



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Ticari gemiler için seyir süresi ve yakıt tüketiminin azaltılması amaçlı, hava ve deniz şartlarına göre rota optimizasyonu sistemi

Weather routing optimization system for the purpose of reducing fuel consumption and navigation time of merchant ships

Yazar(lar) (Author(s)): Timur İNAN¹, Ahmet Fevzi BABA²

ORCID¹: 0000-0002-6647-3025

ORCID²: 0000-0003-4834-0912

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): İnan T., Baba A.F., “Ticari gemiler için seyir süresi ve yakıt tüketiminin azaltılması amaçlı, hava ve deniz şartlarına göre rota optimizasyonu sistemi”, *Politeknik Dergisi*, 24(3): 879-892, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.643333

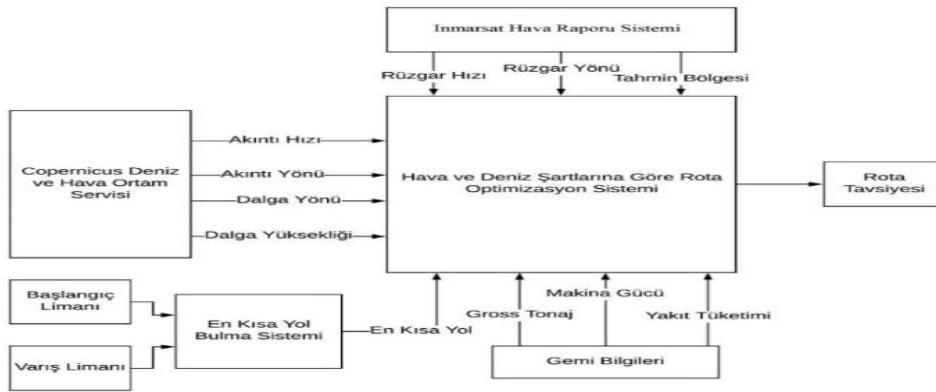
Ticari Gemiler için Seyir Süresi ve Yakıt Tüketiminin Azaltılması Amaçlı, Hava ve Deniz Şartlarına Göre Rota Optimizasyonu Sistemi Weather Routing Optimization System for the Purpose of Reducing Fuel Consumption and Navigation Time of Merchant Ships

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Hava ve Deniz Şartlarına Göre Rota Optimizasyonu /Weather Routing
- ❖ Guguk Kuşu Genetik Algoritması/Cuckoo Search Genetic Algorithm
- ❖ Inmarsat Hava Raporu Sistemi/ Inmarsat Weather Report System
- ❖ Copernicus Hava ve Deniz Tahmin Sistemi/Copernicus Sea and Weather Prediction System
- ❖ Hava ve Deniz Şartlarının Gemi Hızına Etkisi/Effect of Sea and Weather Conditions to Ship's Speed

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Sistemde hesaplamada CSGA algoritması kullanılmıştır. Gerekli deniz ve hava durumu verileri Inmarsat ve Copernicus servislerinden elde edilmiştir.. / For weather routing calculations CSGA Algorithm was used. Datas which were needed for calculations were obtained from Inmarsat and Copernicus services.



Şekil Sistemin blok diyagramı/ Figure. Block diagram of the proposed system

Amaç (Aim)

Ticari gemilerin rota optimizasyonu konusunda karar destek sistemi olarak çalışabilecek bir sistemin ortaya konulması/ To build a decision support system to find the optimal routes in different sea and weather conditions.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Çalışma sahası olarak Ege Denizi seçilmiştir. Hesaplama yöntemi olarak CSGA algoritması kullanılmıştır. / In this study, the Aegean Sea is selected as environment. For calculations, CSGA Algorithm is used.

Özgünlük (Originality)

Çalışma, CSGA algoritmasının deniz ve hava şartlarına göre orta optimizasyonu amacıyla kullanıldığı ilk çalışmadır.. / This study is the first study which uses CSGA Algorithm for the purpose of weather routing.

Bulgular (Findings)

Sert hava ve deniz şartlarında ise ortaya konulan sistemin bazı limanlar arasında alternatif rotalar bulabildiği gözlemlenmiştir. / The system was able to find optimal routes in rough weather conditions.

Sonuç (Conclusion)

Inmarsat ve Copernicus sistemlerinden aldığı veriyi CSGA algoritması ile hesaplayarak Ege Denizi limanları arasında optimal rotalar bulabilen bir sistem ortaya konulmuştur. / A weather routing system which obtains sea and weather data from Inmarsat and Copernicus services and finds optimal routes using CSGA is proposed.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Ticari Gemiler İçin Seyir Süresi ve Yakıt Tüketiminin Azaltılması Amaçlı, Hava ve Deniz Şartlarına Göre Rota Optimizasyonu Sistemi (Ege Denizi Örneği)

Araştırma Makalesi / Research Article

Timur İNAN^{1*}, Ahmet Fevzi BABA²

¹Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği, Altınbaş Üniversitesi, İstanbul/Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Marmara Üniversitesi, İstanbul/Türkiye

(Geliş/Received : 05.11.2019 ; Kabul/Accepted : 09.05.2020 ; Erken Görünüm/Early View: 15.05.2020)

ÖZ

Ticari gemilerin, seyirlerini en kısa zamanda gerçekleştirmesi hem yakıt tasarrufu hem de zaman tasarrufu açısından önem taşımaktadır. Gemilerin hızını etkileyen faktörler rüzgâr, dalga ve akıntı yön ve büyüklükleridir. Bu çalışmada, hava ve deniz şartlarına ait tahmin bilgilerini Inmarsat ve Copernicus servislerinden elde ederek, Ege Denizi üzerinde bulunan limanlar arasında yapılabilecek olası seyirler için rota optimizasyonu sağlayabilen bir karar destek sistemi ortaya koyulmuştur. Ortaya konulan sistem, belirlenen başlangıç ve bitiş limanları arasında kullanılması gereken rotayı, deniz ve hava şartlarına göre en uygun şekilde seçebilmektedir. Uygunluk kriteri, seyir süresinin ve yakıt tüketiminin mümkün olan en az değerde olmasıdır. Hesaplama yöntemi olarak CSGA (Cuckoo Search Genetic Algorithm) algoritması kullanılmıştır. Limanlar arasında seyir yapılabilmesi amacıyla kullanılacak en kısa yollar hava ve deniz şartları göz ardı edilerek Dijkstra algoritması ile hesaplatılmış ve kayıt altına alınmıştır. Hava ve deniz şartları Inmarsat ve Copernicus servislerinden elde edilerek en kısa yol için maliyet hesaplanmış, ardından da CSGA algoritması ile daha optimal bir rotanın bulunup bulunmadığı hesaplatılmıştır. Ege Denizi limanları arasındaki mesafeler uzun olmadığı için sakin hava şartlarında en kısa yol rotasından daha uygun rota veya rotalar bulunamamıştır. Ancak, hava ve deniz şartlarının sert olduğu kış aylarında, sistemin daha uygun alternatif rotalar bulabildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CSGA, rota optimizasyonu, ege denizi, inmarsat, copernicus.

Weather Routing Optimization System for the Purpose of Reducing Fuel Consumption and Navigation Time of Merchant Ships (Aegean Sea Model)

ABSTRACT

To minimize the voyage time and fuel consumption is a crucial matter for commercial vessels. The components which effect to ship's speed are wind, wave and sea current direction and magnitudes. In this study, we recommend a weather routing system which gets sea and weather forecasts from Inmarsat and Copernicus services and calculates alternative optimal routes for any voyage in the Aegean Sea. CSGA (Cuckoo Search Genetic Algorithm) is used for calculation. Firstly, the shortest paths between the ports were calculated and stored without considering the sea and weather conditions. After getting the forecasts from Inmarsat and Copernicus services, the cost of the shortest path was calculated and proposed algorithm tried to find a better route to minimize the sailing time and fuel consumption. Because, the Aegean Sea ports are not so far from each other, under calm sea and weather conditions, no better routes than the shortest path routes were found. But, in rough sea and weather conditions in winter, the system could find alternatives way to reduce the sailing time and fuel consumption.

Keywords: CSGA, weather routing, aegean sea, inmarsat, copernicus.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ticari gemilerin seyirlerini en kısa zamanda gerçekleştirmeleri yakıt tasarrufu, zaman tasarrufu,

personel masraflarının azaltılması, havaya salınan karbon monoksit miktarının azalması gibi birçok faktör açısından önemli bir konudur. Bu çalışmada, hava ve deniz şartlarına göre optimal rotayı hesaplayabilen bir sistem ortaya konulmuştur. Bu sistem, AGRS (Akıllı Gemi Rotalama Sistemi) adı verilen ve tarafımızdan

