

Sayı / Number: 217

# GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ

GMO JOURNAL OF SHIP AND MARINE TECHNOLOGY

ISSN: 1300-1973



**TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI**

*The Turkish Chamber of Naval Architects and Marine Engineers*

GMO

**1 TEMMUZ  
DENİZCİLİK VE  
KABOTAJ  
BAYRAMI  
KUTLU OLSUN!**

**Happy 94th Anniversary of Turkish Maritime and  
Cabotage Day, 01 July 2020!**



**TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI**



**Sahibi / Publisher:**  
TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI  
UCTEA, The Turkish Chamber of Naval  
Architects & Marine Engineers

**İmtiyaz Sahibi / Owner**  
Salih BOSTANCI

**Baş Editör / Editor-in-Chief**  
Prof. Ahmet Dursun ALKAN PhD  
National Defense University, Istanbul, Turkey

**Yardımcı Editörler / Associate Editor**  
Asst. Prof. Onur USTA PhD  
National Defense University, Istanbul, Turkey  
Asst. Prof. Dursun Murat SEKBAN PhD  
Karadeniz Technical University, Istanbul, Turkey

**Yayın Komisyonu / Editing Committee**  
Salih BOSTANCI

Süleyman Aykut KORKMAZ  
Batuhan KARATAŞ  
Tuğba AKTAŞ  
Burçin Gaye DİLEKME  
Orçun BALBAŞ  
Alper DİLCİ

**Yönetim / Management**

TMMOB GMO  
Postane Mahallesi, Nil Sokak No: 39  
34940 Tuzla, İstanbul, Türkiye  
T : +90 216 447 40 30 - 31 -32  
F : +90 216 447 40 33  
E-Mail: GMOShipMar@gmo.org.tr  
www.gmo.org.tr

**Yayın Türü / Publication Type / Sayı / Number**

Sürelili Yayın (6 Aylık) / Periodical, 6 months  
Sayı / Number : 217

**Basıldığı Yer ve Tarih / Printed in / Date**

Cenkler Matbaacılık Amb. San. Tic. Ltd. Şti.  
Halil İbrahim Karaoğlanoğlu Cad.

Civan Sok. No: 7  
Seyrantepe, 4 Levent, İstanbul, Türkiye

T: +90 212 283 02 77 – 264 18 21

F: +90 212 264 05 31

www.cenkler.com

ISSN: 1300-1973

E-ISSN: 2651-530X

Baskı Tarihi / Date of print : June 2020

Baskı Sayısı / Number of prints : 500



Gemi ve Deniz Teknolojisi (GDT) Dergisi; TMMOB Gemi Mühendisleri Odası'nın 1955 yılından beri yılda en az 2 kez yayımlanan, üyelerinin meslekle ilgili bilgilerini geliştirmeyi, gemi ve deniz teknolojilerine katkıda bulunmayı, özellikle sektörün ülke çıkarları yönünde gelişmesini ve teknolojik yeniliklerin duyurulmasını amaçlayan bir dergidir. GDT, uluslararası düzeyde, hakemli, çok disiplinli, alanında özgün çalışmalara yer veren bir bilimsel dergidir.

Dergide; başta Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri/Deniz Teknolojisi Mühendisliği olmak üzere, Denizcilik, Makine, Elektrik/Elektronik, Endüstri Mühendisliği alanlarında bilimsel nitelikli araştırma makaleleri, derlemeler, teknik notlar, kitap incelemeleri, editöre mektuplar ile konferans ve toplantıların genişletilmiş raporlarına yer verilmektedir. Dergide yer alan makaleler Türkçe veya İngilizce olarak yayımlanmaktadır.

Açık erişimli yayın politikası izleyen GDT Dergisi, değişik bilimsel bakış açılarını okuyucularına sunmaktadır. Dergide yayımlanan makalelerin bilim, içerik ve dil bakımından sorumluluğu yazarlarına aittir. Basın Ahlak Esasları, ulusal ve uluslararası etik kural ve mevzuatlarına uyulur.

## Değerli Meslektaşlar ve Okurlar,

Dünyada yaşanan Kovid19 salgını beklenmedik bir çapta günlük hayatı, eğitim-öğretim, kamu hizmetleri, işçi ve iş hayatını etkiledi. Halen etkileri devam eden bu süreçte sizlere sağlık ve esenlikler diliyoruz.

Bu dönem içerisinde denk gelen önemli bir gün olan 23 Nisan 1920 tarihinde açılan Türkiye Büyük Millet Meclisi'nin kuruluşunun 100. yılını ve tüm çocukların Ulusal Egemenlik ve Çocuk Bayramı'nı kutlarız. Bu bayram münasebeti ile her yıl olduğu gibi GMO tarafından "Hayalindeki Gemi" konulu resim yarışması düzenlenmiştir.

217. sayımızda Alan Editörlerimizi kurarak dergimizin editörlük yapısını güçlendirdik. TR Dizin 2020 kriterleri çerçevesinde hazırlıklarımızı tamamladık.

Bu sayıda dört makale sunuyoruz. Ayşe Eylül Şentürk ve Doç.Dr. Elif Oğuz'un yazdığı Karasal ve Deniz Üstü Rüzgâr Çiftliklerinin Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi adlı makalede önemli bir sonuç sunulmuştur. Deniz üstü rüzgâr çiftliğinin daha maliyetli bir teknoloji (asitleştirme hariç) olmasına rağmen daha çevre dostu bir sistem olduğu vurgulanmıştır. İki Gemi Baş Tasarımı İçin Dalga Eğilme Moment Analizi Üzerine Bir Çalışma başlıklı makale Doç.Dr. Özgür Özgüç tarafından sunulmuştur. Türk Arama ve Kurtarma Organizasyonu: Uluslararası İş Birliği Faaliyetleri ve Yaşanan Anlaşmazlıklar başlıklı makale Turuğsan Olgaç ve Doç.Dr. Ali Cemal Töz tarafından hazırlanmıştır. Dr.Öğr.Üyesi Naz Yılmaz Gemi Direnci ve Sevk Performansının Gemi Ölçeğinde Seyir Testleri ile Sayısal Doğrulaması başlıklı makalesinde, başarılı bir HAD modeli geliştirilerek gerçek gemi seyir tecrübelerinden video ve ölçümlerden elde edilen direnç, açık-su pervane ve güç davranışı ile pervanedeki kaviteasyon bölgeleri karşılaştırılmıştır.

Siz, sevdiğiniz ve çalışma arkadaşlarınızın bu zor dönemi sağlık ve güven içerisinde geçirmenizi dileriz.

Saygılarımızla.

Prof.Dr.Ahmet Dursun ALKAN

Dr.Onur USTA

Dr.Dursun Murat SEKBAN

Baş Editör

Yardımcı Editör

Yardımcı Editör

## Distinguished Colleagues and Readers,

The world-wide Kovid19 outbreak affected unexpectedly daily life, education and training, public services, worker and business life. We wish you health and well-being in this process, whose effects still continue.

An important day within this period, opened on April 23, 1920, is the 100th anniversary of the foundation of the Grand National Assembly of Turkey and we celebrate National Sovereignty and Children's Day gifted to all the children. For this, as every year, a painting contest on the subject of "Ship in your dream" was organized by GMO.

In our 217th issue, we strengthened the journal editorial structure by establishing our Section Editors. We completed our preparations within the framework of the criteria of the TR Index 2020 citation service.

We present four articles in this issue. An important result is presented in the paper entitled Environmental and Economic Analysis of Onshore and Offshore Wind Farms by Ms. Ayşe Eylül Şentürk and Assoc.Prof.Dr. Elif Oğuz. Offshore wind farm studied here is more environmental-friendly than onshore wind farm apart from acidification potential although offshore wind farm is more expensive technology than onshore counterpart. Mr. Turuğsan Olgaç and Assoc.Prof.Dr. Ali Cemal Töz have presented a review paper entitled Turkish Search and Rescue Organization: International Cooperation Activities and Disputes. The paper entitled A Study on Wave Bending Moment Analysis for Two Bow Designs presented by Assoc.Prof.Dr. Özgür Özgüç. Dr. Naz Yılmaz has presented her paper entitled Numerical Validation of Ship Scale Resistance and Self-Propulsion Performances with Sea Trials where simulated cases compared very well to the experimental data for resistance, open water propeller, power and cavitation prediction.

We wish you, your loved ones and fellow colleagues safe passage through this difficult period.

Best regards,

Prof. Ahmet Dursun ALKAN PhD

Dr.Onur USTA

Dr.Dursun Murat SEKBAN

Editor-in-Chief

Associate Editor

Associate Editor

Doğrudan veya dolaylı olarak ifade edilen görüşler kurumun resmi görüşleri olarak görülmemelidir. Dergide, makale değerlendirme sürecinde çift-kör hakemlik sistemi kullanılmaktadır.

GMO Journal of Ship and Marine Technology (GMOShipMar); is a journal that has been published annually since 1955, aiming to improve its members' knowledge about the profession of ship and marine technologies, to develop the sector especially in the interests of the country and to announce technological innovations. GMOShipMar is an international, refereed, multidisciplinary scientific journal that has been published at least 2 times a year.

In the journal; scientific research articles, reviews, technical notes, book reviews, letters to the editor, and extended reports of conferences and meetings, particularly in Naval Architecture and Marine Engineering, Maritime Technology, Machinery, Electrical / Electronics, Industrial Engineering and other related sciences. Articles in the journal are published in Turkish or English.

Following Open Access Model of Publishing, GMOShipMar presents a variety of scientific viewpoints. The authors are responsible for the scientific, contextual, and linguistic aspects of the articles published in the journal. The views expressed or implied in this publication, unless otherwise noted, should not be interpreted as official positions of the institution. In the journal, double-blind review system, which means that both the reviewer and author identities are concealed from the reviewers, and vice versa, is used throughout the review process.

## ALAN EDİTÖRLERİ / SECTION EDITORS

### Naval Architecture

Prof. Alberto FRANCESCUITO - University of Trieste, Trieste, Italy

Prof. Dr. Murat ÖZKÖK - Karadeniz Technical University, Istanbul, Turkey

Dr. Ziya SAYDAM - Piri Reis University, Istanbul, Turkey

### Marine Hydrodynamics

Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL - Gedik University, Istanbul, Turkey

Prof. Dr. Şakir BAL - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

Doç.Dr. Yiğit Kemal DEMİREL - Strathclyde University, Glasgow, UK

### Marine Engineering

Prof. Dr. Yasin ÜST - Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey

Dr. Ümit GÜNEŞ - Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey

### Maritime Engineering

Prof. Dr. Ercan KÖSE - Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

Prof. Dr. Özcan ARSLAN - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

Dr. Hasan ÖLMEZ - Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

### Offshore Technology

Prof. Dr. İsmail Hakkı HELVACIOĞLU - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

Assoc.Prof.Dr. Özgür Özgüç - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

Dr. İsmail Başaran - ABS, London, UK

### Marine Electronics

Assoc.Prof.Dr. Fatih ERDEN - National Defence University, Istanbul, Turkey

### Maritime Economics

Prof. Dr. Oral ERDOĞAN - Piri Reis University, Istanbul, Turkey

## Editörler Kurulu / Editorial Board

- Prof. Dr. Karin ANDERSSON - Chalmers University, Gothenburg, Sweden  
Prof. Dr. Mehmet ATLAR - Strathclyde University, Glasgow, UK  
Prof. Dr. Serdar BEJİ - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey  
Prof. Dr. Volker BERTRAM - DNV-GL, Hamburg, Germany  
Prof. Dr. M.Sander ÇALIŞAL - Piri Reis University, Istanbul, Turkey  
Prof. Dr. Fahri ÇELİK - Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey  
Prof. Dr. Bettar O. EL-MOCTAR - University of Duisburg-Essen, Duisburg, DE  
Prof. Dr. Odd M.FALTINSEN - NTNU, Trondheim, Norway  
Prof. Dr. Ömer GÖREN - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey  
Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey  
Prof. Dr. Atilla İNCECİK - Strathclyde University, UK  
Prof. Dr. Nurhan KÂHYAOĞLU - Piri Reis University, Istanbul, Turkey  
Prof. Dr. Rumen KISHEV - Varna Technical University, Varna, Bulgaria  
Prof. Dr. Abdi KÜKNER - Istanbul, Turkey  
Prof. Dr. Emin KORKUT - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey  
Prof. Dr. Gökdeniz NEŞER - Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey  
Assoc.Prof. Dr. Ömer Kemal KINACI - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey  
Prof. Dr. Aykut ÖLÇER - World Maritime University, Malmö, Sweden  
Prof. Dr. Süleyman ÖZKAYNAK - Piri Reis University, Istanbul, Turkey  
Prof. Ing. Claudio PENSA - University of Naples "Federico II", Naples, Italy  
Prof. Dr. Philippe RIGO - University of Liege, Liege, Belgium  
Prof. Dr. Ahmet TAŞDEMİR - Piri Reis University, Istanbul, Turkey  
Prof. Ing.Giorgio TRINCAS - University of Trieste, Trieste, Italy  
Prof. Dr. Osman TURAN - Strathclyde University, Glasgow, UK  
Prof. Dr. Omar YAAKOB - Universiti Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia  
Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ - Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey  
Assoc.Prof.Dr. Veysel ALANKAYA - Istanbul, Turkey  
Dr. Emrah ERGİNER - Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey  
Dr. Güner ÖZMEN - Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey  
Dr. Emre PEŞMAN - Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey  
Dr. Bekir ŞENER - Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey  
Dr. Tahsin TEZDOĞAN - Strathclyde University, Glasgow, UK  
Dr. Serkan TÜRKMEN - Newcastle University, Newcastle, UK  
Assoc.Prof.Dr. Uğur Oral ÜNAL - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey  
M. Tufan YILDIRIM - National Defense University, Istanbul, Turkey

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- Karasal ve Deniz Üstü Rüzgâr Çiftliklerinin Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi** 5  
*Environmental and Economic Analysis of Onshore and Offshore Wind Farms*  
*Ayşe Eylül Şentürk, Elif Oğuz*
- İki Gemi Baş Tasarımı İçin Dalga Eğilme Moment Analizi Üzerine Bir Çalışma** 33  
*A Study on Wave Bending Moment Analysis for Two Bow Designs*  
*Özgür Özgüç*
- Türk Arama ve Kurtarma Organizasyonu: Uluslararası İş Birliği Faaliyetleri ve Yaşanan Anlaşmazlıklar** 44  
*Turkish Search and Rescue Organization: International Cooperation Activities and Disputes*  
*Turuğsan Olgaç, Ali Cemal Töz*
- Gemi Direnci ve Sevk Performansının Gemi Ölçeğinde Seyir Testleri ile Sayısal Doğrulaması** 57  
*Numerical Validation of Ship Scale Resistance and Self-Propulsion Performances with Sea Trials*  
*Naz Yılmaz*

# Karasal ve Deniz Üstü Rüzgâr Çiftliklerinin Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi

Ayşe Eylül Şentürk<sup>1</sup>, Elif Oğuz<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
senturk.eylul@metu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4847-6396

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (RÜZGEM), ODTÜ, Ankara, Türkiye

\*Sorumlu yazar: elifoguz@metu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3574-9436

## ÖZET

Çevreye zarar vermeden üretilecek enerji günümüz insanların en önem verdiği konular arasında yer almaktadır. Bu yüzden, yenilenebilir enerji sistemlerinin geleneksel enerji sistemlerinin yerini alması gerektiği görüşü öne çıkmaktadır. Hangi yenilenebilir enerji sisteminin bir bölge için daha sürdürülebilir olduğuna karar verebilmek için kullanılan en önemli yöntemlerden biri yaşam döngüsü analizleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD), enerji üretim süreçlerinin tüm çevresel etkilerini incelemek üzere yaygın kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem; üretim, inşaat, işletme-bakım ve tasfiye-geri dönüşüm evrelerinin incelenmesinden oluşmaktadır. Bu çalışmada, iki farklı yenilenebilir enerji sistemi konfigürasyonu YDD metodu ile karşılaştırılmış olup, incelenen yenilenebilir enerji sistemlerinin dört fazı ele alınacak şekilde yaşam döngüleri çevresel açıdan değerlendirilmiştir. Seçilen sistemlerden ilki karasal rüzgâr santrali, ikincisi ise deniz üstü rüzgâr santralidir. Bu amaçla, Bozcaada bölgesi, pilot bölge olarak seçilmiş; Bozcaada'da 2000 senesinden beri işletilen karasal rüzgâr çiftliği ile bu bölgenin rüzgâr potansiyelinden daha fazla faydalanabilmek adına aynı bölgede kurulması muhtemel deniz üstü rüzgâr santrali incelenmiştir. Her iki konfigürasyon için de, enerji üretim süreçlerinin beşikten mezara değerlendirilmesinde Gabi yazılımı kullanılmıştır. Ekonomik açıdan karşılaştırma yapabilmek adına ise, her iki sistemin yaşam döngüsü maliyeti (YDM) hesaplanmıştır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) ve Yaşam Döngüsü Maliyeti (YDM) analiz yöntemleri bir bölge için düşünülen farklı yenilenebilir enerji sistemlerinin uzun dönemdeki ekonomik ve çevresel etkilerini belirlemek açısından pratik yöntemler olabileceğinden her iki sistem için analizler yapılmış ve bu analizlerin kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, deniz üstü rüzgâr çiftliğinin daha maliyetli bir teknoloji olmasına rağmen, (asitleştirme haricinde) daha çevre dostu bir sistem olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak, deniz üstü rüzgâr santralinin Bozcaada bölgesi için çevresel olarak daha uygun olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Deniz üstü rüzgâr çiftliği, karasal rüzgâr çiftliği, rüzgâr enerjisi, yaşam döngüsü değerlendirilmesi (YDD), yaşam döngüsü maliyeti (YDM)

**Makale geçmişi:** Geliş 17/01/2020 – Kabul 18/05/2020

# Environmental and Economic Analysis of Onshore and Offshore Wind Farms

Ayşe Eylül Şentürk<sup>1</sup>, Elif Oğuz<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Hydraulics Laboratory, Middle East Technical University, Ankara, Turkey  
senturk.eylul@metu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4847-6396

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Hydraulics Laboratory, Middle East Technical University, Ankara, Turkey

<sup>2</sup> Center for Wind Energy Research (METUWIND) METU, Ankara, Turkey

\* Corresponding author: elifoguz@metu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3574-9436

## ABSTRACT

Energy production without destroying the environment is faced as one of the most popular issues of the world. Hence, the notion that the shift from traditional energy systems to renewable energy systems have become popular recently. One of the most important methods to be able to decide which renewable energy systems are sustainable for a specific region is life cycle analysis. Life cycle assessment (LCA) is a widespread method to evaluate environmental impacts of energy generation processes. LCA of energy production have four phases- namely, production, construction, operation-maintenance and decommissioning and recycling or disposal. In this study, all phases are considered for each configuration. Throughout the study, two different renewable energy systems are assessed. The first configuration is selected as onshore wind farm and the second one is offshore wind farm. For this purpose, Bozcaada Island is selected as a pilot area for the study. A possible offshore wind farm (to yield more wind energy) and onshore wind farm which has been operated since 2000 are compared by means of life cycle assessment and life cycle cost (LCC). Cradle-to-grave approach is applied for both configurations by utilizing GaBi. In order to create awareness that LCA and LCC are a practical tool to determine the environmental and economic impacts of energy generation systems in a long-term for a specific region, each configuration is assessed and then compared. Findings indicate that offshore wind farm is more environmental-friendly than onshore wind farm apart from acidification potential although offshore wind farm is more expensive technology than onshore counterpart.

**Keywords:** Offshore wind farm, onshore wind farm, wind energy, life cycle assessment (LCA), life cycle cost (LCC), wind energy

**Article history:** Received 17/01/2020 – Accepted 18/05/2020



## 1. Giriş

Küresel ısınma, bugün dünyanın en önde gelen sorunlarından birini teşkil etmektedir. Sera gazı salınımları, küresel ısınmanın en büyük nedeni olarak gösterilmektedir. Bu sebeple, sera gazı salınımlarının azaltılması (Schanes ve diğ., 2016), küresel ısınmanın yıkıcı etkilerini önleyebilmek için en önemli adımlardan biri olarak görülmektedir.

Yapılan araştırmalar küresel ısınmaya sebep olan sera gazı salınımlarının oldukça büyük bir kısmının insan faaliyetlerinden kaynaklandığını (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014; USGCRP, 2017; Karl ve Trenberth, 2003) göstermektedir. Bu bağlamda, literatürde insan kaynaklı sera gazı salınımlarının azaltılmasını hedefleyen ve bu hedefe ulaşmak için hemen hemen her mühendislik alanı açısından çevre dostu çözümler öneren birçok çalışma yer almaktadır. Örneğin, denizcilik sektöründe, çevre dostu gemi tasarlamak amacıyla güneş paneli entegrasyonu ve gemiler için çevre dostu bakım stratejileri incelenmiştir (Jeong ve diğ., 2018; Wang ve diğ., 2018; Jeong ve diğ. 2018). Konut sektöründe ise sera gazı salınımlarının azaltılması için, Enerji Verimliliği İşbirliği Uluslararası Ortaklık (IPEEC) tarafından sıfır enerjili bina mevzuatının (IPEEC Building Energy Efficiency Taskgroup, 2018) yayınlanmasının ardından; sürdürülebilir bina tasarımları için kendi enerjisini yenilenebilir teknolojilerle üreten binalar fikri tüm dünyada (Li ve diğ., 2013; Yuan ve diğ., 2013; Vourdoubas, 2018) kabul görmüştür. Yenilenebilir enerji sistemlerinin binalara entegrasyonunun başarılı sonuçlar vermesi ile birlikte, entegrasyonun daha büyük ölçekte düşünülmesini temel alan ve kendi enerji ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanan akıllı şehir uygulamaları (Köseoğlu ve Demirci, 2018; Örselli ve Akbay, 2019; Eremia ve diğ., 2017), 21. yüzyılda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Akıllı şehir uygulamalarında, mevcut konut sektöründe olduğu gibi uzun iletim hattı gerektiren geleneksel enerji üretim metotları yerine, yerel üretim sağlayan enerji üretim yöntemleri öne çıkmaktadır. Sosyal yaşamın içerisinde veya en azından sosyal yaşamın çok yakınında enerji üretimi yapılması gerekliliği ise, seçilen enerji üretim yöntemlerinin daha az sera gazı salınımı yaptığı düşünülen (Hernández ve diğ., 2019; Santoyo-Castelazo ve Azapagic, 2014; Hanafi ve Raman, 2015) yenilenebilir enerji sistemlerinden tercih edilmesini kaçınılmaz kılmaktadır. Örnek olarak, Güney Kore için Hong ve diğerleri (2019) tarafından yapılan çalışmada güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygınlaştırılmasının fosil yakıtlı enerji santrallerinin ürettiği sera gazı salınımlarını engelleyeceği belirtilmiş olup; benzer bulgular Türkiye için, Keleş ve Bilgen (2012) tarafından yürütülen çalışmada (Keleş ve Bilgen, 2012) elde edilmiştir.

Türkiye'nin enerji salınım konusunda özele inildiğinde, insan faaliyetleri sonucu oluşan küresel ısınma sebeplerinin en büyüğünü %49'luk (Hekimci, 2012; Kadioğlu, 2001) bir oranla enerji üretimi aktivitelerinin oluşturduğu göze çarpmaktadır. Bu sebeple, enerji üretiminin sürdürülebilir ve çevre dostu bir hale getirilmesi akla gelen en yakın çözümlerden biri olmaktadır (Bayraç, 2010; Şanlı ve Özekicioğlu, 2007). Ancak, literatürde ülke gibi büyük alanlar açısından en uygulanabilir yenilenebilir enerji sisteminin hangisi olduğuna karar verebilmek adına Türkiye için geliştirilmiş karar verme yöntemleri (Özkale ve diğ., 2017; Yılan ve diğ., 2019) yer almasına rağmen, sınırları belirlenmiş küçük ölçekte bir yatırım bölgesi için en temiz ve sürdürülebilir enerji kaynağının hangisi olduğuna yönelik yapılmış sınırlı sayıda yayın bulunmaktadır (Schmidt ve diğ., 2017; Oğuz ve Şentürk, 2019). Seçilen bir bölgenin birden fazla yenilenebilir enerji kaynağına sahip olması durumu, tüm dünya düşünüldüğünde her ne kadar çok karşılaşılan bir durum olmasa da; Türkiye coğrafyası için bahsi geçen durum, örneğin, Çanakkale (Bozcaada (Kalinci, 2015) ve Gökçeada (Demirören ve Yılmaz, 2010)) ve Hatay (Bilgili ve diğ., 2004) gibi hem yüksek rüzgâr, hem de yüksek güneş potansiyeli barındıran bölgelerde (Şengüler ve Yumurtacı, 2019) söz konusu olmaktadır. Bu sebeple, Türkiye gibi birden fazla yenilenebilir enerji potansiyeline sahip bölgelerin yoğun olduğu yerlerde, küresel ısınmayı azaltmak için yapılması gereken

yatırımların her yönden incelenmesi gerekliliği aşikârdır. Bu konuya örnek teşkil edebilecek bir çalışmada (Oğuz ve Şentürk, 2019), hem güneş enerjisi potansiyeli, hem de rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından zengin olan Bozcaada'da; kurulu karasal rüzgâr çiftliğinin (R.Ç), söz konusu çalışmada önerilen şebekeye bağlı (on-grid) açık alandaki fotovoltaik sistemden daha sürdürülebilir ve ekonomik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Buradan hareketle, Bozcaada'nın yüksek rüzgâr potansiyelinin (Oğulata, 2003; İlkiliç, 2012) daha iyi değerlendirilmesi açısından önerilen deniz üstü rüzgâr sistemi bu çalışmada ele alınarak; önerilen deniz üstü rüzgâr çiftliği ile 2000 yılından beri işletmede olan karasal rüzgâr sistemi yaşam ömürleri boyunca çevreye yaydıkları emisyonlar bakımından ve ekonomik olarak karşılaştırılmıştır. Kıyaslama yapılırken, çevresel açıdan daha temiz sistemi belirlemek için, daha önce Atılğan ve Azapagic (2016) tarafından Türkiye'nin ulusal elektrik sisteminin çevresel etkilerini değerlendirmek üzere ve Polonya bölgesinde (Piasecka ve diğ., 2019) önerilen karasal ve deniz üstü rüzgâr çiftliklerinin karşılaştırılmasında kullanılan "Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)" yöntemi uygulanmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin modellemelerinde, her iki sistem için GaBi yazılımı kullanılmıştır.

Çevresel açıdan inceleme ölçütleri; sera gazı salınımı (SGS), asitleştirme (asidifikasyon) potansiyeli (AP) ve ötrafikasyon potansiyeli (ÖP) olarak seçilmiştir. Kümülatif enerji talebi (KET) ve enerji geri ödeme süresi (EGÖS), çalışmada kullanılacak olan fonksiyonel birim MWh olacak şekilde seçilerek hesaplanmıştır. Bu arada, bahsi geçen terimlerin sonuçlar kısmında tanımlamaları yapıldıktan sonra, çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Sonuçların elde edilmesinde ise CML 2001-Jan 2016 ölçütleri kullanılmıştır. Yapılan modellemeler sonucunda CML 2001-Jan 2016 ölçütleri ile değerlendirilen sonuçlar, fonksiyonel birime bölünerek Tablo 9'da özetlenmiştir.

Ekonomik olarak hangi sistemin avantajlı olduğunu belirlemek amacıyla, her iki sistem için de (Ristimäki ve diğ., 2013) "Yaşam Döngüsü Maliyeti (YDM)" hesaplanmıştır. Yaşam döngüsü maliyet hesabı için literatürden elde edilen bilgiler ışığında geliştirilen formüller kullanılmıştır. Kıyaslama esnasında ise, üretilen elektriğin birim maliyeti enerji birim maliyeti (EBM) olarak tanımlanmış ve fonksiyonel birim 'MWh' başına maliyet elde edebilmek adına tahmini üretim elektrik üretimine bölünmüştür. Böylece her iki sistem için enerji birim maliyeti (EBM) '\$/MWh' bulunarak, sistemler arasında kıyaslama yapılmasına olanak tanınmıştır.

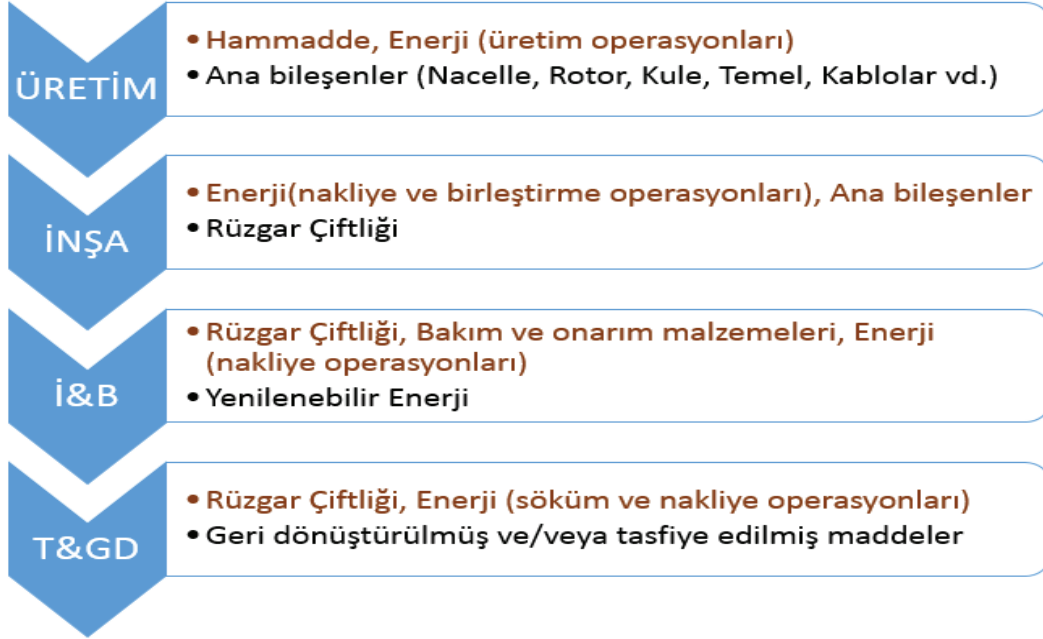
İkinci bölümde, ilk olarak YDD yöntemi açıklanmış ve daha sonra yöntemin uygulanacağı sistemlerin genel kabulleri ve özellikleri sunulmuştur. Bir diğer deyişle, yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) yönteminin anlatılmasını, rüzgâr çiftliği tanımları izlemiştir. Rüzgâr çiftlikleri için yapılması gereken özel kabuller ve özellikler karasal ve deniz üstü rüzgâr çiftliği bölümleri olarak ayrılan kısımlarda ilgili tablolarda gösterilmiştir. Üçüncü bölümde ise, yaşam döngüsü maliyeti (YDM) analizi açıklanmış ve gerekli formüller geliştirilerek her iki sistemin maliyet hesabı kıyaslamaya olanak sağlayacak bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Dördüncü bölüm değerlendirmeler kısmına ayrılırken, sonuçlar beşinci bölümde yer almıştır.

Bu çalışmada, rüzgâr enerjisi açısından hem karasal hem deniz üstü kurulumu yapılabilecek potansiyeli olan yatırım bölgelerinden biri olan Bozcaada'da, hangi tip kurulumun seçilmesi gerektiğine karar verebilmek için bahsi geçen sistemlerin çevresel ve ekonomik özelliklerinin incelenmesi ve kıyaslanması yaşam döngüsü değerlendirme ve yaşam döngüsü maliyet analizi ile gerçekleştirilmiştir. Deniz üstü rüzgâr çiftliği yatırımı konusunda başlangıç seviyesinde bulunan ülkemiz açısından, yapılacak yatırımlarda çevresel ve ekonomik olarak hangi adımlarda daha dikkatli olunması gerekeceğini göstermek açısından bu çalışmanın yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

## 2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)

Yaşam döngüsü değerlendirme bir sistemin, ürünün veya sürecin çevresel özelliklerini incelemek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir (ISO, 2006a; ISO, 2006b).

Yaşam döngüsü değerlendirme; üretim, inşaat, işletme ve bakım, işletmeden çıkartma (tasfiye) ve geri dönüşüm olarak Şekil 1’den de görüldüğü üzere 4 evrede incelenmiştir (Nugent ve Sovacool, 2014; Remimers ve diğ., 2014).



Şekil 1. Rüzgâr çiftliğinde yaşam döngüsü değerlendirme evreleri

### Üretim Evresi

Ham madde çıkarımı ile başlayan bu faz altyapı malzemeleri ve bağlantı noktasına kadar kullanılacak tüm malzemelerin üretilmesi sürecini kapsamaktadır.

### İnşa evresi

Gerekli tüm donanımların inşaat alanına nakliyesi ile başlayan bu evre, devreye alma işlemleri için yapılan test çalışmaları ile devam etmektedir. Tüm sistemin destekleme elemanları yardımıyla temel ile birleştirilmesini de kapsar. Diğer bir deyişle, sistemin işletmeye alınması ile sona erer.

### İşletme ve bakım (İ&B) evresi

Elektrik üretimi ile başlayan, periyodik bakım ve kontrol işlemleri ve arıza onarım süreçlerini kapsayan yaşam döngüsü evresidir. (Kısaltma olarak İ&B, bu evreyi tanımlamak için tablo ve şekillerde kullanılmıştır).

