. Birinci senaryo Şekil 10'da görülmektedir. Sistemi kullanan gemi İzmir limanından hareketle Akra-Kavonisi limanına gitmek amacıyla seyrine başlamıştır. Geminin rotası 267 derece, hızı ise 12 knot'tur. Engel gemi ise İzmir limanına doğru 12 knot hızla, 104 derece rotasını takip ederek ilerlemektedir. Sistemi kullanan gemi, engel gemiyi 282 dereceden görmektedir. Aralarındaki mesafe 1,7 deniz milidir. Birbirlerine en yakın geçiş mesafesi (DCPA) 0,15 deniz mili, en yakın geçiş mesafesine kadar geçecek zaman (TCPA) ise 172 saniyedir. TCPA ve DCPA değerlerine göre hesaplanan risk katsayısı 0,9847 olarak belirlenmiştir. Çarpışmayı önleyebilmek için sistemi kullanan geminin hangi rotayı izlemesi gerektiği hesaplanarak Şekil 11'de gösterilmiştir.

Sistemin verdiği rota tavsiyesi 2,1 deniz mili uzunluktadır ve 6 kez rota değişikliği önermektedir. Sistemin önerdiği rotayı takip etmeden, başlangıç ve bitiş manevra noktaları arasındaki mesafe 1,7 deniz milidir. Sistemin önerdiği rota, yolu 0,4 deniz mili uzatmış ancak gemileri çarpışma durumundan korumuştur. Önerilen rota takip edildiğinde, gemilerin birbirlerine en fazla yaklaşma mesafesi 0,35 deniz mili olmaktadır. Sistemin önerdiği rota, engel gemi için belirlenen 0,3 deniz mili yarıçaplı güvenli alana girmemiş ve sistemi kullanan geminin yolunu mümkün olduğunca az uzatarak, hem güvenli hem de yakıt tüketimi ve zaman tasarrufu açısından optimal bir rota tavsiyesi sunabilmiştir.

#### 4.2. Senaryo 2 (Scenario-2)

İkinci senaryonun diğer senaryolardan farkı, sistemi kullanan geminin engel gemiye arkadan yetişiyor olmasıdır. COLREGs kurallarına göre, bir gemi diğer gemiye arkadan yaklaşıyor ise güvenliği tehlikeye sokmayacak şekilde rotasını değiştirmelidir. Diğer senaryolardan farklı olarak çarpışma önleme rotası üzerinde sistemi kullanan geminin yeni rota değişikliği yapacağı nokta bulunmaktadır. Sistem bu senaryoda hem çarpışmayı önlemek, hem de geminin rota değişikliği yapacağı noktadan uzaklaşmasını önleyecek bir rota önerisi sunmak durumundadır. Şekil 12'de ikinci senaryo görülmektedir. Sistemi kullanan gemi, Kalimnos limanından hareketle Akra Kavonisi limanına seyahat etmektedir. Hızı 12 knot ve rotası 144,49 derecedir. Engel gemi de Kalimnos limanından hareket etmiştir. Hızı 11 knot ve rotası 139,93 derecedir. Gemilerin birbirlerine olan uzaklıkları 0,5279 deniz milidir. Gemiler aynı yönde hareket halinde olduklarından aralarındaki mesafe kısa olsa bile çarpışma anına kadar olan zaman (TCPA) 232 saniyedir. En yakın geçiş mesafeleri (DCPA) 0,2 deniz milidir. TCPA ve DCPA değerlerine göre çarpışma riski katsayısı 0,9 olarak



**Şekil 10.** Senaryo-1 (Scenario-1)

hesaplanmıştır. Şekil 13'te sistem tarafından önerilen çarpışma önleme rotası görülmektedir. Sistemin tavsiyesi ettiği çarpışmayı önleme rotasının uzunluğu 1,5 deniz milidir ve dört rota değişikliği tavsiye etmektedir. Sistemin verdiği rota tavsiyesi, sistemi kullanan gemiyi izlediği rotadan ayırarak engel gemiyle aralarında olan mesafenin açılmasını sağlamıştır. Böylece, hem çarpışma durumu engellenmiş, hem yeni rota için dönüş noktası kaçırılmamış hem de rotadan en az sapma ile zaman ve yakıt bakımından tasarruf sağlanmıştır. Önerilen rota tavsiyesinde gemilerin birbirlerine en yakın geçiş mesafesi 0,38 deniz mili olarak hesaplanmıştır. Önerilen rota, yolu 0,5 deniz mili uzatmış ancak güvenli ve zaman ve yakıt tüketimi açısından tasarruflu bir çözüm sunabilmiştir.