*Sorumlu Yazar (Corresponding author)
e-posta : timurinan@arel.edu.tr

geliştirilmiş olan rotalama sisteminin bir parçasıdır [1]. Geçmişten günümüze kadar hava ve deniz şartlarına göre rota optimizasyonu konusu üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Çalışmalar dünya üzerindeki değişik seyir bölgeleri ile alakalı olmakla birlikte rota optimizasyonu için kullanılan yöntem, hava ve deniz şartları tahmini için kullanılan servisler ve optimize edilmek istenilen kriterler (seyir süresi, yakıt tüketimi, seyir kalitesi, gemi hızı) bakımından da farklılık göstermektedirler. Hava ve deniz şartlarına göre gemi rotalama konusunda yapılan ilk çalışma 1957 yılında yapılmıştır ve R:W. James'e aittir [2]. Seyir zamanının azaltılmasını ana amaç olarak alan çalışmada rota optimizasyonu için isokron metodu kullanılmıştır. Bu metod, kullanıldığı zamana göre iyi bir çalışma olsa da henüz bilgisayarların o senelerde performansı bugünkü performanslarından çok uzak olduğu için hesaplamaların bilgisayar ortamına aktarılması ve çalıştırılması mümkün olmamıştır. Hagiwara ve Spaans, James'e ait metodu bilgisayar üzerinde çalışacak hale getirerek gemiler için hava ve deniz şartlarına göre tavsiye verebilen bir sistem ortaya koymuşlardır [3]. Lo ve McCord, Gulf Stream akıntısının hâkim olduğu bölgelerde akıntı tahmini ve gemi hızına etkisi konusunu inceleyerek hangi rotaların izlenmesi gerektiği konusu üzerinde durmuşlardır [4]. Pacheco ve Soares 2007 yılında yaptıkları çalışmada Kuzey Atlantik Okyanusu bölgesini çalışma alanı olarak kabul ederek deniz ve hava şartlarına göre seyir maliyetinin en düşük hale getirilebilmesi için izlenmesi gereken rotaları hesaplayabilen bir sistem ortaya koymuşlardır [5]. Padhy ve arkadaşları, Kuzey Hint Denizi üzerinde yapılacak seyirlerde kullanılmak üzere bir dalga modeli kullanmışlardır. Ortaya koydukları sistem, dalga tahmini için Geosat verilerini, optimal rota hesaplaması içinse Dijkstra algoritmasını kullanmaktadır [6]. 2009 yılında, Szałpczynska ve Smierzchalski, Atlantik Okyanusu üzerinde Lisbon ve Miami limanları arasında çalışma sahası olarak kullanmışlardır. Bu çalışmada çoklu ölçüt optimizasyonu olarak adlandırdıkları iki ayrı yöntem kullanmışlardır. Bunları SPEA ve TOPSIS olarak tanımlanmışlardır. SPEA çok kriterli evrimsel algoritma ve TOPSIS ise çok kriterli seviyelendirme metodu olarak tanımlanmıştır [7]. Hinnenthal ve Gunther, hava raporlarını kullanarak bir "robust pareto-optimum" rotalama sistemi ortaya koymuşlardır. Sistemde ECMWF hava tahmin raporlarını kullanarak deniz ve hava şartlarına göre geminin hızının nasıl etkileyeceğini ve geminin hızının düşmesine en az sebep olacak rotanın nasıl belirleneceği ortaya konulmuştur. Bahsi geçen çalışmada hesaplamalar için Atlantik Okyanusu, hesaplama yöntemi olarak da genetik algoritma kullanılmıştır [8]. Delitala ve arkadaşları Akdeniz üzerindeki limanlar arasında uzun seyir rotalarını kullanarak bir rotalama sistemi ortaya koymuşlardır. Ortaya koydukları sistem hava raporu için WERMED, Meteo France, UK Meteorological Office ve Danish Meteorological Office servisleri kullanılmıştır. Çalışmada, gemi güvenliği, yakıt tüketimi, zaman ve yolcu konforu gibi konular optimize edilmeye

çalışılmıştır. Çalışmada hesaplama için bir yöntem kullanılmamıştır. Önceden hazırlanmış birkaç rota üzerinden karşılaştırma yapılmıştır [9]. Maki ve arkadaşları, RCGA tabanlı bir rotalama sistemi ortaya koymuşlardır. Sistemde NOAA ve Wave Watch III servisleri üzerinden alınan hava raporları kullanılmıştır. Sistem çalışma alanı olarak Atlantik Okyanusu kullanılmıştır [10]. Kosmas ve Vlachos, Ege denizini konu alan bir çalışma ortaya koymuşlardır. Çalışmada hesaplama yöntemi olarak tavlama benzetimi algoritması kullanılmıştır [11]. Wei ve diğerleri, NCEP servisinin dalga tahmin verilerini kullanarak Atlantik Okyanusu'nu konu alan bir çalışma ortaya koymuşlardır. Çalışmada optimal rotanın bulunması için dinamik programlama metodunu kullanılmıştır [12]. Mannarini ve diğerleri, MFS servisinin verilerini kullanan bir karar destek sistemi ortaya koymuşlardır. Çalışmada hesaplama yöntemi olarak Dijkstra's algoritması kullanılmış ve çalışma sahası olarak Akdeniz seçilmiştir [13]. Fang ve Lin, gemi rotalama amaçlı olarak 3DMI metodu kullanmışlardır. Sistem Atlantik Okyanusu üzerinde uygulanmış, hava raporları için WaveWatch III servisi verileri kullanılmıştır [14]. Tsou ve Cheng, genetik algoritma ile karınca kolonisi algoritmasının bir arada kullanıldığı melez bir yöntem uygulayarak Inmarsat hava raporları ile Atlantik Okyanusu ile rotalama optimizasyonu ile alakalı bir çalışma ortaya koymuşlardır [15]. Cai ve diğerleri, dalga ve akıntının gemi hızı üzerindeki etkilerini ortaya koymuşlardır [16]. Veneti ve diğerleri, evrimsel algoritma tabanlı, gerçek zamanlı bir rotalama sistemi ortaya koymuşlardır. Kepaptsoglou ve diğerleri Ege denizi üzerinde hava ve deniz şartlarına bağlı olarak filo yönlendirme çalışması sunmuşlardır. Çalışmada yöntem olarak genetik algoritma kullanılmıştır [17]. Kobayashi ve diğerleri, okyanus aşırı seyir yapan gemiler için bir rotalama sistemi ortaya koymuşlardır. NCEP servisinin hava raporlarını kullanan bu çalışma Atlantik Okyanusu üzerinde çalışmaktadır ve hesaplama yöntemi olarak Powell metodu kullanılmıştır [18]. Zhu ve diğerleri, modifiye edilmiş Dijkstra algoritmasını hesaplama yöntemi olarak kullanan, ECMWF servisinin hava raporlarını kullanan ve Pasifik Okyanusu üzerinde çalışan bir sistem ortaya koymuşlardır [19]. Vettor ve Soares, Atlantik Okyanusu ve Akdeniz'i konu alan, gemi üzerinde çalışan bir sistem ortaya koymuşlardır. Bu sistem hesaplama yöntemi olarak genetik algoritmayı kullanmaktadır. Hesaplama kullanılan dalga verileri ise MM5, SWAN ve WAM dalga modellerinden yararlanarak elde edilmektedir [20]. Lee ve diğerleri, gemi hızı optimizasyonu ile ilgili bir sistem ortaya koymuşlardır. Çalışma parçacık sürü algoritması yönteminin kullanmakta, hava ve deniz şartlarının belirlenmesi için Copernicus servisinde yararlanmaktadır. Çalışma Akdeniz üzerinde uygulanmıştır [21]. Veneti ve diğerleri tarafından ortaya konulan bir karar destek sisteminde Ege denizi üzerinde çalışan bir karar destek sistemi ele alınmıştır. Yöntem olarak "Bi-objective shortest path" algoritması kullanılmıştır. Çalışmanın amacı yakıt tüketiminin en az

indirgenmesidir [22]. Li ve diğerleri, genetik algoritma tabanlı bir karar destek sistemi üzerinde durmuşlardır. Sistem EMWC servisi verilerini kullanarak optimal rota hesabı yapmakta ve karar destek amaçlı kullanıcıya sunmaktadır [23]. Li ve diğerleri, EMWC servisi verilerini kullanan, Atlantik Okyanusu üzerinde çalışan, hesaplama yöntemi olarak genetik algoritma kullanan bir sistem üzerinde durmuşlardır [24]. Tanaka ve Kobayashi, iki liman arasında hız ve rota optimizasyonu sağlayan bir algoritma ortaya konulmuştur. Japonya'nın iki limanı arasında hava şartlarına bağlı olarak izlenmesi gereken rotalar ortaya konulmuştur. Hesaplamalarda çalışmaya özgü bir algoritma kullanılarak algoritmanın başarısı ortaya konulmuştur [25]. Literatürde rota optimizasyonu için Ege Denizi ile alakalı sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların Yunanistan limanları arasındaki yerel bölgeleri içermektedir. Türk ve Yunan limanlarını içeren ve Ege Denizi'ni tamamıyla kapsayan bir çalışmaya rastlanmamıştır. CSGA algoritmasının kullanıldığı ilk çalışma olması özelliği ile çalışmamız diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir. Bu çalışmada düğümlerin gerçek seyir durumlarında kullanılan düğüm belirleme mantığına yakın şekilde oluşturulmasının diğer çalışmalara göre daha uygulanabilir bir sistem ortaya çıkmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Düğüm sayısının az tutulduğu çalışmalarda [11], optimal rotanın birkaç alternatif

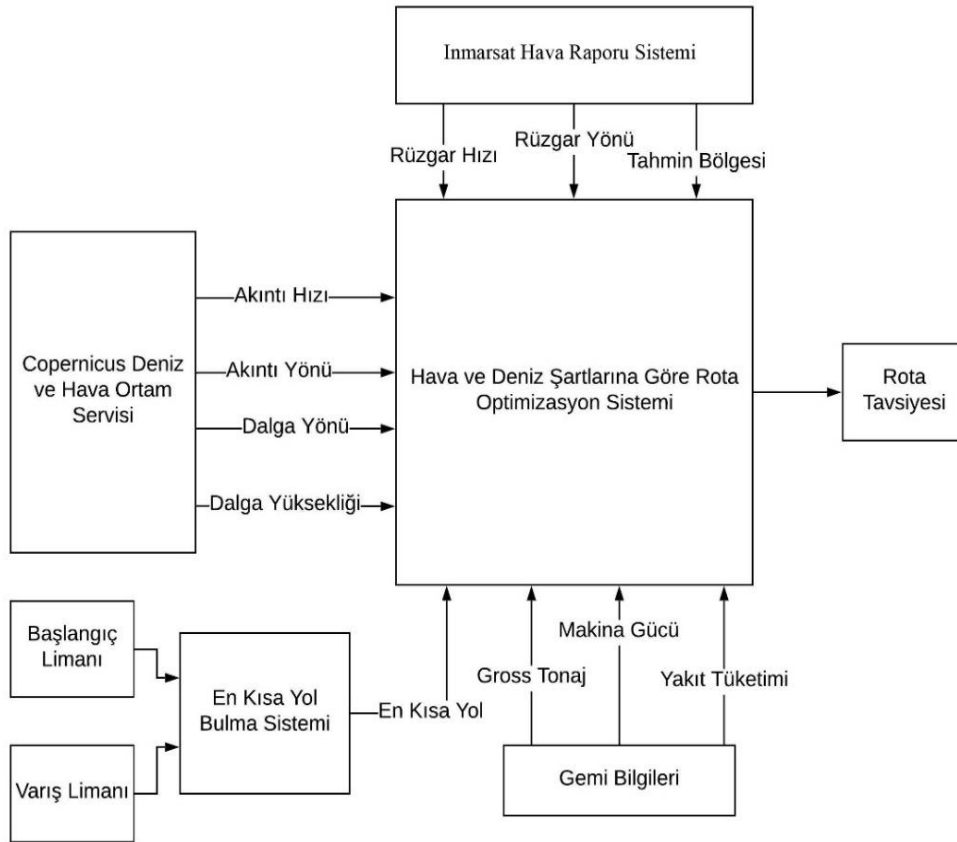
içerisinden seçildiği, düğüm sayısının fazla olduğu çalışmalarda ise bulunan sonuçların gerçek hayatta uygulanabilirliğinin az olduğu gözlemlenmiştir [22].