### İşletmeden çıkartma (ya da tasfiye) ve geri dönüşüm (T&GD) evresi

Enerji santralinin sökümü ile başlayan; parçaların geri dönüşüm ve tasfiye edilecekler olarak ayrılmasını içeren evredir. (Bu evrenin kısaltması olarak özellikle tablo ve şekillerde T&GD ifadesi kullanılmıştır).

Bu çalışmanın modellenmesinde GaBi Education sürümü ve dolayısıyla GaBi Education veri tabanı kullanılmıştır.

## 2.1. Rüzgâr Çiftliği Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Rüzgâr çiftlikleri, rüzgârın kinetik enerjisini türbinler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürürler. Türbinlerin konumlandığı saha açısından temelde ikiye ayrılır. Karasal rüzgâr çiftliklerinde, rüzgâr türbinleri kara üzerinde konumlandırılırken; açık deniz rüzgâr çiftliklerinde, rüzgâr türbinleri deniz kıyısı, göl gibi yerlere konumlandırılmaktadır. Literatürde kıyıda 10 kilometre mesafede kurulan deniz üstü türbinleri yakın kıyı (near-shore) olarak adlandırılırken; 10 kilometreden daha uzağa kurulan rüzgâr çiftlikleri uzak kıyı (farshore) olarak adlandırılmaktadır (Güzel, 2012). Bu çalışmada, Bozcaada'da hâli hazırda işletilen karasal rüzgâr çiftliği ile olası yakın kıyı deniz üstü rüzgâr çiftliği kıyaslaması yapılmıştır. Yakın kıyı rüzgâr çiftliği önerisinin en temel sebebi ise henüz Türkiye'de hiçbir deniz üstü yatırımının bulunmamasıdır.

Rüzgâr çiftliği için gerekli donanımlar; rüzgâr türbinleri, kule, temel inşaatı ile karasal rüzgâr çiftliği için bağlantı yolları ve deniz üstü rüzgâr çiftliği için denizaltı kabloları olarak sayılabilir. Kule her iki sistem için de en yakın özellikleri gösteren donanımdır. Çünkü deniz üstü rüzgâr çiftliğindeki kule tasarımı için tek farklılık deniz kaynaklı korozyona karşı alınması gereken önlemlerdir. Bunun dışında, her iki sistemin benzer özellikler gösteren ortak parçaları olmasına rağmen; yapılan bu çalışmada, seçilen türbinler mekanizmaları açısından farklılık göstermektedir. Her iki sistemde ortak olarak yer alan rüzgâr türbini parçaları ise, hareketli parçalar olarak da tanımlanan nacelle ve rotor olarak sayılabilir. Kule ve temel ise rüzgâr çiftliğinin sabit parçaları olarak literatürde yer almaktadır. Rüzgâr çiftliğinin her iki sistemde ortak bileşenleri olan kule, temel inşaatı, nacelle ve rotor tanımlaması yapıldıktan sonra sistemler, model tanımlamaları ve kabulleri için karışıklığa yol açmamak ve yaşam döngüsü envanterlerinin (YDE) doğru bir şekilde anlatılabilmesi adına karasal ve deniz üstü rüzgâr çiftliği olarak iki ayrı başlıkta ele alınmıştır.

### Hareketli parçalar

Yukarıda da bahsedildiği üzere rotor ve nacelle bir rüzgâr çiftliğinin hareketli parçalarını oluşturmaktadır.

#### Nacelle

Rüzgâr jeneratörü, dişli kutusu ve frenlere yatak görevi yapan kısımdır. Üretiminde dökme demir, paslanmaz çelik ve alüminyum kullanılmaktadır. Bu çalışma özelinde hâlihazırda işletmede olan rüzgâr çiftliğini oluşturan Enercon E-40 rüzgâr türbininde direkt tahrik mekanizması kullanılması sebebiyle dişli kutusu yer almamaktadır (Owens, 2019).

#### Rotor

Türbin kanatları ve bu kanatların birleştirilmesi için gerekli olan pervane göbeğinden oluşan kısımdır. Üretimi için dökme demir, fiberglas ve epoksi kullanılır.

### Sabit parçalar

Yukarıda da bahsedildiği üzere kule ve türbin temeli rüzgâr çiftliğinin hareketsiz (sabit) parçaları olarak tanımlanmaktadır.

#### Kule

Ana fonksiyonu, rüzgâr türbinini oluşturan hareketli parçaları (nacelle ve rotoru) taşımaktır. Üretiminde kullanılan başlıca malzeme olarak; düşük alaşımlı çelik ve beton sayılabilir. Deniz üstü rüzgâr çiftliğinde kullanılacak kule tasarımları, tuzlu suyun yaratacağı korozyon etkiye karşı ekstra önlemler alınmasını gerektirir.

## Türbin temeli

Türbinin sabitlenmesi için gerekli olan, çelik ve/veya betondan üretilen kısımdır. Karasal rüzgâr türbinlerinde zemin yapısına göre temel malzemesi seçimi farklılık göstermektedir. Açık deniz veya deniz üstü rüzgâr çiftliklerinde ise, su derinliğine bağlı olarak tekil kazık temel (monopile) (Velarde ve Bachynski, 2017), ağırlık temel (gravity-based), üç kazıklı temel (tripod) (Kaldellis ve Apostolou, 2017), vakumlu kova keson temel (suction caisson), çok kazıklı temel yapılarından kazıklı temel ve kafes tipi temel (multipod (tripod and jacket)) (Oh ve diğ., 2018) ve yüzer (floating) (Oguz ve diğ., 2018) tipi temeller kullanılmaktadır. Bu çalışmada, deniz üstü rüzgâr santrali için uygun bulunan temel tipi, daha önce Bozcaada için yapılmış bir çalışmada da tavsiye edildiği gibi (Oğuz ve İncecik, 2014) tekil kazıklı temel (monopile) olmuştur.

### 2.2. Karasal rüzgâr çiftliği

Bozcaada'nın batı yakasında yer alan işletmedeki karasal rüzgâr çiftliği Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu rüzgâr çiftliği 2000 yılında işletmeye alınmış olup, 17 adet çizgisel olarak dizilen Enercon E-40 (600 kW) rüzgâr türbininden (Turkish Wind Energy Association, 2018; Bilgili, 2009) oluşmaktadır. Kapladığı alan 20.560 m<sup>2</sup> olup, kurulu gücü 10,2 MW'tır. İşletmeci firma uzmanlarından alınan bilgiye göre türbinlerin kule yükseklikleri 44 m'dir. Sistemin merkez trafoya bağlantısı ise 9 km'lik yeraltı kabloları ile sağlanmıştır.



**Şekil 2.** BORES rüzgâr enerji santrali, Bozcaada. (<http://www.demirer.com.tr/santral/bores/index.html>)

Yaşam döngüsü değerlendirmesi doğası gereği bazı kabuller yapmayı gerektirir. Bu çalışma için karasal rüzgâr çiftliği ile ilgili gerekli kabuller Tablo 1'de sıralanırken, karasal rüzgâr çiftliğinin temel özellikleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Karasal rüzgâr çiftliği, Enercon E-40 tipi türbinlerden oluşmakla birlikte; üretici firma Enercon'un web sitesinde türbin yüksekliği ile ilgili herhangi bir özel bilgi yer almamaktadır. Bu yüzden, gerekli malzemeler için kütle değerleri daha önce başka bir bölge için yapılmış ve Enercon E-40 türbinleri içeren diğer bir yaşam döngüsü çalışmasından (Lee ve Tzeng, 2008) elde edilmiştir. Bozcaada'daki, işletmedeki santralin türbinlerinin kule yüksekliğinin 44 m olması dolayısıyla bahsi geçen çalışmadakinden farklı olan kule yüksekliği farkından kaynaklanan gerekli ağırlık değişimleri doğrusal enterpolasyonla revize edilmiştir.

**Tablo 1. Karasal rüzgâr çiftliği kabulleri**

<b>Karasal rüzgâr çiftliği özellikleri ve yapılan kabuller</b>		<b>Açıklamalar</b>
Kurulu güç	10.2 MW	
Santral alanı	20.560 m <sup>2</sup>	Kurulu santral ile ilgili genel bilgiler
Yıllık elektrik üretimi	34 GWh	
Yararlı ömür	20 yıl	(Chipindula ve diğ., 2018)
<b>Yaşam döngüsü envanteri için yapılan kabuller</b>		<b>Açıklamalar</b>
Rüzgâr türbinine kadar yapılan üretimler	Almanya’da	Dökme demirin üretimi dâhil edilirken nakliyesi hariç tutulmuştur.
Elektrik şebekesi	Alman şebekesi	Almanya’da gerçekleşen üretim aşamaları için
Rüzgâr türbini nakliyesi	Kamyon	2640 km (Google Haritalar)
Rüzgâr türbini haricinde kalan diğer parçalar	Türkiye’de	Beton, kablolar ve eviriciler
Elektrik şebekesi	Bulgar şebekesi	Kullanılan yazılımda Türk şebekesi özellikleri bulunmadığında Türkiye’de gerçekleşen üretimler için
Rüzgâr türbinleri dışında kalan malzemelerin nakliyesi	Kamyon	Beton için 305 km, kablo ve eviriciler için 441 km
Tüm malzemelerin santral alanına nakliyesi	Kamyon ve feribot	Feribotla Bozcaada’ya, tırla santral sahasına
Devreye alma	Yunan şebekesi	Türk şebekesinin bulunmaması
İşletme ve bakım	Kamyon	3400 kg yağ değişimi

Beton malzemenin nasıl elde edildiğine dair bir bilgi edinilememiş ve beton malzemeler için nakliye mesafesi 305 km’lik kamyon ve 8 km’lik feribot yolculuğu yaptığı kabul edilerek, hesaplamalara dâhil edilmiştir.

Yaşam döngüsü değerlendirmesinin inşa evresi ise, malzemelerin nakliyesi ile başlamaktadır. Karasal rüzgâr çiftliğinin işletmeye alındığı zamanda Türkiye’de henüz bu tip türbin üretimi için kurulmuş bir fabrika olmadığından hem YDD hem de YDM yöntemleri için rüzgâr türbinlerinin Almanya’dan getirildiği kabul edilmiştir. Almanya’da bulunan Enercon firması ve Bozcaada’da bulunan santral arasındaki nakliyenin, 2640 km’lik kamyon ve 8 km’lik feribot yolculuğu ile gerçekleştirildiği kabul edilmiştir. Bu kabullerin yapılmasında; mesafe ölçümleri için, Google Haritalar kullanılmıştır. Kablo ve eviricilerin işletmecisi firmanın Bilecik’teki kendi kablo fabrikasında üretilmiş olduğu kabulü ile birlikte; kablo ve eviriciler için gerekli nakliye mesafesi 441 km’lik kamyon ve 8 km’lik feribot yolculuğu olarak hesaplamalara dâhil edilmiştir.

Çalışma esnasında yapılan en genel kabul olarak; nakliye mesafeleri santrali oluşturan ana parçalar (rüzgâr türbini, rotor, nacelle, kule ve temel yapımında kullanılan beton malzemeler) için göz önünde bulundurulmuştur. Örnek vermek gerekirse, nacelle üretimi için kullanılacak olan dökme demirin kat ettiği nakliye mesafesi, üretimi için geçirdiği işlemler dikkate alınmasına rağmen, hem yaşam döngüsü değerlendirmesi için yapılan modellemeye, hem de yaşam döngüsü maliyet analizine dâhil edilmemiştir.

**Tablo 2.** Karasal rüzgâr çiftliğinin temel özellikleri

Karasal rüzgâr çiftliğinin konumu	Adanın batı yakasında
Türbin sayısı	17
Türbinin anma gücü	600 kW
Türbinler arası ve merkez trafoya kadar yer altı kablo mesafesi	9 km
Rotor çapı*	43,7 m
Kule yüksekliği	44 m

\*<https://en.wind-turbine-models.com/turbines/68-enercon-e-40-6.44>

### 2.2.1. Karasal rüzgâr çiftliği yaşam döngüsü envanteri (YDE)

Anma gücü -anma rüzgâr hızında tam yükte çalışan türbinin üretim kapasitesi- 600 kW olan 17 adet Enercon E-40 türbinin özellikleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Yaşam döngüsü değerlendirmesinin ilk evresi olan üretim evresinde; rüzgâr çiftliği için gerekli olan bileşenler, Tablo 3'teki özellikleri taşıyacak şekilde ham maddelerinden üretilmiştir.

İkinci evre olan inşaat aşamasında ise; hareketli parçaların montajı için gerekli olan vinç, modellemede kullanılan yazılımda bulunmadığından, ağır iş makinesi olarak programda bulunan ekskavatör bu süreçteki modellemede temsili olarak kullanılmıştır. Santralin devreye alınması ile inşaat aşaması sona erdirilmiştir.

**Tablo 3.** Enercon E-40 türbininin özellikleri\*

Anma gücü	0,60 MW
Kule yüksekliği	44.00 m
Rotor ağırlığı	8.27 ton
Nacelle ağırlığı	19.77 ton
Kule ağırlığı	29.91 ton
Temel ağırlığı	220.00 ton
Toplam ağırlık	277,95 ton

\*(Lee ve Tzeng, 2008)'ten uyarlanmıştır.

Kullanım evresi olarak da adlandırılan işletme ve bakım evresinde ise; yararlı ömür boyunca santralin ürettiği elektrik miktarı, (yıllık 34 GWh'lık elektrik üretimi dikkate alınarak) 680 GWh olarak hesaplanmıştır. Karasal rüzgâr çiftliğinde yapılan bakımlardan biri olan, periyodik bakım ve kontrollerinden biri olan göz muayenelerinde herhangi bir malzeme akışı gerçekleşmemektedir (Owens, 2019; Zeinali ve Keysan, 2019). Karasal rüzgâr çiftliğini oluşturan Enercon E-40 türbinlerinin, her ne kadar dişli kutusu içermemesi sebebiyle diğer rüzgâr türbinlerine göre yağlama ihtiyaçları daha az olsa da, yağlama bakımı; ikinci tip periyodik bakım olması açısından, bu tip santrallerde de önem taşımaktadır. Bu yüzden işletmedeki rüzgâr türbininin yararlı ömrü boyunca 3400 kg yağ kullanılacağı kabul edilmiş ve yağlama operasyonu için toplam 300 km'lik nakliye mesafesi öngörülmüştür. Üçüncü tip periyodik bakım ise, yılda iki kere (Owens, 2019; Chan ve Mo, 2017) olmak üzere mekanik parçaların kontrolünün yapıldığı mekanik bakımdır. Son olarak dördüncü tip periyodik bakımda ise, elektronik aksamlar kontrol edilmektedir. Üçüncü ve dördüncü tip periyodik bakımlar ile arıza onarım bakımları malzeme akışı açısından birlikte değerlendirilmiş ve yararlı ömrü boyunca rüzgâr türbininin hareketli parçalarında %1'lik bir değişim olacağı varsayılarak; işletme ve bakım evresinin malzeme akışları buna göre modellenmiştir. Bu parçaların üretim evresinde yedeklendiği kabul edilmiş; bu yüzden işletme ve bakım evresinde, bu parçaların sadece nakliyeleri önemsenmiştir. Arıza onarım ve periyodik kontrol

bakımları için toplam 300 km'lik nakliye mesafesi öngörülmüştür. Bağlantı yollarının bakımı, bu çalışmada, tahribat oluşturacak trafik yoğunluğu olmadığı için dikkate alınmamıştır.

Dördüncü evre olan tasfiye veya geri dönüşüm evresinde, öncelikle rüzgâr çiftliği kule, nacelle, rotor, temel ile eviriciler ve kablolardan gelen elektronik parçalara bölünecek şekilde sökülülmüştür. Temel bileşeni, karasal rüzgâr türbininin sökümü sonrasında, gelecek yatırımlar adına (Andersen ve diğ., 2014) ve Haapala ve Prempreeda'nın çalışmasında da (Haapala ve Prempreeda, 2014) tavsiye edildiği gibi, inşa alanında bırakılmıştır. Diğer bileşenler ise hammaddelerine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan bu maddeler hurda olarak değerlendirilmek veya imha edilmek üzere ayrılmıştır. Sürecin başında tüm rüzgâr çiftliğini oluşturan maddelerin ağırlığı teker teker hesaplanarak demir, kompozit, beton ve alüminyum malzemeler hurda olarak ayrıştırılmıştır. Uygulanan yaşam sonu işlemleri aşağıda yer alan Tablo 4'te özetlenmiştir. Modelleme aşamasında ise, yazılım içinden gerekli süreçlerin oluşturulması ile üretim aşamasına geri döndürülmeyecek şekilde, ayrıştırılan tüm malzemeler için ömür sonu işlemleri uygulanmıştır.

**Tablo 4.** Karasal rüzgâr çiftliğinde ömür sonu işlemleri

Bileşen ismi	Uygulanan işlem	Oran (%)	Ayrıştırılan malzeme	Bileşen kütlesi
Nacelle+kule	Katı atık	10	Demir	845 ton
	Geri dönüşüm	90		
Rotor	Katı atık	100	Kompozit	142 ton
Temel	Katı atık	100	Beton	3.740 ton
Elektronik parçalar	Katı atık	5	Alüminyum	132 ton
	Geri dönüşüm	95		

### 2.3. Deniz üstü rüzgâr çiftliği

Deniz üstü rüzgâr çiftliği, Bozcaada'nın rüzgâr potansiyeli açısından (Argin ve diğ., 2019) değerlendirilmesi gerektiği düşünülen bir diğer elektrik enerjisi üretim yöntemidir. Daha önce de konu ile ilgili yapılan çalışmalar olmakla (Güzel, 2012; Satir ve diğ., 2018) beraber; Bozcaada çevresinde yapımı planlanan deniz üstü rüzgâr santralının çevresel olarak yararlı ömrü boyunca incelenmesi ilk kez bu çalışmada ele alınmış bulunmaktadır.

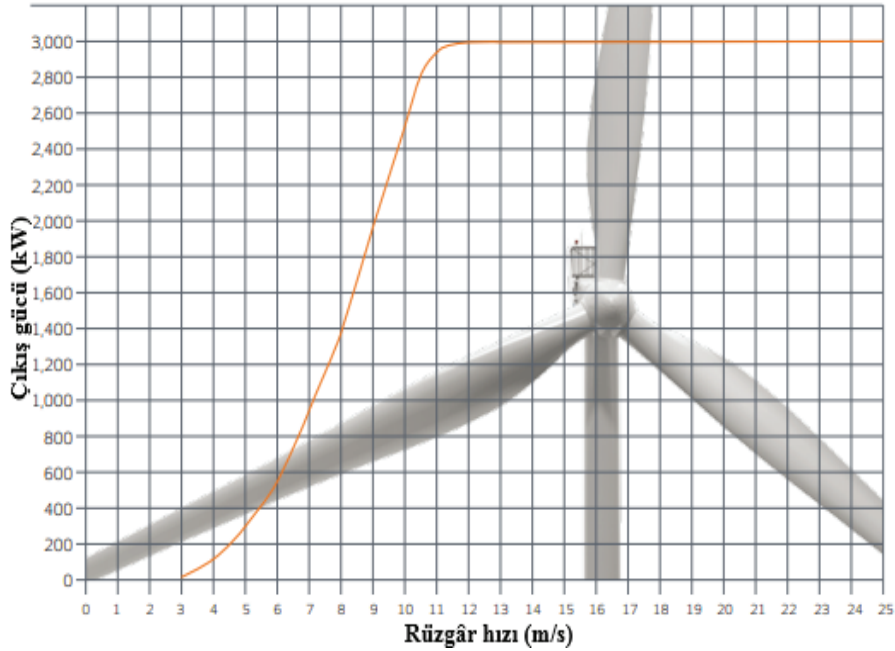
Çalışma esnasında deniz üstü rüzgâr enerji santralının yararlı ömür süresi karasal rüzgâr çiftliğinde olduğu gibi 20 yıl (Chipindula ve diğ., 2018) olarak öngörülmüştür. Çalışmanın sınırlarını belirleme amaçlı yapılan deniz üstü rüzgâr türbini ile ilgili diğer kabuller Tablo 5'te sıralanırken; çalışma için Vestas V112-3MW türbin modeli seçilmiş ve bu model türbinin temel özellikleri Tablo 7'de özetlenmiştir. Kule yüksekliği, (Satir ve diğ., 2018) 94 m yükseklikte konumlandırılacak olan türbinler için ortalama rüzgâr hızının 9,1 m/s olacağı bilgisi ışığında 94 m olarak kabul edilmiştir.

Deniz üstü rüzgâr çiftliği için de, karasal rüzgâr çiftliğinde olduğu gibi, çizgisel dizilim öngörülmüş olup, türbin yerleşiminin hakim rüzgâra karşı yanal dizilimde olacak şekilde yapıldığı varsayılmıştır. Bu yüzden, türbinler arası mesafenin, türbinlerin iz etkisinin minimize edilmesi amacıyla 5 rotor çapı (Öksel ve diğ., 2016) mesafeye konumlandırılması ve dolayısıyla türbinler arası kullanılacak olan kablolama mesafesinin 1120 m olacağı öngörülmüştür. Türbinler arası kablolama için 33 kV'lık kabloların tercih edildiği kabul edilmiştir.



Literatürde yer alan deniz üstü rüzgâr çiftliği çalışmasında (Huang ve diğ., 2017), enerji santrali kapasitesi 30 MW'tan küçük olduğunda deniz üstünde bir alt istasyon yapılması gerekliliği bulunmadığından bahsedilmektedir. Yine aynı çalışmada, santral kapasitesinin 30 MW ve 120 MW arasında değiştiği durumda bile, alt istasyon inşasının anlamlı olması için; açık deniz rüzgâr çiftliğinin karaya olan uzaklığının 10 kilometreden fazla olması, bir diğer deyişle; uzak kıyı olarak tasarlanması (Güzel, 2012) gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada, kıydan uzaklık 10 kilometre olarak (Güzel, 2012; Huang ve diğ., 2017) sabitlenmiş olduğundan, denizde kurulacak alt istasyonun gerekliliği bu kabulde birlikte ortadan kaldırılmıştır.

Deniz üstü santrallerinde, elde edilen elektriğin karaya iletimi sırasında kullanılan kablolar dolayısıyla ortaya çıkan iletim kayıpları bulunmaktadır. Bu kayıpları önlemek için, literatürde geliştirilen 2 yol yer almaktadır. Bunlar; yüksek gerilimli alternatif akım (HVAC) ve yüksek gerilimli doğru akım (HVDC) iletim hatlarıdır. 100 km'den kısa iletim gerektiren (Kirby ve diğ., 2002) ve çok büyük olmayan rüzgâr santrallerinde (Torres Olguin R.E., 2014), kullanılan geleneksel yöntem olarak yüksek gerilimli alternatif akım (HVAC) tercih edilmesi sebebiyle ve daha önce aynı bölge için yapılmış çalışmada da tercih edildiği (Köroğlu ve Ülgen, 2018) gibi; bu çalışmada da, kablolama yöntemi HVAC olarak tercih edilmiştir.



Şekil 3. Vestas V112-3MW Deniz Üstü Türbininin Güç Diagramı \*

\* [https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/v112-3\\_45\\_mw#!](https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/v112-3_45_mw#!)

Türbin yerleşimi için kabul yapılmış olduğundan; yıllık elektrik üretim miktarı, Vestas 112-3MW türbininin önerilip incelendiği bir çalışmadan (Güzel, 2012) türbin başına 14 GWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Seçilen kule yüksekliği için, ortalama rüzgâr hızının 9,1 m/s olduğu (Satir ve diğ., 2018) bilindiğinden, yıllık enerji üretim tahmininin, Şekil 3 ve Tablo 5'ten de anlaşılacağı üzere üretici firmanın öngördüğü değerlerden daha düşük bir değeri işaret etmesine dikkat edilmiştir.

Tablo 5. Vestas V112-3MW Deniz Üstü Türbini Yıllık Enerji Üretimi \*

Rüzgâr hızı (m/s)	Yıllık Tahmini Enerji Üretimi (MWh)
8,5	13.402
9	14.311
9,5	15.119
10,0	15.826

\*[https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/v112-3\\_45\\_mw#!](https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/v112-3_45_mw#!)

Türbinlerden üretilen elektriğin toplanıp anakaraya iletilmesi için, 132 kV kablolardan oluşan kablolama mesafesi 10 kilometre olarak kabul edilmiştir (Tsai, 2013). Vestas rüzgâr türbinlerinin yağlama ihtiyacı ile ilgili bilgiler Türkiye’de bulunan ve bu marka türbinleri karada kullanan işletmeciler firmalardan elde edilmiştir.

### 2.3.1. Deniz üstü rüzgâr çiftliği yaşam döngüsü envanteri (YDE)

Deniz üstü rüzgâr çiftliğinin yaşam döngüsü değerlendirmesi amacıyla evrelerinin oluşturulmasında da karasal rüzgâr çiftliği için izlenen süreçler takip edilmiştir. Farklı olan basamaklara kısaca değinmek gerekirse; Vestas 112-3MW türbin için üretilen dişli kutusu, rüzgâr jeneratörü, rotor ve nacelle üretimi Avrupa’nın farklı bölgelerinde gerçekleştiği için, üretim evresi için yapılan modellemede Avrupa ortak elektrik şebekesi kullanılmıştır. Rotor kanatlarının İtalya’dan ve nacellelerin Danimarka’dan tedarik edilmesi; yani, farklı bölgelerden getirilen malzemelerin olması, nakliye masraflarının hesaplanabilmesi için nakliye mesafelerinin ayrıca not edilmesini gerektirmiştir. Karasal rüzgâr çiftliğinden farklı olarak, temel döküldükten sonra deniz dibine ilave edilmesi gereken çakıl literatürde deniz üstü rüzgâr çiftliğinin hareketli parçaları arasına eklenmiştir (Tsai, 2013).

**Tablo 6.** Deniz üstü rüzgâr çiftliği özellikleri ve yapılan kabuller

Deniz üstü rüzgâr çiftliği için kabuller		Açıklamalar
Yararlı ömür	20 yıl	(Chipindula ve diğ., 2018)
Kurulu güç	9 MW	Vestas V112-3MW
Türbin sayısı	3	Çizgisel dizilim
Türbin yerleşimi		Rüzgâra karşı yanal dizilim
Türbinler arası mesafe	5 rotor çapı (1120 m)	33 kV denizaltı kablo (Öksel ve diğ., 2016)
Türbinlerin kıydan uzaklığı	10 km	Alt istasyon yok (Huang ve diğ., 2017)
Kullanılan kablolama teknolojisi	Yüksek voltajlı alternatif akım (HVAC) (Köroğlu ve Ülgen, 2018)	
Anakaraya iletim hattı	10 km	132kV denizaltı kablo (Tsai, 2013)
Merkez trafoya iletim hattı	9 km	132 kV kablo (Oğuz ve Şentürk, 2019)
Su derinliği	30 m	(Satir ve diğ., 2018)
Yıllık elektrik üretimi	42 GWh	Türbin başına 14 GWh kabulüyle (Güzel, 2012)
Temel tipi seçimi	Tekil kazık temel	(Oğuz ve İncecik, 2014)
Yaşam döngüsü envanteri için yapılan kabuller		Açıklamalar
Santralin devreye alınmasına kadar olan üretimler (temel ve kule hariç)	Avrupa ortak elektrik şebekesi	Dökme demirin üretimi dâhil edilirken nakliyesi hariç tutulmuştur.
Türbinler arası kablolama	33 kV denizaltı kablo	29 t/km (Birkeland, 2011)
Anakaraya bağlantı kablolama	132 kV denizaltı kablo	88 t/km (Birkeland, 2011)
Devreye alma	Yunan şebekesi	Türk şebekesinin yazılımda yer almaması
İşletme ve bakım	Alt istasyon bulunmadığından karadan gemi ile ulaşım	
Yağ değişimi	Türbin başına ömür boyunca 3 kez	15.570 kg

İnşa safhası için kullanılan metot, programın sınırlılıkları nedeniyle deniz ulaşımı için gerekli olan feribot nakliyesi dışında aynen uygulanmıştır.

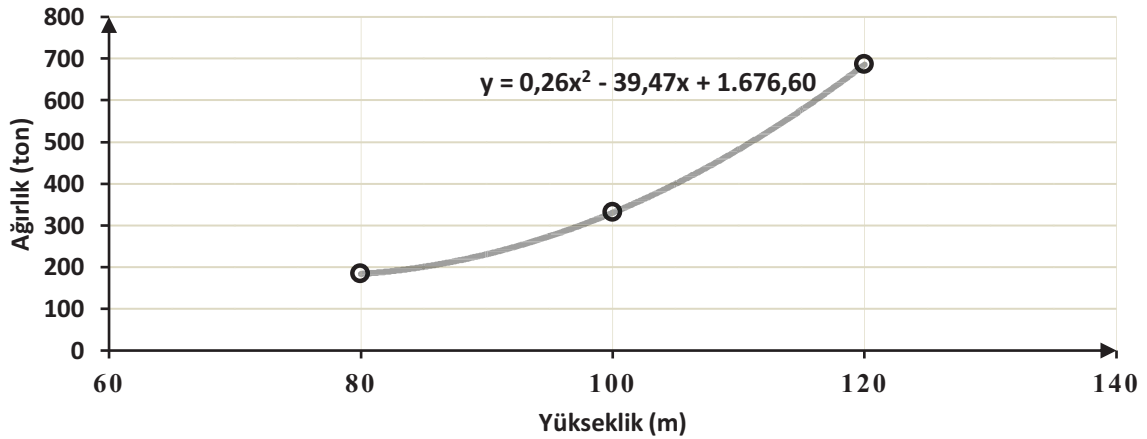
**Tablo 7.** Vestas V112-3MW türbin özellikleri ve nakliye mesafeleri

Anma gücü	3 MW
Rotor çapı	112 m
Kule yüksekliği*	94 m
Rotor ağırlığı (türbin başına)	49,18 ton
Nacelle ağırlığı (türbin başına)	92,63 ton
Kule ağırlığı (türbin başına)**	264,38 ton
Temel ağırlığı (türbin başına)	700,00 ton
Rotor nakliye mesafesi	259 km deniz & 889 km kara
Nacelle nakliye mesafesi	2887 km kara & 10 km deniz

\*Kule yüksekliği ve ağırlığı hariç (Tsai, 2013)'ten uyarlanmıştır.

\*\*Kule yüksekliğine göre ve Şekil 3'te yer alan grafik (Way ve Van Zijl, 2015) yardımıyla hesaplanmıştır.

İşletme ve bakım işlemleri için Tablo 6'da özetlenen bilgiler ışığında denizde bir alt istasyon ihtiyacı olmadığından, gerekli bakım ve arıza onarım işlemleri, malzemelerin karadan feribotla transferi haricinde karasal rüzgâr çiftliğinde olduğu gibi gerçekleştirilmiştir. Karasal rüzgâr çiftliğinden farklı olarak, parça değişim oranları, dişli kutularında ve rüzgâr jeneratörlerinde yararlı ömür boyunca tüm çiftlik için, %15 olarak kabul edilmiştir. Bahsi geçen her iki parça değişimi için tüm hayatları boyunca deniz üstünde kat edilecek mesafenin 40 km olduğu kabul edilmiştir. Yağlama operasyonu için deniz üstünde kat edilecek mesafe ise 200 km olarak öngörülmüştür.



**Şekil 4.** V112-3MW türbin için kule ağırlığının yüksekliğe göre değişim grafiği. (Way ve Van Zijl, 2015)

Dördüncü evre olarak tanımlanan tasfiye ve/veya geri dönüşüm safhasında ise; ayrıştırılan hurda ve geri dönüşüm malzemeleri için nakliye mesafeleri karasal rüzgâr çiftliğindeki gibi uygulanmıştır. Dördüncü aşamadaki en temel farklılık ise, malzemelerin sökümü esnasındaki feribot kullanımındır. Tablo 8'de deniz üstü rüzgâr santralının sökümü sonrası ortaya çıkan hurda malzemelerin kütleleri ve geri dönüşüm oranları birlikte gösterilmiştir. Tasfiye edilen malzemelerden kompozit olanlar hariç, diğerlerinin, Ayvacık'ta kurulması düşünülen katı atık enerji tesisinde değerlendirilmesi öngörülmüştür. Modelleme aşamasında ise yazılım içinden gerekli süreçlerin oluşturulması ile üretim aşamasına geri döndürülmeyecek şekilde ayrıştırılan tüm malzemeler için ömür sonu işlemleri uygulanmıştır.