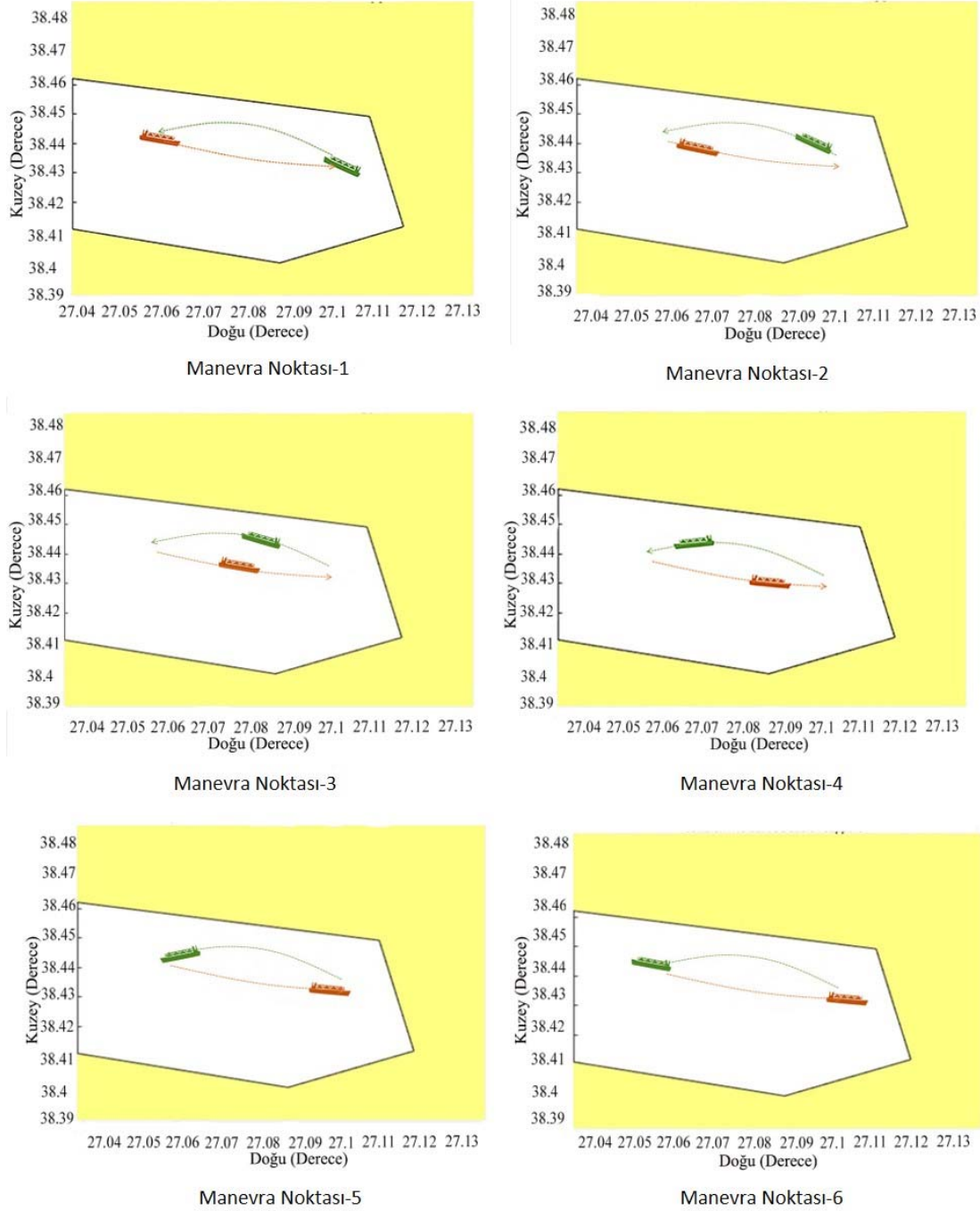
#### 4.3. Senaryo 3 (Scenario-3)

Üçüncü senaryonun diğer senaryolardan farkı, gemilerin rotalarının birbirlerini dik kesiyor olmasıdır. Sistemi kullanan gemi, engel geminin iskele tarafını görmekte, engel gemi ise sistemi kullanan geminin sancak tarafını görmektedir. COLREGs kurallarına göre bir gemi diğer geminin iskele tarafını kendi sancak tarafından görüyor ise çarpışma önleme manevrasını yapmak ve güvenli bir geçiş sağlamak zorundadır. Şekil 14'te üçüncü senaryo görülmektedir. Sistemi kullanan gemi Rethimnon limanından hareket ile Megara Oil Terminal limanına seyir halindedir. Engel gemi ise sistemi kullanan geminin rotasını dik kesecek şekilde hareket etmektedir. Sistemi kullanan geminin hızı 12 knot ve rotası 337 derecedir. Engel geminin ise hızı 10,2 knot ve rotası 236 derecedir. Gemilerin aralarındaki mesafe 1,2 deniz milidir. Aynı rota üzerinde

devam etmeleri durumunda en yakın geçiş mesafesi (DCPA) 0,03 deniz mili, en yakın geçiş zamanına kadar olan zaman (TCPA) ise 128 saniye, TCPA ve DCPA değerlerine göre çarpışma riski katsayısı ise 0,8 hesaplanmıştır. Şekil 15 (a,b)'de sistem tarafından tavsiye edilen çarpışma önleme rotası belirlenmiş, bunun göre sistemi kullanan gemi hedef gemiye çarpmamak için rotasını değiştirmiştir. Sistem tarafından önerilen yeni çarpışma önleme rotasının uzunluğu 2,8 deniz milidir ve 2 rota değişikliği tavsiye etmektedir. Tavsiye edilen rota, 0,4 deniz mili yolu uzatmış ancak hem çarpışmayı önleyen hem de izlenen rotadan en az sapmayla zaman ve yakıt tasarrufu sağlayan bir rota önerebilmiştir. Gemilerin birbirlerine en yakın geçiş mesafesi 0,43 deniz mili olarak ölçülmüştür.

