

GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ

GMO JOURNAL OF SHIP AND MARINE TECHNOLOGY



TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI

The Turkish Chamber of Naval Architects and Marine Engineers

GMO



3rd INTERNATIONAL CONGRESS ON SHIP AND MARINE TECHNOLOGY

3. ULUSLARARASI GEMİ VE DENİZ TEKNOLOJİSİ KONGRESİ

“Shipbuilding Towards Sustainability”

Green Ship, AI and Blue Economy for Marine Industry

GMO-SHIPMAR 2024



ÖNEMLİ TARİHLER / IMPORTANT DATES

Abstract Submission : 01 September 2024 (Özet gönderimi)

Abstract Notification : 15 September 2024 (Özet kabul bildirimi)

Full Paper Submission : 01 October 2024 (Tam metin bildiri gönderimi)

**10-12
DECEMBER**

TRABZON
TÜRKİYE



İTÜ



UNIVERSITY
of HAWAII
MANOA



Abstract/Paper submission: www.gmoshipmar.org/GMOSHIPMAR2024



/tmmobgmomerkez



/gemimuhendis



/gemimuhendisleriodasi



/tmmobgemimuhendisleriodasi

www.gmo.org.tr

İÇİNDEKİLER | CONTENTS

EDITÖRDEN | EDITORIAL

i

ARAŞTIRMA MAKALELERİ | RESEARCH ARTICLES

Parametric Roll Motion Reduction of a Ship with a Passive Anti-Roll Tank 1-15
Pasif Yalpa Tankı ile Gemilerde Parametrik Yalpa Hareketinin Sönümlenmesi

Emre Peşman, Hasan Ölmez, Metin Taylan
(*Araştırma Makalesi* | *Research Article* | *EN*)

Gemi Kazan Arızalarının Bulanık DEMATEL Yöntemi ile İncelenmesi 16-29
Investigation of Ship Boiler Failures with Fuzzy DEMATEL Method

Burak Karaçan, Asım Sinan Karakurt
(*Araştırma Makalesi* | *Research Article* | *TR*)

Tersanelerde Tedarikçi Seçimine Etki Eden Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modeli ile Analizi 30-53
Analysis of Factors Affecting Supplier Selection In Shipyards Using Structural Equality Model

Kazım Barlas, Eda Turan
(*Araştırma Makalesi* | *Research Article* | *TR*)

Experimental Validation of Power Output and Efficiency for an Oscillating Water Column (OWC) 54-72

Salınlı Su Kolonu (OWC) için Güç Çıkışı ve Verimin Deneysel Olarak Doğrulanması

Şafak Nur Ertürk Bozkurtoğlu
(*Araştırma Makalesi* | *Research Article* | *TR*)

Türk Karasularında Gerçekleşen Gemi Kazalarının Denizcilik Sözleşmeleri İhlalleri Üzerine Araştırma 73-89

Research on Violations of Maritime Conventions in Ship Accidents in Turkish Territorial Waters

Ozan Hikmet Arıcan
(*Araştırma Makalesi* | *Research Article* | *TR*)

Dairesel Silindirlerin Girdap Kaynaklı Titreşimlerine Serbest Su Yüzeyi Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi 90-106



Experimental and Numerical Investigation of Free Surface Effect on Vortex-Induced Vibrations of Circular Cylinders

Aytekin Duranay

(*Araştırma Makalesi* | *Research Article* | *TR*)

Reducing carbon footprint of ships in voyage planning: a case study of Atlantic passage

107-117

Sefer planlamasında gemilerin karbon ayak izinin azaltılması:

Atlantik geçişi üzerine bir vaka çalışması

İdris Turna

(*Araştırma Makalesi* | *Research Article* | *EN*)

HABER / NEWS

12th National Ship and Yacht Design Competition Concluded

118-122

12. Ulusal Gemi ve Yat Tasarım Yarışması Tamamlandı

Posters of All Participant Designs

123-132

Katılımcı Tasarımların Posterleri

Fulltexts of Designs submitted by Participants

Katılımcıların Dergimize Gönderdikleri Tasarım Tam Metinleri

ZADA | Yasin Karakuş, Hasan Eroğlu

133-138

NOVA | Bilge Taşdemir, Akın Yıldırım

139-142

EMPRESS | Batu Bayrak, Furkan Arıkan, Efsun Sultan Bulut

143-147

HERON | Cem Avcı, Barış Çay

148-150

HYCATA-HOPE | Hüseyin Enis Sarıkaya, Birtane Gökçe

151-156



TÖZİN



Değerli Meslektaşlarımız ve Okurlar,

Yedi adet araştırma makalesinin sunulduğu Gemi ve Deniz Teknolojisi 225. sayısında; pasif yalpa tankı ile gemi yalpa hareketlerinin sönümlenmesi, gemi kazan arızalarının incelenmesi, tersanelerde tedarikçi seçim faktörlerinin incelenmesi, dalgardan enerji elde eden bir sisteme ilişkin model deneylerini temel alan bir çalışma, gemi kazalarında denizcilik sözleşmeleri ihlalleri, silindirlerde meydana gelen girdap kaynaklı titreşimlerin incelenmesi, sefer plânlamasında gemilerin karbon ayak izinin azaltılması konularında makaleler sunulmuştur. Değerli katkıları için yazarlara, hakemlerimize ve dergi personeline teşekkürlerimizi sunarız.

Gemi ve Deniz Teknolojisi dergisi olarak son altı aylık dönem içerisinde takip ettiğimiz denizcilik teknolojilerini ilgilendiren etkinlikleri bilgilerinize sunuyoruz. Gemi, Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliğinin düzenlediği 13. Gemi ve Yat Tasarımı Yarışması başlatıldı, katılımcılar yarışmada Türk denizlerinde ve açık denizlerde seyir yapabilecek min. 40 m boyunda balıkçı gemisi (fabrika balıkçı, canlı balık taşıma, trol veya gır-gır çeken) tasarımı yapacaklar¹. Son altı ayın önemli bir bilimsel etkinliği İstanbul Teknik Üniversitesi Denizcilik Fakültesi ve TMMOB Gemi Makineleri İşletme Mühendisleri Odası'nın düzenlediği 5th Global Maritime Congress, 20-21 Mayıs 2024 günlerinde Tuzla'da gerçekleştirildi². Diğer bir etkinlik PER-CON B2B, GISBİR ana desteği ile 20-21 Mayıs 2024 tarihlerinde İstanbul'da düzenlendi³. Etkinlikte, tedarikçi firmalar tersaneler, armatörler ve gemi işletmecileri ile görüşmeler programlanarak buluşturuldu. 8. Mare Forum 22 Mayıs 2024 günü Tuzla'da yapıldı⁴. KOSDER ve Alpha Marine Türkiye iş birliğiyle 15 Mayıs Çarşamba günü AB Emisyon Ticaret Sistemi Uygulamaları Çerçevesinde Geleceğe Bakış başlıklı bir panel gerçekleştirildi⁵.

TMMOB GMO'nun düzenleyeceği 3. Uluslararası Gemi ve Deniz Teknolojisi Kongresi 10-12 Aralık 2024 tarihlerinde Karadeniz Teknik Üniversitesi ev sahipliğinde Trabzon'da düzenlenecek⁶.

Dünya gemi ve deniz teknolojisi gündeminde yaşanan yeni uygulamalar ve gelişmeler iş birliği ve iletişimin önemini daha da artırıyor. Bilimsel ve mesleki yazılarınızı dergimizde yayınlamaktan memnun olacağımızı bildiririz.

Aralık sayımızda buluşmak üzere hoşça kalın.

Dear Colleagues and Readers,

We are happy to introduce seven research articles. The subject areas of the articles are damping ship roll motion using a passive rolling tank, examining ship boiler malfunctions, investigating supplier selection factors in shipyards, a study based on model experiments on a wave energy converter, violations of maritime conventions during ship accidents, investigating vortex-induced vibrations in cylinders, reducing the carbon footprint of ships. We would like to thank the authors, referees and journal staff for their valuable contributions.

As Ship and Marine Technology journal, we would like to inform you about the events related to maritime technologies that we have followed in the last six month period. The 13th Ship and Yacht Design competition organized by the Ship, Yacht and Services Exporters Association has been launched, the participants will compete to design a fishing vessel to be operated in Turkish seas and oceans. The design length of fishing vessel is minimum 40 m, vessel type may be factory fishing, carrying live fish, trawling or purse seiner¹. The important scientific event of the last six months is the 5th Global Maritime Congress, organized by Istanbul Technical University Maritime Faculty and TMMOB Turkish Chamber of Marine Engineering Engineers, was held in Tuzla on 20-21 May 2024². Another event PER-CON B2B, was held in Istanbul on 20-21 May 2024, with the main support of GISBİR³. At the event, supplier companies met buyers composed by shipyards, shipowners and ship operators by scheduling B2B meetings. The 8th Mare Forum was held in Tuzla on 22 May 2024⁴. A panel titled looking to the Future within the Framework of EU Emission Trading System Applications was held on Wednesday, May 15, in cooperation with KOSDER and Alpha Marine Turkey⁵.

The 3rd International Ship and Marine Technology Congress, organized by TMMOB GMO, will be held in Trabzon, co-organized and hosted by Karadeniz Technical University, on 10-12 December 2024⁶.

New legislative applications and developments in the world agenda of ship and marine technology further increase the importance of cooperation and communication. We would be pleased to publish your scientific and professional articles in our journal.

We hope to meet you in our December issue.

Saygılarımızla / Regards.

Gemi ve Deniz Teknolojisi / GMO Journal of Ship and Marine Technology

¹ <https://www.gemiyattasarim.org/TR/Yarisma/Sartname.aspx>

² www.globalmaritime.org

³ <https://perconmeets.com/en-US/buyers>

⁴ <https://www.mareforum.com/events/8th-mare-forum-istanbul>

⁵ <https://kosder.org/portfolio-item/kosder-ve-alpha-marine-consulting-turkeyden-eu-ets-seminer/>

⁶ <https://www.gmoshipmar.com/>

Sahibi / Publisher:

TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI
UCTEA, The Turkish Chamber of Naval
Architects & Marine Engineers

İmtiyaz Sahibi / Owner

Bülent HÜSEYİNOĞLU
Chairman - GMO

Baş Editör / Editor-in-Chief

Prof. Ahmet Dursun ALKAN PhD
Yıldız Technical University, Naval Arch. and Maritime
Faculty, İstanbul, Türkiye

Yardımcı Editörler / Associate Editor

Assoc. Prof. Dursun Murat SEKBAN PhD
Karadeniz Technical University, Sürmene Faculty of
Marine Sciences, Trabzon, Türkiye

Asst. Prof. Onur USTA PhD

MSÜ Turkish Naval Academy, İstanbul, Türkiye

Teknik Editörler / Technical Editors

Ress. Asst. Abdullah TÜRK
Karadeniz Technical University, Sürmene Faculty of
Marine Sciences, Trabzon, Türkiye

Ress. Asst. S. Aykut KORKMAZ

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty, İzmir, Türkiye

Yayın Sekreteri / Editorial Secretary

Hilal SAKARYA
Müge Helin DEVİREN

Yayıncı ve Yönetim / Publisher-Management

TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI
UCTEA, The Turkish Chamber of Naval
Architects and Marine Engineers
(TMMOB GMO - www.gmo.org.tr)

Postane Mahallesi, Nil Sokak No: 3934940
Tuzla, İstanbul, Türkiye

T : +90 216 447 40 30 - 31 - 32

E-Mail: GMOShipMar@gmo.org.tr
<https://www.gmoshipmar.org>

Makale Gönderi / Submission

ULAKBİM DergiPark Portal
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/gdt>

Yayın Türü / Publication Type

Sürelî Yayın (6 Aylık) / Periodical, 6 months

Sayı / Issue

225

E-ISSN: 2651-530X

ISSN: 1300-1973

Baskı Tarihi / Date of print :

Haziran 2024 / June 2024

Baskı Sayısı / Number of prints : 50

ALAN EDITÖRLERİ / SECTION EDITORS

Naval Architecture

Prof. Alberto FRANCESCUTTO - University of Trieste, Trieste, Italy
Asst. Prof. Dr. Ziya SAYDAM - Pîrî Reis University, İstanbul, Türkiye
Asst. Prof. Dr. Mustafa KAFALI - İzmir Kâtip Çelebi University, İzmir, Türkiye

Marine Hydrodynamics

Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL - Gedik University, İstanbul, Türkiye Prof.
Dr. Şakir BAL - İstanbul Technical University, İstanbul, Türkiye
Asst. Prof. Dr. Emre KAHRAMANOĞLU - İzmir Kâtip Çelebi University, İzmir, Türkiye
Dr. Ersegun Deniz GEDİKLİ - University of Hawaii at Manoa, Hawaii, USA

Marine Engineering

Prof. Dr. Yasin ÜST - Yıldız Technical University, İstanbul, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Görkem KÖKKÜLÜNK - Yıldız Technical University, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Mehmet ÖNAL - İzmir Kâtip Çelebi University, İzmir, Türkiye
Asst. Prof. Dr. İbrahim ÖZSARI - Bursa Technical University, Bursa, Türkiye

Maritime Engineering

Prof. Dr. Ercan KÖSE - Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye
Prof. Dr. Özcan ARSLAN - İstanbul Technical University, İstanbul, Türkiye
Asst. Prof. Dr. Hasan ÖLMEZ - Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye

Offshore and Ocean Technology

Prof. Dr. İsmail Hakkı HELVACIOĞLU - İstanbul Technical University, İstanbul, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Özgür Özgüç - İstanbul Technical University, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Erinç DOBRUCALI - Bursa Technical University, Bursa, Türkiye
Dr. İsmail BAŞARAN - ABS, London, UK

Marine Electronics

Assoc. Prof. Dr. Fatih ERDEN - National Defence University, İstanbul, Türkiye

Maritime Economics

Prof. Dr. Oral ERDOĞAN - Pîrî Reis University, İstanbul, Turkey
Asst. Prof. Dr. İsmail KURT - İzmir Kâtip Çelebi University, İzmir, Türkiye

Energy and Environment

Prof. Dr. Bahri ŞAHİN - Yıldız Technical University, İstanbul, Türkiye Prof.
Dr. Adrian BEJAN - Duke University, North Carolina, USA
Assoc. Prof. Dr. Ümit GÜNEŞ - Yıldız Technical University, İstanbul, Türkiye

YAZIM VE DİL EDITÖRLERİ / LANGUAGE EDITORS

Assoc. Prof. Dr. Aykut SAFA - Yıldız Technical University, İstanbul, Türkiye Asst.
Prof. Dr. Naz YILMAZ - Bursa Technical University, Bursa, Türkiye Asst. Prof.
Dr. Erdem AKTOSUN - İzmir Kâtip Çelebi University, İzmir, Türkiye

EDİTÖRLER KURULU / EDITORIAL BOARD

- Prof. Dr. Karin ANDERSSON - Chalmers University, Gothenburg, Sweden
Prof. Dr. Mehmet ATLAR - Strathclyde University, Glasgow, UK
Prof. Dr. Serdar BEJ - Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye
Prof. Dr. Volker BERTRAM - DNV, Hamburg, Germany
Prof. Dr. M.Sander ÇALIŞAL - Pîrî Reis University, Istanbul, Türkiye
Prof. Dr. Fahri ÇELİK - Yıldız Technical University, Istanbul, Türkiye
Prof. Dr. Bettar O. EL-MOCTAR - University of Duisburg -Essen, Duisburg, Germany
Prof. Dr. Odd M.FALTINSEN - NTNU, Trondheim, Norway
Prof. Dr. Ömer GÖREN - Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye
Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT - Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye
Prof. Dr. Atilla İNCECİK - Strathclyde University, UK
Prof. Dr. Rumen KISHEV - Varna Technical University, Varna, Bulgaria
Prof. Dr. Abdi KÜKNER - Beykent Üniversitesi, Istanbul, Türkiye
Prof. Dr. Emin KORKUT - Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye
Prof. Dr. Gökdeniz NEŞER - Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye
Prof. Dr. Aykut ÖLÇER - World Maritime University, Malmö, Sweden
Prof. Dr. Süleyman ÖZKAYNAK - Pîrî Reis University, Istanbul, Türkiye
Prof. Ing. Claudio PENSA - University of Naples "Federico II", Naples, Italy
Prof. Dr. Philippe RIGO - University of Liege, Liege, Belgium
Prof. Dr. Muzaffer FEYZİOĞLU - Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye
Prof. Dr. Ahmet TAŞDEMİR - Pîrî Reis University, Istanbul, Türkiye
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, Türkiye
Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT - Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye
Prof. Dr. Ömer Kemal KINACI - Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye
Assoc.Prof.Dr. Veysel ALANKAYA - Istanbul, Türkiye
Assoc.Prof.Dr. Uğur Oral ÜNAL - Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye
Assoc.Prof.Dr. Bekir ŞENER - Yıldız Technical University, Istanbul, Türkiye
Assoc.Prof.Dr. Emrah ERGİNER - Dokuz Eylül University, Izmir, Türkiye
Assoc.Prof.Dr. Emre PEŞMAN - Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye
Dr. Güner ÖZMEN - Dokuz Eylül University, Izmir, Türkiye
Dr. Tahsin TEZDOĞAN - University of Southampton, Southampton, UK
Dr. Serkan TÜRKMEN - Newcastle University, Newcastle, UK



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

**Happy 98th Anniversary of Turkish Maritime and Cabotage
Day, 1 July 2024 !**



TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI

GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

Son
başvuru tarihi
1 AĞUSTOS
2024



XIII.
ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM
YARIŞMASI

Konu

BALIKÇI GEMİSİ

TÜRK DENİZLERİNDE VE AÇIK DENİZLERDE SEYİR YAPABİLECEK MİNİMUM 40 MT
BOYUNDA BALIKÇI GEMİSİ (FABRİKA BALIKÇI, CANLI BALIK TAŞIMA, TROL ÇEKEN) TASARIMI

1
150.000 TL

2
100.000 TL

3
80.000 TL

Yarışma, 2023/2024 Eğitim Öğretim Yılı itibarıyla Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisindeki üniversitelerin tüm mühendislik, mimarlık, gemi ve yat dizaynı, endüstriyel tasarım fakültelerinde eğitim gören lisans ve lisansüstü öğrenci

gruplarına açıktır. Yarışmaya katılım sağlayan öğrenci grupları en az bir en fazla dört kişiden oluşabilir. Gruplarda en az bir Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği ya da Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği öğrencisi olmalıdır. Grupta

anılan bölümlerden 1 öğrenci olması halinde diğer grup üyeleri herhangi bir mühendislik veya mimarlık disiplininde öğrenim gören öğrencileri olabilirler."

İrt: Gemi Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliği A: Yenibosna Merkez Mahallesi Sanayi Caddesi No: 3 Bahçelievler/İstanbul T: 0212 454 05 28

Türkiye



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
TİCARET BAKANLIĞI

TİM

TÜRKİYE
İHRACATÇILAR
MECLİSİ



GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ



YALOVA ALTINKOVA
TİSKAN GİRİŞİMLERİ
SAN. TİC. A.Ş.

gemyattasarim.org



3rd INTERNATIONAL CONGRESS
ON SHIP AND MARINE TECHNOLOGY

3. ULUSLARARASI GEMİ VE DENİZ TEKNOLOJİSİ KONGRESİ
(GMO-SHIPMAR 2024)

“Shipbuilding Towards Sustainability”

Green Ship, AI and Blue Economy for Marine Industry

10-12 December 2024, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye



Dear Colleagues,

On behalf of the 3rd International Congress on Ship and Marine Technology (GMO-SHIPMAR 2024) organizing committee, I am excited to announce our upcoming event, to be held in Trabzon, Türkiye, from December 10th to December 12th, 2024. (<https://www.gmoshipmar.org/GMOSHIPMAR2024/>)

This Congress is organized by The Turkish Chamber of Naval Architects and Marine Engineers (GMO) and hosted by Karadeniz Technical University. Our primary objective is to provide a platform for presenting and analyzing research activities conducted by both public and private entities. Additionally, we aim to explore technological innovations arising from Ship and Maritime Technology activities. The event will coordinate and promote emerging proposals and establish a forum for discussing current needs and trends in the maritime sector.

The conference will facilitate the presentation and discussion of contributions, studies, works, and experiences related to the latest advancements, technological innovation, and research in Ship and Maritime Technology. We look forward to your participation and engaging in enriching discussions on the future of maritime technology and research.

Authors are kindly requested to submit abstracts, by September 1st, 2024, at the following link:
<https://cmt3.research.microsoft.com/GMOSHIPMAR2024/>

If you have any questions or need further assistance, please don't hesitate to contact us. kongre@gmo.org.tr

Best regards,
Prof. Dr. Ercan KÖSE
Chair

Contact:

kongre@gmo.org.tr

Congress dates: 10 - 12 December 2024

Link for congress site and paper submission: <https://www.gmoshipmar.org/GMOSHIPMAR2024/>



Pasif Yalpa Tankı ile Gemilerde Parametrik Yalpa Hareketinin Sönümlenmesi

Emre Peşman ¹, Hasan Ölmez ², Metin Taylan ³

¹Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

²Gemi Makinaları İşletme Mühendisliği Bölümü, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

³Gemi Makinaları İşletme Mühendisliği Bölümü, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

¹(sorumlu yazar), pesman@ktu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3529-3619

²hasanolmezktu@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5351-4046

³taylan@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1701-8699

ÖZET

Bu çalışmada U-tüp formulu pasif yalpa önleyici tankların mekanik sönümleyici olarak kullanılmasının parametrik yalpa hareketi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Özellikle, birlikte çözümü yapılan yalpa hareketi denklemi ile tank içindeki akışkanın hareket denkleminin başlangıç şartlarının yalpa önleyici pasif tankın performansını nasıl etkilediği üzerinde yoğunlaşmıştır. Parametrik zorlamalı yalpa hareketi, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerinin zamanla değişen geri getirici moment terimi ile temsil edildiği bir serbestlik dereceli lineer olmayan bir denklem ile modellenmiştir. Tank içindeki akışkan hareketi de benzer şekilde bir serbestlik dereceli lineer olmayan bir denklem ile modellenmiştir. Bu iki denklem ve birbirleri üzerindeki etkileri numerik yöntem kullanılarak çözülmüş ve sonuçlar zamana bağlı olarak gösterilmiştir. Bununla birlikte sonuçlar başlangıç şartları ve maksimum yalpa genlikleri ile karşılaştırılabilir olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Parametrik yalpa hareketi, Yalpa önleyici tanklar, Lineer olmayan etkiler.