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Şekil 1'de, önerilen hava ve deniz şartlarına göre rota optimizasyon sistemi görülmektedir. Önerilen sistemin giriş bilgileri, Copernicus deniz ve hava ortam servisinden alınan bilgiler, Inmarsat sisteminden alınan bilgiler, en kısa yol tavsiye sisteminden alınan en kısa yol bilgisi ve hesaplamada kullanılan gemiye ait özelliklerdir. Sistem, çıkış olarak rota tavsiyesi üretmektedir. Saatlik dalga yön ve yükseklikleri, akıntı yön ve büyüklükleri Copernicus servisinden elde edilmiştir. Rüzgâr yön ve hızı ise Inmarsat hava raporlarından elde edilmiştir.

Geminin olası rotası üzerindeki rüzgâr yön ve hızlarının elde edilebilmesi için Inmarsat sisteminin belirlediği tahmin bölgeleri kullanılmıştır. Kullanılan tahmin bölgelerine ait detay Şekil 3'te görülmektedir.

Önerilen sistemin girişi olan en kısa yol bilgisi, başlangıç ve varış limanları arasındaki hava ve deniz şartları



Şekil 1. Hava ve deniz şartlarına göre rota optimizasyon sistemi blok diyagramı (Block diagram of the proposed weather routing system)

gözetilmeden hesaplanmış rotadır. CSGA algoritması, hava ve deniz şartlarını göz önüne alarak bulduğu rotayı en kısa yol tercih edildiğinde elde edilen maliyetle karşılaştırmakta, daha uygun bir rota tespit ettiğinde bulduğu rotayı tavsiye etmekte, bulamadığında ise en kısa rota en uygun rota olarak tavsiye edilmektedir.

Sistem çıkışı olan rota tavsiyesinde seyahat süresi ve yakıt tüketimi önemli bir faktördür.

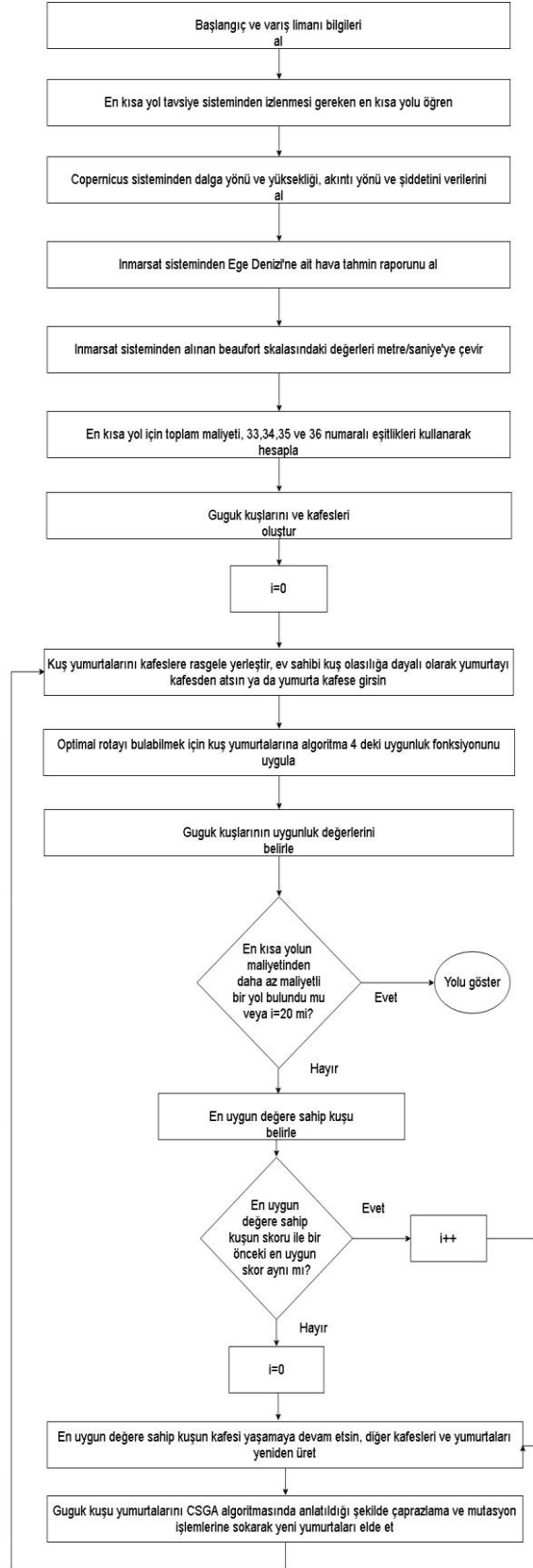
Şekil 2’de önerilen sistemin akış diyagramı görülmektedir.

Önerilen sistem, seçilen başlangıç ve varış limanları arasındaki en kısa rotayı, en kısa yol tavsiye sisteminden elde etmektedir. Elde edilen en kısa rota kullanıldığında ne kadar süre sonra varış limanında olunacağı ve yakıt tüketiminin ne olacağı Copernicus sisteminden ve Inmarsat sisteminden alınan veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır. CSGA algoritması, en kısa yoldan daha uygun bir rota olup olmadığını 1-12 numaralı eşitlikler arasındaki eşitlikler ve Şekil 2’deki akış diyagramını kullanarak hesaplamaktadır. En kısa rotadan daha uygun bir rota bulunduğunda veya en uygun çözüm 20 kere aynı değerde tekrarlandığında hesaplama sona ermektedir.

Aşağıda hava ve deniz şartlarına göre rota optimizasyonu sistemini oluşturulan bileşenlerin detayları açıklanmaktadır.

2.1. Copernicus Deniz Ortam Servisi Verileri (Copernicus Data)

Copernicus deniz ortam servisi, küresel olarak hava ve deniz şartlarını ileriki tarihlere yönelik olarak verebilen bir servistir. Sunduğu veriler sistemin web sitesi üzerinden filtre edilerek istenilen seyir bölgesi için tahminler elde edilebilmektedir. Servisin sunduğu veri NetCDF (Network Common Data Form) formatındadır. NetCDF formatı verilerin diziler halinde saklanması, erişilmesi ve kullanılması için kullanılan bir formattır. Bu formattaki verilerin işlenebilir hale getirilebilmesi için MATLAB programının fonksiyonları kullanılmıştır. NetCDF formatındaki dosya içerisinde hava ve deniz şartları ile alakalı birçok veri bulunmaktadır. Bu verilerden dalga yönü, dalga yüksekliği, enlemsel akıntı hızı ve boylamsal akıntı hızı verileri matris formuna dönüştürülerek kullanılmıştır. Çizelge 1’de NetCDF formatındaki verilerin içinden hangi ada sahip olan verilerin alındığı ve içlerinde hangi verilerin bulunduğu verilmiştir.



Şekil 2. Hava ve deniz şartlarına göre rota optimizasyon sisteminin akış diyagramı (Flow chart of the proposed weather routing algorithm)

Çizelge 1. Copernicus servsinden alınan veriler (Data types gathered from Copernicus service)

Veri Açıklaması	Verinin Dosyadaki Kısaltma Adı	Birimi
Dalga Yönü	VDMR	Derece
Dalga Yüksekliği	VHM0	Metre
Boylamsal Akıntı Hızı	U _o	m/sn
Enlemsel Akıntı Hızı	V _o	m/sn

2.2. Inmarsat Hava Raporu Sistemi (Inmarsat Weather Report System)

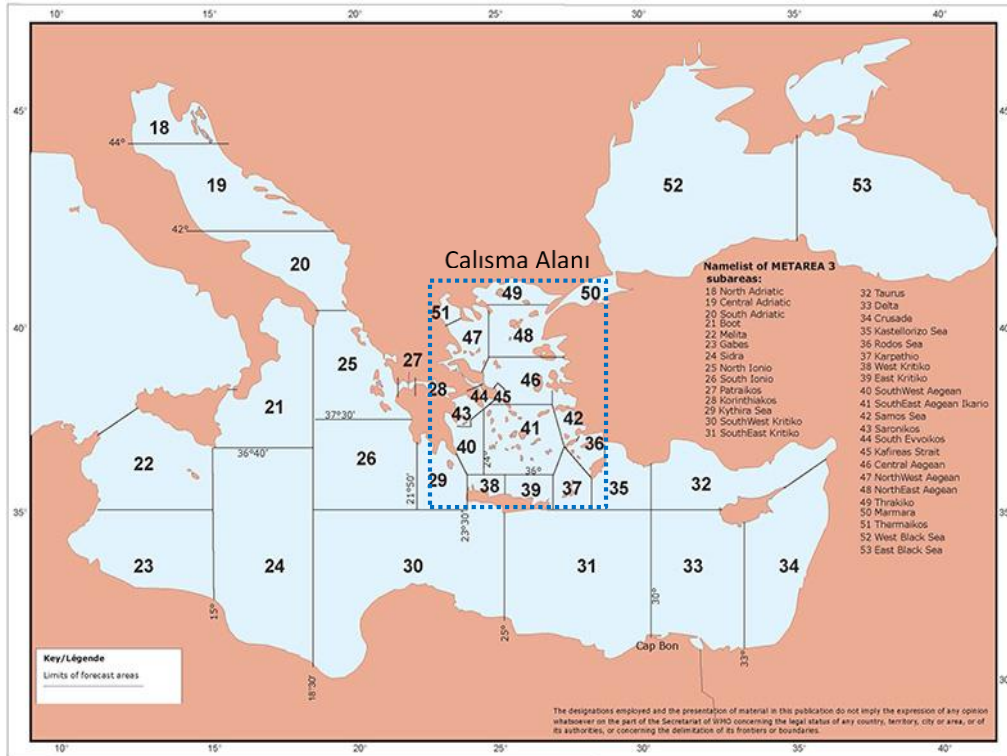
Inmarsat sistemi dünya üzerindeki tüm gemilere hava raporu hizmeti sunan bir sistemdir. Sistem hava raporlarını belirli bölgelere ayırarak vermektedir. Ege Denizi'nin de içinde bulunduğu Akdeniz için bölge ismi Metarea-3 olarak sistem tarafından tanımlanmaktadır. Şekil 3'te Metarea-3 bölgesi için Inmarsat meteorolojik bölgeleri ve bu bölgelerin adları görülmektedir. Bu çalışmanın konusu olan bölge şekil üzerinde gösterilmiştir.