#### 4.4. Senaryo 4 (Scenario-4)

Dördüncü senaryo ikinci senaryo ile benzerlik göstermektedir. İkinci senaryoda, sistemi kullanan geminin, engel gemiye arkadan yetişerek geçmesi ile alakalı bir senaryo sunulmuştur. İkinci senaryoda sistemi kullanan gemi, engel gemiye yetişirken önünde bir rota değişikliği noktası bulunmaktadır. Dolayısıyla sistem, engel gemiyle çarpışma önleme rotasını hesaplarken aynı zamanda rota değişikliği noktasını da hesaba katmıştır. Bu senaryoda ise rota değişikliği noktası olmadan sistemi kullanan geminin engel gemiyle çarpışmayı önleme rotasını hesaplamadaki başarısı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Şekil 16'da dördüncü senaryo görülmektedir. İkinci senaryoda olduğu gibi bu senaryoda da sistemi kullanan gemi COLREGs kurallarına göre manevra yaparak çarpışmayı önleme rotasını oluşturmak zorundadır.

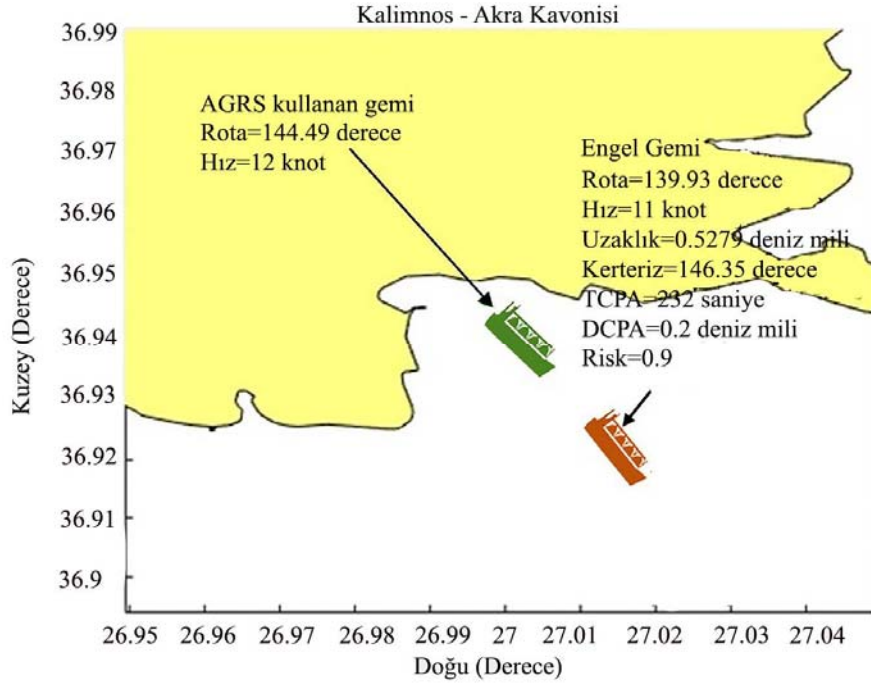


**Şekil 11.** Senaryo-1 için rota tavsiyesi (Route advice for Scenario-1)

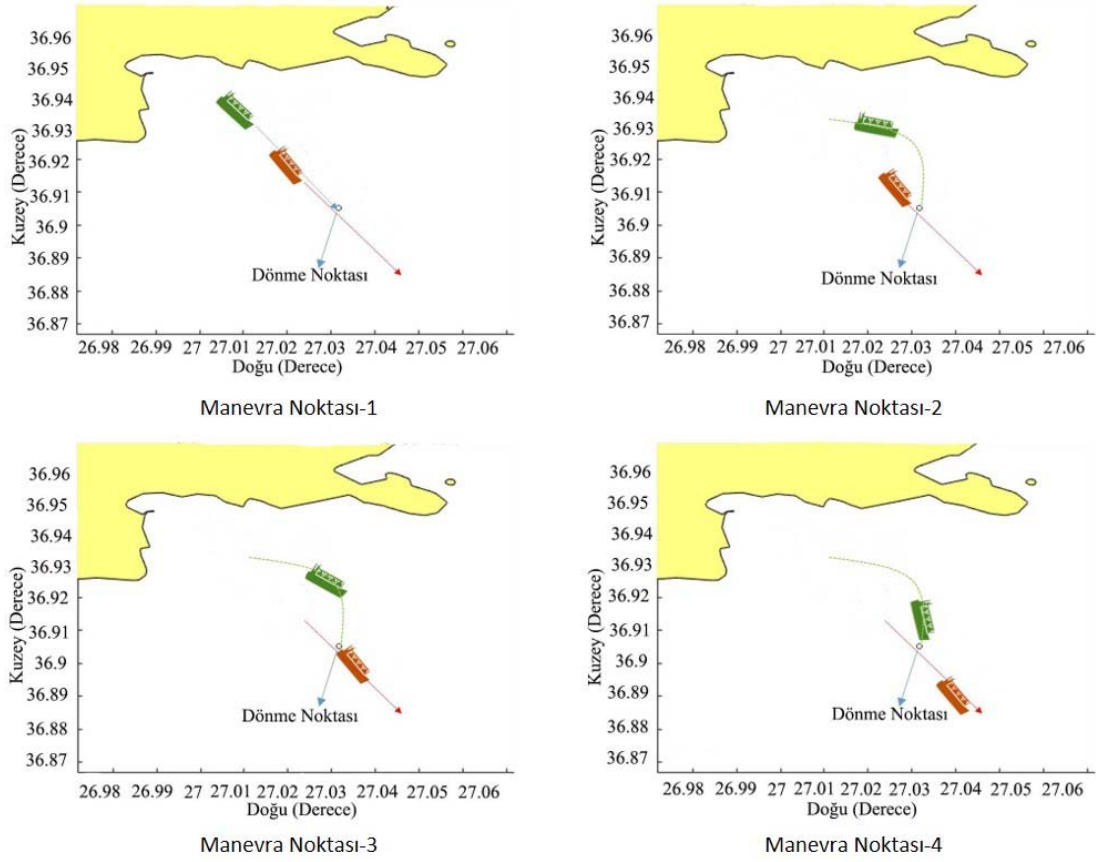