**Tablo 8.** Deniz üstü rüzgâr çiftliği hurda malzemeleri ve nakliye mesafeleri

Hurda malzeme		Oran		Nakliye mesafeleri
Adı	Kütlesi (kg)	Geri dönüşüm (%)	Tasfiye (%)	
Düşük alaşımlı çelik	2.343.715	90	10	8 km deniz & 270 km kara (Menemen)
Alüminyum	5.373	95	5	
Bakır	293.812	95	5	
Kurşun	220.000	90	10	8 km deniz & 50 km kara (Ayvacık)
Polietilen	135.240	-	100	
Polipropilen	77.120	-	100	
Polivinilklorür	5.260	-	100	
Epoksi	8.210	-	100	0 km
Kompozit	23.440	-	100	

### 3. Yaşam Döngüsü Maliyeti (YDM)

Yaşam döngüsü maliyeti (YDM), bir enerji santralının tüm yaşamı boyunca ortaya çıkan maliyetlerin hesaplanması için geliştirilmiş bir hesaplama yöntemidir (Lee D. , 2012). Bu çalışmada yaşam döngüsü değerlendirmesi ile yaşam döngüsü maliyeti birlikte ele alındığından; yaşam döngüsü maliyeti incelemesinde, enerji santralının kurulumu öncesinde ortaya çıkan maliyetler-örneğin fizibilite ve proje geliştirme maliyetleri vb.- hesaba katılmamıştır. Fizibilite maliyetleri açısından önerilen her iki sistemin maliyetlerinin yakın olacağı düşüncesi bu kabulde etkili olmuştur. Aynı sebeple, işçi maliyetleri yaşam döngüsü maliyetlerine; her iki sistemde de aynı etkiyi yaratacağı düşünülerek, hesaplamalara dâhil edilmemiştir. Bu kabulde ise her iki sistem için de nitelikli işçi çalıştırma gerekliliğinin, sistemlerin büyüklüğü ile doğru orantılı olarak değişeceği gerçeği göz önünde bulundurulmuştur. Diğer bir deyişle, yaşam döngüsü maliyet hesaplamasında her iki sistem için de sadece malzeme maliyetleri ve malzemelerin nakliyesi için katlanması gereken masraflar dikkate alınmıştır ve bu yüzden yaşam döngüsü maliyeti aşağıda açıklandığı gibi yaşam döngüsü değerlendirmesine paralel olacak şekilde üç kategoriye bölünerek incelenmiştir.

#### İlk yatırım maliyeti (İYM)

Enerji santrali kurulumu için gerekli tüm malzeme maliyetleri ve inşaa süreci masrafları bu bölümde ele alınmıştır. Yatırım için gerekli olan altyapı maliyetleri, inşaa süreci maliyeti olarak düşünüldüğünden; ilk yatırım maliyeti içinde ele alınmıştır. Tüm donanımların inşaat alanına nakliyesinin maliyeti de bu kalemin içine dâhil edilmiştir.

#### İşletme ve bakım maliyeti (İBM)

İşletme aşamasında gerekli olan yağ ve boya gibi malzemeler bu bölümün maliyetlerini oluşturmaktadır. Arıza onarımı için gerekli olan malzeme değişim maliyetleri de bu kapsamda değerlendirilmiştir. İlk yatırım maliyetinde yer alan nakliye masraflarına göre görece düşük kalan; gerek parça değişimi, gerekse periyodik bakım işlemi için gerekli ulaşım masrafları da işletme ve bakım maliyeti içinde değerlendirilmeye alınmıştır.

#### Tasfiye ve geri dönüşüm maliyetleri (TGM)

Enerji santralının sökümü için gereken masraflar ile söküm sonrası ortaya çıkan geri dönüşüm ve tasfiye malzemelerinin nakliye masrafları bu bölümde değerlendirilmiştir.

Yaşam döngüsü maliyeti hesabında, santral kurulumu öncesi ortaya çıkacak maliyetler her iki sistem için aynı bölgenin öneriliyor olmasından yola çıkılarak göz ardı edildiğinden; aşağıda yer alan denklem, bu çalışmada kullanılacak olan YDM denklemi (Abu-Rumman ve diğ., 2017) olarak geliştirilip, her iki sistem için uygulanmıştır.

$$YDM = M_Y + M_{I\&B} + M_{T\&G} \quad (1)$$

Daha önce yapılmış bir çalışmadan (Abu-Rumman ve diğ., 2017) esinlenilerek geliştirilen yukarıdaki denklemde;  $M_Y$ , ilk yatırım maliyetini,  $M_{I\&B}$ , işletme ve bakım maliyetini,  $M_{T\&G}$  ise, tasfiye ve geri dönüşüm maliyetini temsil etmektedir.

Yukarıdaki denklem (1) ile tanımlanan yaşam döngüsü maliyeti rüzgâr çiftliği için detaylandırılarak;

$$YDM_{RC} = M_{\text{türbin}} + M_{\text{elek}} + M_{I\&B} + M_n \quad (2)$$

$$M_{I\&B} = M_{\text{türbin}} + M_{\text{altyapı}} + M_{\text{elek}} + M_{n1} \quad (3)$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} + M_{n3} \quad (4)$$

$$M_{I\&B} = M_B + M_{n2} \quad (5)$$

$$M_{TGM} = M_{n3} \quad (6)$$

denklemleri geliştirilmiş olup, kısaltmaların ifade ettiği maliyetler bulgular kısmında yer alan Tablo 10'da özetlenerek, karasal ve deniz üstü rüzgâr çiftliği için kıyaslamalı olarak sunulmuştur.

### 3.1. Karasal rüzgâr çiftliği yaşam boyu maliyeti

Bu bölümde karasal rüzgâr türbininin yaşam döngüsü maliyetinin hesaplamasında uygulanan işlemler detaylı olarak açıklanmıştır.

Denklem (6)'dan da anlaşılacağı üzere tasfiye ve geri dönüşüm evresinin maliyet hesabında malzemelerin sadece nakliye ve söküm masrafları dikkate alınmış olup, hurda satış işlemleri bu çalışmada tasfiye ve geri dönüşüm maliyetlerine dâhil edilmemiştir.

Literatür taraması sonucunda bağlantı yolları ve temel inşasının maliyeti, 2015'te yapılan bir çalışmadan (Erdem ve diğ., 2015) elde edilen bilgiler ışığında ve BORES rüzgâr çiftliğinin kapladığı alan da göz önünde bulundurularak yapılan hesaplamalar sonrasında 2019 yılı için gerekli artış oranlarının uygulanmasıyla; toplam altyapı maliyeti adı altında 271.638,0 \$ olarak elde edilmiştir. Bu tutara, bina ve çevre düzenleme maliyeti; 100 m<sup>2</sup> için 34.180 \$ alınarak, yukarıda bahsi geçen (Erdem ve diğ., 2015) makalede de olduğu gibi aynen eklenmiştir. 2019 yılı maliyetlerine ulaşmak amacıyla kullanılan artış oranı bu malzemelerin üretimlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi kısmında Türkiye'de yapıldığı varsayıldığından, Merkez Bankası tarafından yayınlanan Türk enflasyon oranı (Inflation Calculator) olarak belirlenmiştir.

2006 yılında yapılmış bir çalışmadan (Ozerdem ve diğ., 2006), doğrusal enterpolasyon ile elde edilen rüzgâr türbini fiyatı ile; 17 adet Enercon E-40 için toplam türbin maliyeti hesaplandıktan sonra; yaşam döngüsü değerlendirmesi kısmında türbin üretiminin Almanya'da yapılmış olduğu kabul edildiğinden; 2019 fiyatının tahmininde Alman üretici gösterge fiyatlarına (OECD) göre artış yapılmıştır. Bu çalışma için, tüm bu işlemlerden geçirilen toplam türbin maliyetinin son değeri 12.696.331,4 \$ olarak bulunmuştur.

İşletme ve bakım evresinin maliyet analizinde işçi maliyetleri göz ardı edildiği için, sadece arıza onarım durumunda gerekli olan yedek parça maliyeti ile bakım işlemlerinin maliyetinin karşılığı olarak uygulanan yağlama operasyonunun maliyeti ile bakım için katlanılması gereken nakliye masrafları

dikkate alınmıştır. Bir diğer deyişle, yedek parçaların yaşam döngüsü değerlendirmesi kısmında ilk yatırım esnasında alındığı kabul edildiğinden bu tutarlar; ilk yatırım maliyeti içinde değerlendirilmiş olup, yedek parça maliyeti, işletme ve bakım maliyetlerinin hesaplanmasında kullanılmamıştır. Bu yüzden, yağ ve yağlama maliyeti için literatürde Enercon E-40 türbin için 2008 yılına ait bulunan bakım maliyeti (Fathiyah ve diğ., 2008) yine Alman üretici gösterge fiyatları ile güncelleştirilerek, 106.786,6 \$ olarak hesaplamalara dâhil edilmiştir.

Nakliye masraflarını hesaplamak amacıyla yaşam döngüsü değerlendirmesinde kullanılan yazılımdan (GaBi'den) her nakliye işlemi için dizel yakıt miktarı (lt) elde edilmiştir. Sonra bu miktarlar, British Petrol firmasının arşivlerinden 2019 Ocak ayı dizel fiyatı (BP Türkiye-Ürünler ve Servisler-Akaryakıt-Akaryakıt Pompa Satış Fiyatları) ile çarpılarak her bileşen için nakliye masrafı oluşturulmuştur.

Yukarıda elde edilen tüm maliyetler bulgular kısmında yer alan Tablo 10'da özetlenmiştir.

### 3.2. Deniz üstü rüzgâr çiftliği yaşam boyu maliyeti

Bu bölümde literatürde bulunan fiyatlar ile Bozcaada'da kurulması önerilen deniz üstü rüzgâr çiftliği bileşenlerinin maliyetleri detaylandırılmıştır.

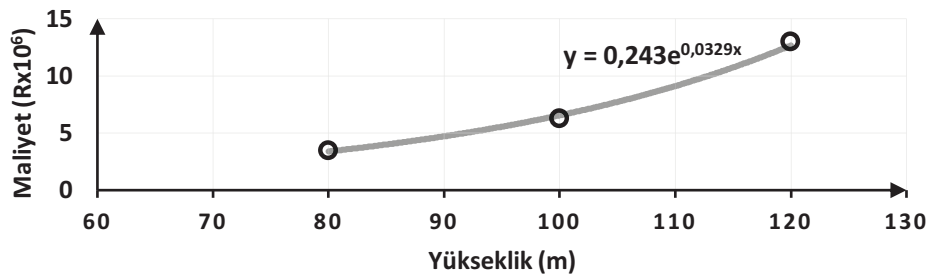
Karasal rüzgâr çiftliğinde bağlantı yolları ve altyapı maliyeti olarak karşımıza çıkan maliyet kalemi deniz üstü rüzgâr çiftliği için tekil kazık temel maliyetine dönüşmüş bulunmaktadır. Literatürden elde edilen tekil kazık tipi temel maliyetini ifade eden denklem (7) (Rosenauer, 2014) ile 30 m derinlik gerektiren tekil kazık temelinin, 2014 yılındaki maliyeti elde edildikten sonra; yaşam döngüsü değerlendirmesi kısmında kullanılan Avrupa ortak şebekesine paralellik teşkil edebilmek adına; Avrupa Birliği (AB) için yayınlanan üretici gösterge fiyat endeksi (OECD), bu sistem için; 2019 Ocak tekil kazık temel maliyetini hesaplamak için kullanılmıştır. Yapılan tüm işlemler sonucunda, tekil kazık temelin 2019 Ocak maliyeti 20.693.864,3 \$ bulunmuştur.

$$\text{Tekil kazık tipi temel maliyeti} = 2,242,483.33 + 7,236 * d_{k\text{ıyı}} + 986,059 * \exp(0.0182 * d) \quad (7)$$

Denklem (7)'de (Rosenauer, 2014);  $d_{k\text{ıyı}}$  kıyıdan uzaklığı,  $d$  temel derinliğini göstermekte olup, verilen denklem anma gücü başına maliyeti ifade etmektedir.

$$\text{Türbin başına maliyet} = (3.106. \ln(x.MW) - 662400) \text{ €} \quad (8)$$

Denklem (8)'de (Kolios ve Brennan, 2018) ise;  $x$  seçilen rüzgâr türbininin anma gücünü ifade ederken, bahsi geçen denklemde maliyet sonucu ise € para birimi olarak elde edilmektedir.



Şekil 5. Vestas V-112 kulesi için maliyet- yükseklik grafiği. (Way ve Van Zijl, 2015)

Bir türbinin toplam maliyeti için ise, türbini oluşturan parçaların -nacelle ve rotor ile kule- maliyeti birlikte düşünülerek hesaplama yapılmıştır. Vestas V-112 3MW türbinin nacelle ve rotor parçalarının toplam maliyeti, denklem (8) (Kolios ve Brennan, 2018) ile hesaplanıp, dolar birimine çevrildikten sonra, 2019 Ocak maliyetinin elde edilmesi için AB üretici gösterge fiyatı (OECD) ile güncellenmiştir. Yapılan bu işlemler sonucunda, bu çalışmada kurulan sistem için tüm nacelle ve rotor parçalarının

toplam maliyeti 7.900.311 \$ olarak elde edilmiştir. Bulunan bu tutara toplam kule maliyeti de eklenerek, toplam türbin maliyeti elde edilmiştir. Toplam kule maliyeti için ise; (Way ve Van Zijl, 2015) çalışmadan elde edilen verilerden oluşturulmuş Şekil 5'te gösterilen grafik kullanılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda tüm türbinlerin toplam maliyeti 9.382.956,0 \$ olarak hesaplanmıştır.

Kablo maliyetlerinin hesaplanmasında, 33 kV'lık türbinler arası kablolar için 2016 yılında yapılan çalışmadan (Judge ve diğ., 2019) elde edilen maliyetler ışığında, 2019 yılındaki tutarlara ulaşmak amacıyla AB üretici gösterge fiyatları (OECD) ile güncelleştirme yapıldıktan sonra, 33 kV'lık kabloların toplam maliyeti 147.993,5 \$ olarak; 132 kV'lık anakaraya bağlantı ve anakaradan istasyon bağlantısı için kullanılan kablolar için (Gonzalez-Rodriguez, 2017) çalışmadan elde edilen ve türbinler arası kablo maliyetinin 2019 yılı fiyatlandırmasını yapmak için kullanılan aynı yöntemle; 132 kV'lık kabloların toplam maliyeti 13.737.648 \$ olarak bulunmuştur.

Deniz üstü rüzgâr çiftliğinin işletme ve bakım maliyetinin hesaplanması aşamasında ise, 2013 yılında yapılmış olan bir tez çalışmasından elde edilen (Puglia, 2013) maliyetler, yine AB üretici gösterge fiyatları (OECD) ile güncellenmiştir. Yapılan işlemler sonucunda, Bozcaada'da kurulması planlanan bu santralin, işletme ve bakım maliyeti 4.960.320,0 \$ olarak hesaplanmıştır.

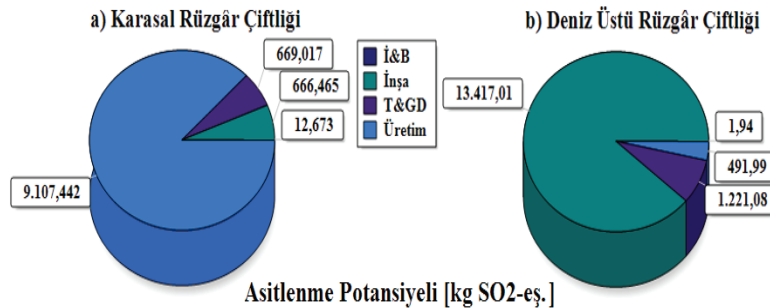
Deniz üstü rüzgâr çiftliğinin son evresi için katlanılması gereken masraflardan oluşan maliyetin hesaplanmasında ise, karasal rüzgâr çiftliğinin tasfiye ve geri dönüşüm evresinin maliyetinin hesaplanmasında da kullanılan denklem (6)'dan yararlanılmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmesinde kullanılan yazılımdan (GaBi'den) elde edilen yakıt miktarlarının British Petrol firmasının arşivlerinden elde edilen 2019 Ocak ayı dizel fiyatı ile çarpılması sonucunda deniz üstü rüzgâr çiftliğinin son evresinin maliyeti 101.052,2 \$ olarak bulunmuştur.

#### 4. Bulgular ve Değerlendirmeler

Bu bölümde, her iki yenilenebilir enerji sistemi için elde edilen bulgular karşılaştırılmalı olarak bulgular bölümünde sunulmuştur. Değerlendirmeler bölümünde ise, bu çalışmanın literatürdeki çalışmalardan farklı olan yönleri vurgulanmaya çalışılmıştır.

##### 4.1. Bulgular

Bu bölümde, GaBi yazılımından elde edilen bulgular grafikler ile ifade edilmiştir. Ayrıca, elde edilen bulguların önem verilen kıstaslar açısından değerlendirilebilmesi için, ulaşılan bulgular her sistemin yaşam boyu üreteceği öngörülen elektrik miktarına bölünerek Tablo 9'da MWh başına değerler olarak sunulmuştur.

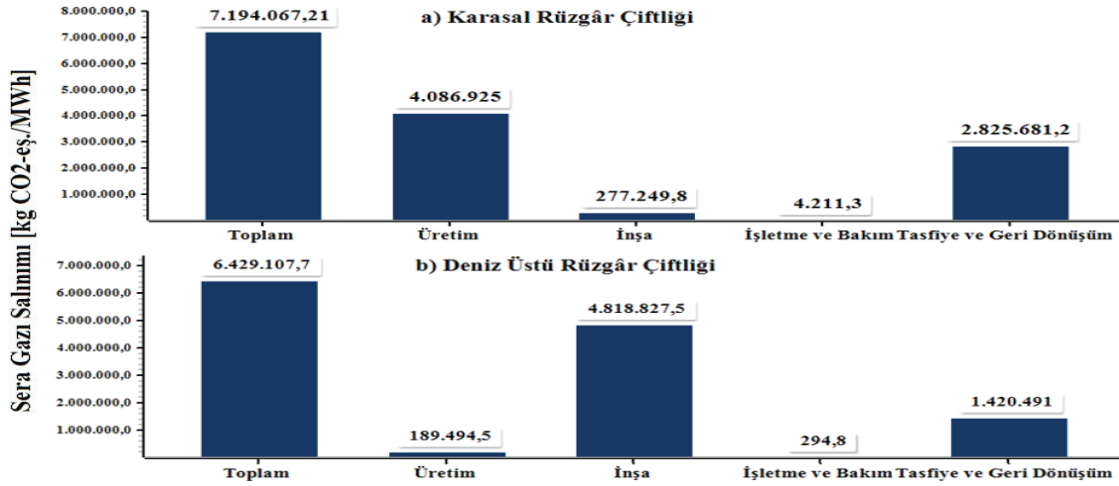


Şekil 6. Evrelerin kıyaslamalı asitleştirme potansiyeli

Asitleştirme; kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve azot oksitler (NO<sub>x</sub>)'lerden önemli hava kirletici olarak kabul edilen azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO<sub>2</sub>) (Cindoruk, 2018) bileşiklerinin oluşturduğu inorganik maddelerin, dünya yüzeyindeki atmosferde tortulaşması olarak tanımlanabilir (Üçtuğ, 2017). Bazı

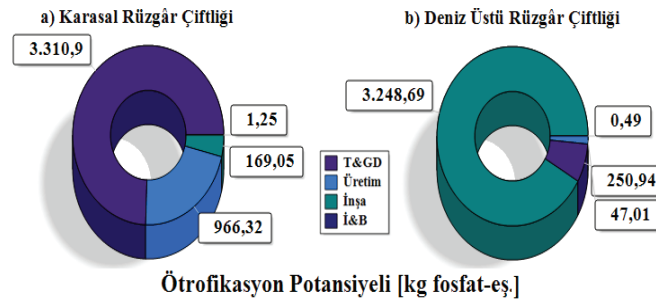
maddelerin H<sup>+</sup> iyonları kurma ve serbest bırakması da asidifikasyon potansiyelinin diğer bir tanımı olarak karşımıza çıkmaktadır (Taşkın, 2018). Asidifikasyon potansiyeli bazı kaynaklarda asitleştirme potansiyeli olarak da adlandırılmaktadır (Şayan ve diğ., 2010). Bu inorganik maddelerin suda çözünmesi; suyun bazikliğini ve inorganik karbon miktarını değiştirerek okyanuslarda kirlenmeye sebep olurken, atmosferdeki birikim sonucunda ise asit yağmurlarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Kim ve Chae, 2016).

Şekil 6'dan da anlaşılacağı üzere, deniz üstü rüzgâr çiftliğinin inşa evresi ağır iş makinelerinin kullanımını gerektirdiğinden karasal rüzgâr çiftliğindeki duruma göre daha yüksek asidifikasyon potansiyeli teşkil etmektedir. Karasal rüzgâr çiftliğinin en yüksek asitleştirme yaptığı evre ise üretim evresidir.



Şekil 7. Evrelerin kıyaslamalı sera gazı salınımı

Şekil 7'den de görüldüğü üzere; en yüksek sera gazı salınımı karasal rüzgâr çiftliği için %57'lik payla üretim evresinde gerçekleşirken, deniz üstü rüzgâr çiftliği için %75'lik pay ile inşa evresinde ortaya çıkmaktadır. Deniz üstü rüzgâr santralının inşa evresinde gereken ağır iş makinesi kullanımı bu durumun ortaya çıkmasındaki en büyük etken olarak gösterilebilir.



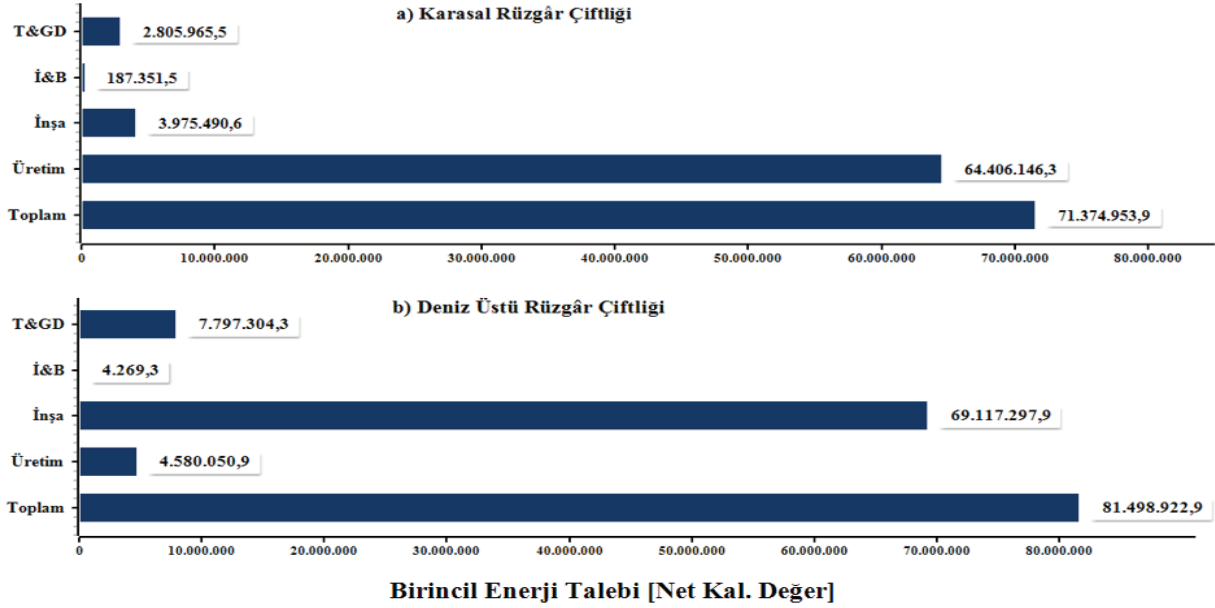
Şekil 8. Evrelerin kıyaslamalı ötrofikasyon potansiyeli

Ötrofikasyon gölün besleyici elementlerce zenginleşmesi (Yağcı, 2010) ve bunun sonucunda kıyı alanlarındaki tür dağılımını ve ekosistem fonksiyonunu olumsuz etkileyen bir çevre sorunudur (Doğan-Sağlamtimur ve Sağlamtimur, 2018). Bu süreci özellikle iki ana besin maddesi (azot ve fosfor) harekete geçirir. Ötrofikasyon açısından deniz üstü rüzgâr çiftliğinin karasal rüzgâr çiftliğine göre daha avantajlı olduğu ise, Şekil 8'den anlaşılmaktadır.

Şekil 9'da ise, her iki sistemin beşikten mezara kadar kullandığı net enerji miktarı (birincil enerji talebi) gösterilmektedir. Deniz üstü rüzgâr çiftliğinin birincil enerji talebinin, karasal rüzgâr çiftliğinin birincil enerji talebine göre daha fazla olduğu Şekil 9'dan anlaşılmaktadır. Tablo 9'da kıyaslama amaçlı kullanılan kümülatif enerji talebi (Mert ve diğ., 2017) ise, bir birim elektrik üretimi gerçekleştirebilmek için harcanması gereken ilk enerji miktarı olarak tanımlanabilir. Şekil 9'da deniz üstü rüzgâr çiftliği için



harcanması gereken ilk enerji miktarı daha yüksek olmasına rağmen, deniz üstü rüzgâr çiftliğinde üretilmesi öngörülen elektrik enerjisi miktarının da daha yüksek olması kümülatif enerji talebi sonucunun deniz üstü teknolojisi için daha düşük çıkmasına sebep olmuştur. Bu durumun bir diğer sonucu ise, Tablo 9'dan anlaşılacağı üzere; sistemlerin tüm yaşamı boyunca kullanacağı enerjiyi üretme süresi olarak da ifade edilebilecek olan, enerji geri ödeme sürelerinin deniz üstü rüzgâr çiftliği için yaklaşık 7 ay; karasal rüzgâr çiftliği için ise yaklaşık 7,4 ay olmasına neden olmuştur.



**Şekil 9.** Teknolojilerin ihtiyaç duyduğu enerjilerin evrelere göre gösterimi

Özetlemek gerekirse, Tablo 9'dan anlaşılacağı üzere, çevresel anlamda, deniz üstü rüzgâr çiftliğinin dezavantaj yarattığı tek nokta asidifikasyon potansiyelidir. Bulgular bölümünde de değinildiği üzere, inşa evresinin işletmeye alma kısmında kullanılan ağır iş makineleri sonucunda ortaya çıkan bu durum, deniz üstü rüzgâr çiftliğinin kurulumu için daha çevre dostu teknolojiler içeren yöntemlerin geliştirilmesiyle aşılabilir.

**Tablo 9.** Kıyaslama bulguları

	Karasal	Deniz Üstü
Sera Gazı Salınımı (SGS) [kg CO <sub>2</sub> -eş./MWh]	10,64	7,65
Asitleştirme Potansiyeli (AP) [kg SO <sub>2</sub> -eş./MWh]	0,01545	0,01801
Ötrofikasyon Potansiyeli [kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -eş./MWh]	0,00651	0,00422
Enerji Geri Ödeme Süresi (EGÖS) [yıl]	0,62	0,58
Kümülatif Enerji Talebi (KET) [MJ/MWh]	104,95	97,02
Enerji Birim Maliyeti (EBM) [\$ /MWh]	35,22	59,00

Yaşam döngüsü maliyet analizi ile ilgili olarak, Tablo 10'da hesaplamalarda kullanılan maliyet kalemlerinin kısaltmaları ile açıklamaları birlikte verilmiştir. Karasal ve deniz üstü rüzgâr santrali kurulumunda ortaya çıkan maliyetler kıyaslamalı olarak sunulmuştur. Tablo 10'dan anlaşılacağı üzere; karasal rüzgâr çiftliğindeki en yüksek maliyet kalemini türbinler oluşturmasına rağmen, deniz üstü rüzgâr teknolojisi yatırımında tekil kazık temel (monopile) en yüksek maliyetli kalem olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Tablo 10.** Maliyetler için kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları

Kısaltmalar	Açıklamalar	Maliyetler [Ş]	
		Karasal	Deniz Üstü
<b>M<sub>türbin</sub></b>	Toplam türbin maliyeti	12.696.331,4	9.382.998,3
<b>M<sub>elek</sub></b>	Toplam elektronik aksam maliyeti	10.768.314,0	13.885.641,2
<b>M<sub>altyapı</sub></b>	Toplam altyapı (temel) maliyeti	271.638,0	20.693.864,3
<b>M<sub>n1</sub></b>	Üretim ve inşa evresinde gerçekleşen toplam nakliye ve montaj masrafı	98.263,0	483.857,7
<b>M<sub>iyM</sub></b>	İlk yatırım maliyeti	23.838.415,9	44.446.361,5
<b>M<sub>B</sub></b>	Bakım için gerekli malzemelerin toplam maliyeti	106.786,6	5.008.292,1
<b>M<sub>n2</sub></b>	İşletme ve bakım döneminde gerçekleşen nakliye masrafı	237,8	321,6
<b>M<sub>iBM</sub></b>	İşletme ve bakım maliyeti	107.024,4	5.008.613,7
<b>M<sub>n3</sub></b>	Tasfiye ve geri dönüşüm evresi için gerçekleştirilen nakliye masrafı	7.530,0	101.052,2
<b>M<sub>TGM</sub></b>	Toplam tasfiye ve geri dönüşüm maliyeti	7.530,0	101.052,2
<b>M<sub>n</sub></b>	Tüm yaşam döngüsü boyunca nakliye masrafı	106.030,8	585.231,5
<b>YDM<sub>RÇ</sub></b>	Rüzgâr çiftliğinin yaşam döngüsü maliyeti	23.952.970,3	49.556.027,5

Enerji üretim maliyeti açısından ise, Tablo 9'dan görüleceği üzere; enerji birim maliyeti (EBM) 35,22 \$/MWh olan karasal rüzgâr sistemi, enerji birim maliyeti 59,00 \$/MWh olan deniz üstü rüzgâr çiftliğine göre daha avantajlı bir yatırım olmaktadır. Deniz üstü rüzgâr teknolojisinin yeni gelişen bir teknoloji olması dolayısı ile bu durumun zaman içinde değişeceğini söylemek yanlış olmayacaktır.

Tablo 11'den anlaşılacağı üzere, karasal rüzgâr çiftliği için kullanılan malzemelerin oluşturduğu ilk yatırım maliyetinin oranı; işletme ve bakım operasyonlarının maliyetinin deniz üstü rüzgâr çiftliğine göre daha az masraflı olmasından dolayı, toplam yaşam döngüsü maliyeti içinde en yüksek oranı oluşturmaktadır. Bu da; deniz üstü rüzgâr çiftliğinin işletme ve bakım evresi için, daha ekonomik yöntemlerin araştırılmasını önemli kılmaktadır.

**Tablo 11.** Evrelerin maliyet oranları

	Karasal Rüzgâr Çiftliği	Deniz Üstü Rüzgâr Çiftliği
<b>İYM (nakliye ve söküm hariç)</b>	99,11	88,71
<b>İ&amp;B (nakliye ve söküm hariç)</b>	0,45	10,11
<b>Toplam nakliye ve söküm masrafları</b>	0,44	1,18

#### 4.2. Değerlendirmeler

Karşılaştırma yapmak adına bir diğer sonuç değerlendirme kistası olan (TRACI 2) ile tekrar değerlendirme yapıldıktan sonra bu çalışmada analizi yapılan deniz üstü rüzgâr çiftliğinin sera gazı salınımı 7,64 kg CO<sub>2</sub>-eş./MWh olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçla beraber seçilebilecek değerlendirme kistaslarından TRACI 2 ve CML2001-Jan 2016 arasında sera gazı salınımı değerlendirmesi açısından belirgin bir fark olmadığı söylenebilir. Ancak asitleştirme potansiyeli açısından, birimin değişmesinden de anlaşılacağı üzere TRACI ve CML2001-Jan 2016 yöntemleri ile hesaplanan sonuçların kıyaslanması mümkün görünmemektedir. Bu yüzden küresel ısınma potansiyeli (sera gazı salınımı) açısından, bu çalışmada önerilen deniz üstü rüzgâr çiftliği yapısı ile kıydan uzaklık ve temel tipi ve derinliği açısından

(Tsai ve diğ., 2016) çalışmada yer alan Berrien eyaleti sonuçları karşılaştırılmıştır. Berrien eyaletinde küresel ısınma potansiyeli 27,98 kg CO<sub>2</sub>-eş./MWh olarak elde edilirken, bu çalışmada 7,64 kg CO<sub>2</sub>-eş./MWh olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin arasındaki yaklaşık 4 kat farkın en büyük sebebi olarak elektrik üretim değerlerinin farklı olması gösterilebilir. Yani, Berrien ilçesinde kurulan deniz üstü rüzgâr türbinlerinden (Tsai ve diğ., 2016) bir tanesi yıllık ortalama 7,9 GWh elektrik üretimi yaparken, bu çalışmada bahsedilen değer 14 GWh olarak öngörülmüştür (Güzel, 2012; Vestas). Bu çalışmada türbin başına öngörülen yıllık elektrik üretim değeri (14 GWh) yukarıda bahsi geçen çalışmada kullanılarak sera gazı salınımı hesabı güncellendiğinde, 15,75 kg CO<sub>2</sub>-eş./MWh değeri elde edilmiştir. Bu noktadan sonra geriye kalan farklılık ise, kablolu kaynaklı sera gazı salınımı olarak karşımıza çıkmaktadır. (Tsai ve diğ., 2016) çalışmasında yer alan toplam kablo mesafesi, türbinler arası 81 km, karaya olan bağlantı 10 km ve karada devam eden kablo mesafesi 3 km olmak üzere toplam 94 km'dir. Bu çalışmada ise, Tablo 6'dan da detayları görüldüğü üzere toplam kablo kullanımı yaklaşık 20 km'dir. Buradan hareketle toplam türbin sayısının, dolayısıyla elektrik üretim miktarının artışı ile azalması beklenen sera gazı salınımının; türbin sayısının artmasıyla dolaylı olarak ortaya çıkan kablo miktarındaki artış ve bu kablo miktarındaki artış kaynaklı kurulum aşamasında ortaya çıkan sera gazı salınımında sebep olduğu artış nedeniyle; beklenenin aksine sistemin sera gazı salınımını arttırdığı (burada bahsi geçen kıyaslamada yaklaşık olarak 2 kat) aşikârdır. Bu yüzden, yüksek kapasiteli deniz üstü rüzgâr çiftliği için dikkat edilmesi gereken, Şekil 7'nin de doğruladığı gibi inşa evresinin en belirgin aşaması olan nakliye ve kurulum sürecinde ortaya çıkacak emisyon oranları olmalıdır. Bu noktada değinilmesi gereken bir diğer husus ise, (Tsai ve diğ., 2016) çalışmasında kullanılan bir diğer yaşam döngüsü değerlendirmesi yazılımı olan SimaPro 7.0 ile bu çalışmada kullanılan GaBi Education sürümlerindeki farklı veri tabanları dolayısıyla ortaya çıkan inşa aşamasında kullanılan donanımlardaki farklılıktır. Daha önce de belirtildiği gibi, bu çalışmada GaBi Education veri tabanında bulunan kurulum aşamasının modellemesinde kullanılabilecek ağır iş makinesi donanımı sadece ekskavatör idi. (Tsai ve diğ., 2016) çalışmasında ise, vinç ve kaldırma gemisi kullanılmıştır. Ortaya çıkan 2 kat farkın bir diğer sebebi olarak gösterilebilecek unsurlardan biri de budur. Bahsi geçen çalışmada, karşılaştırılması yapılan tüm durumlar için düşünülen alt istasyonun, bu çalışmada yer almadığı da gözden kaçırılmaması gereken bir diğer unsurdur. Buradan yola çıkarak alt istasyon yapımının ciddi oranda malzeme gerektirmesi dolayısıyla oluşan bu fark da önemli bir yer işgal ettiği ve (Haung ve diğ., 2017) çalışmasında da vurgulandığı gibi, bir diğer deyişle; alt istasyon yapımının daha kötü çevresel sonuçlar yaratacağı söylenebilir. Bu sebeple, bir deniz üstü rüzgâr çiftliği yatırımında çevresel olarak dikkat edilmesi gereken unsurların en önemlilerinden biri, alt istasyona ihtiyaç olup olmadığının belirlenmesidir.