Makale geçmişi: Geliş 09/10/2023 – Kabul 08/03/2024

<https://doi.org/10.54926/gdt.1079396>

Parametric Roll Motion Reduction of a Ship with a Passive Anti-Roll Tank

Emre Peşman ¹, Hasan Ölmez ², Metin Taylan ³

¹ Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Sürmene Faculty of Marine Sciences, Karadeniz Technical University, Trabzon

² Department of Marine Engineering Operations, Sürmene Faculty of Marine Sciences, Karadeniz Technical University, Trabzon

³ Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul

¹ (corresponding author), pesman@ktu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3529-3619

² hasanolmezktu@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5351-4046

³ taylan@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1701-8699

ABSTRACT

In this study, the influence of a U-tube passive anti-roll tank on parametric roll motion has been investigated as a mechanical absorber of a dynamic system. Specifically, this paper concentrates on how the initial conditions of a coupled roll motion and fluid motion in the tank act on the performance of an anti-roll tank. Parametrically excited roll motion was modeled as a single degree of freedom system incorporating heave and pitch effects by means of a time varying restoring moment. Fluid motion in the tank was modeled as a single degree of freedom system. Coupled equations of motion were solved numerically and the results were presented in time domain. Furthermore, the results were comparatively depicted as maximum roll amplitudes vs. initial values for a ship with and without an anti-roll U-tube tank.

Keywords: Parametric roll motion, anti-roll tanks, nonlinearities.

Article history: Received 09/10/2023 – Accepted 08/03/2024

1. Introduction

The first publications on parametric roll motion were appeared in 1930s and early 1940s by Watanabe (1934) and Kempf (1938). Parametric roll motion has been studied by several researchers including Graff and Heckscher (1941), Kerwin (1955), Paulling and Rosenberg (1959), Gawthrop et al (1988), Sanchez and Nayfeh (1990), Nayfeh and Oh (1995) and Falzarano et al (1995). The first experimental study was done by Paulling et al (1972) in San-Francisco Bay. Although its theoretical existence has been known for a long time, parametric roll attracted a great deal of interest in recent years because of the incidents that resulted in casualties. In October 1998, a Post-Panamax C11 class containership encountered extreme weather and sustained extensive loss and damage to deck-stowed containers. Then, it was understood that post-Panamax containerships tend to experience parametric roll motion in extreme weather (France et al., 2003). These casualties led designers, researchers, and regulatory authorities to initiate further research and investigations. Among these researchers, Spyrou (2000), Neves and Rodrigues (2006), Bulian et al. (2004), Pesman and Taylan (2012) focused on nonlinear aspects and effect of changing tuning factors on parametric roll motion. Some researchers focused on probabilistic properties of parametric roll (Shin et al., 2004; ABS, 2004; Belenky, 2004; Hashimoto et al., 2006). The state of the art in methodology development and regulations in assessment of ship intact stability can be found in (Francescutto, 2007). In recent years, researchers like Begovic et al (2019), Çakıcı (2019) and Çapuroğlu et al. (2023) focused on the parametric roll motion in the scope of second-generation intact stability rules of International Maritime Organization (IMO).

A ship sails in longitudinal waves excited by the hydrostatic and hydrodynamic forces. Variation of ship's underwater geometry with respect to wave crest position has an important role on roll motion. Roll restoring moment of the ship changes as a function of wave crest position relative to ship length. In other words, ships are excited by their varying underwater geometry with respect to wave crest position along the ship length in longitudinal waves. In regular waves, this excitation is periodic with a finite period and certain ratios of encounter and natural frequencies. The most dangerous situation usually occurs in which wavelength is approximately equal to the ship length at an encounter frequency twice (head waves) and equal (quarter waves) that of the roll natural frequency. In these cases, the variation of restoring moment causes the roll angle increasing dramatically requiring additional absorbers. In this study, U-tube passive anti roll tanks were considered as such mechanical absorber.

Generally, anti-roll tanks can be divided into passive, controlled–passive, and active tanks. In 1874 Froude installed water chambers in the upper part of a ship to prevent the ship from large roll angles. Then, Frahm began to use the U-tube tank in 1910 for the same purpose. Before World War II, Frahm's passive tanks had been installed in over 1,000,000 tons of German shipping fleet, including the passenger liners Bremen and Europa (Gawad et al., 2001). Vasta et al. (1961) made a review of the Navy's development and installation of passive tanks. They worked on equations, model techniques and tank design. Stigter (1966) derived the equations of motion of the fluid in the tank and obtained the coupling terms between the ship and the tank. Today, many researchers consider Stigter's equations of motion to be a classical basis for studies of U-tube tanks.

Bell and Walker (1966) investigated two types of controlled–passive tanks. First, control is affected by valves in the water channel, and second, control is affected by valves in the air channel. They also proposed an activated tank system with a propeller continuously driven in one direction to save power. Webster (1967) made a detailed study of the control of pump-activated U-tube tanks. Vugts (1969) designed and compared performance of four passive anti-roll tanks for the same ship.

A comparative study between U-tube and free-surface passive tanks in regular beam seas was carried out experimentally by Field and Martin (1976). Lewison (1975) proposed a mathematical model to optimize the design of free-surface passive tanks. Barr and Ankudinov (1977) provided a critical review of several predictive methods for roll motion and its reduction using anti-roll tanks. Webster et al. (1988) presented a detailed study of free-flooding anti-roll tanks which made for major upgrade of the USS Midway in 1986. Lee and Vassalos (1996) investigated the effect of flow obstructions inside the tank.

In all of the above investigations, researchers concentrated on either theoretical manipulation of the equations of motion or model testing and analyzing existing tanks. This study aims to present influence of initial values on parametric roll motion of ships equipped with passive U-tube tanks.

Initially, parametric roll phenomenon has been examined practically with the Mathieu's equation (Mathieu, 1868). However, this equation is able to predict the stability boundaries only for the upright condition. Setting up a mathematical model including nonlinear damping and restoring terms is necessary to predict large roll amplitudes. In this paper, parametrically excited roll motion is modelled as a single degree of freedom system which includes heave and pitch effects by means of time varying restoring moment. This model may be considered as a simplified version of some earlier attempts (Bulian, 2004). Unlike Bulian's study, restoring moment variation is modelled by using only wave crest and wave trough restoring moment curves. It has been observed that nonlinear effect of the passive anti-roll tanks on parametric roll motion has not been studied in the literature. The study aims to present the influence of passive anti-roll tank on parametric roll motion for various initial values of passive anti-roll tanks. Roll motion analyses were held for head waves and after quarter waves in the case study.

2. Equations of Parametric Roll Motion and Fluid Motion in Tank

In general, the equation of roll motion in regular longitudinal waves can be written as follows:

$$(I_{xx} + \delta I_{xx})\ddot{\phi} + B(\dot{\phi}, \phi) + \Delta GZ(\phi, t) = 0 \quad (1)$$

Where $(I_{xx} + \delta I_{xx})$ is the moment of inertia, ϕ is roll angle, $B(\dot{\phi})$ is damping function and $\Delta GZ(\phi, t)$ is restoring function. Eq. (1) may be re-written as.

$$\ddot{\phi} + b(\dot{\phi}) + \frac{\omega_0^2}{GM_0} GZ(\phi, t) = 0 \quad (2)$$

Here, ω_0 is the roll natural frequency, GM_0 is the metacentric height for calm seas and $b(\dot{\phi}) = \frac{B(\dot{\phi})}{I_{xx} + \delta I_{xx}}$.

In the above equation, $GZ(\phi, t)$ is approximated using the following expression, neglecting surge and Froude-Krylov forces, as proposed by (Pesman and Taylan, 2012). Unlike Bulian's study (2004), the variation in restoring moment is simplified and modeled using only wave crest and wave trough restoring moment curves.

$$GZ(\phi, t) = \sum_{n=1}^N (m_{2n-1} + k_{2n-1} \cos(\omega_e t)) \phi^{2n-1} \quad (3)$$

The coefficients "m" and "k" in Eq. (3) are obtained from righting lever curves in wave crest and wave trough conditions.

$$m_{2n-1} = \frac{c_{2n-1, trough} + c_{2n-1, crest}}{2} \quad (4)$$

$$k_{2n-1} = \frac{c_{2n-1, trough} - c_{2n-1, crest}}{2} \quad (5)$$

$$b(\dot{\phi}) = 2\mu\dot{\phi} + \beta\dot{\phi}|\dot{\phi}| + \delta\dot{\phi}^3 \quad (6)$$

In Eq. (4) and (5), “ c_{2n-1} , crest and c_{2n-1} , trough ” represent the coefficients of polynomials fitted to restoring lever curves in wave trough and wave crest conditions, respectively and ω_e is the encounter frequency. In this work, seventh degree polynomials are employed to develop the restoring lever surfaces. The nonlinear damping term is used and is given in Eq. (6). The coefficients of the damping function were addressed by Ikeda, Himeno and Tanaka (1978).

Substitution of Eq. (6) and Eq. (3) in Eq. (2) leads to the following differential equation.

$$\ddot{\phi} + 2\mu\dot{\phi} + \beta\dot{\phi}|\dot{\phi}| + \delta\dot{\phi}^3 + \omega_0^2 \frac{(\sum_{n=1}^N (m_{2n-1} + k_{2n-1} \cos(\omega_e t)) \phi^{2n-1})}{GM_0} = 0 \quad (7)$$

The restoring moment term of Eq. (7) was developed to account for the encounter angle by incorporating a simple function in front of k_{2n-1} coefficient. Pesman and Taylan (2011) calculated restoring moment values for various encounter angles (χ) and the results showed that $\cos(\chi)$ function is applicable for describing the variation of restoring moment values with respect to encounter angle.

By adding the excitation term and a function of encounter angle, the model was generated as follows:

$$\ddot{\phi} + 2\mu\dot{\phi} + \beta\dot{\phi}|\dot{\phi}| + \delta\dot{\phi}^3 + \frac{\omega_0^2}{GM_0} \sum_{n=1}^N (m_{2n-1} + \cos(\chi)k_{2n-1} \cos(\omega_e t)) \phi^{2n-1} = \left(\pi \frac{H}{\lambda} \omega_0^2 \sin(\chi)\right) \cos(\omega_e t) \quad (8)$$

In Eq. (8), H represents the wave height, λ is the wavelength. A simple U-tube passive tank consists of two side reservoirs and a connecting duct of constant rectangular cross-section, as shown in Figure 1. The fluid velocity in the positive y direction is v , and additional axes y_d runs parallel to the duct, while y_{rp} and y_{rs} run parallel to the reservoir walls, as shown in Figure 1.

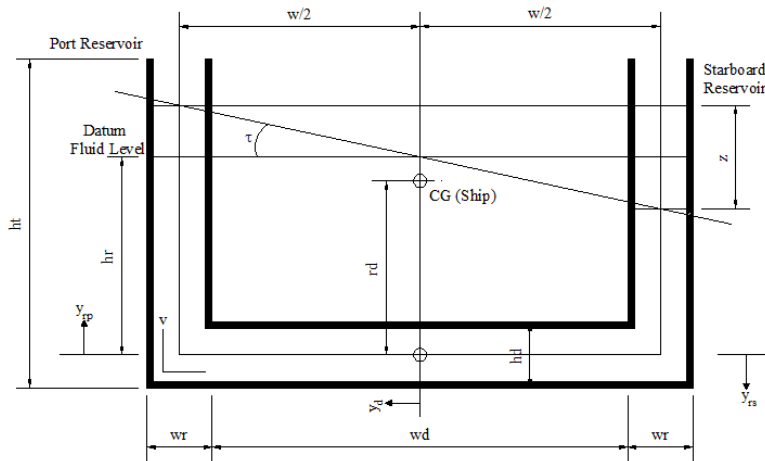


Figure 1. U-tube tank and its geometric parameters (Gawad et al., 2001).

The motion of unit mass of liquid in tank is presented by the following one-dimensional simplified Euler's equation.

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial y} = Y - \frac{1}{\rho_t} \frac{\partial P}{\partial y} \quad (9)$$

In Eq. (9), Y is the external forces per unit mass and ρ_t is the mass density of the tank liquid. Eq. (9) reduces to Eq. (11) by assuming the cross sections of the duct and reservoirs are uniform.

$$\frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = Y - \frac{1}{\rho_t} \frac{\partial P}{\partial y} \quad (11)$$

Velocity and tank angle are found by integration along the tank y-axis from external forces and static pressure as detailed by Lloyd (1989). The equation of tank angles takes the form Eq. (12) by suppressing surge, sway, heave pitch and yaw motions.

$$a_{\tau\tau}\ddot{\tau} + b_{\tau\tau}\dot{\tau} + c_{\tau\tau}\tau + (a_{\tau4}\ddot{\phi} + c_{\tau4}\phi) = 0 \quad (12)$$

Here,

$$a_{\tau4} = Q_t(r_d + h_r), \quad (13)$$

$$c_{\tau4} = c_{\tau\tau} = Q_t g, \quad (14)$$

$$a_{\tau\tau} = Q_t w_r \left(\frac{w}{2h_d} \frac{h_r}{w_r} \right), \quad (15)$$

$$b_{\tau\tau} = Q_t q_v w_r \left(\frac{w}{2h_d^2} + \frac{h_r}{w_r^2} \right), \quad (16)$$

$$Q_t = \frac{1}{2} \rho_t w_r w^2 x_t \quad (17)$$

x_t is the length of the tank, and q_v is the coefficient of the linear damping in the tank. The term $(a_{\tau4}\ddot{\phi} + c_{\tau4}\phi)$ in Eq. (12) is the term that couples the motion of the liquid to the motion of the ship.

The following equation is derived for parametric roll motion of a ship with passive tank.

$$\ddot{\phi} + 2\mu\dot{\phi} + \beta\phi|\dot{\phi}| + \delta\phi^3 + \frac{\omega_0^2}{GM_0} \sum_{n=1}^N (m_{2n-1} + \cos(\chi)k_{2n-1} \cos(\omega_e t)) \phi^{2n-1} + \left(\frac{a_{4\tau}}{I_{xx} + \delta I_{xx}} \ddot{\tau} + \frac{c_{4\tau}}{I_{xx} + \delta I_{xx}} \tau \right) = \left(\pi \frac{H}{\lambda} \omega_0^2 \sin(\chi) \right) \cos(\omega_e t) \quad (18)$$

Here, $a_{4\tau}$ is equivalent to $a_{\tau4}$ and $c_{4\tau}$ is equivalent to $c_{\tau4}$. The term $\left(\frac{a_{4\tau}}{I_{xx} + \delta I_{xx}} \ddot{\tau} + \frac{c_{4\tau}}{I_{xx} + \delta I_{xx}} \tau \right)$ represents the roll stabilizing moment of the liquid inside the tank.

Coupled nonlinear ordinary differential equations and their subfunctions just like damping coefficients were calculated with prepared code on Matlab MATLAB Compiler. The solution method of nonlinear ordinary differential equations is Dormand-Prince Method.

2. Equations of Parametric Roll Motion and Fluid Motion in Tank

In this study, a Series 60 ship form was used as the sample. The sample ship was equipped with a U-tube passive anti-roll tank at mid-ship section, as shown in Figure 2. The main dimensions of ship and the simple anti-roll tank are given in Table 1 and Table 2, respectively. C_B is block coefficient, C_M is the midship section coefficient and k_{xx} is the roll gyration radius in Table 1. The symbols in Table 2 are explained in detail in Figure 1. Analyses are held with using 7th degree odd polynomials. The coefficients "m" and "k" in Eq. (3) are given in Table 3.

4. Effect of Initial Values on Coupled Motion

Parametric roll motion is a phenomenon that is highly sensitive to initial conditions. In this study, we considered the initial values of roll motion and the initial values of fluid motion in the U-tube tank to calculate the safe motion basins. A safe basin is defined as the area where maximum roll amplitudes are less than 60°. The analysis was conducted for two ship speeds and directions: 5 m/s in head waves and 11 m/s in quartering waves ($\chi=130^\circ$). Initial values of fluid motion in the tank were chosen to be 100%, 75%, 50%, 25% and 0% of the initial values of roll motion, as indicated in Figure 4-8 and Figure

14-18. Safe basin graphs for the ship without a U-tube tank are also included for comparison in Figure 3 and Figure 13. Erosion percentages of the safe basins caused by the presence of a U-tube tank are shown in Figure 23, with respect to initial values of fluid motion in tank as percentages of initial values of the roll motion. Roll motion, both with and without passive U-tube tanks, was simulated in the time domain for various conditions in Figure 9-12 and Figure 19-22.

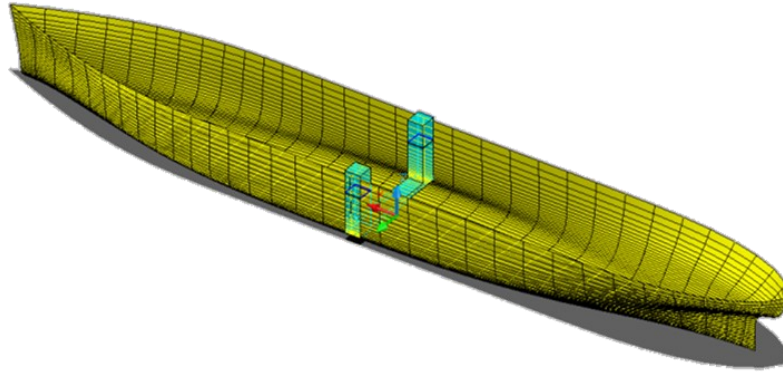


Figure 2. The sample ship and the location of passive U-tube tank.

Table 1. The main dimensions of the sample ship.

Main dimensions	
LBP	124.264 m
B	17.5 m
T	6.97 m
C_B	0.7
C_M	0.98
k_{xx}	0.399

Table 2. The dimensions of the passive anti-roll tank.

Dimensions	
wb	14.92 m
wr	2.5 m
hd	0.75 m
hr	6.34 m
rd	5.965 m

Table 3. m and k coefficients of case study.

Coefficients	
m1	1.12194
m3	-1.36621
m5	0.49685
m7	-0.12053
k1	0.30270
k3	0.38896
k5	-0.8297
k7	0.32677

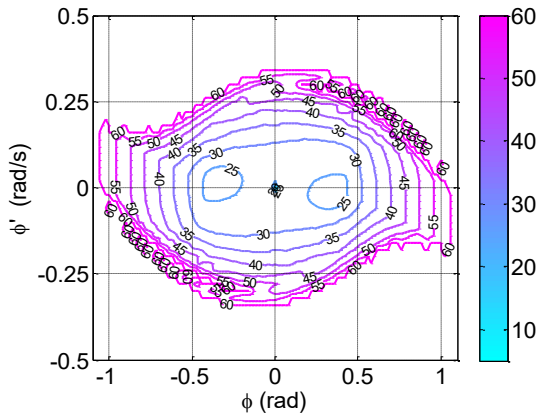


Figure 3. Roll amplitudes related to initial values (without u-tube tank, $U=5$ m/s, $\chi=0^\circ$)

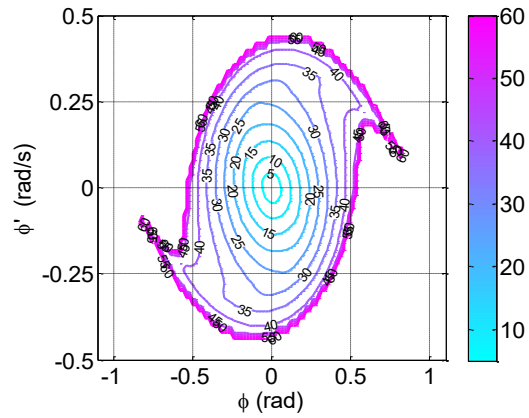


Figure 4. Roll amplitudes related to initial values (with u-tube tank, $U=5$ m/s, $\chi=0^\circ$) ($\tau=100\% \phi$ $\tau'=100\% \phi'$)

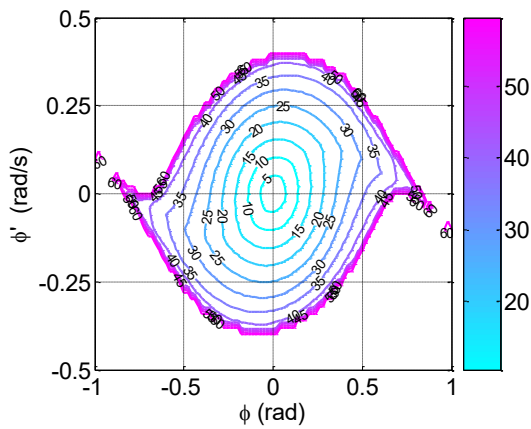


Figure 5. Roll amplitudes related to initial values (with u-tube tank, $U=5$ m/s, $\chi=0^\circ$) ($\tau=75\% \phi$ $\tau'=75\% \phi'$)