Dördüncü senaryoda sistemi kullanan gemi Yerakini limanından hareket ederek Pachi Oil Terminal limanına doğru yol almaktadır. Hızı 12 knot ve rotası 166 derecedir. Engel gemi ise 4,11 knot hızla 172 derece rotasını takip etmektedir. Gemilerin aralarındaki uzaklık 2,25 deniz milidir ancak sistemi kullanan gemi hızlı olduğu için aralarındaki mesafe kapanmaktadır.

Aynı rotaları izlemeleri durumunda en yakın geçiş mesafeleri (DCPA) 0,24 deniz mili, en yakın geçiş

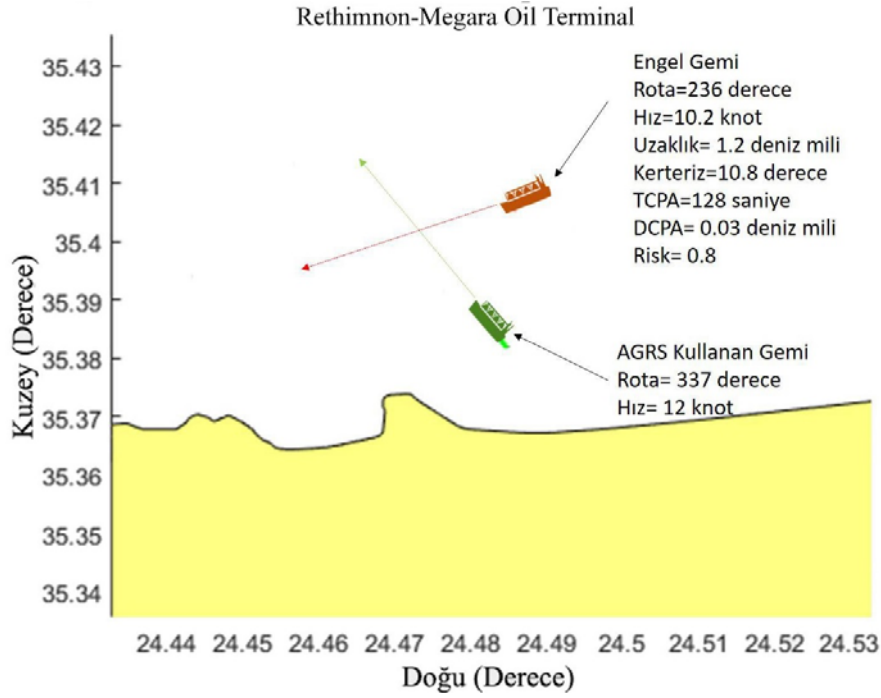
mesafesine kadar geçecek zaman (TCPA) ise 228 saniyedir. Hesaplanan TCPA ve DCPA değerleri dikkate alındığında risk katsayısı 0,65 olarak hesaplanmıştır. Şekil 17'de sistem tarafından önerilen çarpışma önleme rotası görülmektedir. Sistem, rotayı değiştirerek hızı kesmeden engel geminin arkasından seyir güvenliğini tehlikeye sokmayacak şekilde 0,32 deniz mili mesafesinde geçişi sağlayacak rotayı önerebilmiştir. Sistem tarafından önerilen çarpışma önleme rotası 4,8 deniz mili uzunluktadır ve 4 rota değişikliği önermektedir.