Bulgular kısmında deniz üstü rüzgâr çiftliği için çevresel anlamda tek dezavantajlı nokta olarak ortaya çıkan asidifikasyon potansiyeli, Şekil 6 ve Tablo 9'un da yardımıyla detaylı olarak incelediğinde; sadece inşa evresinin 0,01597 kg SO<sub>2</sub>-eş./MWh değeri ile deniz üstü rüzgâr santralının asitleştirmesinin yaklaşık %90'lık kısmını oluşturduğu görülmektedir. Bu da, deniz üstü rüzgâr çiftliğinin inşa evresinde yer alan nakliye ve kurulum teknolojilerinin, daha önce de değinildiği gibi, gözden geçirilmesi gerekliliğini işaret etmektedir.

Yaşam döngüsü maliyeti ile ilgili olarak ise; konu ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda da belirtildiği gibi (Köroğlu ve Ülgen, 2018), deniz üstü rüzgâr çiftliğinin yatırım maliyetinin karasal rüzgâr santrali yatırımlarının yaklaşık 2 katı olmasının deniz üstü teknolojilerinin gelişmesiyle kapanacağı düşünülmektedir. Bu maliyet farkının azaltılabilmesi amacıyla yapılması gerekenlerden biri olarak, deniz üstü rüzgâr sisteminin en yüksek maliyet kalemini oluşturan temel teknolojisinin maliyetini (bu çalışma özelinde 30 m derinlik için tasarlanan tekil kazık temelin maliyetini) azaltmak üzere Ar-Ge faaliyetlerinin artırılması da sayılabilir.

## 5. Sonuçlar

Türkiye’de henüz deniz üstü rüzgâr çiftliği yatırımı olmadığından; bu çalışmada, türbin sayısı 3 ile sınırlı tutulup, Vestas V-112 3MW türbinleri ile kurulacak bir deniz üstü rüzgâr çiftliğinin yararlı ömür süresince elektrik üretim miktarı 840 GWh olarak öngörülmüştür. Oysaki karada bulunan 17 adet Enercon E-40 türbiniyle 20 yılda 680 GWh elektrik üretimi yapılabilmektedir. Asitleştirme potansiyeli haricinde deniz üstü teknolojisinin 3 türbin kullanımıyla birlikte bile, daha çevresel olduğu göz önüne alındığında; deniz üstü rüzgâr teknolojisinin yaygınlaşması, bir diğer deyişle, açık deniz veya deniz üstü türbin sayısının artırılmasıyla, Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığı, çevreye daha az salınım gerçekleştirilerek azaltılabilir.

Bu çalışma özelinde bir yorum yapmak gerekirse, Bozcaada’da yapılacak bir deniz üstü rüzgâr çiftliği kurulumunda, potansiyel teşkil eden su derinliğinin (Güzel, 2012) 20-45 m arasında tekrar değerlendirilmesinde, Tablo 10’da yer alan ikinci en yüksek maliyet kaleminin kablolama maliyetleri olduğu göz önünde bulundurularak; optimum tasarım için temel derinliği ve kablo mesafelerine öncelik veren bir fizibilite çalışması oldukça anlamlı olacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışmada yapılan kıyaslamalar; değişen teknik detayların fazla olduğu sistemlerin (karasal ve deniz üstü gibi farklı yer seçimleri içerebilen, deniz üstü çiftliğinde dişli kutulu mekanizma teknolojisi barındıran ve karasalda direkt tahrikli rüzgâr türbinlerinin kullanıldığı ve seçilen anma güçlerinin farklı olduğu vb.) karşılaştırılabilmesi için yaşam döngüsü değerlendirilmesi (YDD) ile yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi, herhangi bir bölgede yapılması düşünülen bir yatırım öncesi, çevresel etkiler ve maliyet açısından yatırımcıya fikir vermek üzere kullanılacak yöntemlerdir. Çoklu karar matrisi gibi daha karmaşık karar alma mekanizmalarının uygulandığı karar verme süreçlerinde, bu etkenlerin yanı sıra risk değerlendirilmesi ile birlikte yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) çalışmaları yapılması da seçilecek yatırımın daha anlamlı olmasını sağlayacaktır.

## Kaynaklar

Abu-Rumman, A. K., Muslih, I., & Barghash, M. A. (2017). Life Cycle Costing of Wind Generation System. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 4(3), 185-191. doi:10.22105/jarie.2017.54726

Andersen, P. D., Bonou, A., Beauson, J., & Brøndsted, P. (2014). Recycling of wind turbines. Technical University of Denmark (DTU). [http://orbit.dtu.dk/files/102458629/DTU\\_INTL\\_ENERGY\\_REP\\_2014\\_WIND\\_91\\_97.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/102458629/DTU_INTL_ENERGY_REP_2014_WIND_91_97.pdf) adresinden alındı

Argin, M., Yerci, V., Erdogan, N., Kucuksari, S., & Cali, U. (2019). Exploring the offshore wind energy potential of Turkey based on multicriteria site selection. *Energy Strategy Reviews*, 23, 33-46. doi:https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.12.005

Atilgan, B., & Azapagic, A. (2016). Renewable electricity in Turkey: Life cycle environmental impacts. *Renewable Energy*, 89(April), 649-657. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.082

Bayraç, H. N. (2010). Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi ve Önleyici Politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 229-259. <http://dergipark.org.tr/ogusbd/issue/10998/131623> adresinden alındı

Bilgili, M. (2009). A Global Review of Wind Power Installations and their Development in Turkey. *Soil Air Water*, 37(3), 195-202. doi:10.1002/cfen.200800231

Bilgili, M., Şahin, B., & Kahraman, A. (2004). Wind energy potential in Antakya and İskenderun regions, Turkey. *Renewable Energy*, 29(10), 1733-1745. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.10.003>

Birkeland, C. (2011). Assessing the Life Cycle Environmental Impacts of Offshore Wind Power Generation and Power Transmission in the North Sea. Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering.

Bores Bozcaada Santrali. (tarih yok). 13 Temmuz 2019 tarihinde <http://www.demirer.com.tr/santral/bores/index.html> adresinden alındı

BP Türkiye-Ürünler ve Servisler-Akaryakıt-Akaryakıt Pompa Satış Fiyatları. (tarih yok). 13 Temmuz 2019 tarihinde <http://www.bppompafiyatlari.com/> adresinden alındı

Chan, D., & Mo, J. (2017). Life cycle reliability and maintenance analyses of wind turbines. *Energy Procedia*, 110, 328-333. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.148>

Chipindula, J., Botlaguduru, V., Du, H., Kommalapati, R., & Huque, Z. (2018). Life Cycle Environmental Impact of Onshore and Offshore Wind Farms in Texas. *Sustainability*, 10, 2022. doi:<https://doi.org/10.3390/su10062022>

Cindoruk, S. S. (2018). Havadaki NO ve NO<sub>2</sub> Parametrelerinin Marmara Temiz Hava Merkezi Ölçümleri Kapsamında İncelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 600-611. doi:10.28948/ngumuh.443194

CML-Institute of Environmental Sciences, Department of Industrial Ecology. (2016). CML-IA Characterisation Factors. Leiden, The Netherlands: Leiden University.

Demiroren, A., & Yilmaz, U. (2010, January). Analysis of change in electric energy cost with using renewable energy sources in Gökceada, Turkey: An island example. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 323-333. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.030>

Doğan-Sağlamtimur, N., & Sağlamtimur, B. (2018). Sucul Ortamlarda Ötrofikasyon Durumu ve Senaryoları. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 75-82. doi:10.28948/ngumuh.386307

Enercon E-40/6.44-600,00 kW-Wind Turbine. (tarih yok). 13 Temmuz 2019 tarihinde <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/68-enercon-e-40-6.44> adresinden alındı

Erdem, O., Batur, B., Bilge, Z. D., & Temir, G. (2015). Bozcaada'da Kurulacak Olan Bir Rüzgar Enerjisi Santralinin Ekonomik Analizi. *Tesisat Mühendisliği*, 148(Temmuz/Ağustos), 22-27.

Eremia, M., Toma, L., & Sanduleac, M. (2017). The Smart City Concept in the 21st century. *Procedia Engineering*, 181, 12-19. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.357>

Fathiyah, R., Mellott, R., Panagoda, M., & Lane, M. (2008). Windmill Design Optimization through Component Costing. IEEE Seminar. London, U.K.

Gonzalez-Rodriguez, A. G. (2017). Review of offshore wind farm cost components. *Energy for*

Sustainable Development, 37(April), 10-19. doi:<https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.12.001>

Güzel, B. (2012). Açık Deniz Rüzgar Enerjisi, Fizibilite Adımları ile Bozcaada ve Gökçeada Örnek Çalışması. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü.

Haapala, K. R., & Prempreeda, P. (2014). Comparative life cycle assessment of 2.0 MW wind turbines. *Int. Journal of Sustainable Manufacturing*, 3(2), 170-185. doi:DOI: 10.1504/IJSM.2014.062496

Hanafi, J., & Raman, A. (2015). Life Cycle Assessment of a Mini Hydro Power Plant in Indonesia: A Case Study in Karai River. *Procedia CIRP*, 29, 444-449. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.160>

Hekimci, F. (2012). Sürdürülebilir Yarınlar İçin; "Sürdürülebilir Tüketim ve Enerji Verimliliği". *Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Anahtar Dergisi*, 226, 10-15. 21 Ağustos 2019 tarihinde <https://anahtar.sanayi.gov.tr/tr/news/surdurulebilir-yarinlar-icin-surdurulebilir-tuketim-ve-enerji-verimliliği/158> adresinden alındı

Hernández, C. V., González, J. S., & Blanco, R. F. (2019). New method to assess the long-term role of wind energy generation in reduction of CO<sub>2</sub> emissions- Case Study of the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 207(10th January), 1099-1111. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.249>

Hong, J. H., Kim, J., Son, W., Shin, H., Kim, N., Lee, W. K., & Kim, J. (2019). Long-term energy strategy scenarios for South Korea: Transition to a sustainable energy system. *Energy Policy*, 2019(April), 425-437. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.055>

Huang, Y.-F., Gan, X.-J., & Chiueh, P.-T. (2017). Life cycle assessment and net energy analysis of offshore wind power systems. *Renewable Energy*, 102(Part A), 98-106. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.050>

İlkiliç, C. (2012). Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1165-1173. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.021>

Inflation Calculator. (tarih yok). 13 Temmuz 2019 tarihinde <http://www3.tcmb.gov.tr/inflationcalc2/inflationcalc.php> adresinden alındı

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC.

IPEEC Building Energy Efficiency Taskgroup. (2018). *Zero Energy Building Definitions and Policy Activity- An International Review*. Paris, France: IPEEC. [https://ipeec.org/upload/publication\\_related\\_language/pdf/766.pdf](https://ipeec.org/upload/publication_related_language/pdf/766.pdf) adresinden alındı

ISO. (2006a). ISO 14040:2006 - Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework. Geneva,Switz.: Int. Organ. Stand.

ISO. (2006b). ISO 14044:2006 - Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines. Geneva, Switz.: Int. Organ. Stand.

Jeong, B., Oguz, E., Wang, H., & Zhou, P. (2018). Multi-criteria decision-making for marine propulsion: Hybrid, diesel electric and diesel mechanical systems from cost-environment-risk perspectives. *Applied*

Energy, 230(15th November), 1065-1081. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.074>

Jeong, B., Wang, H., Oguz, E., & Zhou, P. (2018, 20th June). An effective framework for life cycle and cost assesment for marine vessels aiming to select optimal propulsion systems. *Journal of Cleaner Production*, 187(20th June), 111-130. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.184>

Judge, F., McAuliffe, F. D., Sperstad, I. B., Chester, R., Flannery, B., Lynch, K., & Murphy, J. (2019). A lifecycle financial analysis model for offshore wind farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103(April), 370-383. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.045>

Kadioğlu, M. (2001). *Bildiđimiz Havalarnın Sonu Küresel İklım Deđiđimi ve Türkiye*. Gncel Yayıncılık: İstanbul.

Kaldellis, J., & Apostolou, D. (2017). Life cycle energy and carbon footprint of offshore wind energy. Comparison with onshore counterpart. *Renewable Energy*, 108(August), 72-84.

Kalinci, Y. (2015, May). Alternative energy scenarios for Bozcaada island, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 468-480. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.001>

Karl, T. R., & Trenberth, E. (2003). Modern Global Climate Change. *Science*, 302(1719). doi:DOI: 10.1126/science.1090228

Keleş, S., & Bilgen, S. (2012). Renewable energy sources in Turkey for climate change mitigation and energy sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5199-5206. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.026>

Kim, T. H., & Chae, C. U. (2016). Environmental Impact Analysis of Acidification and Eutrophication Due to Emissions from the Production of Concrete. *Sustainability*, 8, 578. doi:10.3390/su8060578

Kirby, N., Xu, L., Lockett, M., & Siepmann, W. (2002). HVDC transmission for large offshore wind farms. *Power Engineering Journal*, 16(3), 135-141. doi:10.1049/pe:20020306

Kolios, A., & Brennan, F. (2018). Review of existing cost and O&M models, and development of a highfidelity cost/revenue model for impact assessment. Cranfield University/University of Strathclyde.

Köroğlu, M. ., & lgen, K. (2018). *Denizüstü Rüzgâr Enerji Santralleri: Çanakale rneđi*. G Sistemleri Konferansı. Ankara. doi:10.5281/zenodo.1482655

Köseoğlu, ., & Demirci, Y. (2018). Akıllı Őehirler ve Yerel Sorunların zmnde Yenilikçi Teknolojilerin Kullanımı. *Uluslararası Politik Araştırmalar Dergisi*, 4(2), 2528-9969. [https://www.academia.edu/37513030/Akilli\\_Sehirler\\_Makale\\_adresinden\\_alındı](https://www.academia.edu/37513030/Akilli_Sehirler_Makale_adresinden_alındı)

Lee, D. (2012). Fundamentals of Life-Cycle Cost Analysis. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1812(January 2002), 203-210.

Lee, Y.-M., & Tzeng, Y.-E. (2008). Development and Life-Cycle Inventory Analysis of Wind Energy in Taiwan. *Journal of Energy Engineering*, 134(2). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9402\(2008\)134:2\(53\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9402(2008)134:2(53))

Li, Q. S., Chen, F. B., Li, Y. G., & Lee, Y. Y. (2013). Implementing wind turbines in a tall building for power generation: A study of wind loads and wind speed amplifications. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 116(16th May), 70-82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jweia.2013.03.004>

Mert, G., Linke, B., & Aurich, J. C. (2017). Analysing the Cumulative Energy Demand of Product-service Systems for wind Turbines. *Procedia CIRP*, 59, 214-219. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.09.018>

Nugent, D., & Sovacool, B. K. (2014). Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. *Energy Policy*, 65(February), 229-244. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.048>

OECD. (tarih yok). 2019. doi:doi: 10.1787/a24f6fa9-en

Oguz, E., & Incecik, A. (2014). Feasibility of Installing Offshore Wind Farms in the North Aegean Sea, Turkey. *Grand Renewable Energy 2014, International Conference and Exhibition 27 July - 1 August. Tokyo Big Sight, Tokyo, Japan.*

Oguz, E., Clelland, D., Day, A. H., Incecik, A., López, J. A., Sánchez, G., & Almeria, G. G. (2018). Experimental and numerical analysis of a TLP floating offshore wind turbine. *Ocean Engineering*, 147(January), 591-605. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.10.052>

Oğulata, R. T. (2003). Energy sector and wind energy potential in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7(6), 469-484. doi:[https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(03\)00090-X](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(03)00090-X)

Oğuz, E., & Şentürk, A. (2019). Selection of the most sustainable renewable energy system for Bozcaada Island: wind vs. photovoltaic. *Sustainability*, 11(15), 4098. doi:<https://doi.org/10.3390/su11154098>

Oh, K.-Y., Nam, W., Ryu, M. S., Kim, J.-Y., & Epureanu, B. I. (2018). A review of foundations of offshore wind energy convertors: Current status and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 88(May), 16-36. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.005>

Owens, B. N. (2019). *Europe Sails Ahead. The Wind Power Story-A Century of Innovation That Reshaped The Global Energy Landscape* (s. 245). içinde New Jersey, Canada: WILEY-IEEE Press.

Ozerdem, B., Ozer, S., & Tosun, M. (2006). Feasibility study of wind farms: A case study for Izmir, Turkey. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94(10), 725-743. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jweia.2006.02.004>

Öksel, C., Koç, A., Koç, Y., & Yağlı, H. (2016). Antakya Körfezi Deniz Üstü Rüzgar Enerjisi Potansiyel Araştırılması. *SUJEST*, 4(1), ISSN: 2147-9364 (Elektronik).

Örselli, E., & Akbay, C. (2019). Teknoloji ve Kent Yaşamında Dönüşüm: Akıllı Kentler. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 2(1), 228-241. doi:<https://doi.org/10.33712/mana.544549>

Özkale, C., Celik, C., Turkmen, A. C., & Cakmaz, E. S. (2017). Decision analysis application intended for selection of a power plant running on renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(April), 1011-1021. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.006>



Piasecka, I., Tomporowski, A., Flizikowski, J., Kruszelnicka, W., Kasner, R., & Mroziński, A. (2019). Life Cycle Analysis of Ecological Impacts of an Offshore and a Land-Based Wind Power Plant. *Applied Sciences*, 9(2), 231. doi:<https://doi.org/10.3390/app9020231>

Puglia, G. (2013). *Life Cycle Cost Analysis on Wind Turbines*. Gothenburg, Sweden: Energetic Engineering, Chalmers University of Technology.

Reimers, B., Özdirik, B., & Kaltschmitt, M. (2014). Greenhouse gas emissions from electricity generated by offshore wind farms. *Renewable Energy*, 72(December), 428-438. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.07.023>

Ristimäki, M., Säynäjoki, A., Heinonen, J., & Junnila, S. (2013). Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design. *Energy*, 63(December), 168-179. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.030>

Rosenauer, E. (2014). *Investment Costs of Offshore Wind Turbines*. Center for Sustainable Energy, University of Michigan.

Santoyo-Castelazo, E., & Azapagic, A. (2014). Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production*, 80(1st October), 119-138. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.061>

Satir, M., Murphy, F., & McDonnell, K. (2018). Feasibility study of an offshore wind farm in the Aegean Sea, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), 2552-2562. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.063>

Schanes, K., Giljum, S., & Hertwich, E. (2016). Low carbon lifestyles: A framework to structure consumption strategies and options to reduce carbon footprints. *Journal of Cleaner Production*, 139(15th December), 1033-1043. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.154>

Schmidt, K., Alvarez, L., Arevalo, J., & Abbassi, B. (2017). Life Cycle Impact Assessment of Renewable Energy Systems: Wind vs. Photovoltaic Systems. *International Journal of Current Research*, 9(10), 59140-59147.

Şanlı, B., & Özekicioğlu, H. (2007). Küresel Isınmayı Önlemeye Yönelik Çabalar ve Türkiye. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*(2007/2), 456-482. <http://dergipark.org.tr/kmusekad/issue/10223/125697> adresinden alındı

Şayan, Y., Özen, N., Kırkpınar, F., & Polat, M. (2010). Organik Hayvansal Üretim ve Çevre. Türkiye t. Organik Hayvancılık Kongresi. Kelkit. <http://orgprints.org/19000> adresinden alındı

Şengüler, F., & Yumurtacı, Z. (2019). Hybrid Solar And Wind Energy Potential Map of Turkey and Cost Analysis of 1 MW Hybrid Power Plants. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology (IJERAT)*, 5(6), E-ISSN : 2454-6135. doi:10.31695/IJERAT.2019.3450

Taşkın, E. (2018). Linyit Yakıtlı Pilot Termik Santral İçin Baca Gazı Emisyon Azaltma Seçeneklerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.

Torres Olguin R.E., G. A. (2014). HVDC Transmission for Offshore Wind Farms. M. A. Hossain J. içinde,

Large Scale Renewable Power Generation (s. 289-310). Springer, Singapore: Green Energy and Technology. doi:[https://doi.org/10.1007/978-981-4585-30-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-4585-30-9_11)

Tsai, L. (2013). An Integrated Assessment of Offshore Wind Farm Siting: A Case Study in the Great Lakes of Michigan. Michigan: The University of Michigan.

Tsai, L., Kelly, J. C., Simon, B. S., Chalat, R. M., & Keoleian, G. A. (2016). Life Cycle Assessment of Offshore Wind Farm Siting: Effects of Locational Factors, Lake Depth, and Distance from Shore. *Journal of Industrial Ecology*, 20(6), 1370-1383. doi:<https://doi.org/10.1111/jiec.12400>

Turkish Wind Energy Association. (2018). Turkish Wind energy Statistic Report. Ankara, Turkey.

USGCRP. (2017). Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment. Washington, DC, USA: U.S. Global Change Research Program. doi:doi: 10.7930/J0J964J6

Üçtuğ, F. G. (2017). Stakeholder Opinion-Based Comparison of Life Cycle Environmental Impacts of Electricity Generation in Turkey with Selected European Countries. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A- Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 18(1), 178-198. doi:10.18038/aubtda.300422

Velarde, J., & Bachynski, E. E. (2017). Design and fatigue analysis of monopile foundations to support the DTU 10 MW offshore wind turbine. *Energy Procedia*, 137(October), 3-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.330>

Vestas. (tarih yok). 3 Eylül 2019 tarihinde [https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/v112-3\\_45\\_mw#!](https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/v112-3_45_mw#!) adresinden alındı

Vourdoubas, J. (2018). Review of sustainable energy technologies used in buildings in the Mediterranean basin. *Journal of Buildings and Sustainability*, 1(2).

Wang, H., Oguz, E., Jeong, B., & Zhou, P. (2018). Life cycle cost and environmental impact analysis of ship hull maintenance strategies for a short route hybrid ferry. *Ocean Engineering*, 161(1st August), 20-28. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.04.084>

Way, A., & Van Zijl, G. (2015). A study on the design and material costs of tall wind turbine towers in South Africa. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 57(4), 45-54. doi:10.17159/2309-8775/2015/v57n4a6

Yağcı, M. (. (2010). Göllerde Ötrofikasyon, Kontrolü ve Planktonik Gösterge Türler. *YUNUS Araştırma Bülteni*, 10(1), 11-14.

Yılan, G., Kadirgan, M. N., & Çiftçioğlu, G. A. (2019). Analysis of electricity generation options for sustainable energy decision making: The case of Turkey. *Renewable Energy*, 146, 519-529. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.164>

Yuan, X., Wang, X., & Zuo, J. (2013). Renewable energy in buildings in China—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24(August), 1-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.022>

Zeinali, R., & Keysan, O. (2019). A Rare-Earth Free Magnetically Geared Generator for Direct-Drive Wind Turbines. *Energies*, 12(3), 447. doi:10.3390/en12030447

# İki Gemi Baş Tasarımı İçin Dalga Eğilme Moment Analizi Üzerine Bir Çalışma

Özgür Özgüç<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye  
ozguco@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7238-0642

## ÖZET

Bir geminin yapısı, servis ömrü boyunca geminin deneyimleyeceği statik ve dinamik yüklere dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Dalgaların hareketi ve ortaya çıkan gemi hareketlerinin etkileri ile geminin tekne yapısına dinamik yükler uygulanır. Bu çalışmanın amacı, iki farklı gemi baş tasarımı ile teknenin düşey dalga eğilme momentinin değerlerini analiz etmektir. Hidrodinamik yükler WASIM bilgisayar programı kullanarak hesaplanıyor ve bu kapsamda geminin NAPA dataları, tekne ofset tablosu ve yükleme koşulları dikkate alınıyor. Yükleme koşulu özet tablolarından, analiz için bir tam yük koşulu seçilir. WASIM hesaplamaları, seaworthy başlı ve balb başlı ile dalga dikey bükülme momentinin ortasında gerçekleştirilmiştir. Dikkate alınan yükleme koşulu, homojen bir tam yük koşuludur. MLER dalgalarındaki teknenin doğrusal olmayan WASIM hesaplamaları, tam yük koşulu için, seaworthy başlı teknenin en yüksek dalga dikey eğilme momenti gemilerinin, balb başlı teknenin muadil değerinden % 2.6 daha yüksek olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dalga eğilme momenti, hidrodinamik analiz, gemi hareketleri, tekne yapısı

**Makale geçmişi:** Geliş 05/02/2020 – Kabul 31/03/2020

# A Study on Wave Bending Moment Analysis for Two Bow Designs

Özgür Özgüç<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

ozguco@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7238-0642

## ABSTRACT

A ship's structure is designed to withstand the static and dynamic loads to be experienced by the ship throughout its service life. Dynamics loads are exerted on the ship's hull structure through the action of the waves and the effects of the resultant ship motions. The objective of the study is to analyse the vertical wave bending moment amidships of the vessel with the two different bow designs. The hydrodynamic loads are calculated with the computer program WASIM based on loading condition summary tables, ship hull offset tables and NAPA database of the vessel. From the loading condition summary tables, one full load condition is selected for the analysis. WASIM calculations have been carried out of the wave vertical bending moment amidships with a bulbous bow and a seaworthy bow. The considered loading condition is a homogenous full load condition. The nonlinear WASIM calculations of the vessel in the MLER (Most Likely Extreme Response) waves show that for full load condition, the highest wave vertical bending moment amidships of the vessel with the seaworthy bow is 2.6% higher than the counterpart value of the vessel with the bulbous bow.

**Keywords:** Wave bending moment, hydrodynamic analysis, ship motions, hull structure

**Article history:** Received 05/02/2020 – Accepted 31/03/2020

## 1. Introduction

Ship hull girder loads consist of dynamic and static parts. The most significant of those parts are the still water bending moments and shear forces. The still water part results from the difference between the distributions of the various weight items and the distribution of the supporting buoyancy forces along the vessel length. The weight items include lightweight of the vessel, cargo weight and weight of consumables. The dynamic loads include wave induced hydrodynamic loads, sloshing, slamming, inertia loads due to ship motion and impact loads. The dynamic wave induced loads include the vertical and horizontal shear forces, bending moments and torsional moments. Wave loads are assessed by means of one of the two methods such as design wave method and spectral analysis method. The latter method is based on either short or long-term predictions, transfer functions, and the assumption that

loads are linearly dependent on wave height. Depending on the loading condition of the ship, the still water bending moments and shear forces are calculated by means of the classification societies rules. A more detailed analysis is needed when determining the dynamic components of the hull girder loads for extreme sea conditions that the ship is bound to encounter over its lifetime (Shama, 2013).

Clauss and Klein (2016) investigated the effect of the bow geometry on the vertical bending moment on the basis of three types of ships and the influence of two different freeboard heights on the vertical bending moment for one ship. It was shown that large bow flares and freeboard heights contribute significantly to the vertical bending moment. Further, the critical loads and motions depend most notably on combinations of wave height, wave group sequences, crest steepness, encountering velocity and the ships target position.

Temarel et al. (2016) evaluated the methods used for the assessment of wave-induced loads on ships examining analytical, numerical and experimental approaches. The study focused on conventional ocean going vessels and loads originating from steady state and transient excitations, namely slamming, sloshing and green water, for the latter, and including extreme or rogue waves, as well as the more occasional loads following damage.

Rajendran et al. (2016) analysed the vertical responses of a bulk carrier, containership and a passenger ship using linear to fully body nonlinear numerical methods based on strip theory. The ships were classified based on their bow flare angles and the effects of the bow flare variation on the vertical responses were investigated numerically. The numerical ship responses in abnormal waves and extreme sea conditions were compared with the measurements. The extreme loads acting upon the ships were also compared with the rule vertical bending moment.

Parunov et al. (2004) addressed the calculation of design vertical wave bending moments for unconventional oil tankers of new generation that were defined by low length-to-beam ratio. The linear strip theory was used for the calculation of transfer functions, while standard IACS procedure was employed for long-term prediction of extreme values. Some recommendations with regards to incorporation of hydrodynamic analysis for the calculation of extreme wave loads in ship design were provided.

Fonseca et al. (2010) investigated the vertical motions and bending moments of a FPSO vessel in regular waves and in several design storms with a duration of three hours corresponding to the 100 years return period of the Norwegian ocean. The aim was to determine the relevance of abnormal waves with regard to extreme bending moments. The maximum bending moments, measured and calculated for the North Sea environment that were compared with the Class rule minimum requirements.

Present study is to analyse the vertical wave bending moment amidships of the vessel with the two different bow designs. The hydrodynamic loads are calculated with the computer program DNV GL WASIM (2009) based on loading condition summary tables, ship hull offset tables and NAPA database of the vessel. From the loading condition summary tables, one full load condition is selected for the analysis.

Linear calculations using the DNV GL WASIM (2009) are performed to obtain transfer functions of the vertical bending moment amidships of the vessel for the two bow designs. Based on the transfer functions, an irregular wave can be conditioned such that it gives a prescribed linear bending moment at a prescribed time step. The irregular designed wave has been generated to give rule sagging moment.

The vertical bending moments are calculated for the vessel in the conditioned waves for the two bow designs in full loading condition using nonlinear WASIM. Vertical bending moments amidships for the two bow designs are obtained as result.

## 2. Scope of the Work

The scope of work is defined as follows:

- Perform linear WASIM calculations to obtain vertical bending moment transfer functions amidships in full load condition
- Condition irregular incident bow waves so that prescribed bending moment is produced at prescribed time step
- Calculate the vertical bending moment amidships in the conditioned waves for the two bow designs in full load condition with nonlinear WASIM program

## 3. Main Particulars and Loading Conditions

The vessel's main dimensions are summarized in Table 1.

**Table 1.** The vessel's main particulars

Length between perpendiculars	191.000 m
Breadth (mould)	23.762 m
Draft (mould)	10.680 m
Depth (mould)	14.850 m

The main characteristics of the analysed loading condition for the ship in head sea are given in Table 2 below. This loading condition is used for both designs.