2.1 Hava ve Deniz Şartlarının Gemi Hızına Etkisinin Hesaplanması (Calculation of Weather Effect to Ship Speed)

Optimal rotanın bulunabilmesi için hava ve deniz şartlarının gemi hızına etkisinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplama için 1 numaralı eşitlik kullanılmaktadır [26]

V_a geminin gerçek hızını (knot), V_o geminin deniz şartları göz önüne alınmaksızın normal hızını (knot), h dalga boyunu (m), q dalga ile gemi rotasının arasındaki açıyı (radyan), α rüzgâr ile gemi rotasının arasındaki açıyı (radyan), F rüzgâr hızını (m/s), W ise geminin deplasmanını (ton) temsil etmektedir. 1 numaralı eşitlikte görüleceği üzere rüzgâr hızının m/s cinsinden olması gerekmektedir. INMARSAT sistemi üzerinden elde edilen hava raporlarında rüzgâr şiddeti Beaufort skalasında verilmektedir. Beaufort skalasından m/s çevrimi yapabilmek için Çizelge 2 kullanılmıştır

Copernicus ve Inmarsat sistemlerinden alınan dalga yönü ve yüksekliği, rüzgâr hızı ve yönü, akıntı hızı bilgileri bir araya getirilerek kullanılan düğüm için geminin hızı hesaplatılmıştır. Gemi hızına akıntının etkisinin hesaplanabilmesi amacıyla 2, 3 ve 4 numaralı eşitlikler kullanılmıştır [27].



Şekil 1. Inmarsat Metarea-3 bölgesi (www.sca-seck.com) (Inmarsat Metarea-3 region)

$$V_a = V_0 - (1,08 \cdot h - 0,126 \cdot q \cdot h + 2,77 \cdot 10^{-3} \cdot F \cdot \cos \alpha) \cdot (1 - 2,33 \cdot 10^{-7} W \cdot V_0) \quad (1)$$

Çizelge 1. Beaufort-m/s dönüşüm çizelgesi (Beaufort to m/s conversion table)

Beaufort	Tanım	m/s
0	Sakin	0-0,2
1	Esinti	0,3-1,5
2	Hafif Rüzgâr	1,6-3,3
3	Tatlı Rüzgâr	3,4-5,4
4	Orta Kuvvette Meltem	5,5-7,9
5	Sert Rüzgâr	8,0-10,7
6	Kuvvetli Rüzgâr	10,8-13,8
7	Fırtınamsı Rüzgâr	13,9-17,1
8	Fırtına	17,2-20,7
9	Kuvvetli Fırtına	20,8-24,4
10	Tam Fırtına	24,5-28,4

Copernicus ve Inmarsat sistemlerinden alınan dalga yönü ve yüksekliği, rüzgâr hızı ve yönü, akıntı hızı bilgileri bir araya getirilerek kullanılan düğüm için geminin hızı hesaplatılmıştır. Gemi hızına akıntının etkisinin hesaplanabilmesi amacıyla 2, 3 ve 4 numaralı eşitlikler kullanılmıştır [27].

$$V_{cx} = V_c \cdot \cos(\alpha_c) - V_x \quad (1)$$

$$V_{cy} = V_c \cdot \sin(\alpha_c) - V_y \quad (2)$$

$$V_0 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (3)$$

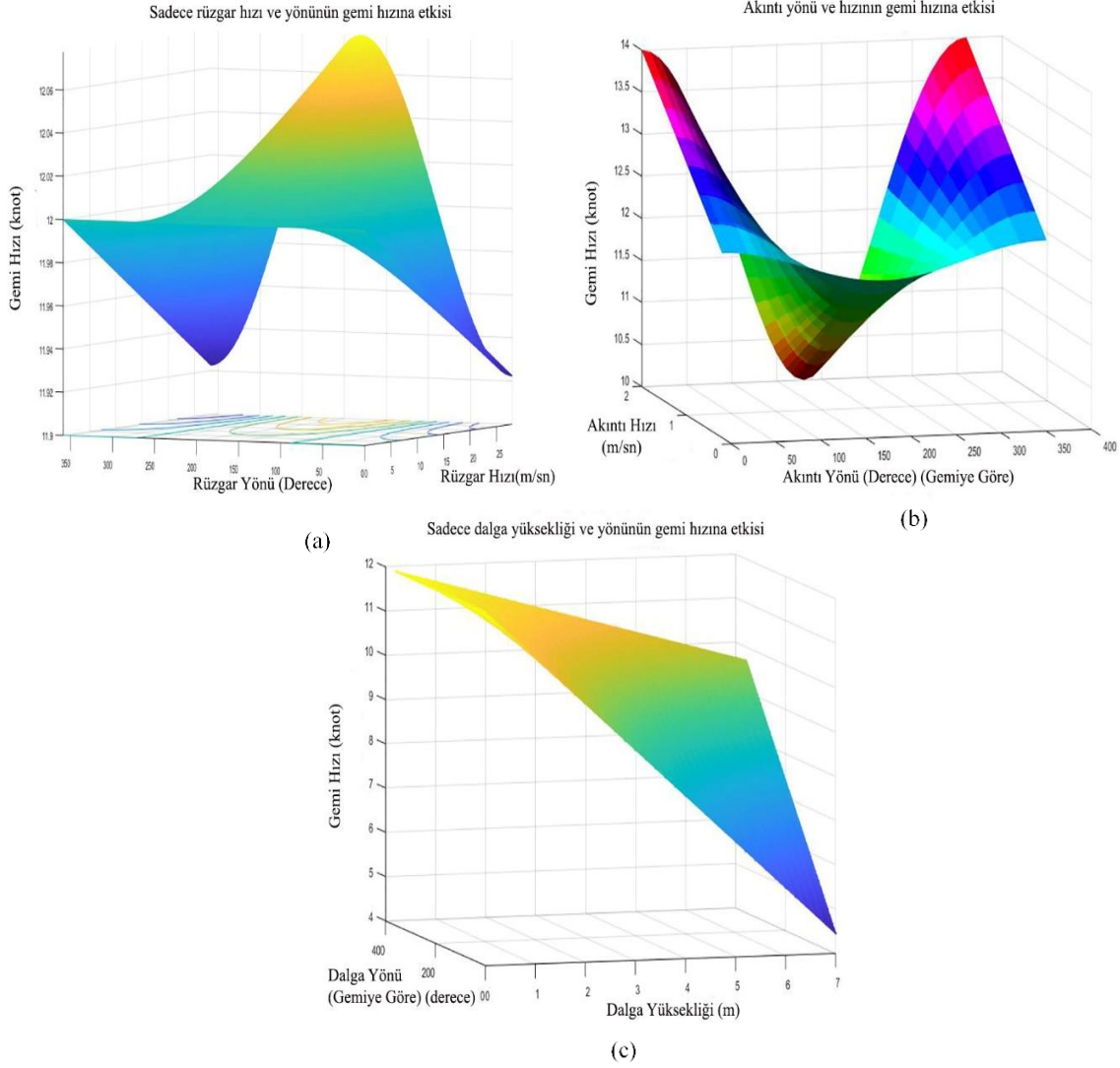
Burada, V_0 geminin normal şartlar altındaki hızını, V_x boylamsal akıntının geminin hızına etkisi hesaplandıktan sonra elde edilen boylamsal hızı, V_y enlemsel akıntının geminin hızına etkisi hesaplandıktan sonra elde edilen enlemsel hızı, α_c ise gemi pruvası ile akıntı arasındaki açıyı ifade etmektedir. V_c Copernicus sisteminden alınan akıntı hızı değeridir. Sistem hesaplama yaptığı anda, herhangi bir düğüm arasındaki geminin hızını hesaplarken o düğümün hangi koordinatlara yakın olduğu tespit edilip o koordinat için akıntı bilgileri Copernicus sisteminden elde edilmektedir. Gemi hızı ile akıntı hızı arasındaki birim farklılığından dolayı akıntı hızı değeri m/sn' den knot değerine çevrilmiştir. Bu amaçla dalga yönü ve yüksekliği, rüzgâr yönü ve kuvveti, akıntı yönü ve hızı gibi değişkenlerin gemi hızına etkisinin ortaya koyulabilmesi için 1, 2, 3 ve 4 numaralı eşitlikler kullanılarak hangi değişkenin gemi hızına ne kadar etki ettiği hesaplanmıştır. Geminin rotasının 000 derece ve hızının 12 knot olduğu kabul edilerek, rüzgâr yönü ve hızının, akıntı yönü ve hızının, dalga yönü ve yüksekliğinin gemi hızına etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4'te sunulmuştur. Şekil 4(a)'da rüzgârın gemi hızına etkisi gösterilmiştir. Dalga ve akıntı parametreleri hesaba katılmadan sadece rüzgârın gemi hızına etkisinin anlaşılabilmesi için rüzgâr yönü 0 ile 360 derece arasında, rüzgâr hızı ise 0 ile 25 m/sn arasında değiştirilerek gemi hızı hesabı yaptırılmıştır. Rüzgâr

geminin ön tarafından kuvvetli estiğinde hızın belli miktarda azaldığı, rüzgâr geminin arka tarafından kuvvetli estiğinde ise gemi hızının bir miktar arttığı görülmektedir. Gemi hızındaki artış veya azalışın en fazla gemi hızına %5 etkisi olduğu görülmüştür. Şekil 4(b)'de akıntı yönü ve şiddetinin gemi hızına etkisi görülmektedir. Akıntı yönü 0 ile 360 derece, akıntı şiddeti 0 ile 2 m/sn değerleri arasında değiştirilerek gemi hızı hesaplatılmıştır. Rüzgârdaki etkide olduğu gibi geminin ön tarafından gelen akıntının hız kaybına, arka tarafından gelen akıntının hız artışına neden olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4(b) incelendiğinde akıntının belirlenen değerler altında gemi hızına etkisinin %16,6 olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4(c)'de dalga yönü ve yüksekliğinin gemi hızına etkisini anlatan grafik görülmektedir. Dalga yönü parametresi 0 ile 360 arasında, dalga yüksekliği parametresi ise 0 ile 7 m arasında değiştirilerek gemi hızı hesaplatılmıştır. Şekil 4(c)'de görüleceği üzere gemi hızı üzerinde en fazla etkiye sahip olan parametrenin dalga yönü ve yüksekliği olduğu saptanmıştır.