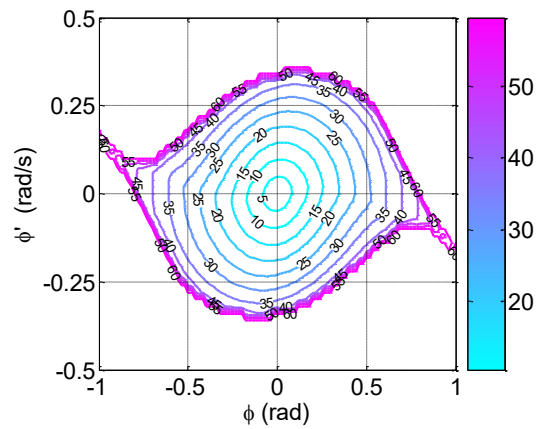


Figure 6. Roll amplitudes related to initial values (with u-tube tank, $U=5$ m/s, $\chi=0^\circ$) ($\tau=50\% \phi$ $\tau'=50\% \phi'$)

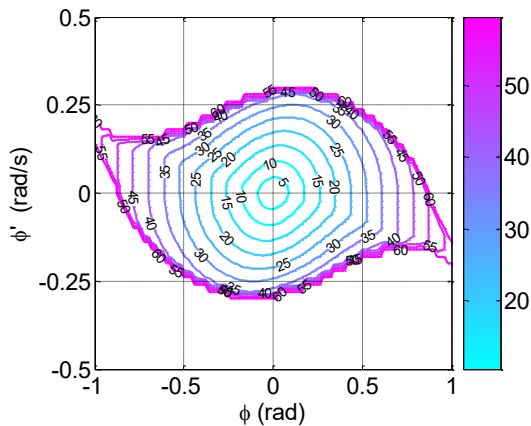


Figure 7. Roll amplitudes related to initial values (with u-tube tank, $U=5$ m/s, $\chi=0^\circ$) ($\tau=25\% \phi$ $\tau'=25\% \phi'$)

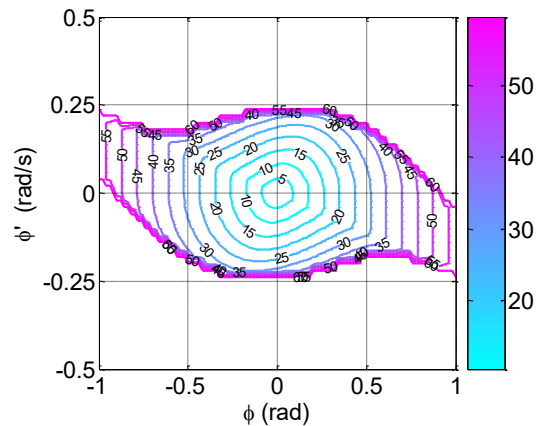


Figure 8. Roll amplitudes related to initial values (with u-tube tank, $U=5$ m/s, $\chi=0^\circ$) ($\tau=0$ $\tau'=0$)

In head waves, the results given in Figure 3 show that the ship without a passive anti-roll tank oscillates with amplitudes exceeding 25° throughout the region, except for very small initial values close to zero roll angle. In contrast, the ship equipped with a passive anti-roll tank exhibits roll amplitudes of less than 25° , especially at small initial values, as shown in Figure 4-8. The increase in roll amplitudes with respect to the initial values of roll motion is mitigated when a passive anti-roll tank is used. This suggests that the passive anti-roll tank performs better at small initial values of roll motion (Figure 9

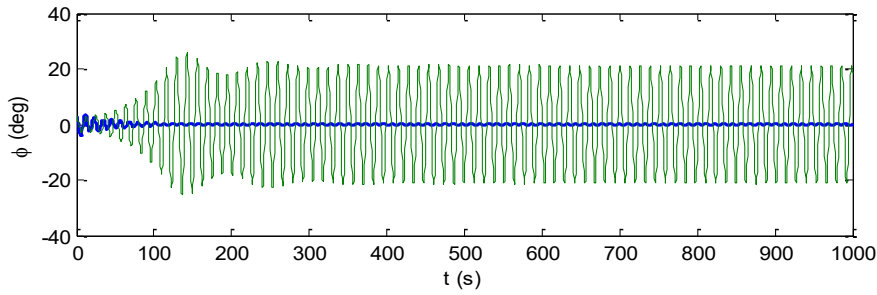


Figure 9. Roll amplitude with respect to time with initial values $\phi=0.05$ rad and $\phi'=0$ rad/s ($U=5$ m/s, $\chi=0^\circ$, $\tau=100\% \phi$ $\tau'=100\% \phi'$, — without u-tube tank, — with u-tube tank)

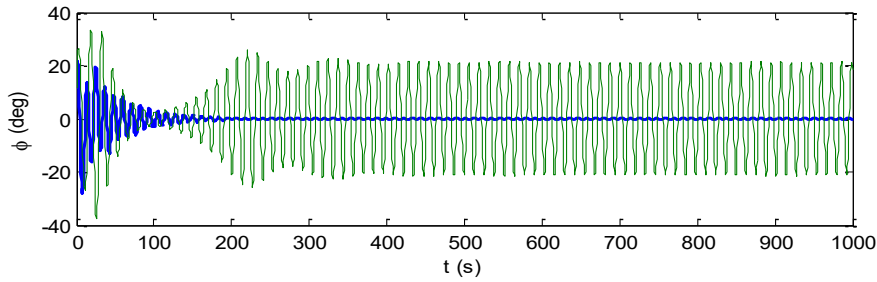


Figure 10. Roll amplitude with respect to time with initial values $\phi=0.2$ rad and $\phi'=0.2$ rad/s ($U=5$ m/s, $\chi=0^\circ$, $\tau=100\% \phi$ $\tau'=100\% \phi'$, — without u-tube tank, — with u-tube tank)

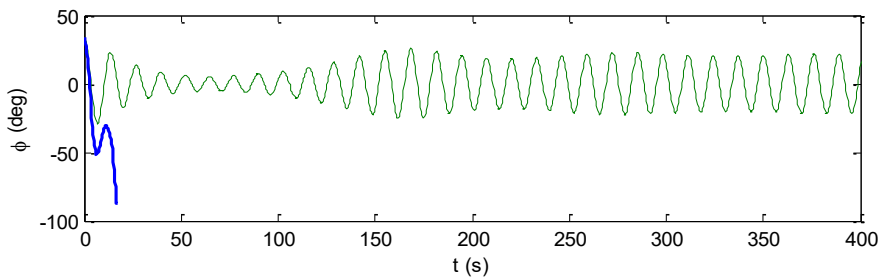


Figure 11. Roll amplitude with respect to time with initial values $\phi=0.6$ rad and $\phi'=0$ rad/s ($U=5$ m/s, $\chi=0^\circ$, $\tau=100\% \phi$ $\tau'=100\% \phi'$, — without u-tube tank, — with u-tube tank)

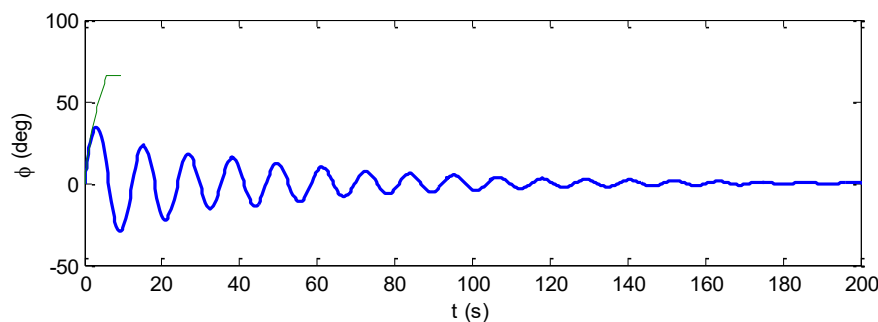


Figure 12. Roll amplitude with respect to time with initial values $\phi=0$ rad and $\phi'=0.35$ rad/s ($U=5$ m/s, $\chi=0^\circ$, $\tau=100\% \phi$ $\tau'=100\% \phi'$, — without u-tube tank, — with u-tube tank)

and Figure 10). However, when comparing Figure 3 and Figure 4, it is observed that the safe basin narrows at roll angle direction, expands in the roll angular velocity direction, and erodes when a passive anti-roll tank is used ($\tau=100\% \phi$, $\tau'=100\% \phi'$). The passive anti-roll tank caused the ship to capsize at initial value of $\phi=0.6$ rad and $\phi'=0$ rad/s, as shown in Figure 11, while preventing the ship from capsizing at initial values of $\phi=0$ rad and $\phi'=0.35$ rad/s, as shown in Figure 12. Erosion percentages of the safe basin, relative to initial values of fluid motion (as percentages of initial values of roll motion), are given in Figure 23. In quartering waves, similar results were obtained, and it is

evident that the safe basin is changed and eroded with respect to the initial values of fluid motion (Figure 13-18).

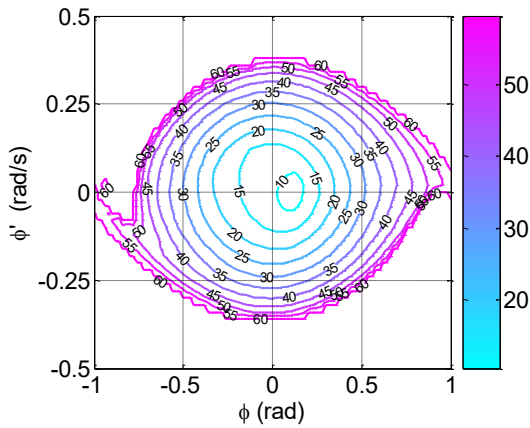


Figure 13. Roll amplitudes related to initial values (without u-tube tank, $U=11$ m/s, $\chi=130^\circ$)

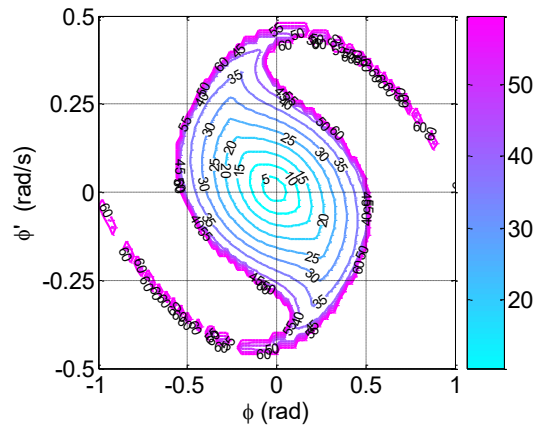


Figure 14. Roll amplitudes related to initial values (with u-tube tank, $U=11$ m/s, $\chi=130^\circ$) ($\tau=100\% \phi$ $\tau'=100\% \phi'$)

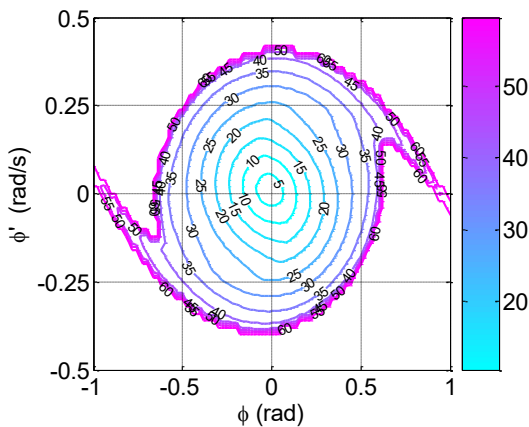


Figure 15. Roll amplitudes related to initial values (with u-tube tank, $U=11$ m/s, $\chi=130^\circ$) ($\tau=75\% \phi$ $\tau'=75\% \phi'$)

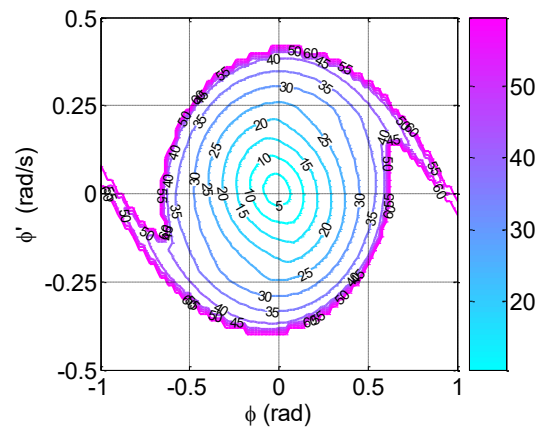


Figure 16. Roll amplitudes related to initial values (with u-tube tank, $U=11$ m/s, $\chi=130^\circ$) ($\tau=50\% \phi$ $\tau'=50\% \phi'$)

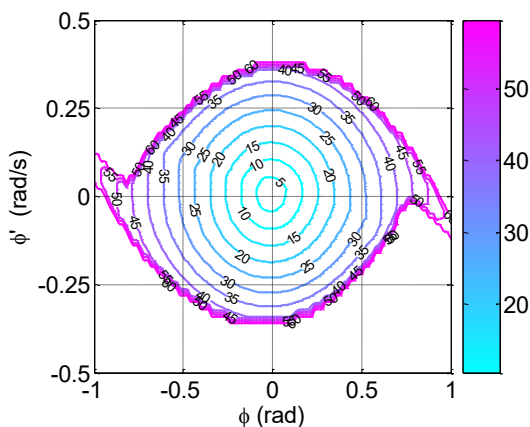


Figure 17. Roll amplitudes related to initial values (with u-tube tank, $U=11$ m/s, $\chi=130^\circ$) ($\tau=25\% \phi$ $\tau'=25\% \phi'$)

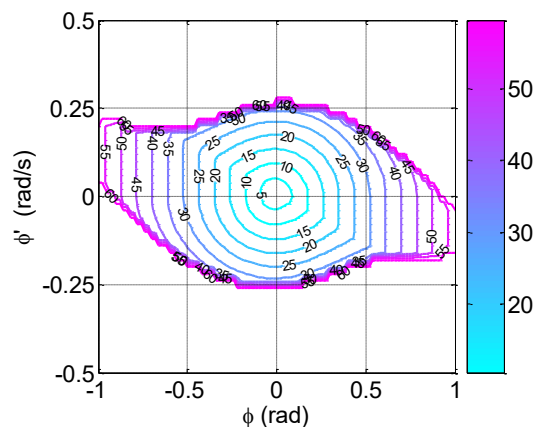


Figure 18. Roll amplitudes related to initial values (with u-tube tank, $U=11$ m/s, $\chi=130^\circ$) ($\tau=0$ $\tau'=0$)

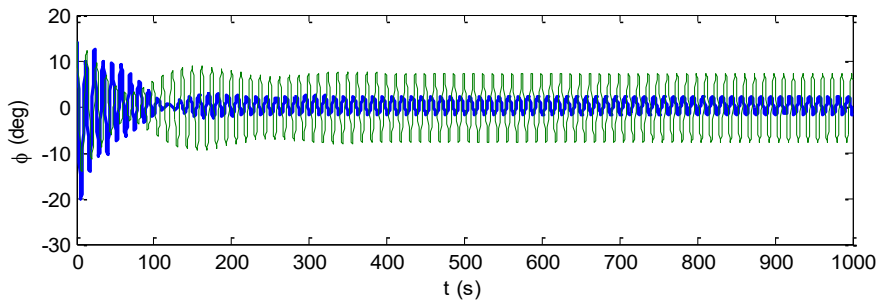


Figure 19. Roll amplitude with respect to time with initial values $\phi=0.25$ rad and $\phi'=0$ rad/s ($U=11$ m/s, $\chi=130^\circ$, $\tau=100\%$ ϕ $\tau'=100\%$ ϕ' , — without u-tube tank, — with u-tube tank)

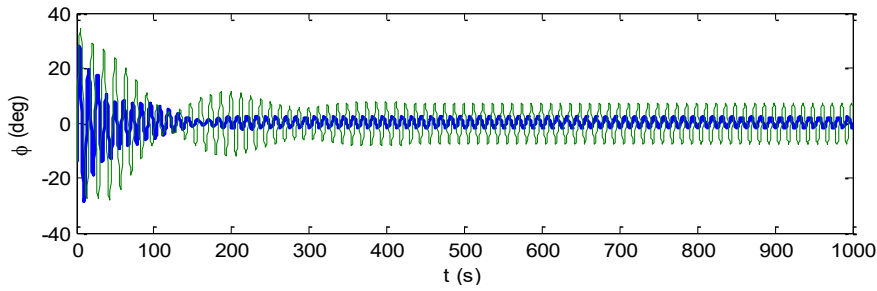


Figure 20. Roll amplitude with respect to time with initial values $\phi=-0.25$ rad and $\phi'=0.25$ rad/s ($U=11$ m/s, $\chi=130^\circ$, $\tau=100\%$ ϕ $\tau'=100\%$ ϕ' , — without u-tube tank, — with u-tube tank)

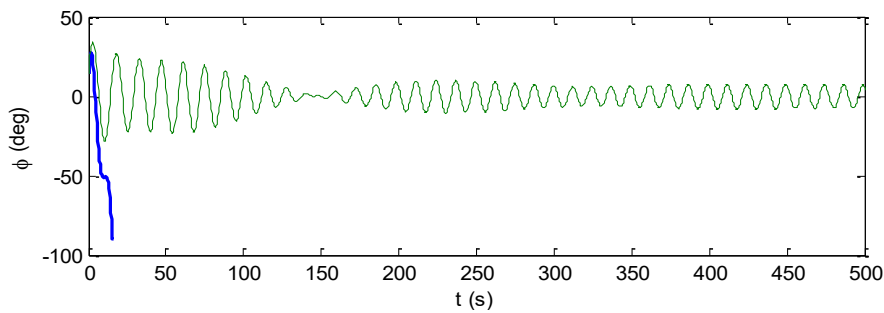


Figure 21. Roll amplitude with respect to time with initial values $\phi=0.25$ rad and $\phi'=0.25$ rad/s ($U=11$ m/s, $\chi=130^\circ$, $\tau=100\%$ ϕ $\tau'=100\%$ ϕ' , — without u-tube tank, — with u-tube tank)

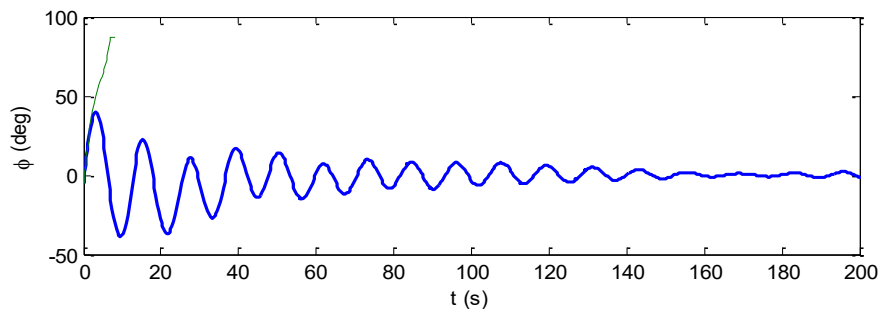


Figure 22. Roll amplitude with respect to time with initial values $\phi=-0.1$ rad and $\phi'=0.4$ rad/s ($U=11$ m/s, $\chi=130^\circ$, $\tau=100\%$ ϕ $\tau'=100\%$ ϕ' , — without u-tube tank, — with u-tube tank)

The ship capsized at initial values of $\phi=0.25$ rad and $\phi'=0.25$ rad/s (Figure 21) but was prevented from capsizing at initial values of $\phi=-0.1$ rad and $\phi'=0.4$ rad/s by using a passive anti-roll tank (Figure 22). Furthermore, it was observed that the passive anti-roll tank corrected the asymmetry of the safe basin. Erosion percentages of the safe basin related to initial values of fluid motion are given in Figure 23.

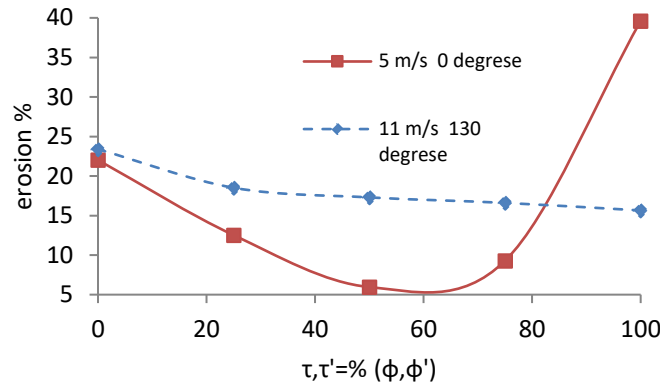


Figure 23. Erosion percentages of U-tube tank related to $\tau = \% \phi$ $\tau' = \% \phi'$

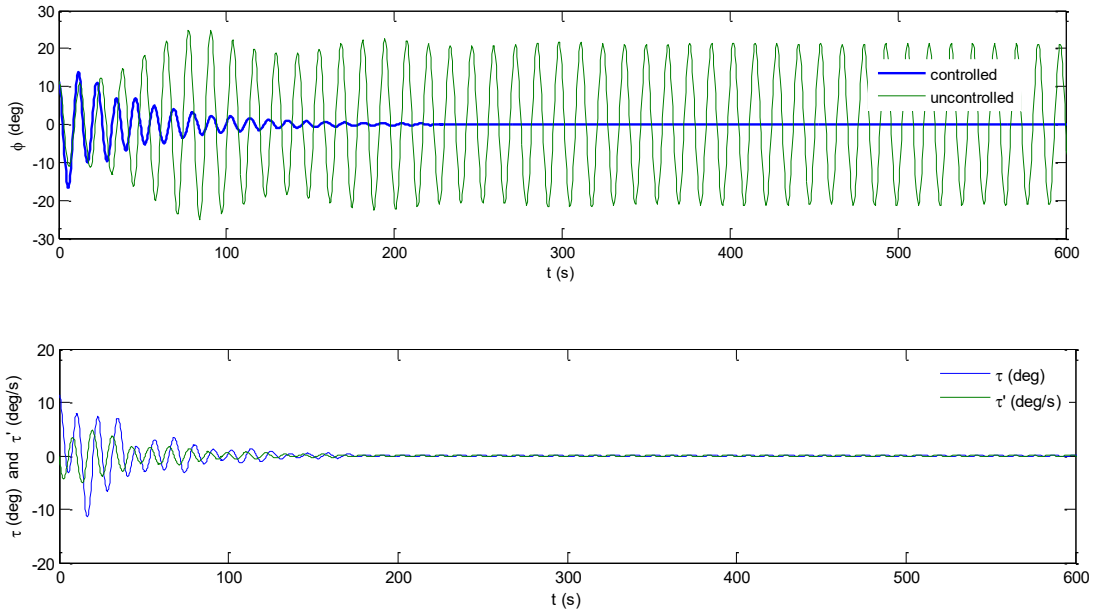


Figure 24. Sample of instantaneous difference between roll angle and liquid angle for the initial values $\phi = 0.2$ rad and $\phi' = 0$ rad/s ($U = 5$ m/s, $\chi = 0^\circ$, $\tau = 100\% \phi$ $\tau' = 100\% \phi'$)

5. Conclusions

While using passive anti-roll tanks can effectively reduce roll amplitudes, it is important to consider the motion of fluid within tank, which can be influenced by tank may be dangerous based on the tank characteristics and initial conditions. This paper focuses on exploring the reasons behind the differences in safe basin graphs for ships with and without U-tube anti-roll tanks, particularly concerning the impact of initial conditions. The study finds that passive anti-roll tanks perform satisfactorily with small initial values of roll angle and angular roll velocity. However, at certain large initial values, the ship can capsize due to changes in the safe basin shape caused by the coupling effect of fluid motion in the anti-roll passive tank.