**Table 2.** Analysed loading condition

Loading conditions	Displacement	Draft AP	Draft FP	Center of Gravity from AP	GM	Pitch radius of inertia
	[tonne]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
LC	43932	10.59	10.92	91.75	1.47	43.83

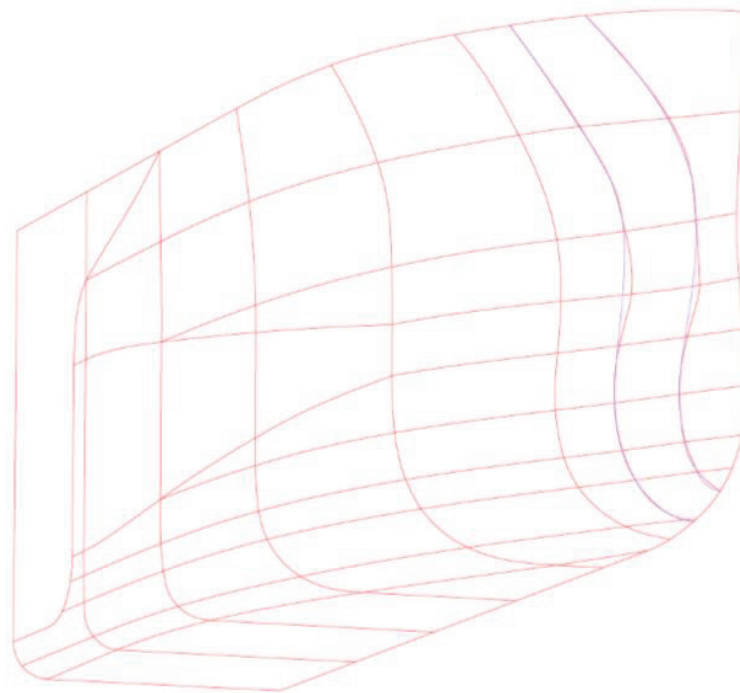
## 4. Updated Water Lines for Seaworthy Bow

When all WASIM calculations had been completed, updated ship lines because of providing enough buoyancy for seaworthy bow were received. To avoid possible delay of the work, the updated ship lines

are compared with the ship lines used in the WASIM geometry calculations. The comparison shows that a slight difference only occurs to one location near the bow as shown in Figure 1. This difference gives 11 tonnes more displacement at bow (the bow would be fuller at that position, which would in turn create more buoyancy), and it tends to increase vertical bending moment amidships for sagging. If only hydrostatic buoyancy is considered, this fuller shape at bow would create an extra amidships vertical bending moment as following;

$$VBM_{\text{extra}} = mg \times (L_{bp} / 2) = 11 \times 9.81 \times (191/2) \text{ kNm} = 10305.4 \text{ kNm}$$

which is about 0.6% of the wave bending moment for the seaworthy bow.



**Figure 1.** Main difference between updated lines and lines used in WASIM (the blue lines denote the updated ship lines)

## 5. Hydrodynamic Analysis

The results presented in this study are calculated by use of the WASIM program. WASIM is a linear and nonlinear 3D time domain computer program. The linear version can be used to calculate linear transfer functions while the nonlinear version can be used to simulated nonlinear ship motions in waves. The computer program WASIM (previously known as DNV-SWAN) is a 3-dimensional time domain program for arbitrary shaped ships (including multi-hulls) or other marine structures in waves. The ship may have an arbitrary forward speed, the waves can come from any direction and the responses can be computed in all six degrees of freedom.

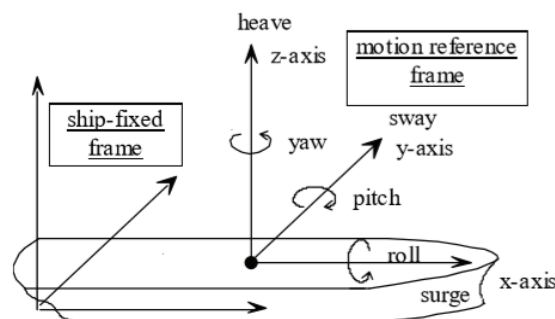
The program is based on a three-dimensional Rankine Panel method, where also the free surface is modelled. Radiation conditions are treated by including a zone where the free surface condition is modified such that the waves are absorbed, i.e. a numerical beach on the outskirts of the free surface

domain. WASIM was originally developed in a co-operation between Massachusetts institute of Technology and DNV GL.

In the present work, the WASIM version, which is a further development of the SWAN code by DNV, has been applied. WASIM is, in light of the complex problem it solves, a very efficient program. Thus time records of duration of several hours can be obtained with reasonable computational effort. It also benefits from extensive numerical stability analyses done in the early development phase. For this reason the stability is under good control and the program has become very robust. The applied version of WASIM can be run in both a fully linear mode and in a non-linear mode. The implemented non-linear option still solves the linear radiation and diffraction problem. The Froude-Krylov force is calculated by integration of the incident wave pressure over the instantaneous wetted surface of the hull and gives thus a nonlinear contribution. This instantaneous wetted surface is defined by the instantaneous position and orientation of the ship in the incident wave. An additional option is to include slamming loads. A pre-process calculation is then conducted for a set of 2-dimensional strips of the hull using the 2DBEM program as developed under the MARIN-CRS research program. These results are subsequently used in the nonlinear WASIM simulation. Thus nonlinear contributions for damping and added mass are incorporated from the above-water-part.

DNV GL WAVESHIP software (2009) efficiently calculates wave motions and loads on ships moving with forward speed, and is based on 2D strip theory, where the roll-damping can be included using the Tanaka model. Viscous damping is tuned by using the empirical methods available in the WAVESHIP program and subsequently used to set the viscous damping in WASIM. The motion equations are solved in an Eulerian frame thus allowing for large amplitude motions. The incident waves are modelled according to linear wave theory. The pressure above the still water level is modelled hydrostatically. The included non-linearities can give significant contributions to both global loads and motions in large waves (Pastoor, 2002).

The sign convention of the motions and co-ordinate system as used in the hydrodynamic calculations is shown in Figure 2. All the co-ordinates mentioned in this report are with respect to a ship fixed co-ordinate system with the x-axis pointing forward, the y-axis pointing to port and the z-axis pointing upwards.

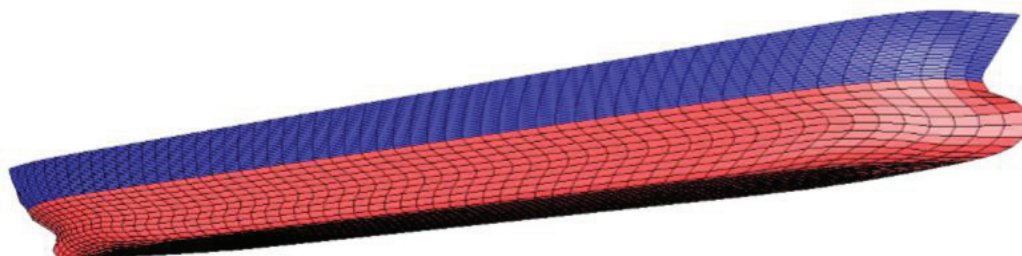


**Figure 2.** WASIM co-ordinate system and ship fixed co-ordinate system.



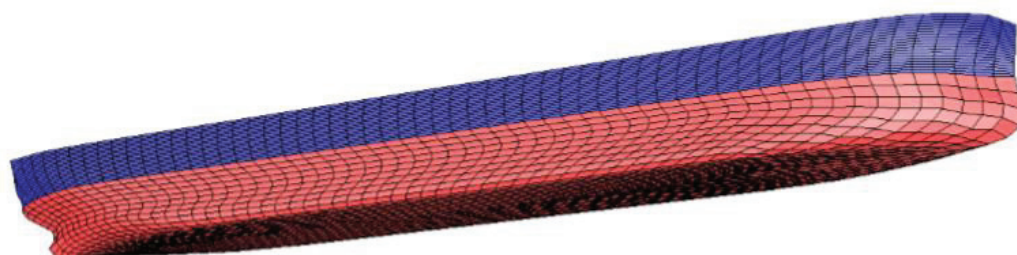
## 6. Geometry and Mass Modelling

WASIM panel model with 60 panels in longitudinal and 20 panels (half ship) in transverse direction is created for the bulbous bow as shown in Figure 3 for an illustration of the mean wetted part of the ship hull as used in the ship motion calculations.



**Figure 3.** Panel model on ship hull for WASIM calculations (full load, bulbous bow), red part is below calm water surface, blue part is above water surface. Blue part is only used for nonlinear WASIM simulations.

For the seaworthy bow, the panel model below and above calm water in full load condition is shown in Figure 4 as below.



**Figure 4.** Panel model on ship hull for WASIM calculations (full load, seaworthy bow).

The mass model of the ship is generated by use of the light ship weight distribution tables and cargo weight tables. Some relevant details are given in Table 2 for full load condition of the vessel with the bulbous bow and seaworthy bow.

## 7. Still Water Bending Moment

By WASIM simulations of the vessel in still water for the two bow designs, the still water bending moment amidships is obtained as given in Table 3 below.

**Table 3.** Still water bending moment

	Bulbous Bow	Seaworthy Bow
Vertical bending moment (amidships) [kNm]	261,300	268,900

### 8. Vertical Bending Moment Transfer Functions

Linear WASIM calculations are performed to obtain linear transfer functions for vertical bending moment amidships in full load condition for the vessel with bulbous bow and seaworthy bow. The transfer functions of vertical bending moment amidships are given in Figure 5.

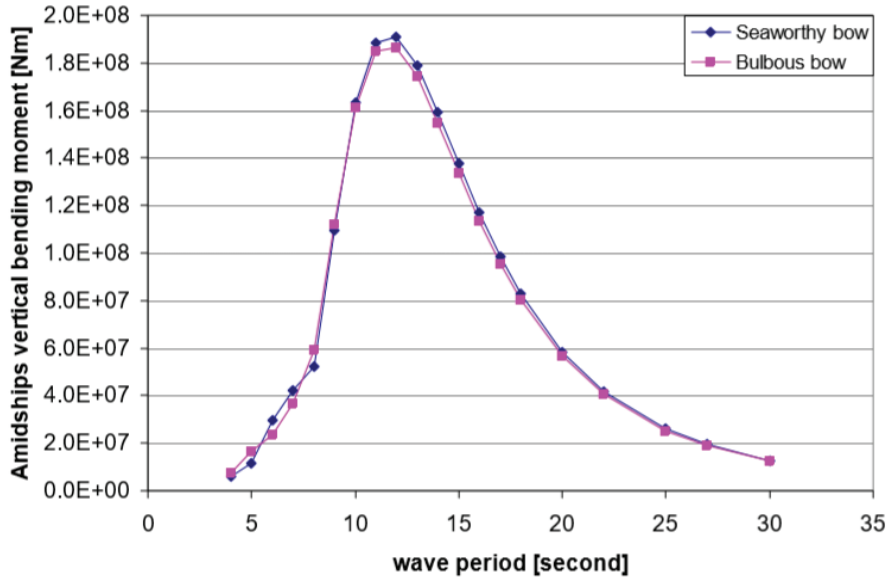


Figure 5. Vertical bending moment transfer function for full load condition in head sea.

### 9. Irregular Incident Bow Waves Conditioned for Prescribed Vertical Bending Moment

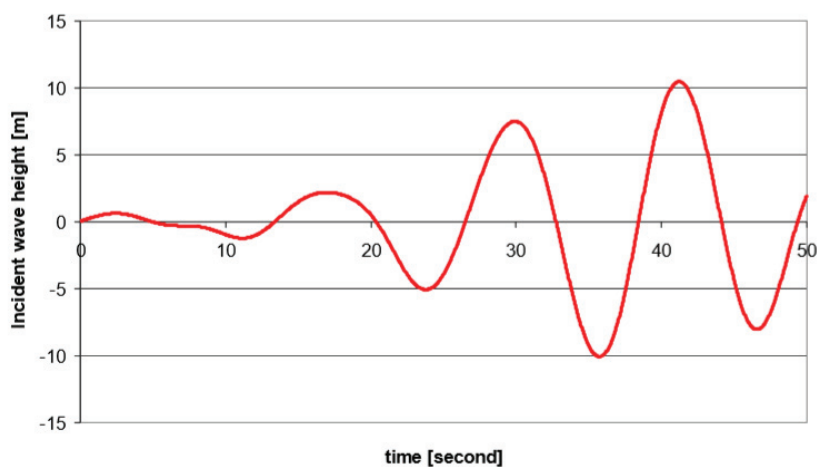
Based on the rule standard vertical bending moment for sagging and the vertical bending moment transfer function shown in Figure 5, an MLER wave (most likely extreme response wave) is generated for the full load condition. The MLER wave is an irregular sea state of short duration, typically 50s, conditioned to produce the linear long term response (in this case the rule value) at a given snapshot. The ship performance in the MLER wave is simulated with nonlinear WASIM in order to calculate the equivalent nonlinear response. Hence, an MLER wave is generated for calculation of wave bending moment responses for full loading condition.

Note that the prescribed time step for the prescribed bending moment is at 35 seconds, and the conditioned extreme vertical bending moment is the rule standard vertical bending moment for sagging plus still water sagging moment, i.e. 1410440 kNm + 261300 kNm = 1671740 kNm (based on the bulbous bow still water bending moment). The design sea state for the MLER wave is given in Table 4 as below.

Table 4. Design sea state for MLER wave

Significant wave height [m]	Zero crossing period [s]	Wave heading
13.0	8.5	Head sea

The plot of the conditioned wave height observed at motion reference point in the full load condition is given in Figure 6.



**Figure 6.** Conditioned wave height time series for full load condition.

The motion reference point is given in Table 5 below.

**Table 5.** Motion reference point

From AP [m]	From baseline [m]
99.25	8.26

As can be seen from Figure 6, the maximum wave trough is not exactly at time of 35s, this is because the motion reference point is 3.75m forward of amidships.

### 10. Nonlinear Calculations of Vertical Bending Moment under the Conditioned Incident Waves

The highest responses of wave vertical bending moments amidships for the full load condition of the two bow designs are given in Table 6.

**Table 6.** Total vertical bending moment in MLER wave

Full load condition (sagging)	
Bulbous bow [kNm]	Seaworthy bow [kNm]
1,894,000	1,945,000

Subtracting the still water bending moment from the total vertical bending moment gives the wave bending moment in the MLER wave for the two bow designs in Table 7.

**Table 7.** Wave vertical bending moment in MLER wave

<b>Full load condition (sagging)</b>	
Bulbous bow [kNm]	Seaworthy bow [kNm]
1,632,700	1,676,100

## 11. Conclusions

WASIM calculations have been performed of the wave vertical bending moment amidships of two bow designs for full load condition. The two designs mainly differ from each other in bow shape. Comparison is made between the amidships vertical bending moment of the vessel with the two designs in the same MLER wave for full load condition.

- Transfer functions of the vertical bending moment amidships of the vessel with both the bulbous bow and sea worthy bow are obtained for full load condition in head sea.
- An MLER wave is generated for full load condition based on the transfer functions, the rule value of the vertical bending moment and the possible 20 years extreme waves in the North Atlantic Ocean.
- Nonlinear calculations of the vertical bending moment amidships of the vessel with the bulbous bow and the seaworthy bow in the MLER waves have been performed for the full load condition.
- The highest wave vertical bending moment (sagging) amidships of the vessel with the seaworthy bow for the full load condition is 2.6% higher than the counterpart value of the vessel with the bulbous bow.

## 12. References

DNV GL SESAM User Manual - WASIM. (2009). Wave Loads on Vessels with forward Speed, DNV GL Software Report.

DNV GL SESAM User Manual - WAVESHIP. (2009). Wave Loads on Vessels with forward Speed, DNV GL Software Report.

Pastoor, LW (2002). On the Assessment of Nonlinear Ship Motions and Loads, PhD Thesis, Technische Universiteit Delft, 2002.

Fonseca, N, Pascoal R, Soares, CG, Clauss G, and Schmittner C. (2010). Numerical and experimental analysis of extreme wave induced vertical bending moments on a FPSO. Applied Ocean Research, 32(4), 374-390.

Parunov, J, Senjanovi I, Paviaeeviae M. (2004). Use of Vertical Wave Bending Moments From Hydrodynamic Analysis In Design of Oil Tankers, Vol. 146, International Journal of Maritime Engineering.

Rajendran, S, Vásquez, G., and Soares, CG. (2016). Effect of bow flare on the vertical ship responses in abnormal waves and extreme seas. *Ocean Engineering*, 124, 419-436.

Temarel, P, Bai, W, Bruns, A, Derbanne, Q, Dessi, D, Dhavalikar, S, and Papanikolaou A. (2016). Prediction of wave-induced loads on ships: Progress and challenges. *Ocean Engineering*, 119, 274-308.

Clauss, GF, and Klein, M. (2016). Experimental investigation on the vertical bending moment in extreme sea states for different hulls. *Ocean Engineering*, 119, 181-192.

Shama, M. (2013). Hull Girder Loading. In: *Buckling of Ship Structures*. pp 117-140. Springer, Berlin, Heidelberg.

## Türk Arama ve Kurtarma Organizasyonu: Uluslararası İş Birliği Faaliyetleri ve Yaşanan Anlaşmazlıklar

Turuğsan Olgaç <sup>1</sup>, Ali Cemal Töz <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye  
turugsan2531@gmail.com , ORCID: 0000-0001-7499-6582

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye  
ali.toz@deu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5348-078X

### ÖZET

Arama ve kurtarma operasyonları kaza, doğal afet ya da başka herhangi bir istenmeyen sebeple tehlikeye maruz kalmış acil yardıma ihtiyaç duyan insanların hayatlarını kurtarmayı amaçlamaktadır. Özellikle denizde gerçekleşen kazalarda gerek deniz ortamının zorlayıcı koşulları gerekse denizciliğin kendisine özgü kuralları nedeniyle, uygulanacak arama ve kurtarma faaliyetleri, hukuki ve operasyonel alt yapı, kamu bünyesinde organizasyonel teşkilatlanma, kalifiye personel, etkin bir iletişim ve raporlama sistemi, uluslararası seviyede işbirliği gibi kompleks ihtiyaçları gerektirmektedir. Ülkeler bu durumu göz önünde bulundurarak insan hayatını kurtarmaya yönelik olacak şekilde kendi iç hukuk düzenlerinde denizde arama ve kurtarma organizasyonlarını tesis etmekte ve çevre denizlerinde arama ve kurtarma bölgelerini belirleyebilmektedir. Arama ve kurtarma kazazedelerin can emniyetini sağlamayı amaçlayan bir hizmet alanı olduğundan devletler sadece kendi organik kuruluşları çerçevesinde bu faaliyetleri gerçekleştirebilecekleri gibi diğer devletler ile yaptıkları anlaşmalar çerçevesinde de arama ve kurtarma hizmeti verebilmektedir. Denizde gerçekleştirilen arama ve kurtarma operasyonları önceki yıllarda gemi kazaları sonrasında kazazedelerin kurtarılması şeklinde bir algıyla gerçekleştirilmekteydi. Ancak son yıllarda Dünya çapında yaşanan ekonomik dengesizliklerden dolayı özellikle Ortadoğu ve Kuzey Afrika'dan Avrupa'ya geçmeye çalışan insanların Akdeniz Havzasında sebep olduğu yasadışı düzensiz göç olayları sebebiyle görülen toplu ölümler arama ve kurtarma faaliyetlerinin önemini daha da artırmıştır. Yaşanan bu olaylar deniz sınırını geçmeye çalışan göçmenlerin önlenmesi açısından güvenlik, bu kişilerin can emniyetlerinin sağlanması açısından ise emniyet boyutuyla ele alınmaktadır.

Bu çalışmada denizde gerçekleşen deniz kazalarına müdahale etmek için teşkil edilen Türk Arama ve Kurtarma Organizasyonu tanıtılmış, ulusal ve uluslararası yasal mevzuata uygun olarak belirlenmiş olan deniz arama ve kurtarma bölgelerine yönelik diğer ülkeler ve organizasyonlar ile yapılan işbirliği faaliyetleri ve yaşanan anlaşmazlıklar ortaya koyulmuştur. Makalede yer alan konulara ilişkin araştırma yöntemi olarak "Doküman İncelemesi" yöntemi kullanılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Arama ve kurtarma, emniyet, iş birliği, kazazede, anlaşma.

**Makale geçmişi:** Geliş 15/02/2020 – Kabul 29/05/2020

# Turkish Search and Rescue Organization: International Cooperation Activities and Disputes

Turuğsan Olgaç<sup>1</sup>, Ali Cemal Töz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey  
turugsan2531@gmail.com , ORCID: 0000-0001-7499-6582

<sup>2</sup>Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey  
ali.toz@deu.edu.tr , ORCID: 0000-0001-5348-078X

## ABSTRACT

Search and rescue operations intend to save the lives of people in need of emergency assistance who have been endangered by natural disasters or any other unwanted cause. Especially in marine accidents, due to the challenging conditions of the marine environment and the specific rules of the maritime, search and rescue activities to be implemented require complex needs such as legal and operational infrastructure, organization within the public sector, qualified personnel, effective communication and reporting system, international level cooperation. Taking into consideration this situation, countries can establish search and rescue organizations at sea and determine search and rescue zones in the surrounding seas in their own internal legal regulations in order to save human life. As search and rescue is a service area aiming to ensure the safety of casualties, states can carry out these activities only within the framework of their organic organizations, as well as providing search and rescue services within the framework of agreements made with other states. In previous years search and rescue operations that carried out at sea were executed with the perception of rescue of survivors after ship accidents. However, due to the worldwide economic imbalances in recent years, the mass deaths caused on illegal irregular migration done by people trying to cross from Middle East and North Africa to Europe have increased the importance of search and rescue activities. These incidents are handled in terms of security in order to prevent immigrants who try to cross the maritime border, and in terms of safety in order to ensure the safety of these people.

In this study, the Turkish Search and Rescue Organization, which was established in order to prevent in marine accidents, was introduced and the cooperation activities and conflicts with other countries and organizations for marine search and rescue regions, which were determined in accordance with national and international legal regulations, were presented. Document Review Method was used while researching article subjects.

**Keywords:** Search and rescue, safety, cooperation, survivor, agreement.

**Article history:** Received 15/02/2020 – Accepted 29/05/2020

## 1. Giriş<sup>1</sup>

Arama ve kurtarma (A/K), hava ve deniz vasıtalarındaki kazazedelerin karada, havada, suüstünde veya sualtında tehlikeye maruz kalması, kaybolması veya kazaya uğraması hallerinde her türlü araç, özel teçhizat veya kurtarma birlikleri kullanılarak aranması ve kurtarılması hizmetidir (Başeren, 2006). A/K faaliyetlerinin ana gayesi insan hayatını kurtarmaktır, tehlikeye maruz kalan deniz ve hava vasıtalarının kurtarılmasını kapsamaz. Denizcilik alanında emniyet ve özellikle can emniyeti konusunda temel alınan uluslararası mevzuata bakıldığında denizde can emniyeti konusunun 1912 yılında yaşanan Titanik faciası sonrasında kamu oyunda dikkat çektiği görülmektedir. Titanik isimli yolcu gemisinin 14 Nisan 1912 tarihinde buz dağına çarparak batması sonucu 1500 kişinin hayatını kaybetmesi tüm dünya'da büyük yankı uyandırmıştır. Bu elim deniz kazası sonrasında 1914 yılı içerisinde İngiltere'de 13 ülkenin katılımıyla uluslararası bir konferans düzenlenmiş bu konferans sonrasında da 20 Ocak 1914 tarihinde Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesinin (SOLAS) ilk hali hazırlanmıştır (Arasan, 2014).

A/K kavramı uluslararası bir anlaşmada ilk defa 1944 Şikago Uluslararası Sivil Havacılık Sözleşmesi içerisinde yer almaktadır (Arasan, 2014). Sözleşmede hava araçları tehlikeye düştüğünde icra edilecek arama ve kurtarma faaliyetleri ile ilgili konular yer almaktadır. Denizde arama ve kurtarmaya ilişkin hazırlanan ilk uluslararası sözleşme ise 1979 tarihli Hamburg Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesidir. 1979 tarihli bu sözleşme devletlere denizde can kurtarma ile ilgili yükümlülükler yüklemektedir. Sözleşmenin 2. Bölümünde dünya denizlerinde her ülkenin kendi A/K sahasında ve açık denizlerde A/K operasyonlarını gerçekleştirmesi gerektiği belirtilmektedir. Denizde A/K faaliyeti planlı, organize ve hukuka uygun olarak gerçekleştirilmelidir. A/K operasyonları devletlerin kendi içlerinde ve birbirleri arasında sıkı bir koordinasyonu gerektirdiğinden bu konuya yönelik Hamburg Sözleşmesi "İlgili taraflar arasında, bir A/K bölgesinin kesin boyutları konusunda anlaşmaya varılamaması halinde, bu taraflar, bu alan içerisinde A/K hizmetlerinin eşit ve şumullü bir koordinasyonunu sağlayacak uygun düzenlemeleri kabul konusunda anlaşmaya varmak için mümkün olan bütün çabayı göstereceklerdir" hükmünü içermektedir (Denizde Arama ve Kurtarma Uluslar arası Sözleşmesi md.2.1.5.).

Deniz ve hava kazalarının sayısındaki büyük artış nedeniyle, 1979 yılında imzalanan Hamburg Sözleşmesinin ardından Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) ile birlikte 1998 yılı içerisinde Uluslararası Havacılık ve Denizcilik Arama ve Kurtarma Kılavuzunu (IAMSAR) yayınlamıştır. Bu kılavuz A/K konusunda uluslararası bir referanstır ve devletlere uluslararası sözleşmelerden doğan yükümlülüklerini karşılama konusunda rehberlik etmeyi amaçlar (Kara, 2013).

Türkiye Cumhuriyeti Devleti bünyesinde gerçekleştirilen A/K faaliyetleri 12 Aralık 2001 tarihli ve 24611 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğine göre yerine getirilmektedir. Yönetmelikte, A/K faaliyetlerinde görev alacak kurum ve kuruluşlar ile bu kuruluşların sorumlulukları, A/K operasyonlarının nasıl yapılacağı, A/K sorumluluk bölgelerinin coğrafi sınırları, A/K ile ilgili Türkiye'nin uluslararası sorumluluklarını karşılamak için uygulanacak hususlar yer almaktadır. Türkiye A/K sorumluluğunu insan hayatını kurtarmayı amaçlayan ve bu kapsamda yerine getirilmesi gereken bir hizmet alanı olarak gördüğü için Türk A/K sorumluluk bölgesini (Search and Rescue Region-SRR) deklare ettirerek IMO'nun Küresel Arama ve Kurtarma Planına kayıt ettirmiştir. A/K faaliyetlerinin uluslararası literatürde kazazedelerin canlarını kurtarmayı amaçlayan bir hizmet alanı olduğu kabul görmüş ve bu yönde uluslararası anlaşmalar yapılmış olsa da bazı ülkeler tarafından A/K sorumluluk bölgeleri deniz yetki alanı olarak görülebilmekte ve hatta diğer yetki alanları ile ilişkilendirilmeye çalışılarak istismar edilebilmektedir.

<sup>1</sup> Bu çalışma yazar (1) tarafından hazırlanan Ege Denizi Arama Kurtarma Bölgesinde Gerçekleşecek Arama Kurtarma Faaliyetleri Kapsamında Kullanılacak İnsansız Hava Araçlarının Sahil İstasyon Mevkilerinin Optimizasyonu isimli doktora tezinden türetilmiştir.



## 2. Türk Arama ve Kurtarma Organizasyonu

### 2.1 Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği

Türkiyenin, hava sahası, içsuları, karasuları içerisinde ve açık denizlerde, tehlike içinde bulunan kazazedelerin kurtarılmasıyla ilgili tüm faaliyetler 12.12.2001 tarihli ve 24611 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan “Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğine” göre yerine getirilir. Türk Arama ve Kurtarma Bölgesindeki çalışmalar, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı bünyesindeki “Denizcilik Genel Müdürlüğü”nce tesis edilen Ana Arama ve Kurtarma Koordinasyon Merkezi (AAKKM) tarafından koordine edilmektedir. AAKKM ülkemizde gerçekleşen A/K faaliyetlerindeki en üst düzeyde yetkili organdır (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001).

A/K hizmetleri denizde ayrıca kara ve adalar üzerinde olmak üzere iki alanda verilmektedir. Denizde gerçekleşen A/K faaliyetleri için sorumlu makam Sahil Güvenlik Komutanlığı (Deniz-AKKM), kara ve adalarda gerçekleşen A/K faaliyetleri için ise Sivil Havacılık Genel Müdürlüğüdür (Hava-AKKM). Sahil Güvenlik Komutanlığı ve Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü kendi sorumluluk alanlarında A/K faaliyetlerini AAKKM adına gerçekleştirirler. A/K operasyonları fiili olarak Arama ve Kurtarma Birlikleri (AKBİR) tarafından icra edilir. Deniz-AKKM ve Hava-AKKM’ye bağlı AKBİR’ler bulunmaktadır. Deniz AKBİR’leri, Sahil Güvenlik Komutanlığı ile Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü arasında yapılan bir protokol çerçevesinde bu kurumlarca, Kara AKBİR’leri ise Jandarma Genel Komutanlığı ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığınca tesis edilir (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001).

Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği kapsamında birçok kurum/kuruluş ve bakanlıklara görevler verilmiştir. Bu kurumlar, 1979 tarihli Hamburg Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesi, Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği ile Ulusal Arama ve Kurtarma Planı esasları doğrultusunda kendi özel mevzuatlarını hazırlamakla yükümlüdür (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001).

A/K faaliyetlerinin ana amacı insan hayatını kurtarmaktır, bu operasyonlar tehlikeye maruz kalan deniz ve hava vasıtalarının kurtarılmasını kapsamaz. Bu sorumluluk milliyet farkı gözetilmeden barış zamanında diğer görevlere göre öncelik taşıyacak şekilde yerine getirilir (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001). A/K esnasında verilen arama kurtarma hizmeti, A/K faaliyetine katılım sağlayan tüm araç ve vasıtalar dahil, kamu ve özel kaynakların kullanımı yoluyla, tehlike mesajlarını izleme, iletişim, koordinasyon, tıbbi danışmanlık ve ilk yardım dahil tüm arama ve kurtarma fonksiyonlarının yerine getirilmesidir (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001).

Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğince, diğer bakanlık, kurum ve kuruluşlarla koordine edildikten sonra Ulusal ve Arama Kurtarma Planının hazırlanması görevi 2011 yılına kadar Denizcilik Müsteşarlığınca yürütülmüş olup sonraki dönemde yapılan mevzuat değişiklikleri sonrasında bu görev günümüzde Denizcilik Genel Müdürlüğü tarafından yerine getirilmektedir.

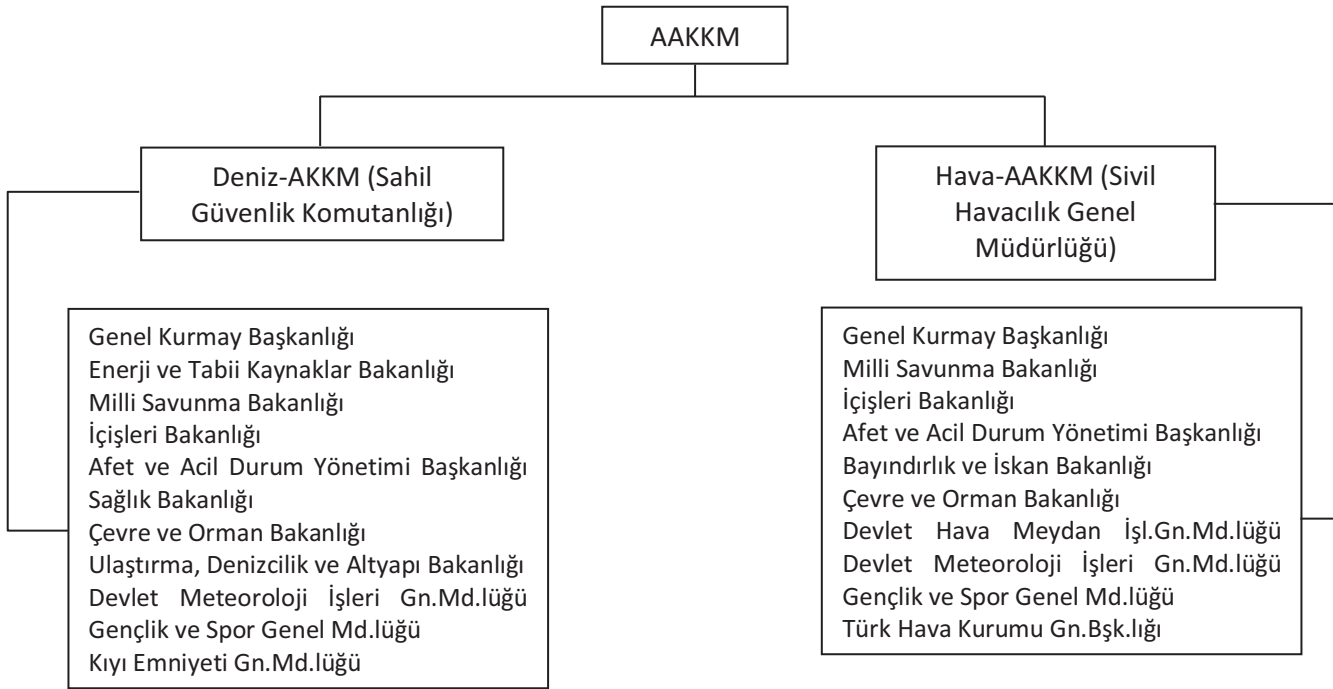
### 2.2 Ulusal Arama ve Kurtarma Planı

Denizcilik Müsteşarlığı tarafından 11 Temmuz 2002 tarihli Ulusal Arama ve Kurtarma Planına İlişkin Tebliğ (Tebliği No 2002/4) ile Ulusal Arama ve Kurtarma Planı yayınlanmıştır. Bu plan, Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği ile ulusal mevzuatlar çerçevesinde, ülkemizin taraf olduğu tablo-1’de belirtilen uluslararası mevzuata uygun olarak uluslararası taahhütleri karşılamak, A/K faaliyetlerini daha süratli ve etkin gerçekleştirmek amacıyla, A/K hizmetlerini düzenleyen ve koordine eden ulusal çapta bir planı ortaya koymayı, ortaya koyulan planda belirtilen A/K görevlerinin gerçekleştirilmesinde ilgili bakanlık, kurum ve kuruluşların mevcut imkanlarını en etkin/ verimli şekilde kullanmayı hedeflemektedir. (Ulusal Arama ve Kurtarma Planı, 2002).