Geminin ön ve yan taraflarından gelen yüksek dalganın hızı oldukça fazla azalttığı, geminin arka tarafından gelen dalganın ise gemi hızının artışına fazla etki etmediği gözlemlenmiştir.

Fırtına hallerinde deniz yüksekliğinin 7 metreye kadar yükselebildiği durumlarda gemi hızının 12 knot' tan 4 knot' a kadar düştüğü yani gemi hızının %67' ye varan oranlarda negatif yönde etkilendiği görülmüştür.



Şekil 3. (a) Rüzgârın hız etkisi (Effect of wind to speed), (b) Akıntının hız etkisi (Effect of sea current to speed), (c) Dalganın hız etkisi (Effect of wave to speed)

2.4. Yakıt Tüketiminin Hesaplanması (Calculation of Fuel Consumption)

Yakıt tüketimi, rotanın belirlenmesinde önemli bir parametredir. Yakıt tüketimi 5 numaralı eşitlikle hesaplanmaktadır [28].

$$sfoc = fc.kWh \quad (4)$$

Burada sfoc, yakıt tüketim miktarını, fc kilowatt başına gemi makinasının harcadığı fuel oil miktarını, kWh ise gemi makinasının ürettiği gücü temsil etmektedir. Yüksek güç üreten makinanın saat başına harcadığı fuel oil miktarı gram cinsinden hesaplanarak yakıt tüketimi hesaplanmıştır. MAN şirketinin verilerinin kullanılmasının nedeni, MAN makinaların gemi makinası olarak çok tercih edilmesinden dolayıdır.

2.5. En Uygun Rotanın Hesaplanmasında Kullanılan Veriler ve Formüller (Datas and Formulas Used for Calculations)

En uygun rota hesaplanırken CSGA algoritması kullanılmıştır. Algoritmanın tanımı daha önce açıklaması yapılan çarpışma önleme sisteminin açıklanması kısmında verilmiştir. Hesaplama yapılırken yine daha önce genel bilgiler kısmında detayı verilen düğüm yapısı kullanılmıştır. CSGA algoritması kullanılmadan önce sakin hava şartlarında gemilerin hangi rotayı tercih edebileceği en kısa yol algoritmalarından biri olan Dijkstra algoritması ile hesaplanmıştır. Geminin deniz ve hava şartları gözlemlenmeden tercih edeceği rotadan daha uygun bir rotayı sistemin bulup bulamayacağı bu yolla test edilmiştir.

Hesaplama anında CSGA algoritmasının kullandığı uygunluk fonksiyonu 6 numaralı eşitlikte verilmiştir. 6 numaralı eşitliği oluşturan bileşenlerin detayları ise 7, 8, 9, 10 ve 11 numaralı eşitlikler de verilmiştir. 12 numaralı

CSGA algoritmasında kullanılan genetik algoritma' ya ait parametreler Çizelge 3'te verilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

$$t = \sum_{n=1}^{ds-1} \frac{m(y(n), y(n+1))}{\bar{V}_0 - (1,08\bar{h} - 0,126\bar{q}\bar{h} + 2,77 \cdot 10^{-3} \bar{F} \cos\bar{\alpha})(1 - 2,33 \cdot 10^{-7} W\bar{V}_0)} \quad (5)$$

$$\bar{V}_0 = \frac{\sum_a^b \sqrt{(V_c \cdot \cos a_c - V_{cx})^2 + (V_c \cdot \sin a_c - V_{cy})^2}}{x} \quad (6)$$

$$\bar{h} = \frac{\sum_a^b dy(y(a), y(a+1))}{x} \quad (7)$$

$$\bar{q} = \frac{\sum_a^b da(y(a), y(a+1))}{x} \quad (8)$$

$$\bar{F} = \frac{\sum_a^b rg(y(a), y(a+1))}{x} \quad (9)$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_a^b ra(y(a), y(a+1))}{x} \quad (10)$$

$$f_t = fc \cdot kwH \cdot t \quad (11)$$

eşitlikte ise seyahat boyunca geminin tükettiği yakıtın nasıl hesaplandığı görülmektedir

Burada t , seyahat için geçen süreyi (saat), \bar{V}_0 , seyahat süresince geminin ortalama hızını (knot), \bar{h} , seyahat edilen düğümler arasındaki ortalama dalga yüksekliğini (metre), \bar{q} , seyahat edilen düğümler arasında, gemi ile dalga yönü arasındaki açının ortalamasını (radyan), \bar{F} , seyahat edilen düğümler arasında ortalama rüzgâr hızını

Dalga yüksekliği ve yönü, akıntı yönü ve hızı verileri Copernicus sisteminden, rüzgâr şiddeti ve yönü verileri Inmarsat sisteminden elde edilmiştir. AGRS sistemini kullanan geminin en kısa yolu kullandığında ne kadar zamanda varış limanına varacağı ve ne kadar yakıt harcayacağı, zaman ve yakıt tasarrufu açısından daha uygun bir rotanın olup olmadığı CSGA algoritması yardımıyla hesaplanmıştır. Senaryolardaki EKY ifadesi iki liman arasındaki en kısa yol anlamına gelmektedir.

Çizelge 2. Kullanılan genetik algoritma özellikleri (Specifications of genetic algorithm used for calculation)

Gen Sayısı	Değişken
Gen Tipi	Tam Sayılar
Çaprazlama	İlk ve son gen haricinde rasgele bir gen
Mutasyon	İlk ve son gen haricinde rasgele bir gen
Çaprazlama ve Mutasyon Olasılığı	% 10
Ebeveyn Seçimi	Turnuva Seçim Yöntemi
Hayatta Kalan Birey Seçimi	Uygunluk Tabanlı Seçim Yöntemi

(metre/saniye), $\bar{\alpha}$, seyahat edilen düğümler arasında rüzgâr ile gemi arasındaki ortalama açıyı (radyan), f_t , geminin seyahati boyunca harcadığı yakıtı (ton) temsil etmektedir. ds , seyahat için kullanılan yol üzerindeki düğüm sayısını, m , mesafeler matrisini, y , seyahat edilmek istenilen yolu, dy , dalga yönü dizisini, da , dalga açıları dizisini, rg , rüzgâr gücü dizisini, ra , rüzgâr açıları dizisini, a , iki düğüm arasındaki yolculuğun başlangıç noktasını, b , iki düğüm arasındaki yolculuğun bitiş noktasını temsil etmektedir.

3.1 Senaryo 1 (Scenario 1)

Birinci senaryoda, geminin Iraklion limanından Marmaris limanına gitmesi istenmiştir. Çizelge 4'te seyir yapılan güne ait seyir bölgelerinin rüzgâr hızı, dalga yüksekliği ve dalga yönü bilgileri görülmektedir. Rüzgâr hızı bilgisi Inmarsat sisteminden, dalga yüksekliği ve yönü bilgileri Copernicus sisteminden elde edilmiştir

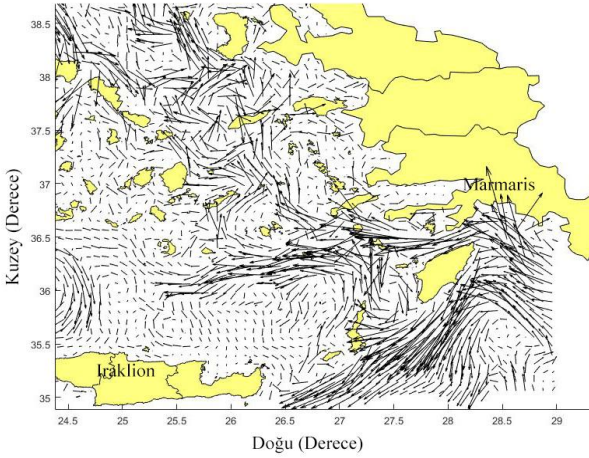
Çizelge 3. Iraklion-Marmaris arasındaki seyir bölgeleri için rüzgâr yön ve hız bilgileri (Wind direction and force for the area of voyage)

Seyir Bölgesi	Rüzgâr Hızı (metre/sn)	Rüzgâr Yönü (Derece)
Rodhos Sea	30	350
Karpathio	41	0
East Kritiko	34	0

Seyir gününe ilişkin Iraklion-Marmaris limanları arasındaki akıntı yön ve şiddetini gösteren grafik Şekil 5'te görülmektedir. Ok yönleri akıntılarının yönünü, okların uzunlukları ise akıntılarının hızlarını temsil etmektedir. Güne ait akıntı verilerinde en düşük akıntı hızı 0 m/s, en yüksek akıntı hızı ise 0,5 m/s olarak ölçülmüştür. Şekil 6'da bu uygulamaya ilişkin optimal rota tavsiyesi görülmektedir.