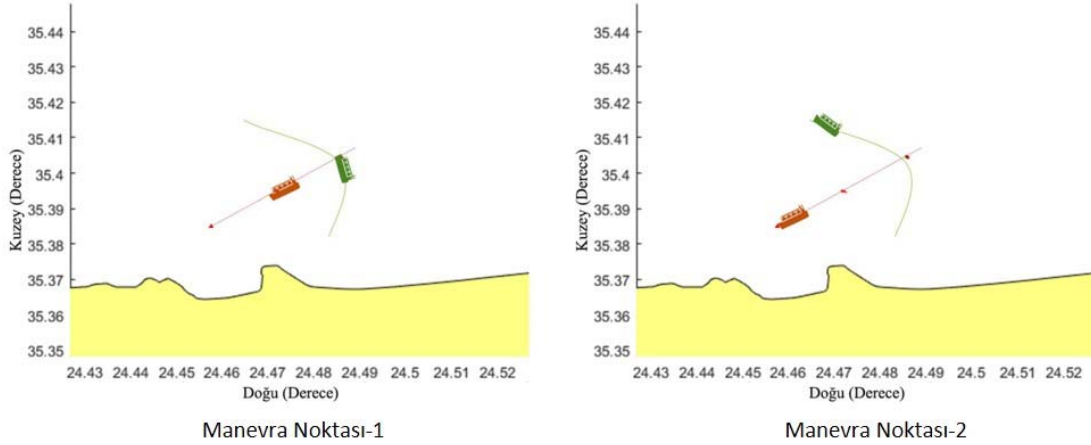
Şekil 12. Senaryo-2 (Scenario-2)



Şekil 13. Senaryo-2 için rota tavsiyesi (Route advice for Scenario-2)



**Şekil 14.** Senaryo-3 (Scenario-3)



**Şekil 15.** Senaryo-3 için rota tavsiyesi (Route advice for Scenario-3)

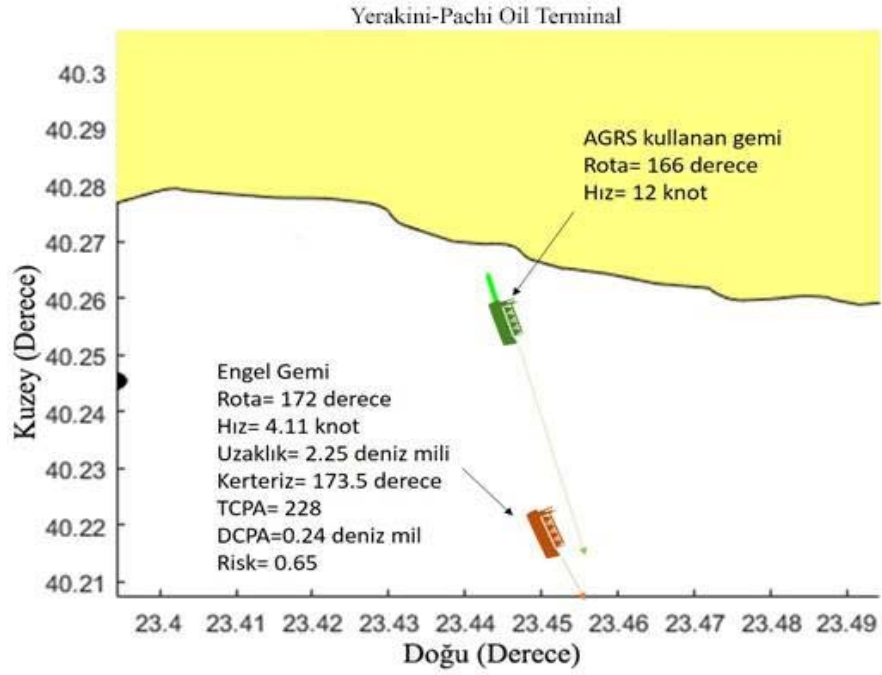
Önerilen rota, yolu 0,3 deniz mili uzatsa da, hem çarpışmayı önleyebilmiş hem de rotadan az sapma ile zaman ve yakıtta tasarruf sağlayabilmiştir. Bu çalışmada ortaya konulan sistem senaryolara uygulandıktan sonra sistemin karar destek sistemi olarak kullanılabilirliğinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sistemde kullanılan yöntemlerden CSGA algoritması diğer çalışmalara göre farklılık arz ettiği için diğer çalışmalara göre üstün yanları hesaplanarak bu bölümde sayısal ve grafiksel olarak ortaya konulmuştur. Tüm senaryolar KKA [17], GA [18] ve PSO [19] ile de tekrarlanarak sonuçlar bulunan rotaların hangisinin daha uygun olduğu ve hangi algoritmanın daha kısa zamanda hesaplamayı tamamladığı gibi değerler açısından

karşılaştırılmıştır. Her algoritma için sonlanma kriteri, en iyi çözümün 10 kere tekrar etmesi olarak belirlenmiştir.