**Tablo 1.** A/K ile ilgili Türkiye'nin Onayladığı Uluslararası Mevzuat.

Uluslararası Mevzuat	Kabul Tarihi
1944 Şikago Sözleşmesi	5 Haziran 1945
SOLAS-74	25 Mayıs 1980
Hamburg Denizde AK Sözleşmesi	22 Ocak 1986
IAMSAR Kılavuzu	26 Ekim 2011

AAKKM 'ye bağlı Deniz-AKKM ve Hava-AKKM'ler ve ilişkili oldukları kurumlar aşağıda belirtilmiştir.



Deniz-AAKKM'nin A/K faaliyetlerinin yürütülmesinden sorumlu olduğu deniz sınırları şekil-1'de belirtilmiştir. Deniz-AAKKM, A/K görevini, kendisine bağlı 4 ad. Yardımcı Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezi (YAKKM) vasıtasıyla yerine getirmektedir. YAKKM'lere bağlı Arama ve Kurtarma Merkezleri (AKAMER) bulunmaktadır, A/K operasyonlarını gerçekleştiren vasıtalar AKAMER'lere bağlıdır.


**Şekil 1.** Türk Deniz Arama ve Kurtarma Sahaları (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği.)

Ulusal ve Arama Kurtarma Planında, gerçekleşen olağanüstü ya da acil durumlar, “Şüpheli Safha”, “Alarm Safhası” ve “Tehlike Safhası” olarak sınıflandırılarak belirtilmiştir. Bu safhaların hangi durumlarda ilan edileceği ve sona erdileceği ile ilgili hususlar ve bunları ilan etmekle/sona erdirmekle yetkili kuruluşlar plan dahilinde yer almaktadır (Ulusal Arama ve Kurtarma Planı, 2002). A/K hizmeti içerisinde yer alan tüm unsurların (AAKKM, AKKM’ler, YAKKM’ler, Olay Yeri Koordinatörleri, AKBİR’ler, Yabancı A/K Koordinasyon Merkezleri) A/K hizmeti verirken uygulayacakları koordinasyon şeması planda belirtilmektedir. Ayrıca tüm arama kurtarma ve koordinasyon merkezleri ile A/K faaliyetlerinde yer alan personelin eğitimleri ile ilgili tüm konular planda anlatılmaktadır (Ulusal Arama ve Kurtarma Planı, 2002).

A/K faaliyetleri ile ilgili en üst seviyede yetkili kurum AAKKM’dir, afet ve acil durumlar için ise en yetkili kurum İçişleri Bakanlığı bünyesinde teşkil edilmiş olan Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığıdır (AFAD). AFAD, gerçekleşen afet ya da acil durumun niteliğine göre MSB, Genelkurmay Başkanlığı, Dışişleri Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı ve diğer bakanlıklar ve sivil toplum kuruluşlarıyla koordine ve işbirliği içerisinde (https://www.afad.gov.tr/ [Erişim 13.05.2020]).

Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği ve Ulusal Arama ve Kurtarma Planından başka, 4922 Sayılı Denizde Can ve Mal Koruma Hakkındaki Kanun, A/K faaliyetleri ile ilgili geçerliliği olan ulusal bir mevzuattır.

Bu kanun; gemi kaptanlarının denizdeki kazazedelere karşı sorumlulukları, tehlike içerisinde bulunan gemi kaptanlarının yapmaları gereken uygulamalar, gemi kaptanlarının kazazedelerin yardımına gidemeyecekleri haller ve gemi kaptanlarının bu kanun maddesine aykırı hareket etmeleri durumunda karşılaştıkları yaptırımlar ile alakalıdır (4922 Sayılı Denizde Can ve Mal Koruma Hakkındaki Kanun, md.14-19 ve 23-25).

A/K operasyonlarında kamu kuruluşlarının yanında Ulusal Medikal Kurtarma Ekipleri (UMKE), Arama Kurtarma Derneği (AKUT) gibi gönüllülük esasına göre çalışan sivil ya da yarı kamusal kuruluşlarda ülke genelinde arama ve kurtarma hizmeti vermektedir (Günaydın et al., 2017).

UMKE personeli sağlık çalışanlarından oluşmaktadır, resmi olarak Sağlık Bakanlığı tarafından desteklenmekte ve Sağlık Bakanlığının yayınlamış olduğu yönerge çerçevesinde gönüllülük esasıyla çalışmaktadır. Bu kurum özellikle doğal afetlerde medikal kurtarma alanında önemli hizmetler vermektedir. AKUT ise dağlarda, zorlu doğa koşullarında, deprem, sel gibi doğal afetlerde hem ülkemizde hem de yabancı ülkelerde arama ve kurtarma hizmeti verebilen arama ve kurtarma kurumudur. AKUT aynı zamanda, BM bünyesinde faaliyet gösteren Arama ve Kurtarma Danışma Kurulu (INSARAG) üyesidir. (https://www.akut.org.tr/ [Erişim 13.05.2020]).

### **3. Arama Kurtarma Bölgeleri ve Uluslararası İşbirliği Faaliyetleri/Yaşanan Anlaşmazlıklar**

#### **3.1 Karadeniz Arama ve Kurtarma Bölgesi**

Karadeniz Arama ve Kurtarma Bölgesi 05.12.1986 tarihli ve 86/11264 sayılı Bakanlar Kurulu Kararnamesi ile Karadeniz’de ilan ettiğimiz 200 NM genişliğindeki Münhasır Ekonomik Bölgemiz (MEB) aynı zamanda hemen hemen bu denizdeki arama kurtarma bölgemizi oluşturmaktadır.

Türkiye’nin önderliğinde A/K konusunda ülkelerin sorumluluk bölgelerine ayrılmış olan Karadenizdeki Türk Arama ve Kurtarma Bölgesi, Karadenize kıyıdaş devletlerle yapılan üç anlaşma neticesinde belirlenmiştir.

Karadeniz A/K Bölgesiyle ilgili yapılan anlaşmalardan ilki 1998 yılında, Türkiye Cumhuriyeti, Bulgaristan Cumhuriyeti, Romanya Hükümeti, Ukrayna Hükümeti, Rusya Federasyonu ve Gürcistan Cumhuriyeti arasında imzalanan “Karadeniz’e Sahildar Ülkeler Arasında Deniz Arama ve Kurtarma Faaliyetlerinde İş Birliği Sağlanması Hakkında Anlaşma’dır”. Bu anlaşmayla kıyıdaş ülkeler, Karadeniz’deki A/K hizmetlerinin koordinasyonunu ve iş birliğini sağlamak üzere ikili veya çoklu anlaşmalar yapmayı, yaptıkları anlaşma ve düzenlemeleri IMO Genel Sekreterliğine sunmayı, A/K operasyonlarında iş birliği yapmayı taahhüt etmişlerdir.

Karadeniz’e kıyıdaş ülke olan Rusya ile 25 Şubat 2004 tarihinde, Karadeniz’e Sahildar Ülkeler Arasında Deniz Arama ve Kurtarma Faaliyetlerinde İş Birliği Anlaşmasının beşinci maddesi uyarınca Türkiye Cumhuriyeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti Arasında Karadeniz’de Denizde Arama ve Kurtarma Alanında İşbirliği Anlaşması imzalanmıştır. Anlaşma ile iki ülkenin A/K bölgeleri sorumluluk sınırları belirlenmiştir, A/K bölgesinin sınırlarının belirlenmesi dışında anlaşmanın diğer maddeleri iki ülke arama ve kurtarma merkezleri arasında yapılacak işbirliği faaliyetleri ve ülkelerin yardım taleplerinde verilecek izinlerle ilgilidir.

Karadeniz A/K bölgesiyle ilgili yapılmış bir diğer anlaşma 24 Mayıs 2004 tarihinde Türkiye ile Bulgaristan arasında imzalanan “Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Bulgaristan Cumhuriyeti Hükümeti Arasında Karadeniz’de Denizde Arama ve Kurtarma Alanında İş Birliği Anlaşmasıdır.” Bu anlaşma da genel itibarıyla Rusya ile yapılan A/K işbirliği anlaşmasıyla benzerlik göstermektedir.

Anlaşma maddelerinde Türkiye ve Bulgaristan arasında A/K bölgeleri sorumluluk sınırları belirlenmiş, A/K faaliyetlerinde iki ülke arasındaki iş birliğinin nasıl yapılacağı kararlaştırılmıştır.

Türkiye ile kıyıdaş diğer ülkelerin yaptıkları anlaşmalara ilave olarak 2004 yılından itibaren her sene IMO şemsiyesi altında Karadeniz’e kıyıdaş bir ülkenin ev sahipliğinde Karadeniz Arama ve Kurtarma Konferansları gerçekleştirilmektedir. Bu konferansa Karadeniz’e kıyısı olan ülkelere ilave olarak ilgili diğer ülkelerde katılmaktadır. Konferanslarda bu denizdeki A/K faaliyetlerinin daha etkili şekilde gerçekleştirilebilmesine yönelik öneriler ve karşılaşılan sorunlar görüşülmektedir.

### 3.2 Ege Denizi Arama ve Kurtarma Bölgesi

Türkiye 1979 tarihli “Hamburg Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesine” ve 1944 tarihli “Şikago Milletler arası Sivil Havacılık Antlaşmasına” taraftır bu sözleşmelerin hükümlerine göre A/K konusunda belirlenmiş uygulamalara bağlı kalmayı kabul etmiştir. Yunanistan’da bu iki sözleşmeye taraftır ancak 1979 Hamburg Sözleşmesinin;

“Md.2.1.4 Her arama ve kurtarma bölgesi, ilgili taraflar arasında antlaşma yoluyla tesis edilecektir.”,

“Md.2.1.5. İlgili taraflar arasında, bir arama ve kurtarma bölgesinin kesin boyutları konusunda antlaşmaya varılamaması halinde, taraflar bu alan içerisinde arama ve kurtarma hizmetlerinin eşit ve şümulü bir koordinasyonunu sağlayacak uygun düzenlemeleri kabul konusunda antlaşmaya varmak için mümkün olan bütün çabayı gösterecektir.”, maddelerine rezervasyon koymuştur.

Türkiye anlaşmanın bu maddelerine istinaden Ege Denizinde A/K sorumluluk alanlarının belirlenmesi için müzakerelere hazır olduğunu tüm ulusal ve uluslararası ortamlarda dile getirerek gayret sarf etmiştir. Yunanistan ise farklı bir tutum izleyerek Ege Denizindeki A/K Bölgesini, Arama ve Kurtarma gibi başka bir hizmet alanı olan Uçuş Bilgi Bölgesine (FIR Hattı)<sup>2</sup> dayandırmak istemektedir.

<sup>2</sup> Uçuş Bilgi Bölgesi (FIR HATTI): İçinde uçuş bilgi hizmeti ve ikaz hizmeti verilen hudutları belirlenmiş hava sahasıdır. (<http://web.shgm.gov.tr/> [Erişim, 31.03.2019])

Uluslararası hukuk kurallarına göre karasularının dışında kalan alanın üzerindeki hava sahası uluslararası hava sahasıdır. Yunanistan'ın Ege Denizi'ndeki karasularının genişliği 6 mil olmasına karşın 1931 yılında yayımlanmış olduğu bir kararnameye dayanarak ulusal hava sahasının genişliğinin 10 mil olduğunu iddia etmektedir. Yunanistan'ın dünya'da başka hiçbir örneği bulunmayan bu iddiasını Türkiye kabul etmemektedir. Yunanistanın bu tutumu ile Ege Denizi'ni kendisine ait bir hükümlerlik alanı olarak göstermek için, bu denizdeki A/K sahasını Doğu Ege Adalarının konumundan faydalanarak FIR Hattına dayandırmak niyetinde olduğu anlaşılmaktadır.

Yunanistan'ın bu tutumuna karşın Türkiye Ege Denizinde yaşanabilecek deniz kazalarına zamanında uygun şekilde müdahale edilebilmesi için Yunanistan ile koordineli çalışılmasını amaçlayarak çaba harcamış ve 8 Eylül 1988 tarihinde iki ülke arasında "Uluslararası Sularda ve Uluslararası Hava Sahasında Kazaları ve Olayları Önlemek için İzlenecek Yöntemler" protokolü imzalanmıştır. Bu protokol'de özet olarak her iki ülke arama ve kurtarma konusunda gereken çabayı göstereceklerini ve birbirlerine yönelik askeri tacizden uzak duracaklarını ifade etmişlerdir. Protokolün içerisinde iki ülkenin arama ve kurtarma sorumluluk alanlarının belirlenmesine ya da deniz ulaştırmasının belirlenecek en emniyetli suların yapılmasına ilişkin herhangi bir madde bulunmamaktadır.

Türkiye sonrasında da Yunanistan'a iki ülke arasında arama ve kurtarma sorumluluk alanlarının belirlenmesi için çağrılarda bulunmuş ancak olumlu bir yanıt alınamayınca, Ege Denizine kıyıdaş bir ülke olmasından dolayı uluslararası hukukun kendisine yüklediği A/K hizmeti verme sorumluluğunu yerine getirmek üzere 1979 Hamburg Sözleşmesinin genel yükümlükler başlığını taşıyan 1.maddesine dayanarak 11 Aralık 1988 tarihinde "Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğini" yayınlamıştır. A/K hizmeti verilecek deniz alanlarının koordinatları Türkiye tarafından 1992 yılında IMO'ya deklare edilmiştir. Türkiye, arama ve kurtarma hizmetinin insan hayatını kurtarmak için yapıldığının bilincinde ve uluslararası hukukun yüklemiş olduğu sorumluluğun farkında olarak Ege Denizindeki A/K Bölgelerinin belirlenmesinde her zaman anlaşmacı bir tutum izlemiştir. Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliğinin bu konudaki aşağıda belirtilen 8.maddesinin g ve f fıkraları bu tutumunun bir göstergesidir.

"Md.8.g. Komşu ülkelerle müşterek icra edilecek arama ve kurtarma faaliyetlerinde komşu ülkelerin AKKM'leri ile yapılacak iş birliği esasları, uluslararası kurullarla veya söz konusu ülkeler ile aramızda yapılacak olan anlaşmalarla tespit edilir."

"Md.8.h. Açık denizler üzerindeki hava sahasında, ICAO kurallarına göre tanınan arama ve kurtarma sorumluluğu, denizdeki arama ve kurtarma faaliyetlerini kapsamaz. Türkiye'nin karasuları dışındaki denizlerde arama ve kurtarma hizmetinin yapacağı bölgeler, ilgili devletlerle yapılacak anlaşmalarla tespit edilir."

Yunanistan 1989 Mart ayında, Ege Denizinde kendi A/K alanlarını belirleyip yayınlayarak, Atina FIR Hattını kapsayacak şekilde tüm deniz alanlarını kendi A/K bölgesi olarak belirlemiştir. Belirlediği bu alanlar, Türk A/K Bölgesiyle iç içedir. A/K hizmeti vermek için kaza/olay mevkiine yardım amaçlı ne kadar çok unsur giderse insan hayatının kurtarılması için o kadar faydalı olacağı düşüncesiyle Türkiye, iki ülkenin belirlediği alanların örtüşmesini bir problem olarak görmemektedir. Burada sıkıntı yaratan konu Yunanistan'ın A/K bölgesi kavramını bir deniz yetki alanı olarak görmesidir. A/K hizmetinde kullanılacak yetkiler uluslararası hukuk kurallarının devletlere verdiği görevlerin yerine getirilmesini sağlamaktan başka bir amaç taşımaz. A/K sorumluluğu devletlere bazı kamu hizmetleri yüklemiştir ve bu hizmetler devlet egemenliğinden değil, uluslararası hukuk kurallarından doğar. Türkiye bu nedenden ötürü, Yunanistan'ın A/K bölgesindeki egemenlik yetkisini tanımamaktadır. Ayrıca A/K hizmeti ve FIR hizmeti ayrı iki konudur, deniz trafiğinde 10-30 knots süratle intikal eden büyük kütleler, hava trafiğinde 150-500 knots süratle intikal eden küçük kütleler bulunur. Dolayısıyla denizde veya havada gerçekleşen kazalara yapılacak müdahalelerde FIR Sahalarıyla A/K Sahaları ayrı ayrı ele alınmalıdır.

### 3.3 Akdeniz Arama ve Kurtarma Bölgesi

Akdeniz’de A/K sorumluluğunun etkin şekilde yerine getirilebilmesine yönelik olarak Türkiye’nin KKTC ve Suriye ile imzaladığı anlaşmalar mevcuttur. 16 Haziran 2000 tarihinde Türkiye ile KKTC arasında imzalanan “Denizciliğin Geliştirilmesine Yönelik İş Birliği Protokolü” çerçevesinde bölgedeki A/K faaliyetlerinin iş birliği içerisinde yapılması sağlanmıştır (Başeren, 2016). Türkiye karasuları ile ada arasında, KKTC karasuları dışında kalan açık deniz alanlarındaki A/K hizmeti Türkiye tarafından yürütülmektedir. KKTC karasuları içerisinde A/K sorumluluğu KKTC Sahil Güvenlik Yasası gereğince KKTC Sahil Güvenlik Komutanlığına yerine getirilmektedir (Başeren, 2006).

Bununla birlikte Güney Kıbrıs Rum Yönetimi (GKRY) 1990’lı yılların başından itibaren Kıbrıs Cumhuriyeti olarak tanınmanın verdiği avantaj ile konuyu, Türkiye ve KKTC’nin bölgedeki fiili etkinliğine bir ölçüde de olsa kısıtlama getirmek için 1996 yılında Larnaka Hava Alanında kendi A/K merkezini kurarak işletmeye hazır hale getirmiş ve bu merkezi IMO’ya bildirmiştir (Başeren, 2006).

Türkiye ve KKTC arasında 19 Eylül 2002 tarihinde Hava Arama ve Kurtarma Alanında İşbirliği Anlaşması imzalanmıştır. Anlaşma İngilterenin, Kıbrıs Adasındaki hava arama ve kurtarma sorumluluğunu 01 Mart 2002 tarihi itibarıyla GKRY’ye devrettiğini açıklaması üzerine KKTC’nin 01 Nisan 2002 tarihinden itibaren hava arama ve kurtarma hizmetini kendi birimleriyle gerçekleştireceğini ilan etmesi sonrasında imzalanmıştır. Anlaşma genel itibarıyla A/K faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde işbirliği ve koordinasyon, personelin ve A/K birliklerinin eğitimi, KKTC’nin A/K imkan ve kabiliyetlerinin geliştirilmesi ve bu hususta araç gereç temini gibi konuları kapsamaktadır.

Türkiye ile Suriye arasında 14 Ekim 2008 tarihinde “Arama ve Kurtarma Hizmetlerinin Koordinasyonuna Dair Anlaşma” imzalanmıştır. Bu anlaşma ile her iki ülke kendi iç yasal mevzuatlarına uygun olarak yayımladıkları arama kurtarma bölgelerinde A/K faaliyetlerini gerçekleştirmekte bu bölgelerin sınırları boyunca A/K hizmetlerinin yürütülmesinde imkanlar ölçüsünde yardımlaşmaktadırlar. Bu anlaşma ile ülkelerin Kurtarma Koordinasyon Merkezlerinin (KKM) A/K hizmetleri için iş birliği içerisinde olması, potansiyel veya gerçek bir tehlike durumuna karşı düzenli hızlı şekilde bilgi paylaşımları ve her iki tarafın senede en az bir defa A/K tatbikatı yapmaları yönünde irade ortaya koyulmuştur.

### 3.4 AB’nin Çevre Denizlerdeki Arama ve Kurtarma Uygulamalarına Etkisi

Avrupa Birliği üyesi ülkeler hem A/K faaliyetleri hemde diğer denizcilik faaliyetleri ile ilgili uygulamalarında AB’nin bu konulardaki mevzuatı ile kendi ulusal mevzuatlarını uyumlu hale getirmeye çalışmaktadırlar. Çevre denizlerimizde kıyıdaş olan AB üyesi ülkelere bakıldığında Romanya, Bulgaristan, Yunanistan ve Güney Kıbrıs Rum Yönetimi (GKRY) gibi ülke ve oluşumlar karşımıza çıkmaktadır. Karadenizde, A/K faaliyetlerine yönelik kıyıdaş ülkeler ile anlaşmalar yapılmış olduğundan bu deniz herhangi bir sorun içermeyen bir deniz alanıdır. Bununla birlikte Ege Denizi ve Akdeniz’de A/K faaliyetlerinin yerine getirilmesi konusunda çeşitli anlaşmazlıklar bulunmaktadır.

AB üyesi olan Yunanistan ve GKRY, AB’nin deniz alanlarına ilişkin siyasasını oluştururken kendi ulusal çıkar ve önceliklerini içeren düzenlemeleri yapma fırsatına sahip oldukları için Ege ve Akdenizdeki çıkarlarını AB uluslararası kimliğinden de yararlanarak savunabilmektedir. Türkiye bu ülkeler ile yaşadığı bir anlaşmazlığı uluslararası bir ortamda dile getirdiğinde bu ülkeler uygulamalarını AB mevzuatına uygun olarak AB’nin çıkarlarını gözeterek yerine getirdiklerini ifade edip bir tür meşruiyet alanı yaratmaya çalışmaktadırlar. Türkiye’nin hukuksal argümanlarının güçlü olmasına karşın bu ülkeler ile yaşanan sorunlarda AB’nin siyasal etkisi nedeniyle ülkemiz uluslararası alanda hak ettiği sonuçlarla karşılaşmamaktadır.

AB’nin arama ve kurtarma ile ilgili olan EUROSUR (European Border Surveillance System) ve FRONTEX (Frontieres Exterieurues) uygulamaları bulunmaktadır.

EUROSUR, AB'nin "Avrupa Sınır Gözetleme Sistemidir", EUROSUR'un amacı deniz alanlarının emniyet ve güvenliğinin sağlanması, sınır denetimi, deniz çevresinin korunması, balıkçılık faaliyetlerinin denetimi ve AB'nin ticari ve ekonomik çıkarları üzerinde etkisi bulunan deniz faaliyetleri hakkında durumsal farkındalığın sağlanmasıdır. FRONTEX ise EUROSUR'un dışında bir diğer arama ve kurtarma ile ilgili olan AB kurumudur. FRONTEX, "AB Üye Ülkelerinin Dış Sınırlarının Yönetimi için Operasyonel İş Birliği Ajansıdır", AB üyesi ülkelerin komşularıyla olan sınırlarının korunmasını ve güvenliğini sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. FRONTEX daha çok yasadışı göçmenlerin AB'ye girmesini engellemeye yönelik faaliyet göstermektedir ancak gerekli eğitimlerin verilmesiyle deniz yoluyla yasadışı göçmen trafiğindeki trajik ölüm oranlarının azaltılmasının sağlanması hedeflenmektedir. EUROSUR, bir gözetleme sistemi olarak FRONTEX ile koordineli olarak çalışmaktadır.

Türkiye ile AB arasında, FRONTEX ile düzensiz göçün önlenmesi ve can kayıplarının azaltılması için yapılacak işbirliğinin ana hatlarını düzenleyen mütabakat zaptı 2012 yılı içerisinde imzalanmıştır. Bu anlaşmada Türkiye ve FRONTEX arasında tecrübe ve bilgi paylaşımı gerçekleştirilmesi, karışık göç akımlarına ilişkin ortak değerlendirmeler yapılması ele alınmıştır. Ege Denizinde son yıllarda artan düzensiz göç faaliyetleri ve yaşanan can kayıpları sonrasında; NATO'ya ait deniz unsurlarının Ege Denizindeki düzensiz göç ile mücadeleye destek sağlaması amacıyla 11 Şubat 2016 tarihinde Türkiye, Almanya ve Yunanistan'ın katılımıyla gerçekleşen NATO Savunma Bakanları Toplantısı'nda öneride bulunulmuş ve 24 Şubat 2016 tarihinde de bu öneri NATO Daimi Konseyi tarafından kabul edilmiştir. Bunun üzerine FRONTEX birimlerine destek olmak amacıyla NATO Daimi Deniz Görev Gücü (SNMG2) Ege Denizinde faaliyetlerine başlamıştır.

Libya'dan Avrupa'ya yönelen göçmen yüklü bir geminin Nisan 2015 ayı içerisinde Akdeniz'de batarak 400 kişinin hayatını kaybetmesi sonrasında düzensiz göçün önlenmesi ve tehlikedeki insanların kurtarılması amacıyla AB tarafından, askeri gemilerden oluşan Avrupa Akdeniz Deniz Kuvvetleri (EUNAVFOR Med) kurulmuş ve Haziran 2015 ayında görevine başlamıştır.

AB'ye yönelik yasadışı göç trafiğinde Türkiye'nin karasal ve denizsel anlamda transit ülke durumunda oluşu sınır ötesi komşuluk ilişkileri bağlamında Yunanistan ve diğer AB ülkeleriyle olan ilişkilerini etkilemektedir. Buralarda yaşanacak ölümler ile arama ve kurtarma faaliyetlerindeki bir zafiyet, Yunanistan ve GKRY tarafından uluslararası platformlarda istismar edilmektedir. Bununla birlikte Türkiye'nin IMO'ya kaydettirmiş olduğu A/K bölgesi, Yunanistan'ın itirazlarına rağmen uluslararası arama ve kurtarma sistemi olan COSPAS-SARSAT sistemine de deklare edilmiştir. COSPAS-SARSAT sistemi birçok AB üyesinin de yer aldığı ve tamamıyla seyir emniyetinin sağlanmasının hedeflendiği 1982 yılından itibaren hizmet veren uluslararası çapta seyir emniyeti açısından en geçerli sistemdir.

#### 4. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

İçinde bulunduğumuz yüzyılda denizler gerek ulaştırma gerekse enerji ve gıda ortamı olarak insanlığa hizmet etmektedir. Gelişen teknolojinin de etkisiyle su yolları tarihte olmadığı kadar çok yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Dolayısıyla denizlerin bu kadar yoğun kullanıldığı bir ortamda deniz kazalarının da sıklıkla yaşandığı görülmektedir. A/K faaliyetleri devletler tarafından gerçekleştirilen insan hayatını kurtarma hizmetleridir, A/K'ya yönelik olarak belirlenen A/K bölgeleri de egemenlik sahaları değil bu hizmetin verildiği hizmet sahalarıdır.

Türkiye'nin çevre denizleri ele aldığı gibi, Karadeniz, gerek coğrafi yapısı gerekse gemi trafiğinin diğer denizlere nazaran bu denizde daha düşük seviyede olması nedeniyle A/K faaliyetlerinin koordinasyonu açısından uygun koşullar sunmaktadır. Karadeniz'e kıyıdaş ülkelerle yapılan anlaşmalar sayesinde A/K faaliyetlerinin farklı ülkeler tarafından uyum içerisinde yapılabildiği görülmektedir ve bu durumun Ege ve Akdeniz'e kıyıdaş ülkelerle yapılacak anlaşmalar için uygun bir zemin yarattığı değerlendirilmektedir.

Son yıllarda artan düzensiz göç faaliyetlerine bağlı yaşanan can kayıpları sebebiyle Ege Denizi ve Akdenizde yabancı askeri unsurların da katıldığı çok uluslu işbirliği faaliyetleri yürütülmektedir. Bu durumun uluslararası çeşitli aktörler tarafından Ege Denizini deniz ulaştırmasının emniyeti ve güvenliği açısından istikrarsız bir denizmiş gibi gösterilmesi yönünde istismar edilmesine yol açabileceği değerlendirilmektedir. Türkiye'nin A/K konusunda işbirliğine yönelik tezlerinin Yunanistan tarafından kabul edilmesi, bu denizin kıyıdaşlar tarafından emniyetinin sağlandığının görülmesi açısından Türkiye'ye olduğu kadar Yunanistan'a da fayda sağlayacaktır. Yunanistan'ın A/K bölgesi kavramının ne deniz yetki alanı kavramı ile ne de FIR hizmeti ile de bir ilgisi olmadığını kavrayamamış olması, iki ülke arasında A/K işbirliği yapılması konusundaki en önemli engeldir. Türkiye çevre denizlerindeki deniz alanlarına yönelik hem karasuları içerisinde hem de açık denizlerde gerçekleştirdiği A/K faaliyetlerini uluslararası mevzuatın kendisine yüklediği sorumluluk ruhuna uygun şekilde gerçekleştirmek için gerekli organizasyonunu kurmuştur ve bu alanda tüm deniz komşusu ülkeler ile işbirliği yapmaya hazır olduğunu tüm çok uluslu ortamlarda ifade etmektedir.

A/K operasyonlarında ve afet yönetiminde, uydu takibi ve insansız hava aracı sistemlerinin (İHS) kullanımı son dönemde yaygın şekilde artmaktadır. Yaşanan kaza/olaylara ilişkin güncel veriler İHS'ler ve uydu sistemleri sayesinde hızlı bir şekilde ve yüksek doğrulukla elde edilebilmektedir. A/K operasyonlarına yönelik kıyıdaş ülkeler ile yapılan işbirliği faaliyetlerinde arama ve kurtarma merkezleri arasında İHS ve uydu sistemlerinin kullanımı ve bilgi paylaşımıyla ilgili işbirliği faaliyetlerinin yapılmasının icra edilen A/K faaliyetlerinin etkinliğini artırması açısından faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Afetlere karşı bilincin ve duyarlılığın oluşturulması, afet risklerinin azaltılması, A/K operasyonlarına yönelik mekanizmaların ya da kapasitelerin geliştirilmesi gibi amaçlarla BM veya diğer kuruluşlar tarafından gerçekleştirilen çok uluslu konferanslara katılım sağlanarak alınan kararlarda rol sahibi olunması ve konferanslarda alınan kararların dikkatlice takip edilerek analiz edilmesi arama ve kurtarma bölgelerimizde gerçekleştireceğimiz operasyonların etkinliği ve etkililiği açısından büyük önem arz etmektedir.

A/K operasyonlarına yönelik olarak oluşturulan kamu teşkilatıyla birlikte arama ve kurtarma hizmeti veren UMKE, AKUT gibi kuruluşların faaliyetlerinin destek ve teşvik edilmesi sayesinde gönüllülük esasıyla çalışan bu kurumların gerçek bir afet durumunda organize ve profesyonel bir şekilde görev yapmaları sağlanacaktır.

## 5. Kaynaklar

AKSU, F. (2013). "Doğu Akdeniz Deniz Yetki Alanları Sorunu ve Türkiye-AB İlişkileri, Doğu Akdenizde Hukuk ve Siyaset". A.Ü.SBF Yayınları.

Arasan, İ. (2014). "Türkiye'nin AB'ye Üyelik Sürecinde Arama-Kurtarma Bölgesi Düzenlemeleri: Kuvvetler Arası Koordinasyon ve Hava Kuvvetlerinin Rolü". Harp Akademileri Stratejik Araştırmalar Enstitüsü, İstanbul.

Aydın, G. (2016). Deniz Yoluyla Gerçekleşen Düzensiz Göç ile Mücadelede Devletlerin Yetki ve Uygulamaları. Göç Araştırmaları Dergisi. Cilt.2, Sayı.2.

Ayyıldız, E.T. (2007). "Deniz Alanlarında Güvenlik Yönetimi Ege Denizi Uygulaması". Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi. İzmir.



Başeren, Sertaç.H. (2006). "Ege Sorunları". Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV) Yayınları No.25, Ankara.

Bernard, M., Kondak, K., Maza, I, Ollero, A. (2011). Autonomous Transportation and Deployment with Aerial Robots for Search and Rescue Missions. Journal of Field Robotics, 28 (6).

Bostancı, M. (2018). "Göçle Mücadele Stratejisi Kapsamında AB Sınır Güvenliği Ajansı Frontex ve Avrupa Sınır Gözetim Sistemi Eurosur'un Analizi". Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri Dergisi. Cilt.4, Sayı 7.

Ceyhun, G.Ç., Oral,E.Z. (2011). Türkiye'nin Deniz Alanlarındaki Sınır Anlaşmaları ve Güncel Durum. Uluslararası Deniz Hukuku'nda Kıyı Devletinin Gemilere El Koyma Yetkisinin Sınırları Sempozyumunda sunulmuştur. Trabzon, 24-25 Mart 2011.

Günaydın, M., Tatlı, Ö., Genç, E.E. (2017). "Arama Kurtarma Örgütleri ve Ulusal Medikal Kurtarma Ekipleri (UMKE)". Doğal Afetler ve Çevre Dergisi. Cilt.3, Sayı.1.

KARA, A. (2013). "Arama Kurtarma Operasyonlarında Risk Analizi ve Türkiye İçin Arama Kurtarma Model Araştırması". Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.

Mutlu, Resul (2016). "Sahil Güvenlik Komutanlığı Arama ve Kurtarma Merkezlerine Yönelik Etkinlik Analizi". İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Narayanan, R.G.L., Ibe, O.C. (2012). A Joint Network for Disaster Recovery and Search and Rescue Operations. Computer Networks, 56 (14).

Uysal, M., Yılmaz, M., Tiryakioğlu, İ., Polat, N. (2017). İnsansız Hava Araçlarının Afet Yönetiminde Kullanımı. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansında sunulmuştur. Eskişehir, 11-13 Ekim 2017.