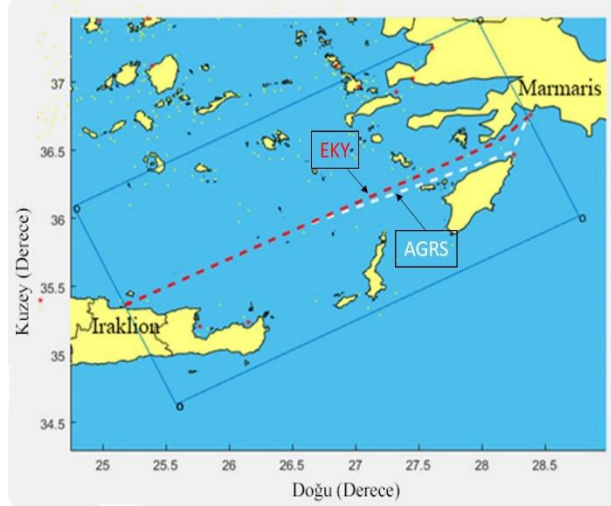
Kırmızıçizgi ile gösterilen rota en kısa yol rotası, beyaz çizgi ile gösterilen rota ise CSGA algoritmasının bulduğu rotadır. En kısa yol rotası 176,3548 deniz mili, CSGA algoritmasının bulduğu optimal rota ise 180,22 deniz mili uzunluğundadır.

Her ne kadar bulunan optimal rota en kısa rotaya nazaran 3,865 deniz mili daha uzun olsa da deniz ve hava şartları nedeniyle 13 dakika daha kısa, yakıt tüketimi ise %1,21 oranında daha azdır.

**Şekil 4.** Iraklion-Marmaris limanları arasındaki akıntı yön ve büyüklükleri (Sea current directions and forces for the area between Iraklion and Marmaris)

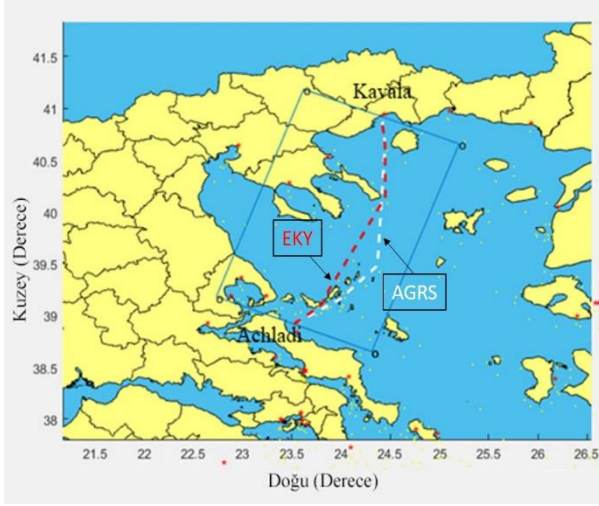
3.2 Senaryo 2 (Scenario 2)

İkinci senaryoda geminin Achladi limanından Kavala limanına gitmesi istenmiştir. Çizelge 5'te seyir yapılan güne ait seyir bölgelerinin rüzgâr hızı, dalga yüksekliği ve dalga yönü bilgileri görülmektedir.

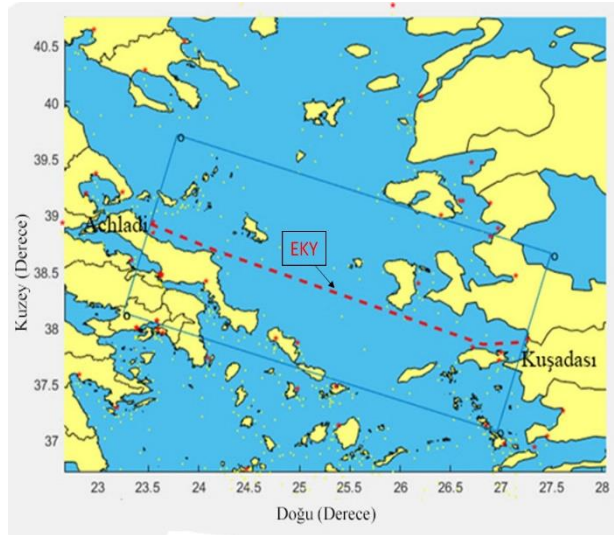
**Şekil 5.** Birinci senaryo için optimal rota tavsiyesi (Optimal route for Scenario-1)**Çizelge 4.** Seyir bölgesi için rüzgâr hız ve yönü verileri (Wind direction and force for the area of voyage)

Seyir Bölgesi	Rüzgâr Hızı (metre/sn)	Rüzgâr Yönü (Derece)
Kuzey Batı Ege	22	0
Kuzey Doğu Ege	13	330
Trakya	22	45

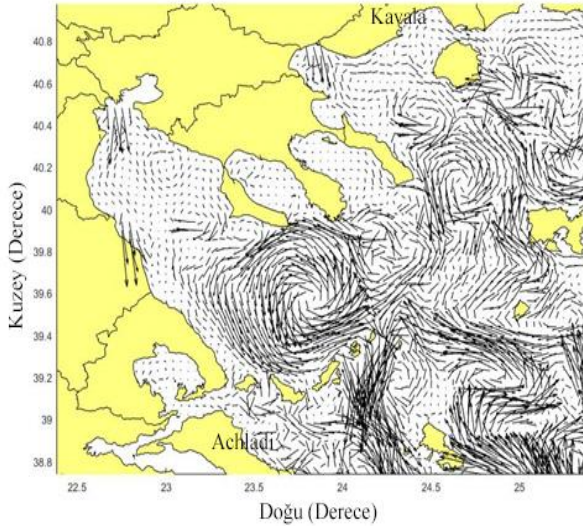
Seyir gününe ilişkin Achladi-Kavala limanları arasındaki akıntı yön ve şiddetini gösteren grafik Şekil 7'de görülmektedir. Ok yönleri akıntılarının yönünü, okların uzunlukları ise akıntılarının hızlarını temsil etmektedir. Güne ait akıntı verilerinde en düşük akıntı hızı 0 m/s, en yüksek akıntı hızı ise 0,3 m/s olarak ölçülmüştür. Şekil 8'de bu uygulamaya ilişkin optimal rota tavsiyesi görülmektedir. Kırmızı renkteki rota iki liman arasındaki en kısa yolu belirten rotadır. Beyaz renkteki rota ise CSGA ile hesaplanan rotadır. En kısa yol 133,4471 deniz mili, CSGA algoritması ile hesaplanan yol 138,96 deniz milidir. Her ne kadar optimal rota 5,5129 deniz mili daha uzun olsa da yakıt tüketimi %3,1891 oranında azalmış ve gemi Kavala limanına 25 dakika daha önce varmıştır



Şekil 6. İkinci senaryo için optimal rota tavsiyesi (Optimal route for Scenario-2)



Şekil 8. Üçüncü senaryo için optimal rota tavsiyesi (Optimal route for Scenario-3)



Şekil 7. Achladi ve Kavala limanları arasındaki akıntı yön ve büyüklükleri (Sea current directions and forces for the area between Achladi and Kavala)

3.3 Senaryo 3 (Scenario 3)

Üçüncü senaryoda geminin, Achladi limanı ile Kuşadası limanları arasında seyir yapması istenmiştir. Hesaplama sonucu Şekil 9'da görülmektedir. Bu senaryoda daha kısa sürede gidilebilecek bir rota bulunamamıştır ve CSGA algoritması en kısa yol sonucu ile aynı sonucu vermiştir. En kısa yol rotası ve en uygun rota aynı olduğundan ikisinin de uzunluğunun 187,4334 deniz mili olduğu görülmektedir. Yakıt tüketimi her iki sonuç için aynıdır. Rotalar arasında da fark olmadığından bu senaryoda akıntı, hava ve deniz şartları verilmemiştir.

3.4. Senaryo (Scenario 4)

Dördüncü senaryoda geminin, Mikonos limanı ile Alexandroupoli limanları arasında seyir yapması istenmiştir. Çizelge 6'da seyir yapılan alanlara ait hava ve deniz şartları verilmiştir

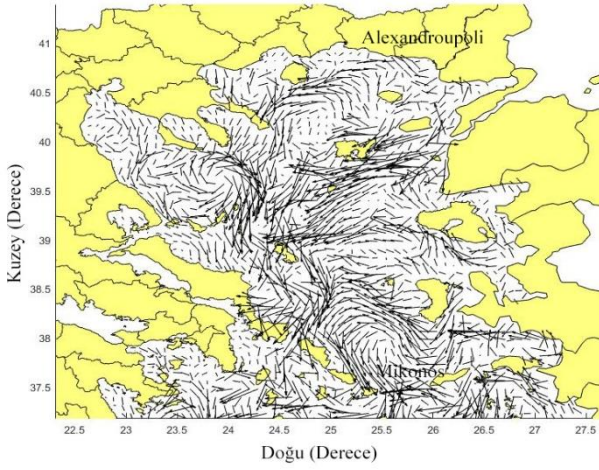
Çizelge 5. Hesaplama bölgesi için hava şartları verileri (Wind direction and speeds for the area of calculation)

Seyir Bölgesi	Rüzgâr Hızı (metre/sn)	Rüzgâr Yönü (Derece)
Merkez Ege	20	330
Kuzey Batı Ege	20	0
Trakya	22	45

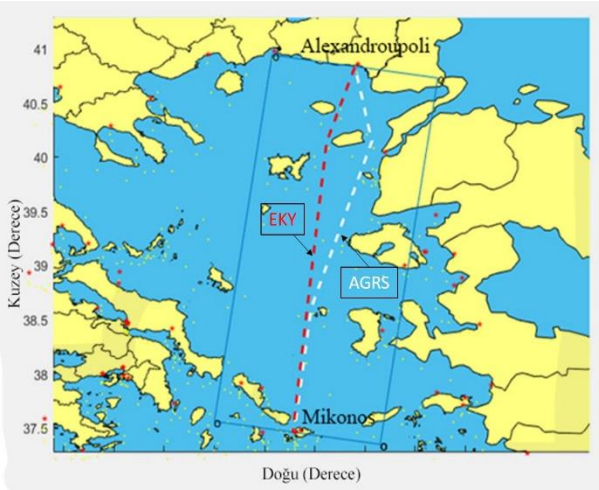
Hesaplama yapılan güne ait akıntı yön ve hız bilgileri Şekil 10'da verilmiştir. Hesaplama yapılan bölge için en düşük akıntı 0-0,4 m/s arasında değişmektedir. Ok uzunlukları minimum ve maksimum hız akıntıları ile orantılıdır.