For example, the sample ship, without an anti-roll tank, starts to roll at 0.6 radians with a roll angular velocity of zero rad/s, oscillating at a 25° amplitude. However, when equipped with an anti-roll tank and set to have initial values of liquid in tanks equal to 100% of the initial values of roll motion ($(\tau, \tau') = (\phi, \phi')$), the ship capsizes, as shown in Figure 11. This raises the question: Are the initial values of liquid in tanks always equal to or almost equal to the initial values of roll motion ($(\tau, \tau') = (\phi, \phi')$)?. To answer this question, we compare the angles of roll motion and liquid motion in the tank in Figure 24. Initial

values of coupled motion were chosen near zero. The results indicate that angles and angular velocities of roll and liquid motions may not always be equal due to factors such as sudden cargo shifts or gusting wind forces. As a result, we varied the initial values of fluid motion in the tank 100% to 0% of the initial values of roll motion to examine the influence of these initial values. It was also observed that the shape of the safe basin graphs changes as the ratio of initial values of liquid motion to roll motion varies. The safe basin graphs narrow in the angular velocity direction and expand in the angle direction of initial values as the percentages change from $(\tau, \tau') = 100\% (\varphi, \varphi')$ to $(\tau, \tau') = (0, 0)$. This suggests that the uncertainty of coupled motion increases depending on the initial values of liquid motion.

Finally, the use of passive anti-roll tanks narrows the safe basins, affecting the working conditions of the ship, even if passive anti-roll tanks provide good performance at small initial values. It is recommended that safe basins for ships equipped with passive anti-roll tanks be determined during the preliminary design stage. A core safe basin, which is a subset of $(\tau, \tau') = 100\% (\varphi, \varphi')$, $(\tau, \tau') = 75\% (\varphi, \varphi')$, $(\tau, \tau') = 50\% (\varphi, \varphi')$, $(\tau, \tau') = 25\% (\varphi, \varphi')$, $(\tau, \tau') = (0, 0)$ conditions, must be established. If passive anti-roll tanks restrict the working conditions of a ship, other roll stabilizing methods such as active anti-roll tanks or active anti-roll fins should be considered instead.

6. References

ABS. (2004). Guide for the assessment of parametric roll resonance in the design of container carriers. American Bureau of Shipping, Houston, (as amended in 2008).

Barr, R.A. and Ankudinov, V. (1977). Ship rolling, its prediction and reduction using roll stabilization. Marine Technology. Vol.14, No.1, pp. 19–41.

Begovic E., Rinauro B., Çakıcı F. (2019). Application of the Second Generation Intact Stability Criteria for fast semi displacement ships, International Maritime Association of the Mediterranean (IMAM), Varna, Bulgaria, 9 - 11 September, pp.25-32.

Belenky, VL. (2004). On risk evaluation at extreme seas. Proceedings of the 7th international stability workshop. Shanghai, China, pp. 188–202.

Bell, J. and Walker, W.P. (1966). Activated and passive controlled fluid tank system for ship stabilization. SNAME Transaction. Vol. 74, pp. 150–193.

Bulian, G. (2004). Approximate analytical response curve for a parametrically excited highly nonlinear 1-DOF system with an application to ship roll motion prediction. Nonlinear Analysis of Real-World Application. Vol. 5, No.4 pp.725–748.

Bulian, G., Francescutto, A. and Lugni, C. (2004). On the nonlinear modeling of parametric rolling in regular and irregular waves. International Shipbuilding Progress. Vol. 51, pp.205–220.

Çakıcı F. (2019). A Numerical Application of Ship Parametric Roll under Second Generation Stability Criteria, Journal of ETA Maritime Science, cilt.7, ss.242-251.

Çopuroğlu, H.I., Pesman, E., Taylan, M. (2023). Assessment of second-generation intact stability criteria and case study for a Ro-Ro ship, Proceedings of the 19th International Ship Stability Workshop, Istanbul, Türkiye, 9-11 September, pp. 315-320.

Falzarano, J.M., Esparza, I., Taz U.I. and Mulk, M. (1995). A combined steady-state and transient approach to study large amplitude ship rolling motion and capsizing. Journal of Ship Research. Vol. 39, No.3, pp. 213–224.

- Field, S.B. and Martin, J.P. (1976). Comparative effects of U-tube and free surface type passive roll stabilization systems. Royal Institute of Naval Architects. Vol. 2, pp. 73–92.
- France, W.N., Levaduo, M., Treakle, T.W., Paulling, J.R., Michel, R.K. and Moore, C. (2003). An investigation of head-sea parametric rolling and its influence on container lashing systems. Marine Technology, Vol. 40, No.1, pp. 1–19.
- Francescutto, A. (2007). Intact stability of ships recent developments and trends. Proceedings of 10th international symposium on practical design of ships and other floating structures PRADS'07, Houston, Vol 1, pp. 487–496.
- Graff, W. and Heckscher, E. (1941). Widerstand und Stabilität Versuche mit Drei Fischdampfer Modellen. Werft Reederei Hafen, Vol.22 pp.115–120.
- Gawthrop, P.J., Kountzeris, A. and Roberts, J.B. (1988). Parametric identification of nonlinear ship roll motion from forced roll data. Journal of Ship Research, Vol. 32 No.2, pp. 101–111.
- Gawad, A.F.A., Ragab, S.A., Nayfeh, A.H. and Mook, D.T. (2001). Roll Stabilization by Anti Roll Passive Tanks. Ocean Engineering, Vol.28, pp. 457-469.
- Hashimoto, H., Umeda, N. and Matsuda, A. (2006). Experimental and numerical study on parametric roll of a Post-Panamax container ship in irregular wave. Proceedings of STAB'06 9th international conference on stability of ships and ocean vehicles, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 181–190.
- Ikeda, Y., Himeno, Y. and Tanaka, N. (1978). A prediction method for ship roll dampin., Report No. 00405 of Department of Naval Architecture, University of Osaka Prefecture.
- Kempf, G. (1938). Die Stabilität Beanspruchung der Schiffe Durch Wellen und Schwingungen. Werft Reederei Hafen, Vol.19 pp. 200–202.
- Kerwin, J.E. (1955). Note on rolling in longitudinal waves. International Shipbuilding Progress. Vol. 2, No. 16, pp. 597–614.
- Lee, B.S. and Vassalos, D. (1996). An investigation into the stability effects of anti-roll tanks with flow obstructions. International Shipbuilding Progress. Vol. 43, No. 433, pp. 70–88.
- Lewis, B.A. (1975). "Optimum Design of Passive Roll Stabilizer Tanks. The Royal Institution of Naval Architects, pp. 31–45.
- Lloyd, A.R.J.M. (1989). Seakeeping-Ship Behaviour in Rough Weather. Ellis Horwood Limited, Chichester.
- Mathieu, E. (1868). Mémoires sur Le Mouvement Vibratoire d'une Membrane de forme Elliptique. Journal des Mathématiques Pures et Appliquées, Vol. 13, pp. 137–203.
- Nayfeh, A.H. and Oh, I.G. (1995). Nonlinearly coupled pitch and roll motions in the presence of internal resonance; part 1, theory. International Shipbuilding Progress, Vol. 42, pp. 295–324.
- Neves, M.A.S. and Rodriguez, C.A. (2006). Influence of non-linearities on the limits of stability of ships rolling in head seas. Ocean Engineering, Vol. 34, pp. 1618–1630.
- Paulling, J.R., Kastner, S. and Schaffran, S. (1972). Experimental Studies of capsizing of intact ships in

heavy seas, U.S. Coast Guard Technical Report, (also IMO Doc. STAB/7, 1973).

Paulling, J.R. and Rosenberg, R.M. (1959). On unstable ship motions resulting from nonlinear coupling. *Journal of Ship Research*, Vol. 3 pp. 36–46.

Peşman, E. and Taylan, M. (2011). Effect of Encounter Angle on Parametric Roll Motion in Regular Waves. *INT-NAM 2011, İstanbul, 24, 25 October*, pp. 337-345.

Peşman E. and Taylan M., (2012). Influence of varying restoring moment curve on parametric roll motion of ships in regular longitudinal waves. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 17 pp. 511-522.

Sanchez, N.E. and Nayfeh, A.H. (1990). Nonlinear rolling motions of ships in longitudinal waves. *International Shipbuilding Progress*, Vol.37, No. 411, pp. 247–272.

Shin, Y.S., Belenky, V.L., Paulling, J.R., Weems, K.M. and Lin, W.M. (2004). Criteria for parametric roll of large containerships in longitudinal seas. *SNAME Transactions*, Vol. 112, pp. 14–47.

Spyrou, K.J. (2000). Designing against parametric instability in following seas. *Ocean Engineering*, Vol. 27, pp. 625–650.

Stigter, C. (1966). The performance of U-tanks as a passive anti-rolling device. *The Royal Institution of Naval Architects ISP*, Vol.13, No.144, pp. 249–275.

Vasta, J., Giddings, A.J., Taplin, A. and Stilwell, J.J. (1961). Roll stabilization by means of passive tanks. *SNAME Transactions*, Vol. 69, pp. 411–460.

Vugts, I.R.J.H. (1969). A comparative study on four different passive roll damping tanks—part II. *International Shipbuilding Progress*, Vol. 16, pp. 212–223.

Watanabe, Y. (1934). On the dynamic properties of the transverse instability of a ship due to pitching. *Journal of Society of Naval Architects Japan*, Vol. 53, pp.51–70.

Webster, W.C. (1967). Analysis of the control of activated antiroll tanks. *SNAME Transactions*, Vol. 75, pp. 296–331.

Webster, W.C., Dalzell, J.F. and Barr, R.A. (1988). Prediction and measurement of the performance of freeflooding ship antirolling tanks. *SNAME Transactions*, Vol. 96, pp. 333–364.

Gemi Kazan Arızalarının Bulanık DEMATEL Yöntemi ile İncelenmesi

Burak Karaçan¹, Asım Sinan Karakurt²

^{1,2}Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

¹burak.karacan@std.yildiz.edu.tr, ORCID: 0009-0007-3525-2637

²(sorumlu yazar), asinan@yildiz.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6205-9089

ÖZET

Gemi kazanları, geminin tipine ve makinesine bakılmasının her makine dairesinde olması gereken bir makinedir. Birden fazla tipi olup karmaşık operasyonlar içeren bu makineler, gemi ana makinesinin ısıtılması, gemi yardımcı makinelerinin ısıtılması, yaşam mahali ısıtma sistemlerinin ihtiyacının karşılanması veya tankerlerde olabilen buhar türbinli pompaları çalıştırmak gibi birden fazla amaçla kullanılmaktadır. Buhar kazanları karmaşık yapılarından ve yüksek sıcaklık, yüksek basınç değerlerinde çalışmasından kaynaklı sistemlerin arıza verme ihtimali oldukça yüksektir. Çalışmada buhar kazanı arızalarını meydana getiren ve birbirini etkileyen arıza ve durumların öncelik sıralamasının yapılması, çözüm ve alınacak aksiyonların belirlenmesi çok kriterli bir karar verme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kazan sistemlerini incelemek için birden fazla kriterin karşılaştırılmasına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden Bulanık DEMATEL (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı) yöntemi kullanılmıştır. Sonuçta buhar kazanlarının da en önemli noktalarının düzenli bakım olduğu ortaya çıkmış ve sistem kaynaklı arızalarının çoğunluğunun ateşleyici kısımdan meydana geldiği bulunmuştur. Bu sonuçlara göre ateşleyici sistemin yedek parçalarının gemide bulundurulması ve bu konuda makine zabıtlarının ek olarak bilgilendirilmesi faydalı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: arıza, bulanık DEMATEL, çok kriterli karar verme, gemi kazanları.

Makale geçmişi: Geliş 22/09/2023 – Kabul 08/05/2024

<https://doi.org/10.54926/gdt.1362541>

Investigation of Ship Boiler Failures with Fuzzy DEMATEL Method

Burak Karaçan ¹, Asım Sinan Karakurt ²

^{1,2} Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Naval Architecture and Maritime Faculty, Yıldız Technical University, Istanbul

¹ burak.karacan@std.yildiz.edu.tr, ORCID: 0009-0007-3525-2637

² (corresponding author), asinan@yildiz.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6205-9089

ABSTRACT

Ship boilers are a machine that should be in every engine room regardless of the type and engine of the ship. These machines, which have more than one type and complex operations, are used for multiple purposes such as heating the ship's main engine, heating the ship's auxiliary machinery, meeting the needs of the living space heating systems or operating steam turbine pumps that can be in tankers. Due to the complex structure of steam boilers and their operation at high temperature and high pressure levels, the probability of failure of the systems is quite high. In the study, it is aimed to prioritize the faults and situations that cause steam boiler failures and affect each other, and to determine the solutions and actions to be taken by using decision making methods. In order to examine boiler systems, more than one criterion needs to be compared. In this study, Fuzzy DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) method that is one of the multi-criteria decision making methods, was used. As a result, it was revealed that the most important points of steam boilers are regular maintenance and it was found that the majority of system-related failures occur in the igniter part. According to these results, it would be useful to keep the spare parts of the igniter system on board and to inform the engine officers extra about this issue.

Keywords: failure, fuzzy DEMATEL, ship boilers, multi criteria decision making.

Article history: Received 22/09/2023 – Accepted 08/05/2024

1. Giriş

Sıcak su gerek beslenme gerek temizlik gerekse korunma amacıyla kullanılmıştır. Burada suyun bol ve yaygın bulunurluğu, farklı sıcaklıklardaki suyun farklı amaçlar için kullanılmasına olanak tanımıştır. Su buharı ise, doğal olarak özellikle tektonik hareketlerin aktif olduğu bölgelerde jeotermal kaynaklardan elde edilip geçmişte genelde tedavi etme ve temizle(n)me amacı ile kullanılırken günümüzde ise bu kullanımlarına ek olarak elektrik üretimi, bölgesel şehir ısıtması, sera ısıtması gibi teknik amaçlar için de kullanılmaktadır. İhtiyaçların değişmesi ile doğal kaynaklardan sağlanan buhar miktarı ve kalitesi yetersiz kalmış ve bunun üzerine, 19. yüzyılın başlarında çeşitli yakıtların yakılması ile açığa çıkan enerjinin kullanılarak buharın elde edildiği ilk buhar kazanları ortaya çıkmıştır (Bunch & Hellemans, 2004).

Buhar kazanları, kimyadan tekstile, otellerden hastanelere kadar ısı yük ihtiyacı olan birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Gemi endüstrisinde ise birden fazla kullanım alanı olan bu makineler hem ana tahrik sistemlerinde hem de gemide bulunan diğer makinelere yardımcı olarak kullanılabilir. Bu nedenle tahrik sistemi buhar türbini veya buharla çalışan bir makine olmasa dahi bir geminin kazansız olması düşünülemez. Buhar kazanlarının hangi amaçla ve hangi alanda kullanılacağına göre birçok modeli vardır. Gemilerde kullanılan buhar kazanları ise kullanım tiplerine (ana kazanlar ve yardımcı kazanlar) ve çalışma prensiplerine (alev borulu kazan, su borulu kazan ve egzoz gazı buhar kazanı) göre sınıflandırılırlar. Genel olarak kazanlar, boru demetleri, emniyet valfleri, brülörler, seviye sensörleri, blöf vanası gibi temel elemanlardan oluşurlar (Flanagan, 1990).

Kazanların yüksek basınç ve yüksek sıcaklıktaki akışkanlarla çalışmasından dolayı gerekli bakım ve onarım faaliyetlerinin zamanında ve uygun bir şekilde yapılmaması teknik sorunların yanında ilgili personellerin beden sağlıklarının bozulmasına ve hatta can kayıplarına bile neden olmaktadır (Peterson, 1997; Nakahashi vd., 2017). Gerek olası gecikmelerin ve kazaların önlenmesi ve korunma tedbirlerinin önceden alınması gerek gemilerin daha çevreci ve verimli bir şekilde işletilmesi ve gerekse gemilerdeki yedek parça stoğunun uygun ve yeterli bir şekilde yapılabilmesi için kazanlarda meydana gelen arızaların detaylıca bilinmesi büyük faydalar sağlayacaktır. Bunların yanında sorumlu personelin hangi arızalarla ne sıklıkla karşılaşacağını ve bunların önem derecesini bilmesi ve bakım ve değişim zamanlarının önceden net bir şekilde kestirilmesi de yukarıdaki çıktılar açısından olumlu sonuçlar verecektir.

Ardy vd. (2022) bir petrokimya tesisinde yer alan kazanda meydana gelen arızaların sebeplerinin belirlenmesi ve benzer tesisler için örnek teşkil etmesi için bazı fiziksel, kimyasal ve yapısal analizler gerçekleştirmiştir. Ardy vd. (2021) bir amonyak tesisindeki atık ısı kazanında meydana gelen arıza için, benzer arızaların önlenmesi adına, uluslararası standartlar uyarınca kök neden araştırması gerçekleştirmiştir. Hong vd. (2019) bir bölgesel ısıtma sisteminin daha verimli ve sürdürülebilir işletilebilmesi için tesiste yer alan kazanda meydana gelen arızaların sebeplerini belirleyebilmek için bazı fiziksel, kimyasal ve sayısal analizler yapmışlardır. Patil vd. (2021) tekstil işlem tesisinde yer alan bir buhar kazanı için arızalanma ve tamir sürelerinin yer aldığı verileri kullanarak güvenilirlik, kullanılabilirlik ve sürdürülebilirlik (RAM) analizlerini, bir yazılım aracılığı ile gerçekleştirmiş ve kritik öneme sahip elemanlar hakkında bilgi vermiştir. Liu vd. (2017) su borulu bir kazanda ortaya çıkan arızalar için mikro ölçekli görsel taramalar ve analizler ile bazı fiziksel ve kimyasal analizler yaparak kök neden belirlemesi gerçekleştirmişlerdir. Rahman vd. (2022) tekstil endüstrisinde kullanılan kazan kazaları hakkında ilgili mevzuatlara, uzman görüşlerine ve vuku bulan hadiselerle göre nütrosifik teori ile analitik hiyerarşi prosesi tabanlı bir çalışma yapmış ve kazalar hakkında önem sırası oluşturmuşlardır. Kocabaş ve Savaş (2021) tarafından yapılan çalışmada kazan blöfü sistematik olarak incelenmiş, potansiyel Arıza Modu ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntemi kullanılarak enerji kaybını artıran

riskler belirlenmiş ve bu riskleri önlemek için alınacak tedbirlere yönelik en uygun ödeme süreleri hesaplanmıştır. Adumene ve Nitonye (2018) gemi kazan arızaları için, mevcut arıza oranlarına dayalı olarak genel sistemlerin arıza sıklıklarını tahmin ederek, bir risk modeli oluşturmuş ve önleyici faaliyetlerin zamanlaması konusunda bilgi vermişlerdir. Salawu vd. (2023) kazan tesisleri için önemli bir araç olan durum izleme ve güvenilirlik değerlendirmesi hakkında kapsamlı bir inceleme gerçekleştirmiş ve daha fazla odaklanması gereken hususlar konusunda görüşler sunmuşlardır.

Olağan kazan arızalarının nedenleri, kazanların karmaşık yapılarından dolayı birden fazla etkene bağlı olmaktadır. Bu durumların incelenmesi ve doğru kararın verilebilmesi için çok kriterli bir karar verme (ÇKKV) yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. ÇKKV yöntemleri birden fazla etkenin bulunduğu durumlarda en uygun seçimin yapılmasına olanak tanıyan istatistiksel araçlardır. 1900'lü yıllarının ortalarından bu yana farklı yaklaşımlar kullanan ve birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunan farklı yöntemler geliştirilmiştir (Köksalan vd., 2011). Günümüzde ise yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi teknikler de dahil edilerek daha karmaşık sistemler için daha kapsamlı çalışmalar yapılabilmektedir. Literatürde ÇKKV yöntemleri kapsamında bulanık DEMATEL, bulanık TOPSIS, bulanık PROMETHEE, bulanık AHP, bulanık VIKOR gibi birçok teknik kullanılmaktadır (Kabadayı & Dag, 2017; Zlaugotne vd., 2020; Vassoney vd., 2021; Abdullah vd., 2023).