Waharte, S., Trigoni, N. (2010). Supporting Search and Rescue Operations with UAVs. Paper presented at the International Conference on Emerging Security Technologies, Canterbury, UK., September, 10-11, 2010.

Yenigün, C. (2010). "Ege'de Barış Yolunda Donmuş Sorunlar". Dünya Çatışmaları Dergisi. Cilt.1, Sayı.3.

1944 Şikago Milletler arası Sivil Havacılık Antlaşması.

1979 Denizde Arama Kurtarma Uluslararası Sözleşmesi.

Türkiye Cumhuriyeti, Bulgaristan Cumhuriyeti, Romanya Hükümeti, Ukrayna Hükümeti, Rusya Federasyonu ve Gürcistan Cumhuriyeti arasında imzalanan 1998 tarihli Karadeniz'e Sahildar Ülkeler Arasında Deniz Arama ve Kurtarma Faaliyetlerinde İş Birliği Sağlanması Hakkında Anlaşma.

Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Bulgaristan Cumhuriyeti Hükümeti arasında imzalanan 24 Mayıs 2004 tarihli Karadeniz'de Denizde Arama ve Kurtarma Alanında İş Birliği Anlaşması.

Türkiye ile Yunanistan arasında imzalanan, 8 Eylül 1988 tarihli, Uluslararası Sularda ve Uluslararası Hava Sahasında Kazaları ve Olayları Önlemek için İzlenecek Yöntemler Protokolü.

Türkiye ile KKTC arasında imzalanan 16 Haziran 2000 tarihli, Denizciliğin Geliştirilmesine Yönelik İş Birliği Protokolü.

Türkiye ile Suriye arasında imzalanan, 14 Ekim 2008 tarihli, Arama ve Kurtarma Hizmetlerinin Koordinasyonuna Dair Anlaşma.

4922 Sayılı Denizde Can ve Mal Koruma Hakkındaki Kanun, md.14-19 ve 23-25.

Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001.

Ulusal Arama ve Kurtarma Planı, 2002.

<http://web.shgm.gov.tr/> [Online] [Erişim 31.03.2019]

<https://www.afad.gov.tr/> [Online][Erişim 13.05.2020]

<https://www.akut.org.tr/> [Online][Erişim 13.05.2020]

# Gemi Direnci ve Sevk Performansının Gemi Ölçeğinde Seyir Testleri ile Sayısal Doğrulaması

Naz Yılmaz <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Denizcilik Fakültesi, Bursa Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

naz.yilmaz@btu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0499-8248

## ÖZET

Yıllardır gemi sevk performansının sayısal doğrulaması, genellikle model ölçeğindeki gemi deney sonuçları ile karşılaştırılarak yapılmaktadır. Gemi model deney havuzlarında gerçekleştirilen bu deneylerde gemi ölçeğini değiştirmek oldukça zor ve zahmetli iken, gelişen teknoloji ve artan hesaplama gücüyle nümerik analiz ve modellemeleri tam gemi ölçeğinde gerçekleştirmek daha makul hale gelmiştir. Bu durum aynı zamanda, ölçeklendirme sebebiyle ortaya çıkan ve akış dinamiklerinin tahminindeki belirsizlikleri ve model ölçeğinden gemi ölçeğine geçişteki ampirik hesaplamalardaki belirsizlikleri de ortadan kaldırmaktadır.

Ne yazık ki, gemi ölçeğindeki sayısal sonuçları doğrulamak amacıyla, uygun deniz koşullarında ve yüksek kalitede verilerin ölçülebilmesi için gerçekleştirilen gemi seyir testleri sonuçlarına ulaşmak konusunda bazı zorluklar yaşanmaktadır. Bunun üstesinden gelmek için Lloyd Register (LR) bünyesindeki Gemi Performansı Grubu, bir kargo gemisi ile gerçekleştirilen gemi seyir testlerinin deneysel sonuçlarını, gemi ölçeğinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemlerinin güvenilirliğini arttırmak ve nümerik modelleme araçlarının kabiliyetlerinin değerlendirilmesi amacıyla bir çalıştay vasıtasıyla paylaşmıştır.

Bu çalışmada, LR çalıştayında sunulan tam gemi ölçeğindeki gemi direnci, açık su pervane performansı, gemi sevk, pervane performansı ve pervane kavitasyonu konularındaki sayısal doğrulama çalışmaları sunulmaktadır.

Sayısal hesaplamalar, çalıştayın başında sonuçlar bilinmeksizin (kör bir şekilde) gerçekleştirilmiş olup, simülasyonlar esnasında ticari bir Reynolds-Averaged Navier Stokes (RANS) türbülans ve Volume of Fluid (VoF) modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pervane kavitasyonunun hesaplanması için ise Schnerr-Sauer kavitasyon modeli kullanılmıştır. Gemi sevk analizlerinde pervane dönüşünün tanımlanabilmesi için kayan çözüm ağı (sliding mesh) yaklaşımı kullanılmıştır. Geminin kendi kendini sevk noktası, sabit pervane dönüş hızı (çalıştay tarafından sağlanan veriler arasındadır) ile gemi hızı değiştirilerek tespit edilmiştir. Nümerik olarak tahmin edilen pervane kavitasyon görselleri, gemi seyir deneyleri esnasında kaydedilen gerçek fotoğraflar ile karşılaştırılmıştır. HAD yöntemi kullanılarak analiz edilen tüm vakalar, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış olup, gemi direnci, açık su pervane performansı, güç ve kavitasyon tahminleri açısından oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Açık Su Pervane Performansı, Gemi Direnci, Gemi Sevk, Kaviteasyon, HAD, Gemi Seyir Deneyleri

**Makale geçmişi:** Geliş 11/06/2020 – Kabul 23/06/2020

# Numerical Validation of Ship Scale Resistance and Self-Propulsion Performances with Sea Trials

Naz Yilmaz <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Naval Architecture and Marine Engineering Department, Maritime Faculty, Bursa Technical University, İstanbul, Turkey

naz.yilmaz@btu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0499-8248

## ABSTRACT

For many years it has been best practice to validate results of numerical ship performance simulations against the results of towing tank experiments, both conducted at model-scale. While it is hardly possible to increase the scale of towing tanks considerably, with ever-increasing computational power, it became feasible to run numerical simulations in ship-scale. Thus eliminating uncertainties arising from poorly predicted flow phenomena with models that are scale-sensitive and also from scaling up results to ship scale using empirical methods.

Unfortunately, to validate numerical ship scale results, the marine community was lacking high-quality experimental data measured on a suitable ship operating at sea under calm/measurable conditions. To overcome this, the Lloyd's Register Ship Performance Group (LR) provided such experimental data by conducting sea trial measurements on a general cargo vessel to assess and develop the capabilities of numerical tools to increase the confidence in ship-scale Computational Fluid Dynamics (CFD).

Accordingly, this study presents the numerical validation of the LR ship-scale experimental data for hull resistance, propeller open water characteristics, self-propulsion predictions and propeller cavitation cases, all simulated in ship-scale conditions. The computations were performed blind, without knowing the experimental results, using a commercial Reynolds-Averaged Navier Stokes (RANS) solver with an implemented Volume of Fluid (VoF) model for the free surface prediction and the Schnerr-Sauer cavitation model for the prediction of the propeller cavitation. For the self-propulsion simulations, a sliding mesh approach was used for describing the rotational motion of the propeller. In order to establish the self-propulsion point, the ship speed was varied at a constant propeller rotation rate which was given as input by LR. The numerically predicted cavitation was compared to video recordings of the sea trial propeller cavitation patterns. The simulated cases compared very well to the experimental data for resistance, propeller open water, power and cavitation prediction.

**Keywords:** Open Water Propeller Performance, Resistance, Self-Propulsion, Cavitation, CFD, Sea Trials

**Article history:** Received 11/06/2020 – Accepted 23/06/2020

## 1. Giriş

Bir geminin sevk performansının doğru tahmini, gemi hidrodinamiğindeki temel zorluklardan biridir. Tam ölçekli bir geminin hidrodinamik performansını anlamanın geleneksel yolu, bir çekme tankındaki model testlerinin sonuçlarını ITTC yönergelerini izleyerek tam ölçeğe aktarmaktır (ITTC, 2017). Ancak, model testlerinden elde edilen deneysel sonuçlar, model ve tam ölçekli gemi arasında tam hidrodinamik benzerlik sağlanamadığından ölçek etkilerine tabidir. Son yıllarda, hesaplamalı kaynaklardaki hızlı gelişmeler doğrultusunda gemi performansını tahmin etmek için HAD yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda düzenlenen HAD çalıştaylarından elde edilen son sonuçlar, gemi hidrodinamiğinde HAD yöntemlerini kullanma becerisini ve güvenilirliğini kanıtlamaktadır (Larsson ve diğ. (2014), Larsson ve diğ. (2018)).

Yıllar geçtikçe, gemi sevki tahminlerinde HAD çalışmaları sürekli bir gelişme göstermiştir. KCS gemisi, model ölçekli test verilerine açık erişimi sayesinde çoğunlukla HAD topluluğu tarafından bir kıyaslama vakası olarak kullanılmıştır. Birçok araştırmacı, KCS gemisinin kendiliğinden tahrik özelliklerini model ölçeğinde araştırmıştır (Carrica ve diğ. (2010), Seo ve diğ. (2010) Krasilnikov (2013), Gaggero ve diğ. (2015)). Model ölçeği tahminlerinden elde edilen deneyimlerin ardından, son yıllarda tam ölçekli araştırmalara odaklanan pek çok sayıda çalışma da bulunmaktadır. Bhushan ve diğerleri (2009), tam ölçekli, gemi sevki analizlerinden birini gerçekleştirmiştir. Gemi seyri verileri olmadığı için, sonuçlar model ölçekli ölçümlerden hesaplanan tam ölçekli verilerle karşılaştırılmıştır. Bunu takiben, Castro ve arkadaşları (2011), pervanenin doğrudan ayrıklaştırılmasıyla KCS gemisinin tam ölçekli kendi kendini sevk hesaplamalarını gerçekleştirmiştir. Sonuçlar, ITTC test prosedürlerini takiben model ölçeğinde elde edilen verilerle iyi bir uyum göstermiş ve model ile tam ölçek arasındaki akış alanındaki farklılıklar tartışılmıştır. Visonneau ve diğerleri (2016), başka bir kıyaslama gemisi olan bir Japon dökme yük gemisi için enerji tasarruflu sevk sistemlerinin model ve tam ölçekli performansını araştırmıştır. Enerji tasarrufu sağlayan yeni nesil sevk sistemlerinin verimliliğini daha iyi tahmin etmek için tam ölçekli HAD analizlerine ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir.

Model ölçeğinde, kendinden tahrikli ve farklı kıyaslama gemilerinin tam ölçekli sevk tahminlerinin gereklilikleri doğrultusunda bu ilerlemelerin ardından, Lloyd's Register Gemi Performansı Grubu (LR) ilk defa gemi ölçeğinde bir hidrodinamik çalıştay düzenledi. LR, HAD kullanıcıları topluluğuna gemi ölçeğinde gemi sevki performansının kör sayısal tahminleri üzerine bir çalıştay düzenlediğini duyurdu. Çalıştayın amacı, modern sayısal yöntemlerin sonuçlarını, LR tarafından daha önceden tamamlanan deniz seyir deneyleri ölçümleriyle karşılaştırmak, gemi ölçeğindeki çalışmalarda sayısal modelleme araçlarının yeteneklerini değerlendirmek ve geliştirmek ve gemi ölçeğinde HAD analizlerine olan güveni artırmaktır. Seçilen gemi, basit bir geometrik konfigürasyona sahip olduğu için HAD doğrulamaları için ideal bir adaydı (tek pervane ve enerji tasarrufu sağlayan cihazlar yok). Bu atölye çalışması için altmış HAD sonucu alındı, bunlar gemi direnci vakaları için on yedi, pervane açık su performansı tahmini için on dokuz, sevk hesaplamaları için yirmi iki ve pervane kavitasyonu vakası için iki adet idi. Söz konusu geminin tekne ve pervane geometrileri, çizimler ve analiz koşulları halka açık hale getirildi ve katılımcılar ile paylaşıldı. Katılımcılardan, sevk, direnç, pervanenin açık su ve kavitasyon koşulları için söz konusu gemi kullanılarak kör sayısal sonuçlar sunmaları istendi.

LR çalıştay için seçilen gemi, REGAL ile ilgili olarak şu ana kadar birkaç çalışma yayınlanmıştır. Starke ve diğerleri (2017), gemi sevki simülasyonlarını, birleştirilmiş sabit RANS çözücü ve sınır elemanı yöntemi (BEM) kullanarak tahmin etmişlerdir. İlk önce pervanesiz RANS hesaplamaları yapmışlar ve direnç ve iz alanı elde etmişlerdir. Daha sonra pervane iz alanında BEM kullanılarak pervane hesaplamaları yapılmıştır ve bu RANS çözüm ağı yapısına interpolate edilmiştir. Jasak ve diğerleri (2019), REGAL için bulgularını, pervane için aktüatör diski yaklaşımıyla basitleştirilmiş bir yöntem kullanarak

sunmuşlardır. Sonuçlar gemi seyir ölçümleriyle karşılaştırılmış olup, her iki vaka için de uygun olduğu tespit edilmiştir.

Gemi sevk performansı için sayısal hesaplamalarının çoğu, gemi seyir testlerinden elde edilen verilerin eksikliği nedeniyle model ölçeğinde gerçekleştirilir. Ayrıca, sevk ile ilgili mevcut çalışmaların büyük çoğunluğu, hesaplama gücü sınırlamaları nedeniyle çeşitli basitleştirmelere dayanmaktadır. Ponkratov ve Zegos (2015), herhangi bir basitleştirilmiş yöntem olmaksızın gemi ölçeğinde HAD analizlerine duyulan ihtiyacı vurgulamıştır. Böylece, serbest su yüzeyi, gerçek pervane performansı, trim ve batma gibi dinamik gemi hareketleri de dahil olmak üzere, gövde ve pervanenin hidrodinamik performansını etkileyen tüm önemli fiziksel etkenler değerlendirilebilir.

Gemi sevk performansının tahmininde, yukarıda belirtilen incelemelerden elde edilebilecek bilgilerin özü şudur; model ölçeğinde yararlı deneysel ve HAD tabanlı sayısal modelleme çalışmaları yaygın olmasına rağmen, günümüzün ticari HAD kodlarından tam ölçekli koşullarda yararlanarak bu karmaşık hidrodinamik problemi modellemek için halen literatürde bazı boşluklar yer almaktadır. Her ne kadar literatürde direnç ve sevk performans tahminleri için birçok model ölçeği araştırması mevcut olsa da, son teknik yayınların çoğu gemi ölçeği HAD analizlerinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Gemi ve pervane tasarımcıları için HAD modellemelerinin değeri ve gerekliliği, bir geminin kavramsal aşamadaki performansını tahmin etmenin ötesindedir. HAD yaklaşımı ayrıca mevcut gemilerdeki düşük performansın nedenlerini belirlemek ve söz konusu gemiyle ilişkili hidrodinamik davranışları geliştiren enerji tasarrufu önlemlerinin etkinliğini tahmin etmek için de kullanılabilir. Doğru gemi akışı modellemesi, pervane kavıtasyonu ve diğer gemi titreşimi kaynakları gibi araştırmaları da geliştirebilir.

Yukarıda bahsedilen girişin ardından bu makale, gemi model ve geometri açıklamaları, test ve analiz koşulları da dahil olmak üzere REGAL gemisinin deneysel incelemeleri için kullanılan gemi seyir testlerinin gözden geçirilmesiyle Bölüm 2'de devam etmektedir. Gemi performansının sayısal araştırmaları, akış hacmi hazırlığı, çözüm ağı oluşturulması, sayısal modelleme ve analiz koşulları ve simülasyon kurulumunun ayrıntılı açıklamaları ise Bölüm 3'te sunulmuştur. Açık su pervane performansı, gemi direnci, sevk ve kavıtasyon tahminlerini içeren sonuçlar ve tartışmalar Bölüm 4'te yer almaktadır. Makale, Bölüm 5'te sunulan sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar ile sona ermektedir.

## 2. Gemi Seyir Deneyleri

Gemi seyir deneylerinden önce, gemi havuza alınmış, gemi gövdesi ve pervane yüzeyleri temizlenmiştir. Gemi, dümen ve pervane 3 Boyutlu tarama cihazları vasıtasıyla taranarak gerçek geometriler elde edilmiştir. Bu bölümde, tam ölçekteki geminin geometrik özellikleri, pervanesi ve gemi seyir koşulları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

### 2.1. Gemi Modeli – Kargo Gemisi; REGAL

3 Boyutlu tarama cihazları ile taranan gemi gövdesi, yüksek kalitede gemi geometrisi ve boyutları hakkında bilgi vermekte olup, tasarım çizimlerinden oluşturulan geometrilerde meydana gelebilecek belirsizlikleri de ortadan kaldırmıştır. Yine de doğrudan taranan geometrilerin HAD analizlerinde kullanılmasında bazı zorluklar meydana geldiği için (özellikle çözüm ağı yapısı oluşturulması esnasında) tüm geometriler çalıştay ekibi tarafından tekrar modellenmiş olup, katılımcılara temizlenmiş geometriler sunulmuştur. Çalıştaya katılacak olan araştırma ekiplerine ilgili geometri dosyalarını (stl. Formatında sunulmuştur), gemi seyir deneylerinde belirlenen analiz koşullarını indirmeleri ve bu veriler üzerinde çalışmaları için yönlendirmeler yapılmıştır. Çalıştay başlangıç aşamasında yalnızca bu verilerden oluşmakta olup, sonuçlara dair veriler paylaşılmamış, katılımcıların analizleri sonuçları bilmeksizin (kör bir şekilde) yapmaları istenmiştir. Bu çalıştay kapsamında incelenecek olan gemi, Şekil

1’de verilmiş olup, gemi ve pervaneye ait teknik özellikler Tablo 1’de yer almaktadır.



**Şekil 1.** Kargo gemisi; REGAL.

**Tablo 1.** Gemi ve pervanenin teknik özellikleri.

Gemi	Değer	Ölçü Birimi
Gemi İsmi	REGAL	-
Gemi Tipi	Genel Kargo	-
Dizayn su çekiminde Servis Hızı	14	knot
Gros Tonaj	11542	ton
Dikmeler Arası Uzunluk (LBP)	138	m
Genişlik (B)	23	m
Derinlik (D)	12.1	m
Seyirde Kıç / Baş su çekimi (T)	5.6 / 4.9	m
<b>Pervane</b>		
Pervane Tipi	Sabit Hatveli (FPP)	-
Kanat Sayısı (Z)	4	-
Pervane Çapı (D)	5.2	m
Hatve Oranı (P/D, 0.7R)	0.6781	-

## 2.2. Gemi Seyir Durumları

Bu çalıştay kapsamında, daha önceden gemi seyir deneyleri gerçekleştirilmiş REGAL gemisine ait 4 farklı analiz senaryosu belirlenmiştir. Bu vakalar, gemi direnci, açık su pervane performansı, gemi sevki ve pervane kavitasyonu araştırmalarını içermekle birlikte, ilgili vakalara ait koşullar Tablo 2’de tanımlanmıştır.

Gemi direnci vakası için, 4 farklı gemi hızı koşulunda, gemi serbest bırakılacak şekilde (batma ve trim), toplam gemi direncinin hesaplanması istenmiştir.

Açık su pervane performansı vakası için ise, pervanenin dönüş hızı verilmiş ve sabit tutulacak olup, 5 farklı pervane ilerleme katsayısında (ilerleme hızı) pervane performansının tahmin edilmesi istenmiştir.

Gemi sevki vakası için yalnızca bir koşul zorunlu tutulmuş olmasına rağmen, çalıştay kapsamında belirlenen 3 farklı pervane dönüş koşulu da analiz edilmiştir. Ancak bu makale kapsamında yalnızca bir koşulun ayrıntılı sonuçları verilmiş ve tartışılmıştır.

Son olarak, yalnızca bir pervane kavitasyonu koşulu belirlenmiş ancak çalıştay kapsamında bu vaka zorunlu tutulmamıştır. Bu makalede de sonuçlarına yer verilmiş olan bu vaka için yalnızca iki araştırma

grubu tarafından kavitasyon sonuçları çalıştay için gönderilmiştir.

**Tablo 2.** Gemi seyir koşulları ve çalıştay tarafından istenen analiz vakaları.

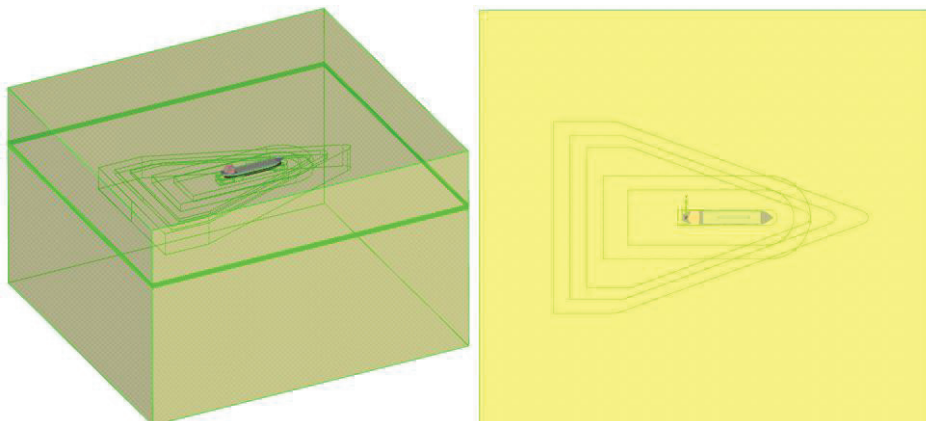
Vaka	Analiz Türü	Zorunluluk	Sabit	Değişken
1.1	Gemi Direnci	İsteğe bağlı/Önerilir	Serbest batma ve trim	8 kn
1.2				10 kn
1.3				12 kn
1.4				14 kn
2.1	Açık Su Pervane Performansı	İsteğe bağlı/Önerilir	71.62 rpm	0.20
2.2				0.30
2.3				0.40
2.4				0.50
2.5				0.60
3.1	Gemi Sevki	En az bir vaka gerekli	Sabit / Serbest batma ve trim	71.62 rpm
3.2				91.10 rpm
3.3				106.4 rpm
4.1	Pervane Kavitasyonu	İsteğe bağlı/Önerilir	-	71.62pm

### 3. Sayısal Yöntem (HAD Yöntemi)

#### 3.1. Geometri ve Akış Hacminin Hazırlanması

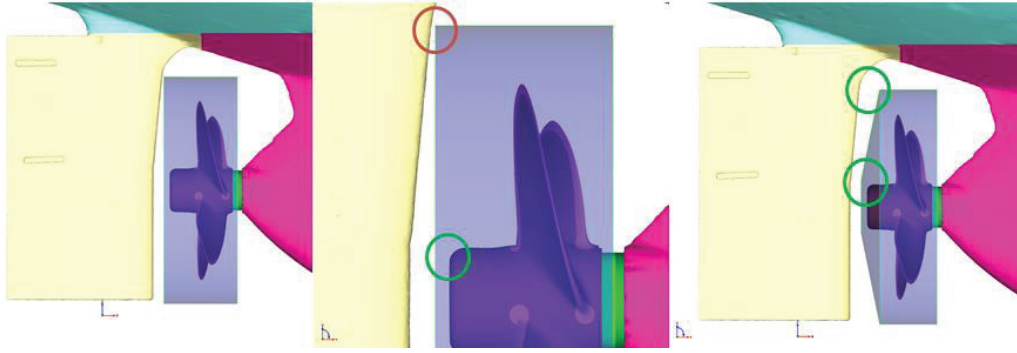
Gemi direnci vakaları için, yarım (1/2) akış hacmi oluşturulurken, gemi sevki analizleri için pervane varlığı nedeniyle tam bir akış hacmi modellenmiştir (Şekil 2). Pervane kavitasyonu vakası için gemi sevki akış hacmi kullanılırken, açık su pervane performansı vakası için farklı bir akış hacmi modellenmiştir.

Şekil 2’de yer alan akış hacmi için, gemi direnci ve sevki analizleri için oluşturulmuş olan akış hacmini göstermektedir. Gemi etrafına çizilmiş fazladan geometriler, gemi su hattını daha doğru bir şekilde modelleyebilmek için çözüm ağı yapısını sıklaştırmak için kullanılacak geometrileri temsil etmektedir. Şekil 3’te ise, pervane etrafında modellenen, pervane ve dümen arasındaki mesafenin kısıtlı olması ve dümenin şekli nedeniyle dönel akış hacmi üzerinde yapılan modifikasyonlar gösterilmiştir. Dönel akış hacmi için pervane etrafına çizilen geometri bir silindir geometrisi değil, mevcut hacme göre modellenmiş özel bir geometridir.



**Şekil 2.** Gemi direnci ve sevk analizleri için oluşturulan akış hacmi.





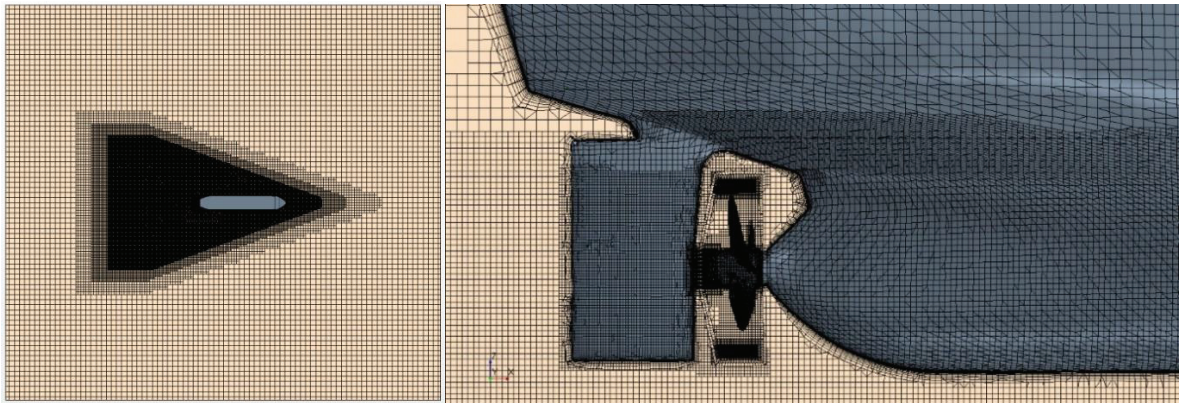
**Şekil 3.** Pervane etrafında özel olarak oluşturulmuş dönel akış hacmi bölgesi.

Gemi seyir testleri alçak bir su çekimi koşulunda gerçekleştirildiğinden, pervane ucu serbest yüzey su yüzeyine çok yakındır, bu da havanın pervane dönüşü sırasında emilerek analizlerin yakınsamasında bozulmalara neden olmaktadır. Bu sorunu çözmek için simülasyon, pervanenin dönüşü sabitlenerek başlatılmış ve kıç dalgası formu oluşturulduktan sonra pervane aktif hale getirilmiştir (bakınız Şekil 10).

Gemi sevkı analizleri için, hem dönel hem de sabit akış hacimlerine ait çözüm ağlarını birbirine bağlayan arayüzler tanımlanmış, böylece geometrik olarak modellenmiş pervanenin dönmeye izin veren bir kayan ağ (sliding mesh) yöntemi kullanılmıştır.

### 3.2. Çözüm Ağının Oluşturulması

Farklı durumlara uygun akış hacimlerinin oluşturulmasından sonra, uygun çözüm ağları üretilmiştir. Böylece, direnç ve sevk durumları için serbest su yüzeyi bölgesi etrafındaki dalga modellerini doğru bir şekilde yakalayabilmek için fazladan bir sıklaştırma bölgesi uygulanırken, açık su pervane performansı ve kavitasyon hesaplamaları için pervanenin uç bölgesini de kapsayacak şekilde pervane etrafına silindirik bir sıklaştırma bölgesi uygulanmıştır. Üretilen çözüm ağları ve uygun sıklaştırma bölgeleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.** Gemi (Sol) ve pervane (Sağ) etrafında sıklaştırılmış çözüm ağı yapısı.

#### 3.2.1 Çözüm Ağından Bağımsızlık Çalışmaları

Direnç değerlerindeki sayısal hataları değerlendirmek için, üç farklı çözüm ağı yapısı ile ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Bu üç çözüm ağı, seyrek (3.8M hücre), orta (5.3M hücre) ve sık (7.6M hücre), olacak şekilde 10 knot gemi hızı koşulu için (Durum 1.2) çözdürülmüştür.  $y^+$  değeri, yaklaşık 70 ortalama değerinde sabit tutulmuştur (tam ölçekli koşullar için  $y^+ > 30$  olması önerilmektedir).

Ağdan bağımsızlık çalışmaları Stern vd. (2001) sunmuş olduğu prosedüre uygun olarak, geminin toplam direnci için gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur. Stern vd. (2001) göre, bu çalışmadaki gemi direnci değeri için salınımlı bir yakınsama elde edilmiştir.

**Tablo 3.** Gemi direnci analizleri için ağdan bağımsızlık çalışmaları.

Ağdan Bağımsızlık	Seyrek	Orta	Sık	$U_G$
Toplam Gemi Direnci, $R_T$ (kN)	118.19	117.06	117.57	1.09%

### 3.3. Sayısal Modelleme ve Simülasyon Kurulumu

Bu çalışma kapsamındaki tüm HAD analizleri, ticari bir HAD yazılımı olan STAR-CCM+ (STAR-CCM +, 2018) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Türbülans modellemesi için tüm vakalara uygun Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) modeli tercih edilmiştir.

Açık su pervane performans hesaplamaları için, başka bir akış hacmi (direnc ve sevk analizlerinden farklı olarak) hazırlanmış ve dönme, kayan ağ yaklaşımı kullanılarak tanımlanmıştır. Zaman adımı değeri pervanenin dönme hızı kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer analiz durumları için çok fazlı modelleme gerekliliklerinin aksine, açık su analizleri için sadece su fazı akışkan olarak kullanılmıştır.

Direnc ve sevk analizlerinde, serbest su yüzeyini analize dahil etmek için, iki farklı tipte sıvının (yani su ve hava) ve kavitasyon analizleri için iki farklı akış fazının (yani sıvı ve su buharı) modellenmesi gerekmektedir. Direnc ve sevk vakaları için, serbest yüzey su ve hava arasında tanımlanırken, kavitasyonun modellenmesi için suyun sıvı ve buhar fazları arasında çok fazlı bir etkileşim tanımlanmıştır. Gemi ölçeği direnc analizleri için, toplam çözüm ağı hücre sayısını azaltmak için simetri koşulu kullanılarak hesaplama alanının sadece yarısı oluşturulmuşken, pervane geometrisinin varlığı nedeniyle sevk koşulu için tüm gövde geometrisinin modellenmesi gerekmiştir.

Kavitasyon, Rayleigh-Plesset denkleminin dayanan Schnerr-Sauer kavitasyon modeli kullanılarak modellenmiştir.

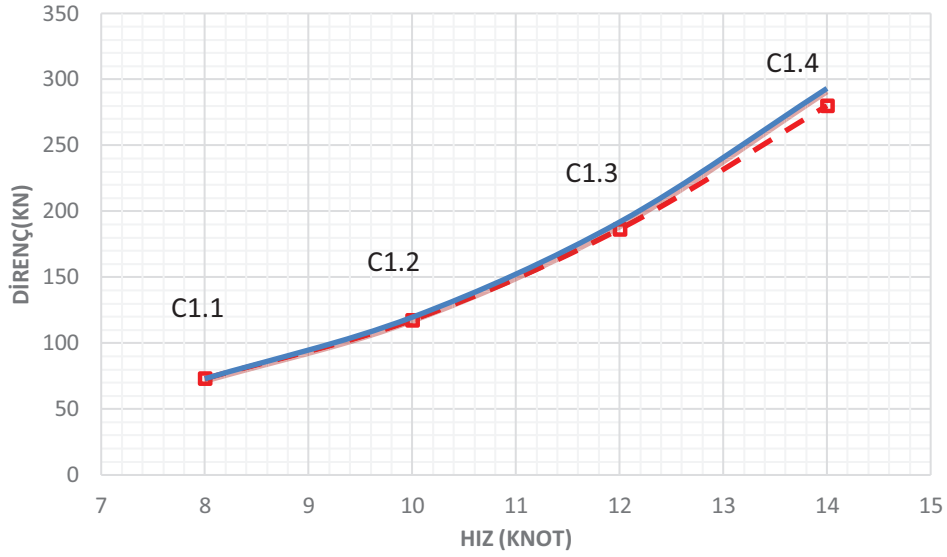
Gemi seyir testleri sonuçları arasında, açık su pervane performansı ve direnc ölçümleri bulunmadığından, bu durumlarda çalıştay katılımcılarının sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ancak, gemi sevk durumunda kör HAD sonuçları, çalıştay sonunda diğer katılımcıların sayısal hesaplamaları ve aynı zamanda deneysel seyir testi ölçümleriyle de kıyaslanmıştır.