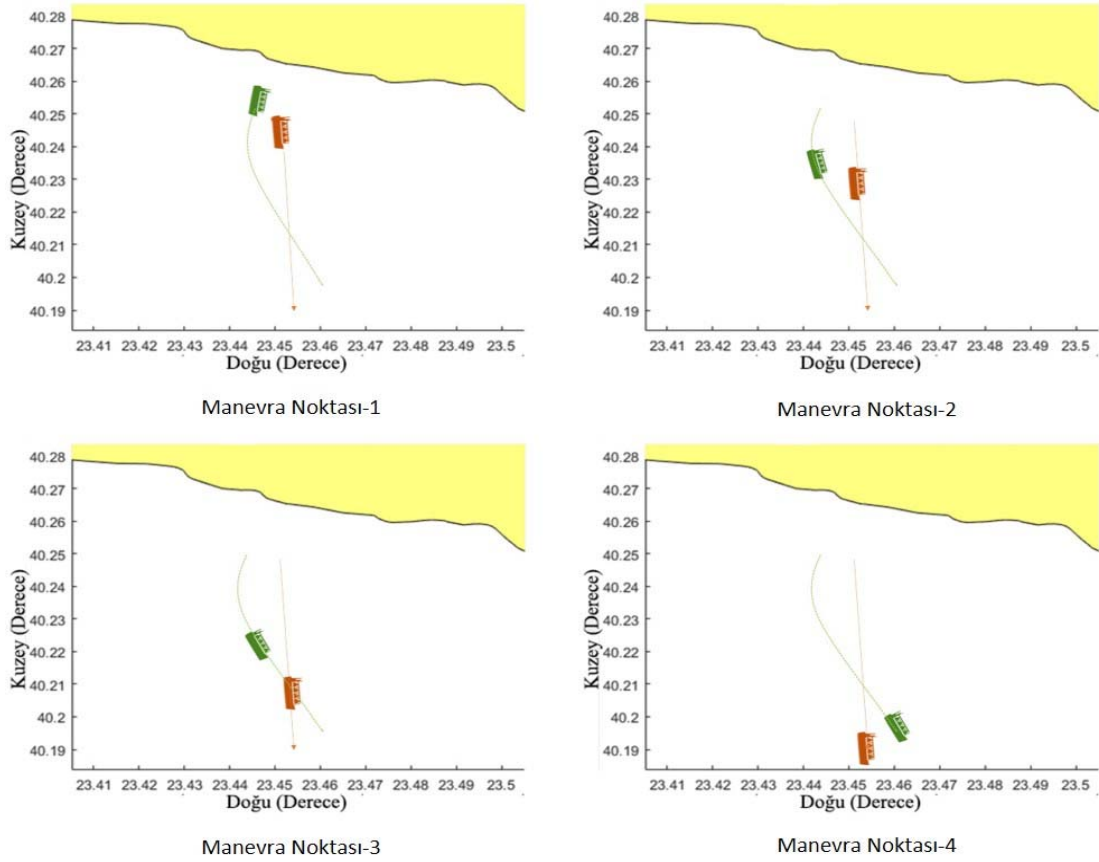
Bulunan rotaların uygunluk kriterleri aşağıda belirtilmiştir:

- Bulunan çarpışmadan kaçınma rotasının minimum uzunlukta olması.
- Çarpışmadan kaçınma rotasının engel geminin etrafında belirlenen 0,3 deniz mili alanın içerisine girmemesi.
- Hesaplamanın mümkün olduğu kadar az sürede tamamlanması.

Bu çalışmada kullanılan CSGA algoritmasının parametreleri Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 16. Senaryo-4 (Scenario-4)



Şekil 17. Senaryo-4 için rota tavsiyesi (Route advice for Scenario-4)

Tablo 5’te, T, algoritmaların hesaplama zamanını, EKY algoritmalar tarafından bulunan çarpışmadan kaçınma rotasının uzunluğunu, EYGM algoritmalar tarafından hesaplanan rotaların riskli gemiye ne kadar yaklaştıklarını, NRU normal rota uzunluğunu, NRU ve EKY değerlerinin bölümünden elde edilen katsayı ise, hesaplamının normal rotadan en az sapılarak oluşturulan çatışmadan kaçınma rotası olup olmadığını anlatmaktadır. 1’e yaklaştıkça

uygunluk artmakta, 0’a yaklaştıkça uygunluk azalmaktadır. Şekil 18’de algoritmaların hesaplama zamanları grafik olarak gösterilmiştir. Bütün senaryolar için CSGA algoritmasının diğer algoritmalara göre en kısa hesaplama zamanına sahip olan algoritma olduğu görülmüştür.

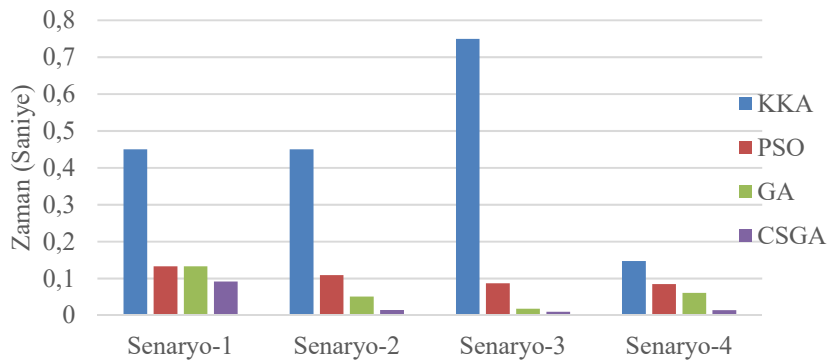
Şekil 19’da algoritmaların en kısa çarpışma önleme rotasını hesaplamalarına ilişkin karşılaştırma grafiği görülmektedir.