DEMATEL yönteminin kriterler arasındaki yapı ve ilişkileri inceleyen, etkileyen - etki ilişkilerini daha kolay analiz edilebilir hale getiren ve uzman görüşlerine dayalı olarak karmaşık problemlere çözüm getirebilen etkili bir yöntem olmasından dolayı (Thakkar, 2021) bu çalışmada kullanılmasının tercih sebebi olmuştur. Bu kapsamda ÇKKV yöntemleri kullanılan gemi merkezli çalışmalara özellikle de bulanık DEMATEL yöntemi kullanılan çalışmalara ağırlık verilmiştir. Özdemir vd. (2016) tarafından gemi operasyonları nedeniyle ortaya çıkan deniz kirliliği DEMATEL yöntemi kullanılarak incelenmiş ve olası etkilerini azaltmak için öneriler sunulmuştur. Başhan ve Demirel (2018) DEMATEL yönteminden faydalanarak gemi dizel jeneratörlerinin kritik operasyonel hatalarının değerlendirilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiş ve olumsuzlukların önlenmesi için önem sırlaması yapmışlardır. Yorulmaz ve Baykan (2023) DEMATEL ve ANP yöntemlerini kullanarak gemicilik performansına etki eden faktörlerin önem derecelerini, aralarındaki etkileşimleri ve bunların gemi türlerine olan etkilerini analiz etmişlerdir. Ma vd. (2022) DEMATEL ve (Bulanık Bilişsel Harita) FCM yöntemlerini kullanarak gemi çarpışmaları üzerindeki insan faktörü etkisini araştırmış ve olası diğer faktörlerle arasındaki önem sırlamasını vermişlerdir. Kaya vd. (2022) gemilerde basınçlı hava sisteminde kullanılan kompresörlerin, teknik ve operasyonel yönden, seçiminde bulanık VIKOR yöntemini kullanarak farklı amaç fonksiyonları için işletmeler açısından en uygun seçimin yapılmasına yardımcı olmuşlardır. Balin vd. (2018) bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak gemi yardımcı makinelerinde meydana gelen arızaların etkileyen - etki ilişkisi üzerine bir model sunmuşlardır. Demirel vd. (2015) gemi yardımcı makinelerinde görülen, yüksek derecede önemli, arızalar için bulanık AHP yöntemi uygulaması gerçekleştirmiş ve bu arızaların önem sırasını elde etmişlerdir. Soner (2021) bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak gemi güvertesindeki kapalı alanlarda gerçekleşen kazaları değerlendirmiş ve bunları önleme noktasında çözümler sunmuştur. Tunçel vd. (2023) tarifeli ya da planlı seferlerde elektronik seyir haritalarının hazırlık sürecinde gecikmelere veya başarısızlıklara neden olabilecek potansiyel risk faktörlerinin belirlenmesi ve uzmanların katılımıyla bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemi kullanılarak önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. Başhan ve Demirel (2019) gemi kazanlarının kritik arızalarını bulanık DEMATEL yöntemi ile 15 kritik maddede incelemiş ve araştırma sonucunda; gemi kazanlarının yüksek basınç ve sıcaklıkta çalışmasından kaynaklı denizde emniyet ve güvenlik için önemle dikkat edilmesi gereken makinelerden olduğunu ve buhar kazanlarındaki en kritik olayın ise düzenli bakım olduğunu belirtmişlerdir. Ahmed ve Gu (2020) gemideki operasyonel emniyet kavramlarını geliştirmek ve makine sistemi güvenilirliğinin iyileştirilmesine proaktif katkı sağlamak

amacıyla, kazan işlemleri sırasında en kötü durum senaryolarının belirlenmesi için geçmiş kaza verileri ve raporlarını bulanık mantık yöntemi ile inceleyerek olası arızaları ve riskleri ölçeklendirmişlerdir.

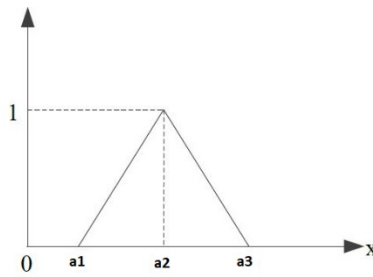
Literatürde yer alan güncel çalışmalar ışığında ve mevcutlardan farklı olan yönü ile bu çalışma için gemi kazanlarında sıklıkla görülen 20 arıza - kaza türü belirlenmiştir. İncelenen arıza – kaza sayısının literatürdeki benzer çalışmalardan fazla olmasında görüşlerine başvurulmuş uzmanların tecrübeleri etkili olmuştur. Bu çalışmada hem tasarım hem de işletme şartları için çevreci, güvenli ve verimli bir sistem ortaya koyabilmek adına, incelenen olaylar çerçevesinde, etki oranı en yüksek olanların tespiti amacıyla, bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmıştır.

2. Araştırma Yöntemi

2.1. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme

Aristo'dan bugüne dek klasik mantıkta aidiyet 0 ve 1 ile ölçümlenmekte ve değer bulmaktadır. Ancak, gerçek şartlarda ise ne 0 ne de 1 olmayan ya da ne siyah ne de beyaz olan ama gerçekte var olan, sınıflandırılmamış fiziksel veya zihinsel süreçler mevcuttur. Aradaki değerleri tanımlama ve aidiyet oluşturma adına Zadeh (1965) tarafından bulanık mantık – bulanık küme önermesi yapılmış ve bu önerme gerek sosyal gerekse teknik birçok alanda karşılık bulmuştur. Bu önermede aidiyet, uzman kişi ve grupların yardımı ile az etkili, normal etkili, çok fazla etkili gibi dilsel kavramlarla ifade edilmekte sonrasında ise bu ifadeler nicelik atfedilmektedir. Böylelikle önermelerin birbirleri arasındaki ilişkiler ve etki dereceleri ortaya çıkarılmış olmaktadır.

Chang ve Lin (2002) tarafından belirtilen bulanık sayılar hakkında bazı önemli notasyon ve bilgiler aşağıdaki denklemlerde verilmiştir. Üçgensel bulanık sayılar (a_1, a_2, a_3) şeklinde, Şekil 1'deki gibi, gösterilebilir ve \tilde{A} bulanık sayısının üyelik fonksiyonu Denklem 1'deki gibi belirtilir. Bulanık sayılar sırasıyla; en küçük, orta ve en büyük olası değerleri göstermektedir.



Şekil 1. Üçgensel bulanık sayılar

$$f_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{(x-a_1)}{(a_2-a_1)}, & a_1 \leq x \leq a_2, \\ \frac{(a_3-x)}{(a_3-a_2)}, & a_2 \leq x \leq a_3, \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (1)$$

\tilde{A} ve \tilde{B} bulanık sayıları (a_1, a_2, a_3) ve (b_1, b_2, b_3) şeklinde belirlendiğinde aralarında yapılacak olan işlem operasyonu Denklem 2-5'teki şekildedir.

$$\tilde{A}(+) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(+)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (2)$$

$$\tilde{A}(-) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(-)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \quad (3)$$

$$\tilde{A}(\times)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(\times)(b_1, b_2, b_3) = (a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3) \quad (4)$$

$$\tilde{A}(\div)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(\div)(b_1, b_2, b_3) = (a_1/b_1, a_2/b_2, a_3/b_3) \quad (5)$$

$\tilde{\omega}_{ij}^k = (a_{1ij}^k, a_{2ij}^k, a_{3ij}^k)$ k tane uzman görüşüne göre, i kriterinin j kriterini etkileme değerini gösterir ve normalleştirme işlemleri de Denklem 6-9 kullanılarak yapılmaktadır.

$$xa_{1ij}^k = (a_{1ij}^k - \min a_{1ij}^k) / \Delta_{min}^{max} \quad (6)$$

$$xa_{2ij}^k = (a_{2ij}^k - \min a_{2ij}^k) / \Delta_{min}^{max} \quad (7)$$

$$xa_{3ij}^k = (a_{3ij}^k - \min a_{3ij}^k) / \Delta_{min}^{max} \quad (8)$$

$$\Delta_{min}^{max} = \max r_{ij}^n - \min l_{ij}^n \quad (9)$$

Sol (ls) ve sağ (rs) normalize değerleri için Denklem 10-11 kullanılmaktadır.

$$xls_{ij}^k = xa_{2ij}^k / (1 + xa_{2ij}^k - xa_{1ij}^k) \quad (10)$$

$$xrs_{ij}^k = xa_{3ij}^k / (1 + xa_{3ij}^k - xa_{2ij}^k) \quad (11)$$

Durulaştırma için crisp değerlerinin hesaplanmasında Denklem 12-13 kullanılmaktadır.

$$x_{ij}^k = [xls_{ij}^k(1 - xls_{ij}^k) + xrs_{ij}^k \times xrs_{ij}^n] / (1 - xls_{ij}^k + xrs_{ij}^k) \quad (12)$$

$$\tilde{\omega}_{ij}^k = \min a_{ij}^n + x_{ij}^n \Delta_{min}^{max} \quad (13)$$

k tane uzman tarafından yapılan anketler Denklem 14' ten faydalanılarak integre edilmektedir.

$$\tilde{\omega}_{ij}^k = 1/k(\tilde{\omega}_{ij}^1 + \tilde{\omega}_{ij}^2 + \dots + \tilde{\omega}_{ij}^k) \quad (14)$$

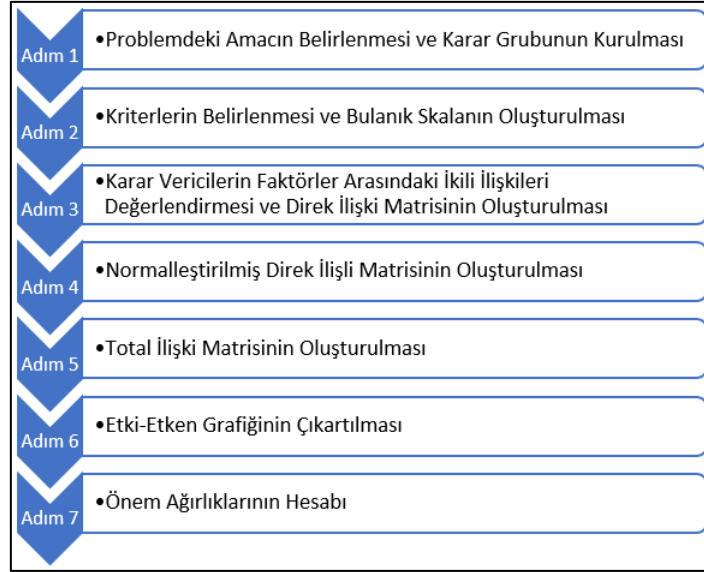
2.2. Bulanık DEMATEL Yöntemi

DEMATEL yönteminde duruma ait problemler belirlenir, bu problemlerin aralarındaki ilişkiye katsayılar atanır, gerekli matris hesaplamaları yapılır ve ortaya etkileyen – etki grafiği çıkartılıp incelenir (Tzeng & Huang, 2011). Buradaki önemli noktalardan biri ise problem belirleme ve katsayı atamasının alanında uzman kişiler tarafından yapılması gerekliliğidir. Bu amaçla bulanık küme yaklaşımı kullanılarak farklı bulanık DEMATEL yöntemleri önerilmiştir. Bulanık DEMATEL yöntemi, DEMATEL yönteminin bulanık küme teorisi kullanılarak uygulanmasıdır. En belirgin özelliği katsayılar atamasında 0, 1, 2, 3, 4 yerine (0,0; 0,0; 0,25), (0,25; 0,50; 0,75) gibi katsayılar atanmasıdır.

Bulanık DEMATEL yöntemi araştırmacılar tarafından birkaç farklı uygulama şekli ile yapılmıştır. Bu çalışmada Şekil 2'de gösterilen ve (Başhan & Demirel, 2019) tarafından da kullanılan uygulama yöntemi ele alınmıştır. Bulanık DEMATEL yönteminde, bulanık sayılarla işlem yapıldığından işlem sonunda anlaşılabilir ve mantıksal sayılara dönülmesi gerektiği için bazı durulaştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Çalışmamızda Opricovic ve Tzeng (2003) tarafından yapılan çalışmada kullanılan durulaştırma yöntemi uygulanmış ve hesaplamaların tamamı Ms Excel kullanılarak yapılmıştır.

Çözümleme sürecinde ilk adım olarak problemle ilgili bilgiler ve örnekler toplanır, problemde işlenecek amaç belirlenir. Ardından alanında uzman kişilerden oluşan bir grup belirlenir. Ardından elde bulunan örnekler ve uzman kişilerin tecrübelerine göre kriterler ve kullanılacak bulanık ölçek belirlenir. Daha sonra bu kriterler arasında ikili karşılaştırılma yani bir kriterin diğer kriteri ne derece etkilediği belirtilir.

Ancak bu karşılaştırmayı net bir şekilde yapmak zor olduğu için bulanık ölçek kullanılır. Bu ölçekte kriterler arası etkileşim dilsel değişken olarak düşünülmüş ve çok az etkili, az etkili, normal etkili, çok etkili ve çok fazla etkili olmak üzere tanımlanmış olan beş dilsel terimle ifade edilmiştir. Bu dilsel terimler ve üçgen bulanık sayılar, Tablo 1'deki gibi, gösterilmiştir.



Şekil 2. DEMATEL yöntemi çözümleme adımları

Tablo 1. Bulanık dilsel ölçek ve üçgen bulanık sayılar

Dilsel ifadeler	Üçgen bulanık sayılar
Çok Az Etkili	(0.00; 0.00; 0.25)
Az Etkili	(0.00; 0.25; 0.50)
Normal Etkili	(0.25; 0.50; 0.75)
Çok Etkili	(0.50; 0.75; 1.00)
Çok Fazla Etkili	(0.75; 1.00; 1.00)

Üçüncü adımda ise üçgen bulanık sayılar kullanılarak ve faktörler karşılaştırılarak $A = n \times n$ bir ilk direk ilişki matrisi oluşturulur, Denklem 15. Ayrıca T_{ij} , i faktörünün j faktörünü etkileme derecesini belirtir.

$$A = [t_{ij}]_{n \times n} \quad (15)$$

Devamında A direk ilişki matrisine temel alınmasıyla, S normalleştirilmiş ilişki matrisi Denklem 16-17 ile bulunur, (k tane uzman).

$$S = k \times A \quad (16)$$

$$k = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (17)$$

Beşinci adımda normalize edilmiş ilişki matrisi S 'nin, birim matrisi I ile Denklem 18'e göre, T toplam ilişki matrisi elde edilir.

$$T = S(I - S)^{-1} \quad (18)$$

Altıncı adımda Denklem 19-21 kullanılarak toplam ilişki matrisindeki satır ve sütunların toplamıyla D ve R vektörleri elde edilir. Etkileyen – Etki grafiğinin oluşturulabilmesi için $(D-R)$ ve $(D+R)$ vektörlerinin bir grafiğe konulması gerekmektedir. Bu grafikte yatay eksen $D+R$ “önem”, dikey olan $D-R$ eksenini “ilişki” belirtir. $D-R$ 'nin 0'dan büyük olması “etkileyen”, 0'dan küçük olması “etki” kısmını belirtir.

$$T = [t_{ij}]_{n \times n}, \quad i, j=1, 2, \dots, n. \quad (19)$$

$$D = [\sum_{i=1}^n t_{ij}]_{1 \times n} = [t_i]_{n \times 1} \quad (20)$$

$$R = [\sum_{j=1}^n t_{ij}]_{1 \times n} = [t_j]_{n \times 1} \quad (21)$$

Son olarak da elde edilen D ve R değerlerini Denklem 22-23 kullanarak önem ağırlıkları hesaplanır.

$$w_i = \left\{ (\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def})^2 + (\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def})^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (23)$$

3. Analizler ve Değerlendirme

Gemi buhar kazanları, gemide birçok sistemi doğrudan ve dolaylı etkileyen makinelerdir. Bundan kaynaklı yaşanan arızalar gemide işletme ve güvenlik problemleri yaratması olağandır. Yüksek sıcaklık ve basınçta çalışan bu sistemlerde sıklıkla arıza ve hataların ortaya çıkması gözlemlenebilirken nadiren de olsa ölümcül kazalar da oluşmaktadır. Üretici firmaların beyan ettikleri muhtemel arızalardan (Parthiban, 2009; Triad, 2015), deneyimli gemi personellerin karşılaştıkları arızalardan ve uzman görüşlerinden (Wankhede, 2018) yola çıkılarak Tablo 2'deki 20 adet olası kazan arızası belirlenmiştir.

Tablo 2. Olası gemi kazan arızaları

C1	Yakıt/gaz kaçağı	C11	Emniyet valfi arızası
C2	Tıkalı süzgeç	C12	Yakıt nozulu arızası
C3	Besleme suyu pompası arızası	C13	Otomatik hava damperi açılma arızası
C4	Kazan suyu seviye sensörü arızası	C14	Pilot brülör ateşleyici arızası
C5	Pilot brülör valf arızası	C15	Alevlenme arızası
C6	Alevgözü sensörü arızası	C16	Hotwell tankı düşük seviye alarmı
C7	Ana solenoid valf arızası	C17	Genel korozyon problemleri
C8	Hava akımı draft fanı arızası	C18	Kazan yakıt pompası arızası
C9	Yanma güvenliği anormal	C19	Hava ayarının düzensiz olması
C10	Su veya buhar boru kaçaqları	C20	Kazan çalışmasının çok uzun sürmesi

Faktörleri değerlendiren uzman ekip gerek saha deneyimi gerekse teorik alt yapısı olan ve en az lisans mezunu olup alanlarında en az beş yıl çalışmış kişilerden oluşmaktadır. Bu kapsamda belirlenen dört uzmandan ikisi başmühendis, bir tanesi deneyimli gemi kazan servisi, bir tanesi de enspektör olarak görev yapmaktadır. İkinci çözümleme adımı kapsamında, uzman değerlendirmeleri sonucunda elde edilen 4 adet matris ortak olarak değerlendirilip Tablo 3'te verilen bulanık sayı matrislerine dönüştürülmüştür. Her bir uzman Tablo 4'te gerçek örnek olarak verilen matrisleri, kriterlerin birbirine olan etkileme derecelerini Tablo 1'deki üçgen bulanık sayılardan belirleyerek oluşturmuştur.

Tablo 3. Bulanık sayı matrisleri

	C1	C2	C3	...	C18	C19	C20
C1	(1.00;1.00;1.	(0.50;0.75;1.	(0.00;0.00;0.	...	(0.75;1.00;1.	(0.50;0.75;1.	(0.50;0.75;1.
C2	(0.50;0.75;1.	(1.00;1.00;1.	(0.00;0.00;0.	...	(0.75;1.00;1.	(0.25;0.50;0.	(0.50;0.75;1.
C3	(0.00;0.00;0.	(0.00;0.00;0.	(1.00;1.00;1.	...	(0.00;0.00;0.	(0.00;0.00;0.	(0.75;1.00;1.
...
C1	(0.75;1.00;1.	(0.75;1.00;1.	(0.00;0.00;0.	...	(1.00;1.00;1.	(0.50;0.75;1.	(0.75;1.00;1.
C1	(0.50;0.75;1.	(0.50;0.75;1.	(0.00;0.00;0.	...	(0.50;0.75;1.	(1.00;1.00;1.	(0.50;0.75;1.
C2	(0.50;0.75;1.	(0.50;0.75;1.	(0.75;1.00;1.	...	(0.75;1.00;1.	(0.50;0.75;1.	(1.00;1.00;1.

Uzmanların değerlendirmesi sonucu oluşturulan her bir 20x20 matris için, durulaştırma yönteminin 9, 11, 12, 13 ve 14 numaralı denklemleri uygulanmıştır. Ardından oluşturulan 20x20 matrislerin her hücresi için ortalama değer hesaplanarak, üçüncü çözümleme adımı kapsamında, Tablo 4'te bulunan direk ilişki matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 4. Direk ilişki matrisi

	C1	C2	C3	...	C18	C19	C20
C1	1.00	0.29	0.00	...	0.71	0.32	0.17
C2	0.42	1.00	0.05	...	0.84	0.31	0.26
C3	0.00	0.00	1.00	...	0.00	0.14	0.47
...
C18	0.48	0.47	0.00	...	1.00	0.43	0.47
C19	0.35	0.42	0.17	...	0.34	0.88	0.34
C20	0.35	0.40	0.42	...	0.42	0.26	0.50

Dördüncü çözümleme adımında direk ilişki matrisi ile 2 ve 3 numaralı hesaplamaların yapılması sonucunda Tablo 5'teki normalleştirilmiş direk ilişki matrisi oluşmuştur.

Tablo 5. Normalleştirilmiş direk ilişki matrisi

	C1	C2	C3	...	C18	C19	C20
C1	0.11	0.03	0.00	...	0.07	0.03	0.02
C2	0.04	0.11	0.01	...	0.09	0.03	0.03
C3	0.00	0.00	0.11	...	0.00	0.01	0.05
...
C18	0.05	0.05	0.00	...	0.11	0.05	0.05
C19	0.04	0.04	0.02	...	0.04	0.09	0.04
C20	0.04	0.04	0.04	...	0.04	0.03	0.05

Oluşturulan normalleştirilmiş ilişki matrisinin, 4 numaralı işleme sokulması ile de beşinci çözümleme adımı olarak Tablo 6'daki toplam ilişki matrisi oluşturulmuştur.

Altıncı çözümleme adımında ise toplam ilişki matrisine 5, 6 ve 7 numaralı formüller uygulanarak D , R , $D+R$ ve $D-R$ değerleri bulunarak Tablo 7 oluşturulmuştur. Bulunan değerler kullanılarak Şekil 3'teki $(D+R)-(D-R)$ etkileyen – etki ilişki grafiği çizdirilmiştir.