En kısa yol rotası 207,5083 deniz mili uzunluğunda olup, gemiyi Gökçeada'nın batısından yönlendirmekte, CSGA algoritması ise 210,2897 deniz mili uzunluğundadır ve gemiyi Gökçeada'nın doğusundan yönlendirmektedir. Her ne kadar optimal rota, en kısa yol rotasına nazaran 2,7814 deniz mili daha uzun olsa da 27 dakika daha kısa seyir süresi sağlamakta ve yakıt tüketimini %2,131 oranında düşürmektedir. Hesaplanan rotalar Şekil 11'de görülmektedir.

Çizelge 7'de yapılan hesaplamaların tümünün detayları bir arada yer almaktadır



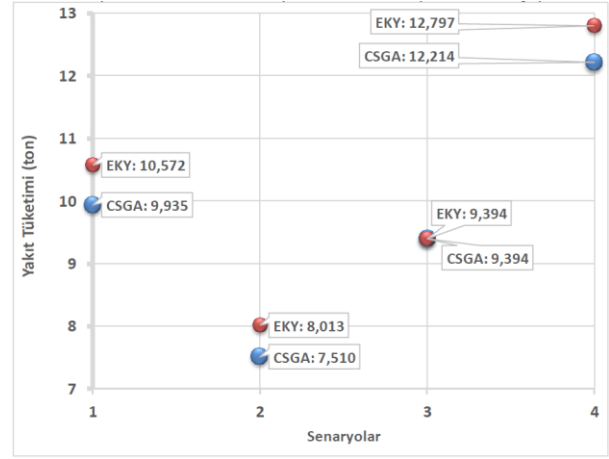
Şekil 9. Mikonos-Alexandroupoli limanları arası akıntı yön ve büyüklükleri (Sea current directions and forces for the area between Mikonos and Alexandroupoli)



Şekil 10. Mikonos ve Alexandroupoli limanları arasındaki akıntı yön ve büyüklükleri (Sea current direction and forces for the area between Mikonos and Alexandroupoli)

Çizelge 6. En kısa rota ve CSGA algoritmasının elde ettikleri sonuçların zaman ve yakıt tüketimi açısından karşılaştırılması (Comparison of the shortest route and the results of the CSGA algorithm in terms of time and fuel consumption)

Kalkış-Varış Limanları	Varış Zamanı		Yakıt Tüketimi (ton)		Zaman Kazancı (dakika)	Yakıt Kazancı (ton)	Hesaplama Zamanı (saniye)
	CSGA	En Kısa Yol Sonucu	CSGA	En Kısa Yol Sonucu			
Iraklion - Marmaris	04/01/19 06:17 UTC	04/01/19 06:30 UTC	9,9349	10,0572	13	0,1223	0,020934
Achladi-Kavala	04/01/19 02:31 UTC	04/01/19 02:56 UTC	7,5097	8,0133	25	0,5036	3,2241
Achladi-Kuşadası	04/01/19 05:39 UTC	04/01/19 05:39 UTC	9,3938	9,3938	0	0	5,4801
Mikonos-Alexandroupoli	04/01/19 10:24UTC	04/01/19 10:51UTC	12,2138	12,7967	27	0,5829	1,8196



Şekil 11. Senaryolarda elde edilen sonuçların grafiksel karşılaştırması (Graphical comparison of the results obtained in the scenarios)

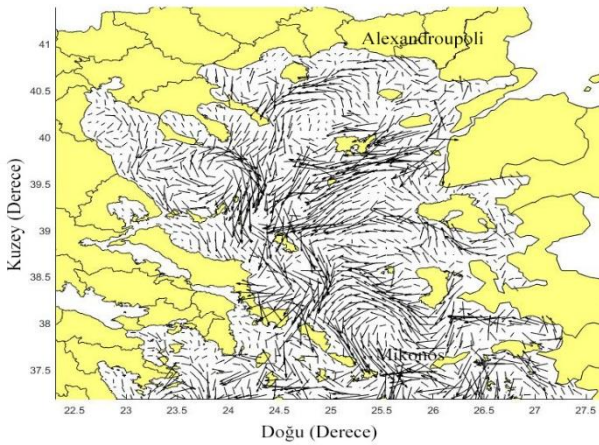
Farklı Deniz ve Hava Şartları Altında Yapılan Hesaplamalar (Calculations in Different Weather Conditions)

Bu uygulamada, AGRS sisteminin farklı hava şartlarındaki çalışmasını değerlendirebilmek için 04/01/2019 tarihli yapılan Senaryo-2 ve Senaryo-4 uygulamaları, 07/07/2019 tarihi için tekrarlanmıştır. Yapılan ilk tekrarda, Geminin Mikonos limanından hareketle Alexandroupoli limanına gitmesi istenmiştir. Seyir bölgesine ait bilgiler Çizelge 8'de, seyir yapılan limanlar arasındaki akıntı yön ve hızları ise Şekil 13'te görülmektedir.

Çizelge 7. Hesaplama bölgesi için rüzgâr hızı ve yönü verileri (Wind direction and speeds for the area Mikonos and Alexandroupoli)

Seyir Bölgesi	Rüzgâr Hızı(metre/sn)	Rüzgâr Yönü(Derece)
Merkez Ege	7	340
Kuzey Doğu Ege	5	315
Trakya	5	315

Şekil 14’de Senaryo-4’ten farklı hava ve deniz şartları altında Mikonos limanı ile Alexandroupoli limanları arasında yapılan en optimal rota hesaplaması sonucu görülmektedir. CSGA algoritması, en kısa yol sonucu ile aynı rotayı bulmuştur.

**Şekil 12.** Farklı hava ve deniz şartlarında Mikonos-Alexandroupoli limanları arası akıntı yön ve hızları (Sea current directions and forces for the area of calculation)

Ocak ayında yapılan Senaryo 4 uygulamasında, rüzgâr kuzey- kuzeybatı yönünden 20-22 m/sn aralığında değişen hızlarla, temmuz ayında yapılan bu uygulamada ise kuzeybatı yönünden 5-7 m/sn hızla esmektedir. 4 Ocak tarihinde fırtınaya yakın bir hava şartı varken, temmuz ayındaki bu uygulamada sakin deniz şartları mevcuttur. Geminin hızına etki eden faktörler rüzgâr yönü ve hızı, dalga yönü ve yüksekliği ve akıntı yönü ve hızı olduğu için sakin deniz ve hava şartlarında ocak ayında yapılan uygulamaya nazaran gemi hızında önemli bir değişiklik olmamıştır. Dolayısıyla CSGA algoritmasının en uygun rota olarak, en kısa yol rotası sonucunu bulması doğaldır.

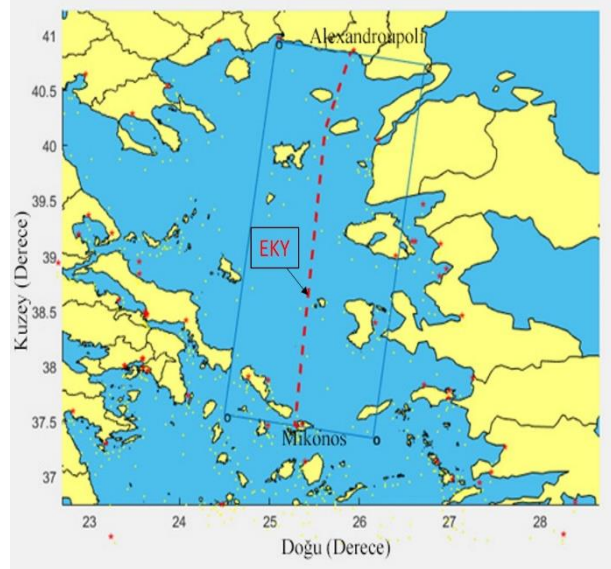
Bulunan yol 207,5083 deniz mili uzunluktadır. Sistemi kullanan geminin 19 saat 20 dakikalık bir yolculuk yaparak varış limanında olabileceği hesaplanmıştır. Bu durumda, sistemi kullanan geminin yakıt tüketiminin 11,5984 ton olacağı hesaplanmıştır.

Tekrar edilen ikinci uygulamada geminin Achladi limanından Kavala limanına gitmesi istenmiştir. 07/07/2019 tarihindeki rüzgâr hızı ve yönü bilgileri Çizelge 9’da verilmiştir

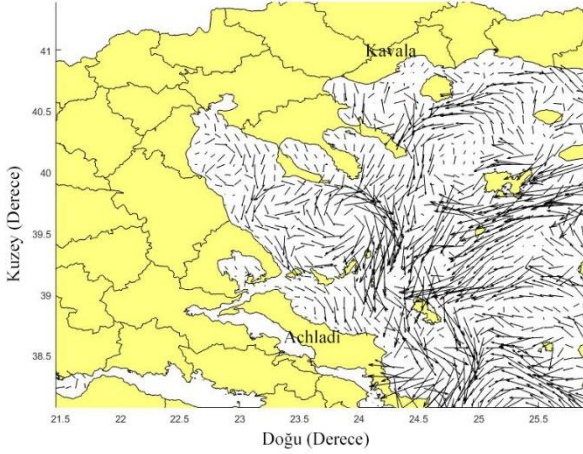
Çizelge 8. Hesaplama bölgesi için rüzgâr hızı ve yönü verileri (Wind direction and speeds for the area between Achladi and Kaval)

Seyir Bölgesi	Rüzgâr Hızı (metre/sn)	Rüzgâr Yönü (Derece)
Kuzey Batı Ege	3	45
Kuzey Doğu Ege	5	45
Trakya	5	45