**Tablo 4** Kullanılan CSGA algoritması parametreleri (Parameters of CSGA algorithm used in this study)

CSGA Parametreleri	
Guguk Kuşu Sayısı	10
Yuva Sayısı	10
Yumurta	Başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar izlenecek düğümlerin bulunduğu dizi
Mutasyon Olasılığı	%10
Çaprazlama Olasılığı	%10
Ebeveyn Seçimi	Rank Selection Yöntemi
Guguk Kuşu Yumurtasının Bulunma Olasılığı	0 ile 0,3 arasında rasgele bir sayı

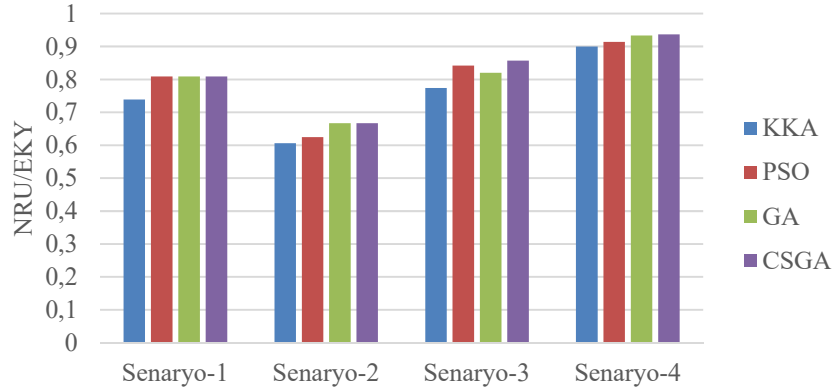
**Tablo 5.** Algoritmaların senaryolarda elde ettikleri değerler (Comparison table of the algorithms)

Senaryo	Parametreler	ACO	PSO	GA	CSGA
Senaryo-1	EKY(deniz mili)	2,3	2,1	2,1	2,1
	EYGM(deniz mili)	0,38	0,3166	0,346	0,35
	T(saniye)	0,45	0,1334	0,1334	0,0921
	NRU(deniz mili)	1,7			
	NRU / EKY	0,739	0,809	0,809	0,809
Senaryo -2	EKY (deniz mili)	1,65	1,6	1,5	1,5
	EYGM (deniz mili)	0,3846	0,3857	0,3928	0,38
	T(saniye)	0,45	0,1092	0,0513	0,015
	NRU (deniz mili)	1			
	NRU / EKY	0,606	0,625	0,667	0,667
Senaryo -3	EKY (deniz mili)	3,1	2,85	2,92	2,8
	EYGM (deniz mili)	0,45	0,4957	0,488	0,43
	T(saniye)	0,7496	0,0873	0,0183	0,0103
	NRU (deniz mili)	2,4			
	NRU / EKY	0,774	0,842	0,82	0,857
Senaryo -4	EKY (deniz mili)	5	4,92	4,82	4,8
	EYGM (deniz mili)	0,34	0,33	0,32	0,32
	T(saniye)	0,1476	0,0854	0,0615	0,0144
	NRU (deniz mili)	4,5			
	NRU / EKY	0,9	0,914	0,933	0,937



**Şekil 18.** Algoritmaların hesaplama zamanları (Calculation time of the algorithms)





**Şekil 19.** Algoritmaların başarı katsayıları (Success coefficients of the algorithms)

Senaryo-1’de uygunluk katsayısının 0,739 ile 0,809 arasında, senaryo-3’te 0,606 ile 0,667 arasında, senaryo-4’te 0,774 ile 0,857 arasında, senaryo-5’te 0,9 ile 0,937 arasında olduğu görülmüştür. CSGA algoritması yine tüm senaryolarda en başarılı sonuçları elde etmiştir. Sonuç olarak çarpışma önleme sisteminde CSGA, KKA, GA, PSO algoritmaları başarılı sonuç vermiştir. Hesaplama zamanı ve rota uygunluğu bakımından en başarılı algoritmanın CSGA algoritması olduğu görülmüştür, ardından sırasıyla GA, PSO ve KKA algoritmaları gelmektedir.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, çevresindeki gemileri ve kara parçalarını Radar ve AIS cihazları üzerinden edindiği bilgileri doğrultusunda belirleyerek çarpışma ihtimalini hesaplayabilen, çarpışmadan kaçınma için rota tavsiyesinde bulunabilen bir karar destek sistemi sunulmuştur. Pozisyon tahmini için yapay sinir ağı, risk büyüklüğü belirlenmesi için bulanık mantık kullanılmıştır. Ayrıca gemi hareketinin gerçek seyir durumlarına uygun olabilmesi için gemi matematiksel modeli kullanılmış ve hesaplamalar gerçek bir harita üzerinde gerçekleştirilerek sunulmuştur. Çarpışma önleme rotasının hesaplanması sırasında kullanılan CSGA algoritması, çarpışma önleme ile alakalı olarak ilk kez bu çalışmada kullanılmış ve sonuç kısmında da detaylı olarak anlatıldığı üzere literatürde kullanılmış olan KKA, GA ve PSO algoritmalarına göre daha iyi sonuçlar verebilmiştir. Sistemin kısıtlamalarından bahsetmek gerekirse, MATLAB programının kullanılmasından dolayı grafiksel işlemlerin ve haritalama işlemlerinin yavaş olması bir kısıt olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca çalışmada bahsedilen Radar, AIS, GPS gibi cihazlardan gelen veriler benzetim yoluyla elde edildiği için sistemin gerçek bir gemi üzerinde çalışabilmesi için bu cihazlarla bağlantısının kurulması gerekmektedir. Bu çalışmada benzetim yoluyla elde edilen radar sistemi ve AIS cihazından gelen bilgiler gerçek bağlantılar üzerinden elde edilirse her geminin kendisine has pozisyon tahmini yapabilen bir yapay sinir ağına sahip olabileceği ve bu durumun daha doğru tahmin yapılması sonucunu doğuracağı değerlendirilmektedir. Bu çalışma gerçek seyir sistemleri ile bağlantısı gerçekleştirildiğinde seyir zabıtlarına uyarı ve manevra tavsiyesi verebilen bir sistem haline getirilebilir. Ayrıca gemi kontrolü ile alakalı sistemler ile birleştirildiğinde otonom su üstü