Tablo 6. Toplam ilişki matrisi

	C1	C2	C3	...	C18	C19	C20
C1	0.29	0.16	0.06	...	0.27	0.19	0.20
C2	0.27	0.28	0.08	...	0.34	0.23	0.26
C3	0.09	0.07	0.18	...	0.10	0.10	0.16
...
C18	0.28	0.22	0.08	...	0.36	0.24	0.28
C19	0.26	0.21	0.11	...	0.28	0.31	0.28
C20	0.20	0.16	0.13	...	0.23	0.18	0.24

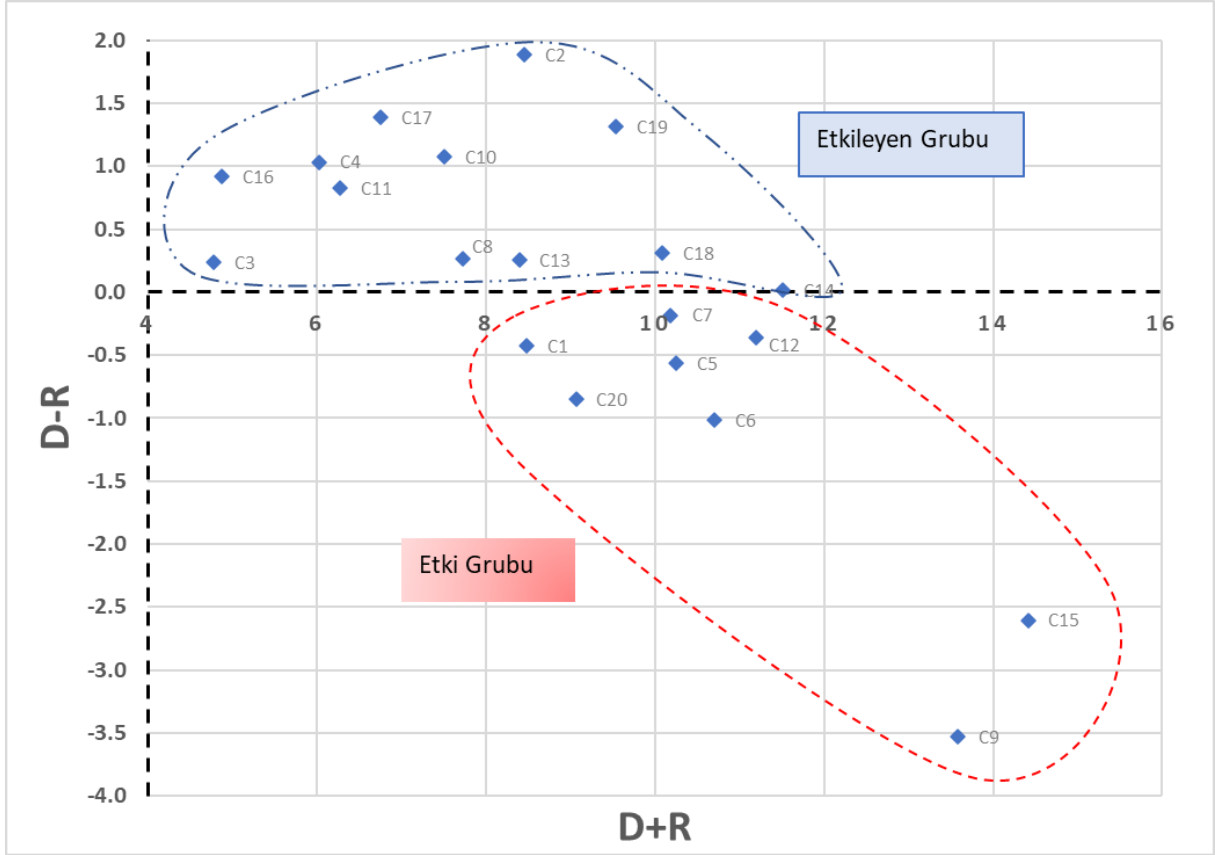
Tablo 7. Faktörlerin D+R ve D-R değerleri

Faktör	D	R	D+R	D-R	Faktör	D	R	D+R	D-R
C1	4.0	4.5	8.5	-0.4	C11	3.6	2.7	6.3	0.8
C2	5.2	3.3	8.4	1.9	C12	5.4	5.8	11.2	-0.4
C3	2.5	2.3	4.8	0.2	C13	4.3	4.1	8.4	0.3
C4	3.5	2.5	6.0	1.0	C14	5.8	5.8	11.5	0.0
C5	4.8	5.4	10.2	-0.6	C15	5.9	8.5	14.4	-2.6
C6	4.8	5.9	10.7	-1.0	C16	2.9	2.0	4.9	0.9
C7	5.0	5.2	10.2	-0.2	C17	4.1	2.7	6.8	1.4
C8	4.0	3.7	7.7	0.3	C18	5.2	4.9	10.1	0.3
C9	5.0	8.6	13.6	-3.5	C19	5.4	4.1	9.5	1.3
C10	4.3	3.2	7.5	1.1	C20	4.1	5.0	9.1	-0.8

Şekil 3'ten *D-R* değeri negatif olan C1, C5, C6, C7, C9, C12, C15 ve C20 faktörlerinin etkilenen (sonuç) grubunda, *D-R* değeri pozitif olan C2, C3, C4, C8, C10, C11, C13, C14, C16, C17, C18 ve C19 faktörlerinin ise etkileyen (sebeup) grubunda olduğu görülmektedir. Bu durumda etkileyen grubunda en yüksek *D-R* değerine sahip olan arızanın C2 (tıkalı süzgeç) arızası olduğu, ardından gelen C17 (genel korozyon problemleri) ve C19 (hava ayarının düzensiz olması) arızalarının ikinci ve üçüncü sırada etkileyen derecesine sahip olduğu söylenebilir. Bu arızaların oluşması diğer faktörlere de arıza yaptırması veya işlevini önlemesi anlamına gelir. Bu sebeple sistemde bulunan süzgeçlerin düzenli periyotlarla temizlenmesi, korozyon oluşumunu önlemek için kullanılan suyun iyi arıtılması, blöf sisteminin düzenli ve iyi çalışması, hava ayarı yapan parçaların bakımının düzenli yapılması veya bunun için gemide yedek parça bulundurulması, buhar kazanı operasyonunun daha sağlıklı ve güvenli bir şekilde yapılabilmesi için alınması gerek önlemler olabilir. Aksi yöndeki en düşük *D-R* değerine sahip olan C9 (yanma güvenliği anormal) kriterinin diğer kriterlerin yüksek etkisi sonucu ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Son olarak yedinci çözümle adımında yer alan hesaplamalar sonucu faktörlerin önem ağırlıkları Tablo 8'de hesaplanmıştır. Tablo 8'deki faktörlerin önem ağırlığı sıralamasına göre ise; en yüksek önem ağırlığıyla C15 (alevlenme arızası) bulunmaktadır. Bu ifade alevlenme arızasının kazan arızalarındaki en önemli ve en kritik hata olduğunu belirtmektedir. C9 (yanma güvenliği anormal), C14 (pilot brülör arızası) ve C12 (yakıt nozulu arızası) gibi arızaların ise takip eden önem derecelerine sahip olduğu görülmekle birlikte bu arızalar alevlenme arızasının sebep ve sonuçları ile de ilişki içerisinde olabilmektedir. Alevlenme arızaları genellikle, diğer etkenlerden kaynaklı meydana geldiği için,

makinenin alevlenme sistemlerinin bakımı ve bu sistemin yedek parçalarının bulundurulması buhar kazanlarının operasyonlarının güvenli bir şekilde devam ettirilmesi açısından öneminin yüksek olduğu belirlenmiştir. Önem ağırlığı tablosunda en altlara bakıldığında ise, C3 (besleme suyu pompası arızası) ve C16 ('hotwell' tankı düşük seviye alarmı) bulunmaktadır. Bu doğrultuda, besleme suyu pompası arızası ile hotwell tankı su seviyesinin düşmesinin buhar kazanları için kritik arızalar olmadığı sonucuna ulaşılabilmektedir.



Şekil 3. Etkileyen – Etki ilişkisi grafiği

Tablo 8 Faktörlerin önem ağırlıkları

Faktör	Önem Ağırlığı	Faktör	Önem Ağırlığı
C1	0.040	C11	0.022
C2	0.042	C12	0.071
C3	0.013	C13	0.040
C4	0.021	C14	0.075
C5	0.059	C15	0.121
C6	0.065	C16	0.014
C7	0.058	C17	0.027
C8	0.034	C18	0.057
C9	0.111	C19	0.052
C10	0.032	C20	0.047

4. Sonuç

Buhar kazanları, endüstriyel ve enerji üretimi sektörlerinde yoğunlukla kullanıldığı gibi denizcilik endüstrisinde de bir geminin olmazsa olmazlarından. Bulanık DEMATEL analizi, faktörler arasındaki ilişkileri belirler ve etkilerini ölçerken belirsizlikleri de dikkate alır. Bu sayede, hangi faktörlerin diğerlerine göre daha önemli olduğu, kazanın performansına ve işleyişine olan etkileri daha net bir şekilde anlaşılabilir. Bu analizden çıkan sonuçlar, buhar kazanlarının tasarımı, işletimi ve bakımıyla ilgili stratejik kararları desteklemek için kullanılabilir. Analiz, enerji verimliliğini artırmak, emisyonları kontrol altında tutmak, güvenlik standartlarını iyileştirmek ve operasyonel maliyetleri optimize etmek gibi hedeflere ulaşmak için yol gösterici olabilir.

Bu çalışmadan çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde ise; kazanların ateşleyici sistemlerinin bakım yöntemleri hakkında gemi adamlarını ve özellikle makine zabıtlarını bilgilendirmek, gemide bu sistemin olası yedek parçalarını bulundurmamak; sistemin işleyişini güvenli ve kesintisiz sağlamak, bakım maliyetlerini en aza indirmek ve enerji verimliliğini artırmak için atılacak iyi adımlar olduğu ortaya çıkmıştır. Endüstriyel alanda kullanılan her sistemin de ihtiyacı olduğu üzere, makine ve sistemlerin düzenli bakıma tabi tutulması optimal işleyiş sağlamanın, üretimin kendini göstermeyen fakat diğer yandan da en önemli noktasıdır. Literatürdeki çalışmalardan da benzer sonuçların alınması hem uzmanların karşılaştıkları arıza türlerinin benzerliğini hem de uygulanan yöntemin doğruluğunu göstermektedir. Gerek DEMATEL gerekse diğer ÇKKV yöntemleri kullanılarak gemilerdeki diğer sistemlerin analiz edilmesi, gemilerin genel yedek parça ve bakım planlarının oluşturulması noktasında yardımcı olacaktır. Bu kapsamda yakın gelecekte literatürde sıklıkla kullanılan ÇKKV yöntemleri kullanılarak bir gemide yer alan tüm sistemlerin analizinin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

Abdullah, F. M., Al-Ahmari, A. M., & Anwar, S. (2023). An Integrated Fuzzy DEMATEL and Fuzzy TOPSIS Method for Analyzing Smart Manufacturing Technologies. *Processes*, 11(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/pr11030906>

Adumene, S., & Nitonye, S. (2018). Application of Probabilistic Model for Marine Steam System Failure Analysis under Uncertainty. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 08(02), Article 02. <https://doi.org/10.4236/ojsst.2018.82003>

Ahmed, S., & Gu, X.-C. (2020). Accident-based FMECA study of Marine boiler for risk prioritization using fuzzy expert system. *Results in Engineering*, 6, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100123>

Ardy, H., Nurimam, A., Hamdani, M., Firmansyah, D., Aditya, D. M., Setiawan, A. R., & Wibowo, A. (2022). Failure Analysis of Bank-Wall Side Boiler Tube in a Petrochemical Plant. *Metals*, 12(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/met12122064>

Ardy, H., Putra, Y. P., Anggoro, A. D., & Wibowo, A. (2021). Failure analysis of primary waste heat boiler tube in ammonia plant. *Heliyon*, 7(2), e06151. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06151>

Balin, A., Demirel, H., Celik, E., & Alarcin, F. (2018). Fuzzy DEMATEL Model Proposal For The Cause And Effect Of The Fault Occurring In The Auxiliary Systems Of The Ships' Main Engine. *International Journal of Maritime Engineering*, 160(A2), Article A2. <https://doi.org/10.5750/ijme.v160iA2.1053>

Başhan, V., & Demirel, H. (2018). Evaluation of Critical Operational Faults of Marine Diesel Generator Engines by Using DEMATEL Method. *Journal of ETA Maritime Science*, 6(2), 119-128. <https://doi.org/10.5505/jems.2018.24865>

Başhan, V., & Demirel, H. (2019). Application of fuzzy DEMATEL technique to assess most common critical operational faults of marine boilers. *Politeknik Dergisi*, 22(3), 545-555.

Bunch, B. H., & Hellems, A. (2004). *The History of Science and Technology*. Houghton Mifflin, Boston.

Cheng, C.-H., & Lin, Y. (2002). Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142(1), 174-186. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00280-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00280-6)

Demirel, H., Ünlügençoğlu, K., Alarçin, F., & Balin, A. (2015). Application Of Fuzzy Analytic Hierarchy Proses For Error Detection Of Auxilary Systems Of Ship Main Diesel Engines. *International Journal of Maritime Engineering*, 157(A2), Article A2. <https://doi.org/10.5750/ijme.v157iA2.952>

Flanagan, G. T. H. (1990). *Marine Boilers (3.)*. Butterworth-Heinemann, Amsterdam.

Hong, M., Chae, H., Kim, W. C., Kim, J.-G., Kim, H., & Lee, S. Y. (2019). Failure Analysis of a Water Wall Boiler Tube for Power Generation in a District Heating System. *Metals and Materials International*, 25(5), 1191-1201. <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00267-6>

Kabadayı, N., & Dag, S. (2017). Bulanık DEMATEL ve Bulanık Promethee Yöntemleri İle Kablo Üretiminde Makine Seçimi (SSRN Scholarly Paper 3391530). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3391530>

Kaya, A., Başhan, V., & Ust, Y. (2022). Selection of marine type air compressor by using fuzzy VIKOR methodology. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 236(1), 103-112. <https://doi.org/10.1177/14750902211028791>

Kocabaş, C., & Savaş, A. F. (2021). Reducing Energy Losses of Steam Boilers Caused by Blowdown with Using the FMEA Method. *Smart Science*, 9(2), 70-79. <https://doi.org/10.1080/23080477.2021.1898794>

Koksalan, M., Wallenius, J., & Zionts, S. (2011). Multiple criteria decision making: From early history to the 21st century (s. 198). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. <https://doi.org/10.1142/8042>

Liu, S. W., Wang, W. Z., & Liu, C. J. (2017). Failure analysis of the boiler water-wall tube. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, 9, 35-39. <https://doi.org/10.1016/j.csefa.2017.06.002>

Ma, L., Ma, X., Lan, H., Liu, Y., & Deng, W. (2022). A data-driven method for modeling human factors in maritime accidents by integrating DEMATEL and FCM based on HFACS: A case of ship collisions. *Ocean Engineering*, 266, 112699. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112699>

Nakahashi, K., Sato, Y., Tamura, K., Ishikawa, T., & Okamoto, M. (2017). Explosion of the auxiliary boiler (Marine Accident Investigation Report MA2017-12). Japan Transport Safety Board.

Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2003). Defuzzification within a multicriteria decision model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 11(05), 635-652. <https://doi.org/10.1142/S0218488503002387>

Özdemir, Ü., Yılmaz, H., & Başar, E. (2016). Investigation of Marine Pollution Caused by Ship Operations with DEMATEL Method. *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10(2), 315-320. <https://doi.org/10.12716/1001.10.02.14>

Parthiban, K. K. (2009). Boiler Trouble Shooting Guide. Venus Energy Audit System. https://www.academia.edu/23773119/boiler_trouble_shooting_guide?auto=download

- Patil, S. S., Bewoor, A. K., & Patil, R. B. (2021). Availability Analysis of a Steam Boiler in Textile Process Industries Using Failure and Repair Data: A Case Study. *ASCE-ASME J Risk and Uncert in Engrg Sys Part B Mech Engrg*, 7(021002). <https://doi.org/10.1115/1.4049007>
- Peterson, D. G. (1997). Anatomy of a Catastrophic Boiler Accident. *National Board BULLETIN*, Summer. <https://www.nationalboard.org/index.aspx?pageID=164&ID=226>
- Rahman, M. A., Karmaker, C. L., Ahmed, T., Khan, M. I., Morshed, A. K. M. M., & Ali, S. M. (2022). Modelling the causes of boiler accidents: Implications for economic and social sustainability at the workplace. *Heliyon*, 8(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09601>
- Salawu, E. Y., Akerekan, O. E., Afolalu, S. A., Kayode, J. F., Ongbali, S. O., Edun, B. M., Airewa, I., & Awoyemi, O. O. (2023). Condition monitoring and reliability assessment, an essential tool for Boiler Plant Maintenance—A review. *E3S Web of Conferences*, 430, 01228. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343001228>
- Soner, O. (2021). Application of fuzzy DEMATEL method for analysing of accidents in enclosed spaces onboard ships. *Ocean Engineering*, 220, 108507. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108507>
- Thakkar, J. J. (2021). Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL). İçinde J. J. Thakkar (Ed.), *Multi-Criteria Decision Making* (ss. 139-159). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4745-8_9
- Triad. (2015). *Operations and Maintenance Manual—Low and High Pressure Steam Boilers*. Triad Boiler Systems.
- Tunçel, A. L., Arslan, Ö., & Akyüz, E. (2023). An Application of Fuzzy AHP Using Quadratic Mean Method: Case Study of ENC Preparation Process for Intended Voyages. *Journal of ETA Maritime Science*, 11(1), 56-66.
- Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making (0 bs)*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/b11032>
- Vassoney, E., Mammoliti Mochet, A., Desiderio, E., Negro, G., Piloni, M. G., & Comoglio, C. (2021). Comparing Multi-Criteria Decision-Making Methods for the Assessment of Flow Release Scenarios From Small Hydropower Plants in the Alpine Area. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.635100>
- Wankhede, A. (2018). *Boiler Safety on Ships – Common Risks And Safety Features*. <https://www.linkedin.com/pulse/boiler-safety-ships-common-risks-features-anish-wankhede>
- Yorulmaz, M., & Baykan, Y. (2023). Gemicilik Performans Faktörlerinin Gemi Türlerine Etkisinin Bulanık DEMATEL ve ANP Yöntemleriyle İncelenmesi. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.28979/jarnas.1224708>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- Zlaugotne, B., Zihare, L., Balode, L., Kalnbalkite, A., Khabdullin, A., & Blumberga, D. (2020). Multi-Criteria Decision Analysis Methods Comparison. *Environmental and Climate Technologies*, 24(1), 454-471. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2020-0028>

Tersanelerde Tedarikçi Seçimine Etki Eden Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modeli ile Analizi

Kazım Barlas¹, Eda Turan²

^{1,2} Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye

¹ (sorumlu yazar), kazim.barlas@std.yildiz.edu.tr, ORCID: 0009-0003-4696-303X

² edaturan@yildiz.edu.tr, 0000-0002-8965-1744

ÖZET

Geçmişten günümüze süregelen alışkanlıklar incelendiğinde gelişim alanı büyük olarak nitelendirilebilen taşımacılık sektörünün payı, dünyada başta olmak üzere Türkiye’de de önemli bir yere sahiptir. Türkiye’de ihracatta piyasa değeri en yüksek malzemeler deniz yoluyla taşınmaktadır. Ülkemizde denizcilik sektörü incelendiğinde gemi satın alım ve onarımlarında gözle görülebilir bir talep mevcuttur. Gemi inşasında ve bakım onarımında talep arzdan daha yüksek olduğu için, malzeme tedarikçisinde zorluk yaşanmaktadır. Bu sebeple, malzeme tedarikçisinde alternatif yollar aranmaktadır. Bu araştırma çalışmasında tersanelerin malzeme satın alımlarında kullandıkları kriterlerin neler olduğu araştırılmış ve tedarikçi seçim tutumunu etkileyen parametreler belirlenmiştir. Tedarikçi seçiminde birden fazla faktör incelenmiş olup parametre olarak kalite, sorumluluk, lojistik ve teslimat faktörlerinin tedarikçi seçimine etkisi dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda İstanbul ve Yalova’da yer alan tersaneler içerisinde toplam 240 tersane çalışanıyla çevrimiçi anketler yapılması sonucunda veriler toplanmıştır. Çalışmada gözlenebilen ve gözlemlenemeyen değişken arasındaki nedensel ve ilişkisel sonuçların tanımlanmasına olanak sağlayan, çok değişkenli istatistiksel bir yöntem olan yapısal eşitlik modellemesi kullanılmıştır. Araştırma parametrelerinden sorumluluk, teslimat ve lojistik faktörlerinin tedarikçi seçimine etki ettiği; kalite faktörünün ise etki etmediği görülmüştür. Demografik özelliklerden yaş cinsiyet ve departman faktörlerinin tedarikçi seçimine etkisi görülmemiştir. Ayrıca sorumluluk faktörünün tedarikçi üzerindeki etkisinde lojistik faktörünün aracılık etkisini gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tedarikçi seçimi, tersane, yapısal eşitlik modeli, çoklu faktör

Makale geçmişi: Geliş 12/11/2023– Kabul 05/02/2024

<https://10.54926/gdt.1389866>

Analysis of Factors Affecting Supplier Selection in Shipyards Using Structural Equality Model

Kazım Barlas¹, Eda Turan²

^{1,2} Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Yıldız Technical University, Türkiye

¹ (corresponding author), kazim.barlas@std.yildiz.edu.tr, ORCID: 0009-0003-4696-303X

² edaturan@yildiz.edu.tr, 0000-0002-8965-1744

ABSTRACT

The share of the transportation sector, which can be described as having a large development area when the habits from past to present are examined, has an important place in Türkiye, especially in the world. In Türkiye, the materials with the highest market value in exports are transported by sea. When the maritime sector in our country is examined, there is a visible demand in ship purchase and repair. Since demand is higher than supply in ship construction and maintenance, there is difficulty in material supply. For this reason, alternative methods are being sought in material supply. In this research study, the criteria used by shipyards in purchasing materials were investigated and the parameters affecting supplier selection attitudes were determined. Multiple parameters affect supplier selection attitude. In this article, multiple factors were examined in supplier selection. The effects of supplier decision, quality, responsibility, logistics and delivery factors on supplier selection were considered. As a result of an online survey with a total of 240 shipyard employees in Istanbul and Yalova, it is seen that liability, distribution and logistics markets affect supplier selection. Structural equation modeling, which is a multivariate statistical method that allows the identification of causal and relational consequences between observable and unobservable variables, was used in the study. Responsibility, delivery and logistics services, which are determined as research parameters, affect supplier selection. The quality factor has no effect on the research parameter. The impact of demographic characteristics such as age, gender and department on supplier selection was not observed. In addition, it has been determined that the logistics factor has a mediating power in the effect of the responsibility factor on the supplier.