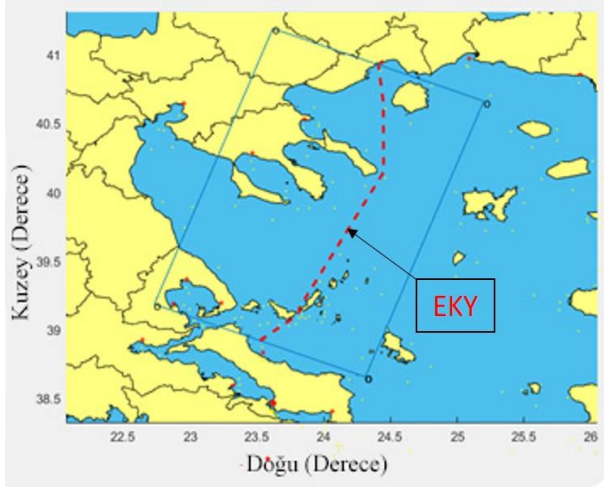
Şekil 15’te hesaplama bölgesi için akıntı verileri görülmektedir. Şekil 16’da farklı hava ve deniz şartları altında Achladi limanı ile Kavala limanı arasında yapılan hesaplama sonucunda bulunan optimal rota görülmektedir. Yapılan hesaplamada CSGA algoritması, en kısa yol sonucu ile aynı rotayı bulmuştur. Senaryo-2’de yapılan hesaplamada rüzgâr kuzey doğu-kuzey batı yönlerinden 13-22 m/sn hızla, bu uygulamada ise kuzey doğu yönünden 3-5 m/sn hızla esmektedir. Yaz mevsiminin sakin hava ve deniz şartları altında CSGA algoritması en kısa yol sonucu ile aynı sonucu bulmuştur. Rotaya dalga, akıntı ve rüzgarın etki edildiği düşünüldüğünde bu sonucun bulunması gayet doğaldır. Bulunan rotanın toplam uzunluğu, 133, 4471 deniz mili olarak hesaplanmıştır. Geminin 12 saat 8 dakikalık bir yolculukla varış limanına varılabileceği, bu durumda yakıt tüketiminin 7,2765 ton olacağı hesaplanmıştır

**Şekil 13.** Farklı hava ve deniz şartları altında Mikonos-Alexandroupoli limanları arası izlenebilecek en kısa rota (Optimal route found by the proposed system)

Sonuç olarak AGRS sistemi sakin hava ve deniz şartlarında en kısa yol sonucu ile aynı rotayı bulmaktadır. Sert hava ve deniz şartları altında ise minimum maliyetli farklı rotalar bulabilmektedir.



Şekil 14. Farklı hava ve deniz şartlarında Achladi-Kavala limanları arası akıntı yön ve hızları (Sea current directions and forces for the area between Achladi and Kavala)



Şekil 15. Farklı hava ve deniz şartları altında Mikonos-Alexandroupoli limanları arası izlenebilecek en kısa rota (The optimal route between Achladi and Kavala found by the proposed system)

4. TARTIŞMA (CONCLUSIONS)

Iraklion-Marmaris limanları arasındaki birinci senaryoda en kısa yol rotası 176,3548 deniz mili, CSGA algoritmasının bulduğu optimal rota ise 180,22 deniz mili uzunluğundadır. Her ne kadar bulunan optimal rota en kısa rotaya nazaran 3,865 deniz mili daha uzun olsa da deniz ve hava şartları nedeniyle 13 dakika daha kısa, yakıt tüketimi ise %1,21 oranında daha azdır.

Achladi ve Kavala limanları arasındaki ikinci senaryoda, en kısa yol 133,4471 deniz mili, CSGA algoritması ile hesaplanan yol 138,96 deniz mili uzunluğundadır. CSGA algoritmasının rotası 5,5129 deniz mili daha uzun olsa da yakıt tüketimi %3,1891 oranında azalmış ve gemi varış limanına 25 dakika daha önce varmıştır.

Achladi-Kuşadası limanları arasındaki üçüncü senaryoda, en kısa yol rotası ile CSGA algoritmasının aynı sonucu verdiği görülmüştür. İki liman arasında ada

olmadığı için düz bir rota elde edilmiştir. Bu da en kısa yol rotasına eşittir.

Mikonos Alexandroupoli limanları arasındaki dördüncü senaryoda, en kısa yol rotası Gökçeada'nın batısından 207,5083 deniz mili uzunluğunda bulunmasına rağmen CSGA algoritması ile rota Gökçeada'nın doğusunda 210,2897 deniz mili olarak bulunmuştur. CSGA algoritmasının rotası 2,7814 deniz mili daha uzun olsa da 27 dakika daha kısa seyir süresi sağlamakta ve yakıt tüketimini %2,131 oranında düşürmektedir.

Geliştirilen rota optimizasyonu sisteminin davranışını yaz mevsimi şartları altında değerlendirebilmek için ikinci ve dördüncü senaryo 7 Temmuz 2019 tarihli hava ve deniz şartlarında tekrarlanmıştır. Geminin rotasına etki eden faktörler rüzgâr yönü ve hızı, dalga yönü ve yüksekliği, akıntı yönü ve hızı olduğu için yaz mevsimindeki sakin deniz ve hava şartlarında CSGA algoritması en kısa yol rotası ile aynı sonucu bulmuştur. Bu durum AGRS sisteminin farklı hava ve deniz şartları altında optimal rotaları önerdiğini ispatlamaktadır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Timur İNAN: Deneyle ilgili yapılmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

Ahmet Fevzi BABA: Deneyle kullanılan yöntemleri tavsiye etmiş ve sistemin düzgün çalışırılığını kontrol etmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] İnan T., "Yüzen vasıtalar için seyir planlaması yapabilen bir zeki sistemin geliştirilmesi", *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2019).
- [2] James R., "Application of wave forecasts to marine navigation", 1, *U.S. Naval Oceanographic Office*, Washington, (1957).
- [3] Hagiwara ., Spaans J.A., "Practical weather routing of sail-assisted motor vessels", *Journal of Navigation*, 1:96-119, (1987).
- [4] Lo H., McCord M.R., "Adaptive ship routing through stochastic ocean currents: general formulations and empirical results", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32:547-561, (1998).

- [5] Pacheco M.B., Soares C.G., “Ship weather routing based on seakeeping performance, *International Conference on Marine Structures*, Glasgow,71-78 (2007).
- [6] Padhy C., Sen D., Bhaskaran P.K., “Application of wave model for weather routing of ships in the north indian”, *Natural Hazards*, 44:373-385, (2007).
- [7] Szlapczynska J., Smierzchalski R., “Multicriteria optimisation in weather routing”, *TransNav*, 3:393-400, (2009).
- [8] Jörn H. Ve Günther C., “Robust pareto-optimum routing of ships utilising deterministic and ensemble weather forecasts”, *Ships and Offshore Structures*, 5:105-114, (2010) .
- [9] Delitala A.M.S., Gallino S., Villa L., Lagouvardos K. Ve Drago A., “Weather routing in long distance mediterranean routes”, *Theoretical and Applied Climatology*, 102:125-137, (2010).
- [10] Maki A., Akimoto Y., Nagata Y., Kobayashi S., “A new weather-routing system that accounts for ship stability based on a real-coded genetic algorithm”, *Journal of Marine Science and Technology* , 16: 311-322, (2011).
- [11] Kosmas O. ve Vlachos D., “Simulated annealing for optimal ship routing” ,*Computers & Operations Research*, 39:576-581, (2012).
- [12] Shao W., Zhou P. ve Thong S. K., “Development of a novel forward dynamic programming method for weather routing.”, *Journal of Marine Science and Technology*, 17: 239-251, (2012).
- [13] Mannarini G., Coppini G., Oddo P. ve Pinardi N., “A prototype of ship routing decision support system for an operational oceanographic service”, *TransNav*, 7:53-59, (2013).
- [14] Fang M. C. ve Lin Y.H., “The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements (II): optimized routings”, *Applied Ocean Research*, 50: 130-140, (2015).
- [15] Tsou M.C. ve Cheng H.C., “An ant colony algorithm for efficient ship routing”, *Polish Maritime Research*, 20:28-38, (2013).
- [16] Cai Y. ve Yuanqiao W., “Ship route design for avoiding heavy weather and sea conditions”, *TransNav*, 8:551-556, (2014).
- [17] Kepaptsoglou K., Fountas G. ve Karlaftis M., “Weather impact on containership routing in closed seas: a chance-constraint optimization approach”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 55:139-155, (2015).
- [18] Kobayashi E., Hashimoto H., Taniguchi Y. ve Yoneda S., “Advanced optimized weather routing for an ocean-going vessel”, *International Association of Institutes of Navigation World Congress (IAIN)*, Prague, (2015).
- [19] Zhu X., Wang H., Shen Z. ve Hongjun L., “Ship weather routing based on modified dijkstra algorithm”, *6th International Conference on Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer*, Tianjin, 696-699, (2016).
- [20] Vettor R. ve Soares C., “Development of a ship weather routing system”, *Ocean Engineering*, 123:1-14, (2016).
- [21] Lee H., Aydin N., Choi Y. Lekhavat S. ve Irani Z., “A decision support system for vessel speed decision in maritime logistics using weather archive big data”, *Computers & Operations Research*, 98:330-342, (2018).
- [22] Veneti A., Makrygiorgos A., Konstantopoulos C., Pantziou G. ve Vetsikas I. A., “Minimizing the fuel consumption and the risk in maritime transportation: a bi-objective weather routing approach”, *Computers and Operations Research*, 88:220-236, (2017).
- [23] Xiaogang L., Hongbo W. ve Wu Q., “Multi-objective Optimization in ship weather routing”, *Constructive Nonsmooth Analysis and Related Topics* , Saint Petersburg, 1-4, (2017).
- [24] Hong-Bo W., Li X.G., Li P.F. ve Veremey E. I., “Application of real-coded genetic algorithm in ship weather routing”, *Journal of Navigation*, 71:989-1010, (2018).
- [25] Tanaka M. ve Kobayashi K., “A route generation algorithm for an optimal fuel routing problem between two single ports”, *International Transactions in Operational Research*, 26:529-550, (2019).
- [26] Feng L. “Study on the ship's loss-speed in wind and waves”. *Journal of Dalian Maritime University*, 18:347-351,(1992).
- [27] Lin Y.H. ve Fang M.C., “The ship-routing optimization based on the three-dimensional modified isochrone method”, *International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* , Nantes, France, 1-4, (2013).
- [28] MAN, Technical Specifications of MAN Engines. Erişim Tarihi:02/02/2018. Url: <https://marine.man-es.com/>.
- [29] Lin Y.H., Fang M.C. ve Yeung R. W., “The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements”, *Applied Ocean Research*, 184-194, (2013).