vasıtalar için çarpışmayı önleyen bir sistem haline getirilebilir. İlerleyen zamanlarda bu konular üzerinde çalışma yapılması planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Apostol-Mates R. ve Barbu A., Human Error- The Main Factor in Marine Accidents, Mircea cel Batran Naval Academy Scientific Bulletin, 2016.
2. Yurdakul M. ve Ipek A.Ö., Development of a decision support system to use in the selection of material handling systems, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 20 (2), 171-181, 2005.
3. İç Y.T. ve Yurdakul M., A decision support system for selection of machining centers, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 23 (1), 85-95, 2008.
4. Belgin Ö., Hybrid Approach in a Production Line for Multi-objective Simulation Optimization, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34 (4), 1847-1859, 2019.
5. Naeem L. W., Rajabally E., Watson G., Mills T., Bhuiyan Z. ve Salter I., COLREGs-Compliant Path Planning for Autonomous Surface Vehicles: A Multiobjective Optimization Approach, IFAC PapersOnLine, 2017.
6. Chen P., Shi G., Liu S. ve Zhang Y., Decision Support Based on Artificial Fish Swarm for Ship Collision Avoidance From Ais Data, International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Chengdu-China, 31-36, 15-18 Temmuz, 2018.
7. Shena H., Hashimoto H., Matsuda A., Taniguchi Y., Terada D. ve Guo C., Automatic Collision Avoidance of Multiple Ships Based on Deep Q-learning, Applied Ocean Research, 86, 268-288, 2019.
8. Geng X., Wang Y., Wang P. ve Zhang B., Motion Plan of Maritime Autonomous Surface Ships by Dynamic Programming for Collision Avoidance and Speed Optimization, Sensors, 19 (2), 1-20, 2019.
9. Inan T. ve Baba A. F., Particle Swarm Optimization Based Collision Avoidance, Turkish Journal of

- Electrical Engineering & Computer Sciences, 27 (3), 2137-2155, 2019.
10. Li S., Liu J., Negenborn R. R. ve Ma F., Optimizing the joint collision avoidance operations of multiple ships from an overall perspective, *Ocean Engineering*, 191, 1-16, 2019.
  11. Fossen T. ve Perez T. *Marine Control*. [www.marinecontrol.org](http://www.marinecontrol.org). Yayın Tarihi 2004. Erişim Tarihi Aralık, 2016.
  12. Marquardt D. W., An Algorithm for Least-squares Estimation of Nonlinear Parameters, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 11 (2), 431-441, 1963.
  13. Tijani I. B., Akmeliawati R., Legowo A. ve Budiyo A., Nonlinear Identification of a Small Scale Unmanned Helicopter Using Optimized NARX Network with Multiobjective Differential Evolution, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 33, 99-115, 2014.
  14. Zadeh L. A., *Fuzzy Sets*, World Scientific, 394-432, 1996.
  15. International Maritime Organization. Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea. <http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/COLREG.aspx>. Yayın Tarihi Temmuz 15, 1997. Erişim Tarihi Nisan 4, 2017.
  16. Yang X.-S. ve Deb S., Cuckoo Search via Lévy Flights, *World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, Coimbatore-India, 9-11 Aralık, 2009.
  17. Lazarowska A., Ant Colony Optimization Based Navigational Decision Support System., *Procedia Computer Science*, 35, 1013-1022, 2014.
  18. Tsou M. C., Kao S. L. ve Su C.M., Decision Support from Genetic Algorithms for Ship Collision Avoidance Route Planning and Alerts., *Journal of Navigation*, 63 (1), 167-182, 2010.
  19. Liu L., He D., Ma Y., Li T. ve Li J., Research on Ships Collision Avoidance Based on Chaotic Particle Swarm Optimization, *International Conference on Smart Vehicular Technology, Transportation, Communication and Applications*, Kaohsiung-Taiwan, 2018.