Keywords: supplier selection, shipyard, structural equation model, multiple factors

Article history: Received 12/11/2023 – Accepted 05/02/2024

1. Giriş

Küresel pazarlar düşünüldüğünde ülkelerin gelişim ve büyüme gösterebilmesi için lojistik faaliyetlerini göz önünde bulundurarak dış ticarete yönelmeleri son derece önemlidir. Özellikle katma değeri yüksek ürün ve hizmetlerin arttırılması ve pazarlanabilmesi için ihracatın arttırılabilmesi gereklidir (Erkan, 2014).

Koşullar ne olursa olsun ülkelerin bir takım faaliyet unsurlarını aza indirebilmesi için çalışması gerekmektedir. Özellikle imalat aşamasında maliyet unsurunu aza indirebilmek için birçok ülke üretim merkezlerini kıtalara yaymış durumdadır. Bu yüzden ülkelerin bir lojistik ağına sahip olabilmesi ihtiyacı doğmuştur. Lojistik ağının kurulması ve geliştirilmesi konusunda ise taşımacılık sektörünün varlığı önem kazanmıştır.

Finansal sonuçların iyileştirilmesi, sürdürülebilirlik ve orta uzun vadede karlılık gibi faaliyetler göz önünde bulundurulduğunda taşımacılık sektöründe verimlilik yaratan dokunuşların olması kıymetlidir. Dünya ticaretinin ana merkezi olarak sayılabilen Almanya, İsveç ve Japonya gibi ülkelere baktığımızda lojistik altyapılarının da güçlü olduğu bölgeler olduğu söylenebilmektedir.

Gelişmekte olan ülkeler arasında varsayılan Türkiye gerek coğrafi konum itibarıyla gerekse pazar payı olarak lojistikte önemli bir konuma sahiptir. Ülkemizde yapılan taşımacılık tipleri dört ana başlık içinde incelenebilmektedir. Bunlar karayolu, demiryolu, deniz taşımacılığı ve havayoludur.

Türkiye’de 2022 yılında gerçekleştirilen 83.6 milyar Avro tutarında ihracatın 33.8 milyar Avro tutarındaki kısmı lojistik ve taşımacılık hizmetleri sektöründe gerçekleşmiştir. Bu oran, lojistik sektörünün ülkemiz açısından önemini göstermiştir (URL-1, 2023).

Teknolojinin gelişmesi; dünya üzerinde ticaretin, taşımacılığın veya ulaşımın fazla olması sebebiyle, taşıtların taşıma kapasitesi ve boyutlarının arttırılması söz konusudur. Deniz taşımacılığı uzun mesafelerde, taşıma kapasitesi ve diğer taşımacılık yöntemlerine göre çevreye daha az zararlı ve karlı olduğu için diğer yöntemlere nazaran daha çok tercih edilmektedir. TÜİK verilerine göre ülkemizde ihracatın yüzde 59.56’sı, ithalatın ise yüzde 65.74’ü deniz taşımacılığı ile yapılmıştır (URL-2, 2022).

2023 yılı itibarıyla, Türkiye’de bakım-onarım, yat gemi inşa faaliyeti gerçekleştiren toplam seksen dört adet tersane bulunmaktadır. Yirmi sekiz tanesi Tuzla bölgesinde, otuz tanesi Yalova bölgesinde dokuz adet Zonguldak bölgesinde, beş adet Kocaeli bölgesinde, üç adet Çanakkale bölgesinde, üç adet Trabzon bölgesinde, bir adet Samsun bölgesinde, iki adet Kastamonu bölgesinde, bir adet Adana bölgesinde, bir adet Ordu bölgesinde ve bir adet Hatay bölgesinde bulunmaktadır. Buna ek olarak on üç alan tersane alanı olarak, dokuz adet tersane ise yatırım aşamasındadır (URL-3, 2023).

Gemi inşa sanayi, bağlı olduğu yan sanayi sektörünü hızlıca geliştirdiği için bulunduğu ülkeye döviz girdisi sağlayan iş kollarından biridir. Ayrıca, bölgede iş gücünü arttırarak ticaretin gelişmesine ve güçlenmesine zemin hazırlamaktadır. Ülkemizde gelişen denizcilik sektörünün talebinin artması ile bu sektörde bulunan firmaların ve yan sanayilerin hammadde, parça, üretim ve dağıtım gibi girdi çıktılarını ihtiyaca yönelik geliştirmesi gerekmektedir. Ortaya çıkan bu durumun çözümüne yönelik olarak sektördeki talebin hangi faktörlerden etkilendiği ve bu ihtiyaca yönelik önlemlerin alınması için bu araştırmanın yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

2. Literatür Taraması

Tersanelerin tedarikçi seçimine etki eden faktörlerin tercih tutumunda etkisi konusunda literatürde

yapılmış çalışmalar incelendiğinde yurtdışında çok sayıda çalışma mevcuttur. Fakat yurtiçi çalışmalar incelendiğinde özellikle denizcilik alanında bu konunun doğrudan inceleme konusu olmadığı saptanmış, farklı alanlarda tedarikçi tutumunu etkileyen faktörler incelenmiştir. Bu çalışmada ilgili faktörlerin istatistiksel olarak denizcilik sektörüne yönelik incelemesi yapılmış ve literatüre katkı sağlaması hedeflenmiştir. İncelenen çalışmalar konu özelinde farklı türlerde ve farklı örneklerde birçok faktörün kullanılabilirliğini göstermiştir. Çalışmada kullanılan faktörler değerlendirilirken yapısal eşitlik modellemesi kullanılacaktır. Bu amaç doğrultusunda faktör belirlemesi yapılmadan önce literatürde yapısal eşitlik modellemesiyle oluşturulmuş faktörler incelenmiştir. Çalışmada kullanılacak faktörleri belirlemek için, tersanelerdeki tedarikçi yöntemini algılamak gerekmektedir. Çalışmanın amacı tersane işletmelerinin hangi durumlarda kararlarının nasıl etkilendiği yönünde olduğu için tedarikçi kararı bağımlı değişken olarak seçilmiştir. Diğer seçilen bütün faktörler ise bağımsız değişkenler olarak tedarikçi kararını etkilemektedir.

2.1 Sorumluluk

Firmaların performanslarını arttırması ve değer yaratması için gerekli olan önemli koşullardan birisi olan sorumluluk duygusu, malzemeyi tedarik eden firmanın tanınabilirliğini arttırarak, firmanın kalitesini arttırmaktadır. Kalitesi artan firma, tedarikçilerin dikkatini çeker. Bu tedarikçi kararını önemli ölçüde etkilemektedir (Özalp, 2016).

Teknolojinin gelişmesiyle beraber üretimde ele alınan süreçler malzemeyi satın alan müşteri yararına olmaktadır. Malzemeyi temin eden firmanın da zamanında teslimi sağlayabilmesi için daha çok sorumluluk alması gerektiğini göstermektedir (Nevşehirli, 2007). Dolayısıyla işletmelerin birbiri arasında güven bağı oluşmasını gerekmektedir. Alıcı ve tedarikçi ilişkilerinde biri diğerine göre daha inanılır ve sorumluluklarını gerçekleştirebileceği inancı oluşursa firmalar arasındaki ilişkiler artacaktır. Bu tür ilişkilerin artması için gerekli olan birçok koşul bulunmaktadır (Garip ve diğ., 2021).

Tedarikçi kararı veren firmalar genellikle iki tedarik koşulu üzerinde durmaktadır. Bu seçeneklerden ilki Afşaroğulları ve diğ. (2019)'ne göre ucuz ve güvenilmeyen tedarikçi olarak sınıflandırılmış, ikincisi ise sorumluluk sahibi güvenilir ve pahalı bir tedarikçi olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada sonuçlar tedarik zinciri boyunca firmaların etiklikten ve sorumluluktan kaçınılmayacağını göstermiştir.

Tedarikçi kararı verilirken, sosyal ve çevresel faktörlerde göz önünde bulundurulmalıdır. Herhangi bir taviz verilmesi sonucunda firmalara bu durum olumsuz reklam olarak geri dönebilmektedir. Ayrıca alınan sorumluluklar firmanın sürdürülebilirliği konusunda olumlu etki bırakmakta ve satın alınan pazarlama ilişkilerini de etkilediği sonucuna ulaşabilmektedir.

2.2. Lojistik

Her firmanın kendi imkanlarına göre sosyal ve ekonomik çevrelerine bağlı olarak belirlediği bir lojistik ağı vardır. Bu lojistik ağı kimi zaman firmalar tarafından kendileri çalışarak oluşturulurken bazı firmalar içinse destek alabilecekleri farklı firmalar tarafından oluşturulmaktadır. Bu sebeple lojistiğin firmalar arasındaki rekabet gücüne önemli katkıları bulunmaktadır. Ayrıca, işletmelere toplam gelir ve maliyetlerinde de önemli katkılar sağlamaktadır. Bununla birlikte ülke ekonomilerinde ve müşteri memnuniyetini arttırmada önemli bir etkiye sahiptir. Lojistik, eş zamanlı olarak üretim ve bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmelerden etkilendiği için, sistematik ve işlemsel yönetsel açıdan malzeme teminini rasyonel bir zamanda gerçekleştirme ve taşınması olayını sağlamaktadır. Firmalar arasındaki

rekabeti güçlendirerek, firmalarda performans artışı gerçekleştirmektedir. Günümüzde firmaların kendilerini geliştirme çabaları, tedarik zinciri yönetimi uygulaması ve modellerinin yaygınlaştırması ile mümkündür. Böylece malzemelerin tedarikçiden üretimine, dağıtımına ve müşteriye teslimine kadar geçen üretim planlama ve kontrol sistemi uygulamalarında bütünleştirici bir görev almaktadır (Kaya, 2013). Durmaz ve Önaçan (2018) çalışmasında lojistiğin tedarik zincirini etkileyen bir faktör olduğunu belirtmek amacıyla kullanmış; ürünü temin ederken ilişki memnuniyeti, müşterinin satın alacağı ürünün üzerinde etkisinin bulunduğunu gözlemlemişlerdir. İlgili çalışma doğrultusunda da tedarikçi ile müşteri arasında ilişki temellerinin kurulması gerektiği söylenebilmektedir. Lojistik bu ilişki temellerini oluşturmaktadır. Lojistiğin önemli faktörlerinden biri ise hızdır. Hız hem malzemenin hem de hizmetin entegrasyonunu sağlayarak lojistik biriminde kaliteyi arttırmaktadır. Gelişen ve değişen rekabet ortamlarında farklı stratejiler kurmak zorundadırlar. Müşteri ihtiyaçlarına zamanında ve kusursuz şekilde cevap verilmek ve önceden tahmin edebilmek, rakipler karşısında üstünlük göstererek, müşteri memnuniyetini arttırarak rakiplerin önüne geçmeyi sağlayacaktır (Eker, 2006).

2.3. Teslimat

Küresellik düşünüldüğünde rekabet oranına bağlı olarak hizmet kalitesini arttırmak için firmalar arasında teslimat faktörünün önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Malzeme depolama, üretim ve malzemelerin taşınması da müşteri memnuniyeti açısından önemli bir etkiye sahiptir (Tanrıverdi, 2010). Teslimat zamanlamaya uyumlu olmalıdır. Ayrıca firmalar müşteri ihtiyaçlarını gününde sağlamalı, tam yerinde ve zamanında teslimatı gerçekleştirmelidir. Müşteriye hizmet hususunda yardımcı olmalı ve oluşan aksaklıkların telafisi için mümkün bir alternatif teslimat süreci gerçekleştirmesi gerekmektedir (Özesenli, 2011). Sayan (2018) çalışmasında farklı ülkelerde bulunan üreticilerin üretimde hızı arttırıp akış zamanını azaltarak teslimat performansını arttırdıklarını göstermiştir. Bu durum diğer firmalara nazaran daha çok avantaj sağlamıştır, plan kaynak vb. kriterlerin içerisinde teslimatta yerini almıştır.

2.4. Kalite

Tedarikçi değerlendirmede ve performans ölçümünde güvenilirlik ve tutarlılık faktörleri kalite için son derece önemli bir etkiye sahiptir. Stratejik başarılar ve kusursuzluk oranı kaliteyi etkileyen etmenlerdendir. Ayrıca servis kalitesi ve fiyat etkileri de tedarikçi değerlendirmede kullanılmaktadır (Yalçın, 2010). Tedarikçi seçiminde kalite üzerinde etki olup olmadığını araştırmak gerekirse, kaliteli ürünün tedarikçi kararını etkilediği görülmektedir. Dolaylı ve direkt olarak, kararlarda ana unsurlardan biri olarak incelenmektedir. Firma tedarikçisini seçerken belirlediği kriterler nihai ürünün kalitesine etki ettiği Uluskan ve Akın (2022) araştırmasında da ispatlanmıştır. Hizmet yönetimi ve kalite arasında da bir ilişki bulunmaktadır. Yurt (2007) incelemesinde aradaki ilişkiyi ampirik olarak incelemek yoluyla pazarlamanın ve lojistik faktörlerinin de araştırılmasını sağlamıştır. Tedarik zinciri ile hizmet kalitesi arasındaki ilişkiyi olduğunu gösteren bir model oluşturmuştur.

2.5. Tedarikçi Kararı

Tersaneler, yeterli şekilde büyümeye ulaşabilmek için gider masraflarının maliyetini düşürmek ister. Bunun için tedarik edeceği ürünlerin daha kaliteli, aynı şekilde daha ucuz olmasını bekler ve bu doğrultuda isteğine ulaşmak için ortaya çıkan tedarik yönetim kavramını ele alır. Tersaneler de yeni

kanunların getirilmesi nedeniyle günün teknolojisi neyi gerektiriyorsa o malzemeyi tedarik etmek zorundadır. Bu nedenle tedarikçi kararı ve tedarik süreci önem arz etmektedir. Üretim planlamasını geciktirmeyecek kadar hızlı, güvenli ve kaliteli malzeme temin etmek zorundadır. Yapılan çalışmalar, tersane işleyişi malzemeyi tedarik ederken hangi süreçlerden geçildiğini incelemektedir. Bu doğrultuda Danacı ve diğ. (2019) büyük firmalarda özellikle üst seviye tedarik zinciri konusu ele alınmıştır. Tedarikçi kararı, güven, bağlılık, bilgi edinimi ve yayılımı faktörleri ile iş birliği yani memnuniyet arasındaki ilişki Tufan ve Yaşar (2022) tarafından yat sektöründe bulunan Türk ve yabancı firmalar arasında incelenmiştir. Bu çalışmada ilgili faktörlerin anlamlı bir ilişki içerisinde olup olmadığı araştırılmış, bütün faktörlerin birbiri içerisinde anlamlı bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.

3. Metodoloji

Tedarikçi kararını etkileyen faktörlerin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada tesadüfi olmayan örneklemeden kartopu örnekleme yoluyla seçilen 240 kişi ile online anket çalışması yapılmıştır. Çalışma çeşitli platformlarda paylaşılmıştır. Analiz çalışmasından önce anketlerin tutarlılıkları değerlendirilmiş olup anketlerin hepsi çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada kullanılan anket formunda çeşitli çalışmalardan literatür taraması ile ulaşılmış veya uyarlanmış, kişilerin tedarikçi seçimine karşı tutumlarını belirlemeye sağlayacak ifadelerden oluşmaktadır. Ayrıca çalışmaya katılmış katılımcıların demografik özelliklerini belirlemeye yarayan ifadelerde mevcuttur. Elde edilen veriler IBM SPSS AMOS 23 ve IBM SPSS Statistics Viewer 23 programları ile test edilmiştir.

3.1. İstatistik terimleri ve kısaltmaları

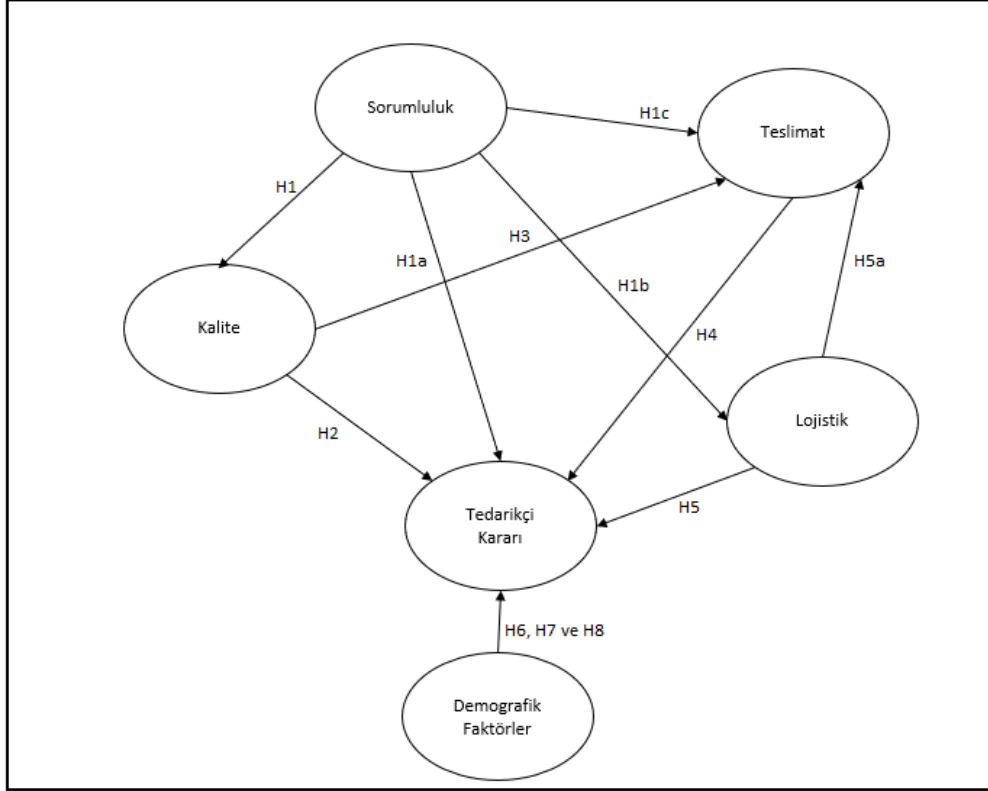
ANOVA:	: Varyans Analizi (Analysis of Variance)
CFI	: Karşılaştırmalı Uyum İndeksi (Modeli - Comparative Fit Index)
CMIN	: Ki-kare (Chi-square)
DF	: Ki-kare (Degree of Freedom)
DFA	: Doğrulayıcı Faktör Analizi
F	: ANOVA analizinde kullanılır. İki ortalama karenin bölünmesiyle hesaplanır, açıklanmayan varyansı açıklanmayan farkın oranını belirler.
IFI	: Artan Uyum İndeksi (Incremental Fit Index)
KFA	: Keşifsel Faktör Analizi
KMO	: Kaiser-Meyer-Olkin
NFI	: Normleştirilmiş Uyum İndeksi (Normed Fit Index)
RMSEA	: Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü (Root Mean Square Error of Approximation)
Sig	: Anlamlılık (Significance) değeri olup P ile gösterilir.
Std.	: Standart
t	: İki ortalama arasındaki farkın istatistiksel durumunu test etmek için kullanılan parametrik bir yöntemdir.
TUIK	: Türkiye İstatistik Kurumu
YEM	: Yapısal Eşitlik Modeli

3.2. Araştırma modeli

Yapısal Eşitlik Modellemesi yani kısa adıyla YEM, gözlenebilen ve gözlenemeyen değişkenler arasındaki nedensel ve ilişkisel sonuçların tanımlanmasına olanak sağlayan çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir. Sosyal bilimler başta olmak üzere ekonomi, pazarlama ve davranış bilimleri gibi birçok bilim tarafından kullanılmaktadır. Deneysel yaklaşımlarla araştırılamayan problemlerin incelenmesinde,

rastgele ve rastgele olmayan hataların açıklanmasında karmaşık modelleri kolayca birleştirme ve karşılaştırma yeteneklerine sahip olmasından ötürü yaygın bir araştırma metodudur (Meydan ve Şeşen, 2015).

Metot aynı anda birden fazla regresyon analizi yapılmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda bu çalışmada tedarikçi seçimini etkileyen faktörler YEM ile incelenerek analiz edilmiştir. Araştırma modeli Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Araştırma Modeli

4. Verilerin Özellikleri ve Hipotezler

Tedarikçi kararını etki eden faktörleri belirlemek amacıyla kullanılan ölçek ifadeleri beşli likert tipi (1= Kesinlikle katılmıyorum, 5=Kesinlikle katılıyorum) ile oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılacak faktörleri belirlemek için, tersanelerdeki tedarikçi yöntemini algılamak gerekmektedir. Çalışmanın amacı tersane işletmelerinin hangi durumlarda kararlarının nasıl etkilendiği yönünde olduğu için tedarikçi kararı bağımlı değişken olarak seçilmiştir. Diğer seçilen bütün faktörler, tedarikçi kararını etkilemektedir. Bu faktörlerin aralarındaki ilişkiyi doğrulamak için gerekli sorular sorulması gerekmektedir. Çalışmada kullanılan faktörler ve faktör soruları aşağıda verilmiştir.

Sorumluluk,

S1- Tedarikçi tersane sektörü için gerekli yatırımları yapmaktadır (Dickson, 1966).

S2- Tedarikçi teknoloji ile uyumlu çalışır (Wang ve Zhang, 2012).