## 4. Sonuçlar ve Tartışma

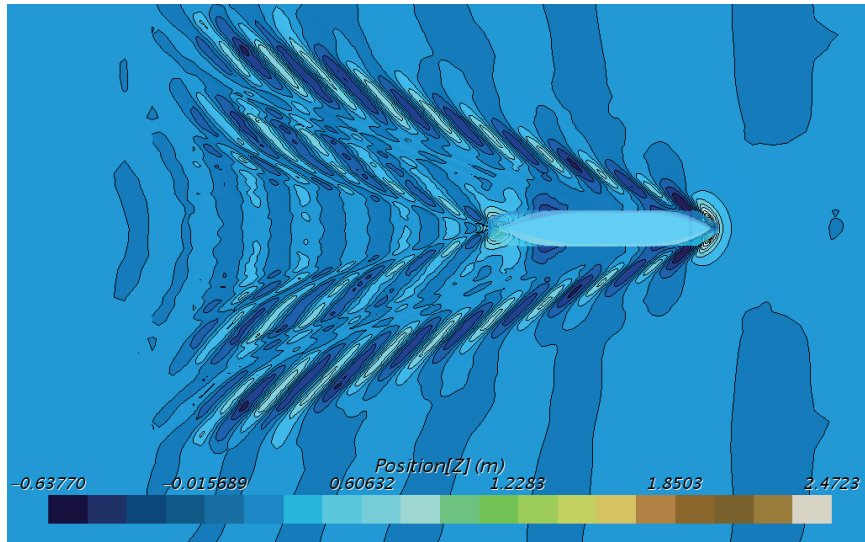
Gemi direnci, açık su pervane performansı, sevk performansı ve kavitasyon tahminleri dahil olmak üzere 4 farklı vaka ile ilgili karşılaştırmalı sonuçlar ve tartışmalar aşağıdaki bölümlerde gösterilmiştir.

### 4.1. Gemi Direnci

Çalıştay kapsamında, direnc hesaplamaları, toplam 7,6 milyon hücre kullanılarak serbest batma ve trim koşullarında 4 farklı giriş hızı için gerçekleştirilmiştir. Toplam direnc değeri için deneysel veriler mevcut olmamasına rağmen, çalıştay katılımcılarından elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmış olup, Şekil 5, HAD sonuçlarını ortalama direnc değerleri ile karşılaştırarak göstermektedir. Bu şekil, toplam direnc için HAD tahmininin, farklı hız koşullarında diğer sonuçlarla iyi bir uyum sağladığını göstermektedir. Kırmızı kesik çizgili eğri bizim HAD sonuçlarımızı, mavi eğri tüm katılımcıların değerlerinin ortalamasını temsil etmektedir. Şekil 6 ayrıca Durum 1.2 için su hattı üzerinde dalga oluşumunu göstermektedir.



Şekil 5. Toplam direnç değeri için HAD sonuçlarının ortalama değerler ile kıyaslanması.

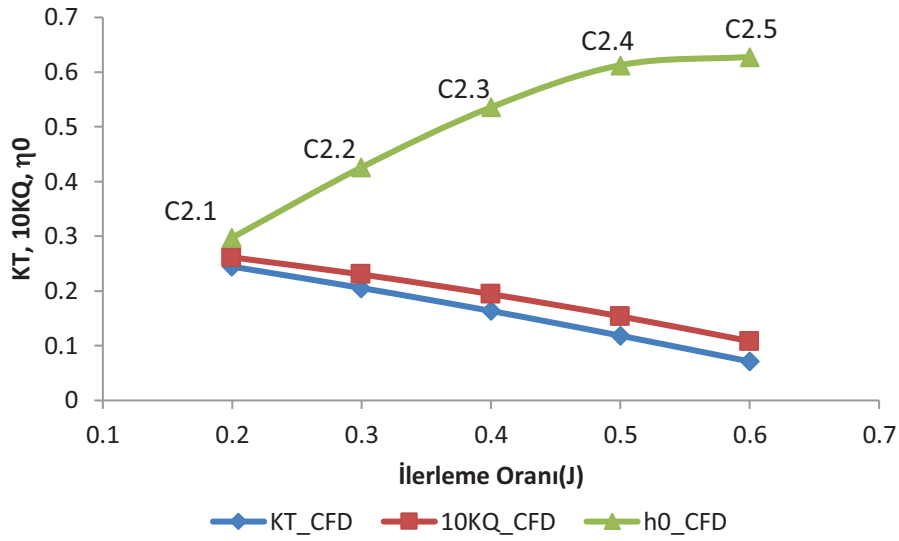


Şekil 6. Su hattı üzerindeki dalga yapısı.

#### 4.2. Açık Su Pervane Performansı

Pervane açık su performans hesaplamaları, pervanenin dönme hızını sabit tutarak ve giriş hızını değiştirerek istenen ilerleme katsayılarına karşılık gelen, çalıştay komitesi tarafından talep edilen koşullara (Tablo 2) göre gerçekleştirilmiştir.

Şekil 7, 5 farklı koşula karşılık gelen HAD sonuçları kullanılarak çizilen açık su pervane eğrilerini göstermektedir. Her ne kadar açık su pervane performans tahminleri için deneysel sonuçlar mevcut olmasa da, kör HAD sonuçları diğer katılımcıların sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve iyi bir uyum sağlanmıştır. HAD sonucu ortalama açık su verimlilik değeri ile karşılaştırıldığında, açık su pervanesi verimliliği % 2'den daha düşük hata payı ile hesaplanmıştır (Durum 2.1 için).



Şekil 7. Açık su pervane performansı eğrileri.

#### 4.3. Gemi Sevk Performansı

Çalıştay kapsamında katılımcılardan, gemi sevk performansı tahminleri için gemi seyir testleri sırasında kaydedilen şaft dönüş hızları göz önüne alınarak elde edilen gemi hızlarını belirlemeleri istenmiştir. HAD analizlerinde, belirli bir hız değeri için şaft hızını ayarlamak yerine, sabit şaft hızıyla gemi hızını belirlemek, hesaplamalı olarak pahalı ve uzun zaman alan (her giriş koşulu değişikliğinde analizin yakınsaması beklenmelidir.) ve olağandışı bir uygulamadır.

Bu isterin nedeni, şaftın dönüş hızı ölçümlerinin gemi hızı ölçümlerine nazaran çok daha güvenilir olması ve ölçülen değerlerin gemi seyir testleri sırasında doğru kaydedilmiş olmasıdır. Yerdeki gemi hızı, modern bir GPS sistemi ile yüksek bir doğrulukla da ölçülebilir; bununla birlikte deniz koşulları, rüzgar ve akışın gerçek hız değerleri üzerinde önemli bir etkisi olabilir. ISO15016 standardı, bu tip değerleri ideal bir ortama dönüştürmeye yardımcı olmaktadır (dalga ve rüzgar yok kabul edilerek). Bununla birlikte, standart bazı ampirik formüllere dayandığı ve görsel izlenimlere (örneğin dalga yüksekliği için) dayandığı için, işlem sonrası bazı belirsizlikler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, bu durum için doğru olarak ölçülmüş şaftın dönüş hızı, sabit bir referans noktasına sahip olmak ve değerlerin tutarlılığı açısından çalıştay komitesi tarafından tercih edilmiştir. Bu gereksinim, belirli bir şaft hızında kendi kendine sevk noktasına ulaşabilmek için giriş hızını (gemi hızı) yinelemeli olarak ayarlama zorunluluğuna sebep olduğundan, bu analizler için oldukça zaman ve güç açısından pahalıya mal olmuş ve bu vakayı zor hale getirmiştir.

Bizim bu duruma karşı yaklaşımımız, pervane itme değerine karşılık gemi direnci eğrisi oluşturmak ve kendi kendini sevk noktasını bulabilmek için sabit şaft hızına ve değişken giriş hızlarına sahip bir dizi vakayı gerçekleştirmektir. Verilen pervane dönme hızlarında elde edilen gemi hızlarının göstergeleri, çalıştay öncesinde verilmiştir. Burada, 71.62 rpm şaft hızına karşılık, Durum 3.1'e karşılık gelen en düşük şaft dönme hızı için bulgular rapor edilmiştir.

Zaman adımı, her bir zaman adımı başına 1 derecelik pervane dönüşüne izin vermek üzere pervane dönüş hızına göre hesaplanmıştır. Hesaplamalar, yakınsama için gerekli olan hesaplama süresini azaltmak amacıyla çok daha büyük bir zaman adımı ile başlatılmıştır.

Gemi ölçeğinde HAD analizleri için genel iddialardan biri, hesaplamalar için çok sayıda hücrenin ve dolayısıyla önemli hesaplama gücünün, güvenilir sonuçlar elde etmek için teorik bir gereksinim olmasıdır. Bununla birlikte, sonuçlarımız, 8 milyon hücre sayısı ile daha kaba ağlarla bile iyi sonuçların

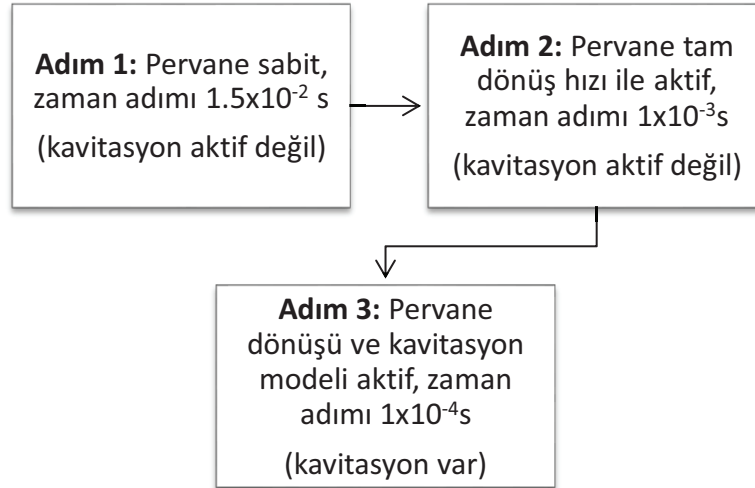
elde edilebileceğini göstermiştir. Bu gözlem, farklı tipteki gemiler için Ponkratov ve Zegos (2015) tarafından gerçekleştirilen tam ölçekli kendi kendini sevk için yapılan daha önceki çalışmalar ile de uyum göstermiştir.

Yukarıda bahsedilen hesaplama yöntemine dayanarak, HAD analizleri, Şekil 8'de verilen şematik tabloya göre ve aşağıdaki adımlarda tarif edilen yöntem izlenerek, tüm sevk durumları için gerçekleştirilmiştir:

**Adım 1:** Simülasyonlar pervanenin hareketi olmadan ve pervane kavitasyon simülasyonları için kullanılacak olanlardan nispeten daha yüksek bir zaman adımı ( $1.5 \times 10^{-2}$ s) kullanılarak başlatılmıştır. Bu yaklaşım, simülasyonlarda geminin toplam direncinin kısa sürede yakınsamasını sağlar ve pervanenin hareketi ile daha yüksek zaman adımı değerlerinden kaynaklanan potansiyel ıraksama problemlerinin önüne geçer.

**Adım 2:** Toplam direnç değeri yakınsadıktan sonra, pervanenin dönüşü etkinleştirilir, pervanenin devri artırılır ve zaman adımı ( $1 \times 10^{-3}$ s) yavaş yavaş azaltılır. Bu, pervanenin itme ve tork değerleri yakınsayana kadar devam eder.

**Adım 3:** İtme ve tork değerleri yakınsadığında, daha küçük bir zaman adımı ( $1 \times 10^{-4}$ s) ile pervane kavitasyonunun simüle edilebilmesi için saturasyon basıncı kademeli olarak -1000'den 3359 Pa'a değiştirilerek pervane kavitasyonu etkinleştirilir. Kavitasyonun aktivasyonunu takiben, simülasyonlar pervane kanadı yüzeylerindeki yüzey kavitasyonu kararlı hale gelene kadar yürütülür. Her ne kadar eğimli akış, tekne ve dümen varlığı gibi karmaşık akış özellikleri nedeniyle kavitasyon dinamikleri hala değişken olabilsede, kanat yüzeyindeki kavitasyon her bir kanat pozisyonu için kararlı olana kadar analizler devam ettirilmelidir.



**Şekil 8.** Sevk durumları için oluşturulmuş analiz yöntemi.

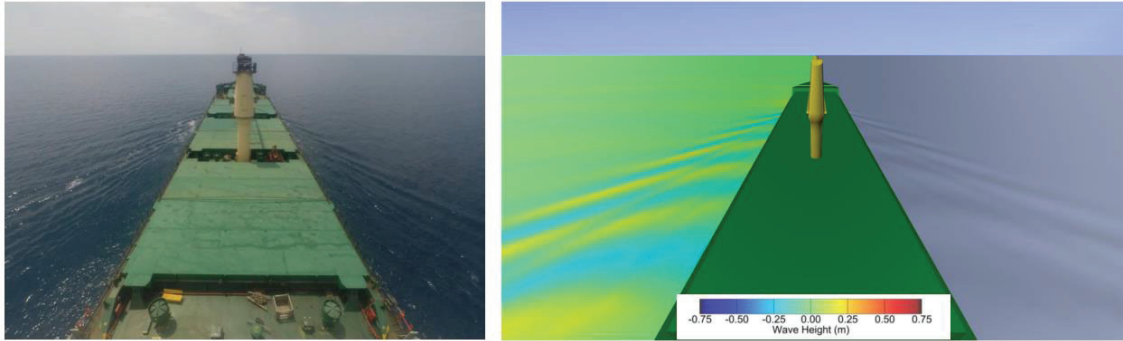
Daha öncede bahsedildiği gibi, gemi direnci ve pervane itme değerlerinin yakınsaması ve kendi kendine sevk noktasının tespit edilebilmesi için giriş hızı değeri değiştirilerek bu değerlerin birbirini yakalaması sağlanmıştır. Pervane dönüş hızı verilen 71.62 rpm değerine sabitlenerek, 9.6 knot hızında itme ve direnç arasında bir denge elde edilmiştir. Dolayısıyla geminin hızı 9.6 knot olarak tahmin edilmiştir. Hesaplamalara verilen hız ile başlanmış ve iteratif bir süreçle direnç ve itme arasındaki denge sağlanarak 9.6 knot kendi kendine sevk noktasına ulaşılmıştır. Daha sonra çalıştay sonuçları katılımcılar ile paylaşıldığında görülmüştür ki, gemi seyir testlerinde 71.62 rpm pervane dönme hızına karşılık gelen gemi hızı 9.25 knot'dur. Dolayısıyla HAD sonuçları gemi seyir testleri ile karşılaştırıldığında hız değerinin % 3.8 sapma ile tahmin edildiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4, çalıştay sırasında paylaşılan gemi seyir testleri ölçüleriyle HAD analiz sonuçlarının kıyaslandığı gemi sevk performansına ait ana parametreleri listelemektedir. Seyir verileri, 71.6 rpm'deki gemi hızını 9.25 knot olarak ölçerken, kör tahminimizin 9.6 knot olduğu görülmektedir. Tablo 4'te yer alan HAD sonuçları, gemi seyir sonuçları ile iyi bir uyum gösterirken, hız % 3.8, tork % 2.9 ve güç % 2.7'lik bir hata payı ile tahmin edilmiştir.

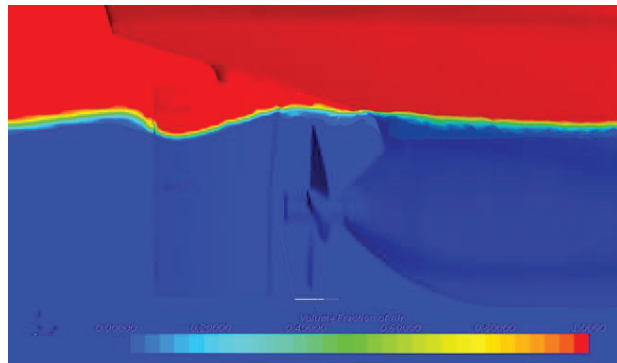
**Tablo 4.** HAD ile hesaplanan sevk performans parametrelerin gemi seyir testleri ile mukayesesi.

Durum 3.1	Gemi Hızı (kn)	Toplam Direnç (R <sub>T</sub> )	Pervane İtmesi (T)	Sevk Noktası (%)	Pervane Torku (Q)	İletilen Güç (P <sub>b</sub> )
HAD Sonuçları	9.6	180.1	179.9	0.13	98.93	741.18
Seyir Testleri	9.25	-	-	-	96.16	721.00
Sapma	% 3.8	-	-	-	% 2.9%	% 2.7

Şekil 9'da HAD ile modellenen serbest su hattı yüzeyi, bir GoPro kameradan elde edilen gemi seyir testleri sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu görüntü görsel bir karşılaştırma sağlarken dalga yapısının sayısal hesaplamalar ile doğru bir şekilde tahmin edildiğini göstermektedir. Bu nedenle, sunulan HAD hesaplamalarında serbest su yüzeyin tatmin edici bir şekilde modellendiğini söylemek mümkündür. Son olarak, Şekil 10, gemi gövdesi ve dümen yüzeyinde su ve havanın hacimsel oranını göstererek serbest su yüzeyinin HAD hesaplamalarında nasıl sunulduğunu göstermektedir.



**Şekil 9.** HAD (Sağ) ile elde edilen su hattı yüzeyinin seyir testi (Sol) sırasında çekilmiş gerçek bir fotoğraf ile karşılaştırılması.

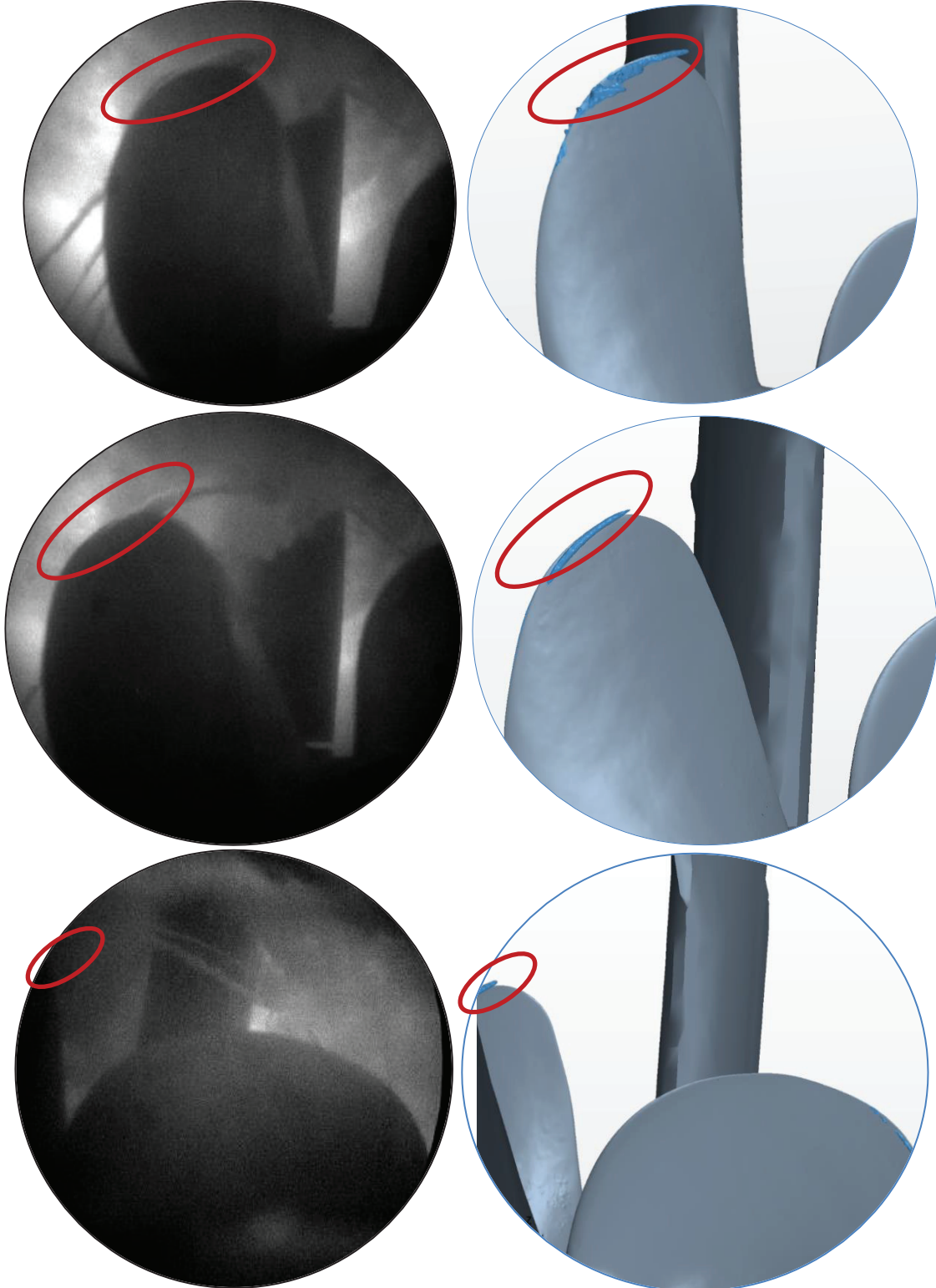


**Şekil 10.** Gemi ve dümen üzerinde su ve havanın hacimsel oranı.

#### 4.4. Pervane Kaviteasyonu

Pervane kaviteasyonu durumu için, çalıştay kapsamında, bu çalışma da dahil olmak üzere sadece iki katılımcı sonuçlarını paylaşmıştır. Şekil 11, farklı kanat açısı pozisyonları için HAD tahminleri (Sağ) ile gemi seyir testlerinden (Sol) elde edilen gerçek görüntüler arasındaki kaviteyon görünümü karşılaştırmalarını göstermektedir. Bu şekilden görülebileceği gibi, pervane ucundaki en büyük

kavitasyon hacmi üst ölü noktada yakalanırken, pervane açıl pozisyonu nedeniyle çözüm süresi boyunca yüzey kavitasyonu hacmi azaltılmıştır. Yüzey kavitasyonu modellenemesine rağmen, pervane ucunun etrafındaki çözüm ağı sıklaştırma bölgesinin eksikliği nedeniyle, kanat ucu girdap kavitasyonu ve yüzey kavitasyonu ile etkileşimi bu vaka için ne yazık ki modellenememiştir. Bu olgu için adapte edilebilir ağı sıklaştırma tekniğinin (MARCS, Yılmaz vd. 2019) gelecekte yapılacak bir araştırma olarak uygulanması planlanmaktadır.



**Şekil 11.** HAD modellemesi ile elde edilen kavitasyon hacminin gemi seyir testleri sırasında kaydedilmiş gerçek fotoğraflar ile karşılaştırılması.

## 5. Genel Değerlendirmeler ve Gelecek Çalışmalar

Bu makalede yer alan çalışmanın temel amacı, HAD yöntemi kullanılarak gemi direncinin, açık su pervane performansının, sevk ve pervane kavitasyonunun etkili bir şekilde araştırılması için son teknoloji ürünü ticari bir HAD kodunun kabiliyetlerini göstermektir. Yukarıdaki amaca ulaşmak için, ilk olarak, gemi direnci hesaplamaları, ağdan bağımsızlık analizleri de dahil olmak üzere giriş hızları değiştirilerek 4 farklı çalışma koşulunda gerçekleştirilmiştir. Bu görevi takiben 5 farklı koşulda açık su pervane performansı tam ölçekte tahmin edilmiş ve performans eğrileri çizilmiştir. Son olarak, kendi kendine sevk analizleri gerçekleştirilmiş ve pervane kavitasyonunun, saturasyon basıncı değeri bir girdi olarak değiştirilerek pervane kavitasyonu tahmin edilmiştir. Tüm analiz vakalarından iyi sonuçlar alınmasına rağmen, hesaplama ve sonuçlar daha iyi çözümler için hala geliştirilebilir. Bu çalışma için gelecekte yapılması planlanan çalışmalar şu şekilde sıralanabilir;

- Bu çalışmada, balast yükleme koşulları gereği, pervanenin hemen üzerindeki serbest su yüzeyinde suyun emilimi ve akışın tersine çevrilmesi gibi HAD tahminlerini karmaşıklaştıran akış özellikleri olduğu gösterilmiştir. Bunların, geminin tam yüklü durumunda ortaya çıkma olasılığı daha düşüktür, bu nedenle bu koşullarında aynı çalışmaların yapılması halinde tahminlerin doğruluğu ve sonuçların tutarlılığı artırılabilir.
- Tüm durumlar çalıştay tarafından seyir testleri sonuçları paylaşılmaksızın kör talep edildiğinden, sevk durumu için giriş hızı kendi kendine sevk noktası kullanılarak tahmin edilmiştir. Dolayısıyla, hız, gemi seyir testleri ölçümlerinden farklı olarak hesaplanmıştır. Sevk analizlerinde gemi direnci ve pervane itme gücü ile ilgili deneysel ve HAD sonuçları arasındaki farkı azaltmak için kesin giriş hızı ile tekrarlanması planlanmaktadır.
- Kavite simülasyonları, kesin giriş hızı ile ve yakın gelecekte adapte edilebilir bir ağ sıkılaştırma tekniği yaklaşımı ile elde edilebilecek kanat ucu girdap kavitasyonu da dahil olmak üzere, kaviteye tahmin edilmesi için tekrarlanabilir.

## 6. Teşekkür

Bu çalışma kapsamında sözü edilen LR çalıştayının düzenlenmesinde çok etkin bir rol oynayan ve aynı zamanda tüm çalışmaların gönderilmesi, paylaşılması ve derlenmesi konusunda bizlere çok yardımcı olan Dr. Dmitriy Ponkratov'a, özellikle gemi direnci ve sevk analizlerinde oldukça emeği olan meslektaşlarım Sn. Emin Öztürk ve Sn. Matthias Maasch'a, çalışmaya katılımımızı maddi açıdan destekleyen Prof. Dr. Osman Turan'a ve değerli doktora danışmanım Prof. Dr. Mehmet Atlar'a teşekkürü bir borç bilirim. Tüm bunların yanı sıra bu çalışma kapsamında verileri paylaşılmış HAD analizlerinin gerçekleştirilmesi için İskoçya'nın Batısı için Yüksek Performanslı Hesaplama (ARCHIE-WeSt) bilgisayarını EPSRC hibe no. EP / K000586 / 1 kullanılmıştır.

## 7. Kaynaklar

Bhushan, S., Xing, T., Carrica, P., Stern, F., (2009). Model- and Full-Scale URANS Simulations of Athena Resistance, Powering, Seakeeping, and 5415 Maneuvering. J. Sh. Res. 53, 179–198.

Carrica, P.M., Castro, A.M., Stern, F., (2010). Self-propulsion computations using a speed controller and a discretised propeller with dynamic overset grids 316–330. <https://doi.org/10.1007/s00773-010-0098-6>



Castro, A.M., Carrica, P.M., Stern, F., (2011). Full scale self-propulsion computations using discretised propeller for the KRISO container ship KCS. *Comput. Fluids* 51, 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2011.07.005>

Gaggero, S., Villa, D., Viviani, M., (2015). The Kriko container ship (KCS) test case: An open source overview, in: *Computational Methods in Marine Engineering VI, MARINE 2015*. pp. 735–749.

ITTC, (2017). 1978 ITTC Performance Prediction Method 7.5 – 02 0.

Jasak, H., Vukcevic, V., Gatin, I., Lalovic, I., (2019). CFD validation and grid sensitivity studies of full scale ship self propulsion. *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.* 11, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2017.12.004>

Krasilnikov, V.I., (2013). Self-Propulsion RANS Computations with a Single-Screw Container Ship, in: *3rd International Symposium on Marine Propulsors*. pp. 430–438.

Larsson, L., Stern, F., Visonneau, M., (2014). An assessment of the Gothenburg 2010 Workshop.

Larsson, L., Stern, F., Visonneau, M., Hino, T., Hirata, N., Kim, J., (2018). Tokyo 2015: A workshop on CFD in ship hydrodynamics, in: *Tokyo 2015: A Workshop on CFD in Ship Hydrodynamics*. Tokyo.

Ponkratov, D., Zegos, C., (2015). Validation of Ship Scale CFD Self-Propulsion Simulation by the Direct Comparison with Sea Trials Results, in: *4th International Symposium on Marine Propulsors*.

Schnerr, G. H., Sauer, J., (2001). Physical and Numerical Modeling of Unsteady Cavitation Dynamics, ICMF2001, 4th International Conference on Multiphase Flow, New Orleans, USA, May 27-June 1, 2001.

Seo, J.H., Seol, D.M., Lee, J.H., Rhee, S.H., (2010). Flexible CFD meshing strategy for prediction of ship resistance and propulsion performance. *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.* 2, 139–145. <https://doi.org/10.3744/JNAOE.2010.2.3.139>

STAR-CCM+ User Guide, (2018).

Starke, A.R., Drakopoulos, K., Toxopeus, S.L., Turnock, S.R., (2017). RANS-based full-scale power predictions for a general cargo vessel, and comparison with sea-trial results, in: *7th International Conference on Computational Methods in Marine Engineering, MARINE 2017*. pp. 353–364.

Stern, F., Wilson, R.V., Coleman, H. W., Paterson, E.R, (2001). Verification and Validation of CFD Simulations - Part1: Methodology and Procedures. *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 123.

Visonneau, M., Deng, G.B., Guilmineau, E., Queutey, P., Wackers, J., (2016). Local and Global Assessment of the Flow around the Japan Bulk Carrier with and without Energy Saving Devices at Model and Full Scale, in: *31st Symposium on Naval Hydrodynamics Monterey, California, 11-16 September 2016*.

Yilmaz, N., Atlar, M., Khorasanchi, M., (2019). An Improved Mesh Adaption and Refinement Approach to Cavitation Simulation (MARCS) of Propellers, *Journal of Ocean Engineering*, January 2019.



**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** EYLÜL 2019

**27 Eylül 1538**  
Preveze Deniz Zaferi'nin  
481. Yıl Dönümü ve  
Deniz Kuvvetleri Günü Kutlu Olsun!

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir.  
Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.  
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuza-İstanbul  
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo merkez twitter.com/Gemimuhendis  
instagram/gemimuhendisleridasi LinkedIn/tmmobgemimuhendisleridasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** EKİM 2019

**GMO ATASININ İZİNDE  
65 YAŞINDA**

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir.  
Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.  
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuza-İstanbul  
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo merkez twitter.com/Gemimuhendis  
instagram/gemimuhendisleridasi LinkedIn/tmmobgemimuhendisleridasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** KASIM 2019

**ODAMIZ  
65.  
YAŞINI KUTLUYOR**

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir.  
Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.  
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuza-İstanbul  
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo merkez twitter.com/Gemimuhendis  
instagram/gemimuhendisleridasi LinkedIn/tmmobgemimuhendisleridasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** ARALIK 2019

**65.YILIMIZ KUTLU OLSUN!**

**D. Bakan ve Ka... m Kurulu Başkan ve izm...**

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir.  
Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.  
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuza-İstanbul  
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo merkez twitter.com/Gemimuhendis  
instagram/gemimuhendisleridasi LinkedIn/tmmobgemimuhendisleridasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** OCAK 2020

**STAJ ÇALIŞMALARINI  
GMO ÇATISI  
ALTINDA**

www.gmo.org.tr Dokümanlar Öğrenci Staj Başvurusu

**Staj Başvuru Tarihleri: 01 Şubat 2020/20 Şubat 2020**

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir.  
Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.  
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuza-İstanbul  
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo merkez twitter.com/Gemimuhendis  
instagram/gemimuhendisleridasi LinkedIn/tmmobgemimuhendisleridasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** ŞUBAT 2020

**Üyesiyle Güçlü Olan  
Gemi Mühendisleri Odası  
47. GENEL KURULA DOĞRU!**

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir.  
Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.  
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuza-İstanbul  
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo merkez twitter.com/Gemimuhendis  
instagram/gemimuhendisleridasi LinkedIn/tmmobgemimuhendisleridasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** MART 2020

**#COVID-19**  
Kendin İçin  
**SOSYAL MESAFENİ KORU**

Ailen İçin  
**TEDBİR AL**

Ülken İçin  
**EVDE KAL**

**Sağlıkla Kalın!**

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir.  
Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.  
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuza-İstanbul  
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo merkez twitter.com/Gemimuhendis  
instagram/gemimuhendisleridasi LinkedIn/tmmobgemimuhendisleridasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** NİSAN 2020

**23 Nisan Ulusal Egemenlik ve Çocuk  
Bayramı'nın 100. Yılı Kutlu Olsun!**

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir.  
Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.  
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuza-İstanbul  
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo merkez twitter.com/Gemimuhendis  
instagram/gemimuhendisleridasi LinkedIn/tmmobgemimuhendisleridasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** MAYIS 2020

**19 MAYIS 1919**  
Atatürk'ü  
Anma  
Gençlik ve  
Spor Bayramı  
Kutlu Olsun.

**Bütün ümidim  
gençliktedir.**

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir.  
Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.  
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuza-İstanbul  
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo merkez twitter.com/Gemimuhendis  
instagram/gemimuhendisleridasi LinkedIn/tmmobgemimuhendisleridasi



# TÜRK LOYDU



**TÜRKİYE'NİN  
TEKNOLOJİK  
KLASLAMA VE  
UYGUNLUK  
DEĞERLENDİRME  
KURULUŞU**

[www.turkloydu.org](http://www.turkloydu.org)