S3- Tedarikçi malzeme sattığı firma isteklerine etkili çözüm bulur.

S4- Tedarikçi malzemenin tüm sorumluluğunu üzerine alır (Kelecioğlu ve diğ., 2006).

S5- Tedarikçi malzeme sattığı firma ile iş birliği içerisindedir (Alakurt ve diğ., 2019).

Lojistik,

- L1- Tedarikçi verilen malzemeyi uygun koşullarda taşır.
- L2- Tedarikçi hasarsız bir biçimde malzemeyi ulaştırır (Dickson, 1966).
- L3- Tedarikçinin filosu sektör için yeterlidir.
- L4- Tedarikçinin taşıma kapasitesi sipariş edilen malzemedan fazladır.
- L5- Tedarikçinin filosunun yaşı gençtir.

Teslimat,

- T1- Tedarikçi malzemeyi zamanında teslim eder (Dickson, 1966).
- T2- Tedarikçi malzemeyi hızlı ulaştırır.
- T3- Tedarikçi malzeme teslim aşamalarının bilgilendirmesini yapar.
- T4- Tedarikçinin malzemeyi stoğunda bulundurması teslimat zamanından etkilemektedir.

Kalite,

- K1- Tedarikçi malzeme taşınmasında garanti verir.
- K2- Tedarikçi kusurlu malzeme konusunda hassas davranmaktadır.
- K3- Tedarikçi firmasında kalite yönetim sistemi bulunmaktadır.
- K4- Tedarikçi malzeme teslimatından sonra malzeme hakkında geri bildirim alır.

Tedarikçi kararı,

- TK1- Malzeme teslim olan firma malzeme fiyatını makul bulur.
- TK2- Malzeme teslim olan firma nihai malzemedan oluşur.
- TK3- Alınan malzemenin ömrü kalite standartlarına paraleldir.
- TK4- Malzeme teslim olan firma malzemenin stokta bulunmasını dikkate alır.

Tersane seçimine etki eden faktörlerin incelenmesi konusunda hazırlanmış hipotezler aşağıdaki belirtilen şekilde belirlenmiştir.

- H1: Sorumluluk ile kalite arasında anlamlı bir ilişki vardır.
- H1a: Sorumluluk ile tedarikçi kararı arasında anlamlı bir ilişki vardır.
- H1b: Sorumluluk ile lojistik arasında anlamlı bir ilişki vardır.
- H1c: Sorumluluk ile teslimat arasında anlamlı bir ilişki vardır.
- H2: Kalite ile tedarikçi kararı arasında anlamlı bir ilişki vardır.
- H3: Kalite ile teslimat arasında anlamlı bir ilişki vardır.
- H4: Teslimat ile tedarikçi kararı arasında anlamlı bir ilişki vardır.
- H5: Lojistik ile tedarikçi kararı arasında anlamlı bir ilişki vardır.
- H5a: Lojistik ile teslimat arasında anlamlı bir ilişki vardır.
- H6: Tedarikçi kararı departmana göre farklılık gösterir.
- H7: Tedarikçi kararı yaşa göre farklılık gösterir.
- H8: Tedarikçi kararı cinsiyete göre farklılık gösterir.

Bu araştırmada; tersane işletmelerinin parça tedarik ederken nelere dikkat ettikleri, hangi faktörlerden etkilendikleri ve hangi durumlarda kararlarının nasıl etkilendiği üzerinde incelemeler yapılmıştır. Hipotezlerin doğru olup olmadığı tartışılmıştır.

5. Analizler ve Tartışma

Tedarikçi seçimini etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla yapılan çalışmada örneklem özellikleri cinsiyet, departman ve yaş faktörleri için Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3 aşağıdaki gibidir. Örneklem yaşının yüzde 44.6'sı 35-40 yaş aralığında yoğunlaşırken örnekleme oluşturan çalışanların yüzde 31,7 sinin satın

alma departmanında çalıştığına yoğunlaştığı görülmektedir. Örneklemi oluşturan çalışanların yüzde 67.5'i erkek, yüzde 32.5'i kadın olarak gözlenmiştir.

Tablo 1. Cinsiyet

Cinsiyet	Frekans	Yüzde
Kadın	78	32.5
Erkek	162	67.5
Toplam	240	100

Tablo 2. Departman

Departman	Frekans	Yüzde
Kalite	47	19.6
Satın Alma	76	31.7
Üretim	63	26.3
Lojistik	52	21.7
Diğer	2	0.8
Toplam	240	100

Tablo 3. Yaş

Yaş	Frekans	Yüzde
23-28	9	3.8
29-34	89	37.1
35-40	107	44.6
40-45	27	11.3
45+	8	3.3
Toplam	240	100

Ölçeklerin uyguladığının değerlendirilmesinde iki aşamalı bir süreç kullanılmıştır. İlk aşama olarak çalışmada 5 farklı boyutla incelenen değişkenlerin faktör yükleri teste tabi tutulmuştur. Temel bileşenler yöntemi (Principle Component Analysis) ve varimax rotasyonu kullanılarak kişisel faktör analizi (KFA) uygulanmıştır. Bu analiz için toplam 5 değişkeni ölçmek amacıyla kullanılan 22 soru Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Barlett testi ile faktör analizine uygunluğu değerlendirilmiştir. KMO değeri 0.872 ve 0.5'ten büyük olduğu için verinin KFA uygulamaya yeterli olduğu anlaşılmıştır. Barlett küresellik sonucunda ulaşılan kıkare değeri=3515.639, serbestlik KFA sonucunda toplam varyansın yüzde 72'sini açıklayan 5 faktör ortaya çıkmıştır. 5 faktör için faktör yükleri incelendiğinde 3 tane problemli ölçek maddesi olduğu tespit edilmiştir. Bir soru kendi ölçek grubu dışındaki faktör grubunda yer alması sebebiyle elenirken, bir soru belirlenen değere ulaşamaması, bir soru ise benzer faktör yükleriyle iki gruba yüklenmesi sebebiyle ilerlemeli bir süreç kullanıp birer birer elenmiştir. Eleme sonrası kişisel faktör analizi tekrar yapılmıştır. Toplam 19 soru ile tekrarlanan KFA sonucunda toplam varyansın yüzde 76'sını açıklayan 5 faktör ortaya çıkmıştır. Bu faktörler sırasıyla sorumluluk, lojistik, teslimat, kalite ve tedarikçi kararı olarak isimlendirilmiştir. Faktör yükleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. KFA analiz sonucu

	Bileşenler				
	1	2	3	4	5
S1	0.745				
S2	0.892				
S3	0.862				
S4	0.848				
S5	0.590				
L2			0.790		
L3			0.767		
L4			0.707		
L5			0.802		
T1		0.880			
T2		0.894			
T3		0.838			
T4		0.863			
K1				0.844	
K2				0.835	
K3				0.786	
TK1					0.872
TK3					0.833
TK4					0.872

Faktör yükleri incelendiğinde, en düşük 0.590 faktör yükü ile yüklenmiş bir ölçek mevcut olduğu görülmektedir. Bu sebepten ötürü ölçeklerin yapısal kavram geçerliliğine sahip olduğu söylenebilmektedir. SPSS AMOS 23 paket programı kullanılarak ikinci aşama olarak en yüksek olabilirlik hesap tekniğiyle doğrulayıcı faktör analizi (DFA) yapılmıştır. Ölçüm modelinde KFA analizi yapılmamış gibi öncelikli olarak tüm faktörlerin yer aldığı ilişkisiz model incelenmiş olup sonrasında birincil ve ikincil seviye DFA analizi uygulanmıştır. İlişkisiz model sonuçları Tablo 5'teki gibidir.

Tablo 5. DFA analizi

Ölçüm modeli		Katsayı	Std.Katsayı	Std.Hata	t	P
K3	<--- Kalite	0.792	1			
K2	<--- Kalite	0.956	1.278	0.075	17.057	***
K1	<--- Kalite	0.915	1.163	0.07	16.647	***
L5	<--- Lojistik	0.854	1			
L4	<--- Lojistik	0.728	0.888	0.074	12.052	***
L3	<--- Lojistik	0.701	1.004	0.087	11.501	***
T1	<--- Teslimat	0.844	1			
T2	<--- Teslimat	0.88	1.044	0.062	16.906	***
T3	<--- Teslimat	0.807	0.97	0.065	14.856	***
T4	<--- Teslimat	0.866	0.861	0.052	16.531	***
S1	<--- Sorumluluk	0.713	1			
S2	<--- Sorumluluk	0.903	1.4	0.104	13.46	***
S3	<--- Sorumluluk	0.864	1.42	0.11	12.918	***
S4	<--- Sorumluluk	0.905	1.389	0.103	13.484	***
S5	<--- Sorumluluk	0.557	0.966	0.116	8.329	***
L1	<--- Lojistik	0.663	0.887	0.083	10.734	***
L2	<--- Lojistik	0.743	1.06	0.086	12.356	***
K4	<--- Kalite	-0.035	-0.041	0.079	-0.523	0.601

Tablo 5 incelendiğinde K4 faktörünün p değeri 0.05'ten büyük olduğu için, hesaplamadan çıkarılmış, ilişkisiz model tekrar hesaplanmıştır. Yeni sonuçlar Tablo 6'daki gibidir.

Tablo 6. Yeni DFA analizi

			Katsayı	Std.Katsayı	Std.Hata	t	P
K3	<---	Kalite	0.792	1			
K2	<---	Kalite	0.957	1.279	0.075	17.06	***
K1	<---	Kalite	0.914	1.162	0.07	16.639	***
L5	<---	Lojistik	0.854	1			
L4	<---	Lojistik	0.728	0.888	0.074	12.052	***
L3	<---	Lojistik	0.701	1.004	0.087	11.501	***
T1	<---	Teslimat	0.844	1			
T2	<---	Teslimat	0.88	1.044	0.062	16.906	***
T3	<---	Teslimat	0.807	0.97	0.065	14.856	***
T4	<---	Teslimat	0.866	0.861	0.052	16.531	***
S1	<---	Sorumluluk	0.713	1			
S2	<---	Sorumluluk	0.903	1.4	0.104	13.46	***
S3	<---	Sorumluluk	0.864	1.42	0.11	12.918	***
S4	<---	Sorumluluk	0.905	1.389	0.103	13.484	***
S5	<---	Sorumluluk	0.557	0.966	0.116	8.329	***
L1	<---	Lojistik	0.663	0.887	0.083	10.734	***
L2	<---	Lojistik	0.743	1.06	0.086	12.356	***

Tablo 7'de görüldüğü üzere, Ki-kare istatistiği ve karşılaştırmalı uyum indekslerinden RMSEA kabul edilebilir uyum göstermesine rağmen (CMIN/DF \leq 4-5, RMSEA =0,06-0,08), diğer karşılaştırmalı uyum indeksleri (CFI, IFI ve NFI) beklenen seviyede bulunmamıştır (Bearden ve diğ., 1982). Buna rağmen örneklem sayısının 250'den az olması kaynaklı duyarlılığından ötürü birincil seviye DFA hesaplamasına geçilmiştir.

Tablo 7. Birincil seviye doğrulayıcı faktör analizi

CMIN	DF	CMIN/DF	p	RMSEA	CFI	NFI	IFI
446.635	119	3.753	0.000	0.078	0.881	0.847	0.883

Birincil seviye doğrulayıcı faktör analizi gizil değişkenler arasındaki ilişkiyi modele dahil eden analizdir. Tablo 8'deki sonuçları verilen birincil seviye doğrulayıcı faktör analizi yapıldığında, Tablo 9'daki modele ait uyum değerlerinin (CFI, NFI, IFI) 0,90'nın üzerinde olduğu ve faktör yüklenim değerlerinin anlamlı olduğu görülmektedir.

Tablo 8. Birincil seviye doğrulayıcı analizi

			Katsayı	Std.Katsayı	Std.Hata	t	P
K3	<---	Kalite	0.798	1			
K2	<---	Kalite	0.953	1.264	0.072	17.614	***
K1	<---	Kalite	0.916	1.155	0.068	16.956	***
L5	<---	Lojistik	0.838	1			
L4	<---	Lojistik	0.741	0.921	0.074	12.414	***

			Katsayı	Std.Katsayı	Std.Hata	t	P
L3	<---	Lojistik	0.695	1.016	0.089	11.458	***
T1	<---	Teslimat	0.844	1			
T2	<---	Teslimat	0.88	1.043	0.062	16.93	***
T3	<---	Teslimat	0.806	0.969	0.065	14.846	***
T4	<---	Teslimat	0.866	0.861	0.052	16.548	***
S1	<---	Sorumluluk	0.717	1			
S2	<---	Sorumluluk	0.901	1.389	0.102	13.581	***
S3	<---	Sorumluluk	0.859	1.405	0.108	12.974	***
S4	<---	Sorumluluk	0.908	1.386	0.101	13.678	***
S5	<---	Sorumluluk	0.565	0.975	0.115	8.488	***
L1	<---	Lojistik	0.693	0.945	0.083	11.402	***
L2	<---	Lojistik	0.733	1.066	0.087	12.249	***

Tablo 9. İkincil seviye doğrulayıcı faktör analizi

CMIN	DF	CMIN/DF	p	RMSEA	CFI	NFI	IFI
230.650	113	2.041	0.000	0.048	0.957	0.921	0.958

İkincil seviye doğrulayıcı faktör analizi gözlemlenen değişkenin dahil edilmesiyle oluşturulmuş olup modele ait metin çıktısı Tablo 10'daki gibidir.

Tablo 10. İkincil seviye doğrulayıcı faktör analizi

			Katsayı	Std.Katsayı	Std.Hata	t	P
TK	<---	Kalite	-0.002	-0.002	0.065	-0.028	0.977
TK	<---	Sorumluluk	-0.152	-0.171	0.07	-2.452	0.014
TK	<---	Teslimat	0.492	0.5	0.067	7.475	***
TK	<---	Lojistik	0.166	0.208	0.08	2.598	0.009
K3	<---	Kalite	0.792	1			
K2	<---	Kalite	0.957	1.279	0.075	17.06	***
K1	<---	Kalite	0.914	1.162	0.07	16.639	***
L5	<---	Lojistik	0.853	1			
L4	<---	Lojistik	0.73	0.891	0.074	12.075	***
L3	<---	Lojistik	0.701	1.005	0.087	11.492	***
T1	<---	Teslimat	0.835	1			
T2	<---	Teslimat	0.873	1.045	0.063	16.491	***
T3	<---	Teslimat	0.814	0.988	0.066	14.885	***
T4	<---	Teslimat	0.876	0.879	0.053	16.573	***
S1	<---	Sorumluluk	0.716	1			
S2	<---	Sorumluluk	0.904	1.397	0.103	13.554	***
S3	<---	Sorumluluk	0.863	1.413	0.109	12.963	***
S4	<---	Sorumluluk	0.903	1.382	0.102	13.538	***

(Tablo 10'un devamıdır.)

			<i>Katsayı</i>	<i>Std.Katsayı</i>	<i>Std.Hata</i>	<i>t</i>	<i>P</i>
S5	<---	Sorumluluk	0.558	0.964	0.115	8.357	***
L1	<---	Lojistik	0.666	0.893	0.083	10.795	***
L2	<---	Lojistik	0.741	1.059	0.086	12.319	***
TK4	<---	Tedarikçi Kararı	0.927	1			
TK3	<---	Tedarikçi Kararı	0.732	0.865	0.065	13.325	***
TK2	<---	Tedarikçi Kararı	0.217	0.307	0.094	3.252	0.001
TK1	<---	Tedarikçi Kararı	0.846	0.896	0.055	16.224	***

İçsel değişken olarak belirlenen tedarikçi kararı üzerindeki artık hata varyansı değişken varyansının yüzde 10'nuna sabitlenmiştir. Tablo 11'de gösterilen modeldeki ki kare istatistiği iyi uyum ve karşılaştırmalı uyum indekslerinden RMSEA kabul edilebilir uyum göstermesine rağmen (CMIN/DF <= 4-5. RMSEA =0.06-0.08). diğer karşılaştırmalı uyum indeksleri (CFI. IFI ve NFI) beklenen seviyede bulunmamıştır.

Tablo 11. Model Tablosu

CMIN	DF	CMIN/DF	p	RMSEA	CFI	NFI	IFI
544.113	185	2.941	0.000	0.065	0.889	0.843	0.889

Modelin uyum değerleri istenilen düzeyde olmadığı için. KFA analizinde kullanılmayan faktörler çıkartılarak iyileştirme yapılmıştır. Tekrarlanan ikincil seviye faktör analizi sonuçları Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12. Tekrarlanan ikincil seviye faktör analizi

CMIN	DF	CMIN/DF	p	RMSEA	CFI	NFI	IFI
443.24	148	2.995	0.000	0.066	0.903	0.863	0.904

Model incelendiğinde hem birincil seviye hem de ikincil seviye analiz değerleri CFI ve NFI değerlerinden bağımsız kabul edilebilir düzeyde çıkmıştır (Ullman, 2001).

Keşifsel ve doğrulayıcı faktör analizleri sonrasında belirlenen beş faktör maddesinin güvenilirlikleri test edilmiştir. Güvenilirlik analiz sonuçları Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 13. Güvenilirlik test sonucu

Ölçekler	Cronbach's Alpha	Madde sayısı
Sorumluluk	0.886	5
Lojistik	0.837	4
Teslimat	0.909	4
Kalite	0.917	3
Tedarikçi kararı	0.868	3

Tablo 13 ile belirtilen güvenilirlik analizi sonuçlarına göre tüm ölçekler Nunanally (1978) tarafından belirtilen 0,70 referans noktasının üzerinde gelmiştir. Bu sonuçlar neticesinde ölçekler içsel tutarlılığa sahiptir.

Tanımlayıcı istatistiklerin hesaplanabilmesi için hipotezlerde kullanılan tüm veriler kullanılmıştır. Değerler Tablo 14'teki gibidir. Tabachnick ve Fidell (2013)'in değerlendirdiği, çarpıklık ve basıklık değerleri -1.5/+1.5 değerleri arasında olduğu için verinin normal dağıldığını söyleyebiliriz.

Tablo 14. Tanımlayıcı istatistik verileri

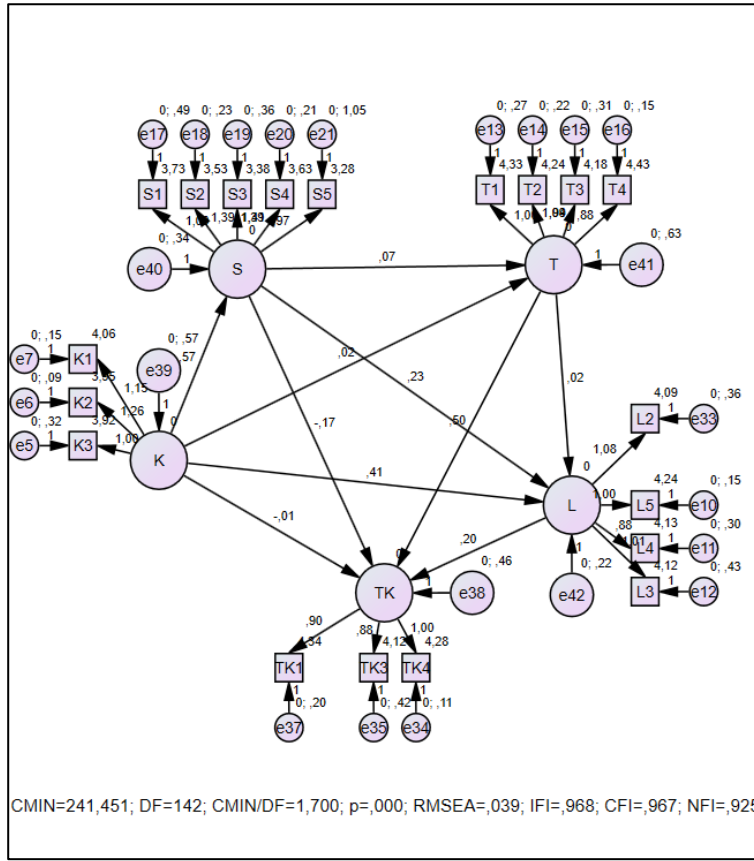
	<i>En küçük</i>	<i>En yüksek</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Standart Sapma</i>	<i>Çarpıklık</i>	<i>Basıklık</i>
Sorumluluk	1	5	3.5092	0.93839	-0.453	-0.171
Lojistik	1.25	5	4.1427	0.69419	-0.887	1.109
Teslimat	1.25	5	4.2948	0.81617	-1.151	0.691
Kalite	1	5	3.9736	0.89617	-0.875	0.487
Tedarikçi kararı	1	5	4.2472	0.78987	-1.074	0.984

Normal dağılıma sahip değişkenler arasında ilişki olup olmadığının incelenbilmesi adına Pearson korelasyon testinden yararlanılmıştır. Teste ait sonuçlar Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. Korelasyon test sonucu

	Sorumluluk	Lojistik	Teslimat	Kalite	Tedarikçi kararı
Sorumluluk	1				
Lojistik	0.501**	1			
Teslimat	0.050	0.046	1		
Kalite	0.569**	0.587**	0.059	1	
Tedarikçi kararı	-0.051	0.080	0.441**	0.037	1

Tablo 15 incelendiğinde, lojistik ve sorumluluk arasında $p=0.01$ anlamlılık düzeyinde pozitif yönde ılımlı ilişki vardır. Aynı şekilde kalite ile sorumluluk ve tedarikçi kararı ile teslimat arasında pozitif yönde ılımlı bir ilişki vardır. Teslimat ile sorumluluk, teslimat ile lojistik ve kalite ile teslimat faktörleri arasında ise pozitif yönde zayıf bir ilişki bulunmaktadır. Tablo 16'da verilen ve ikincil seviye doğrulayıcı faktör analizi yapılan değişkenler için modelin doğrulanıp doğrulanmadığını test etmek amacıyla yol analizi yapılmıştır. Yol diyagramı Şekil 2'deki gibidir.



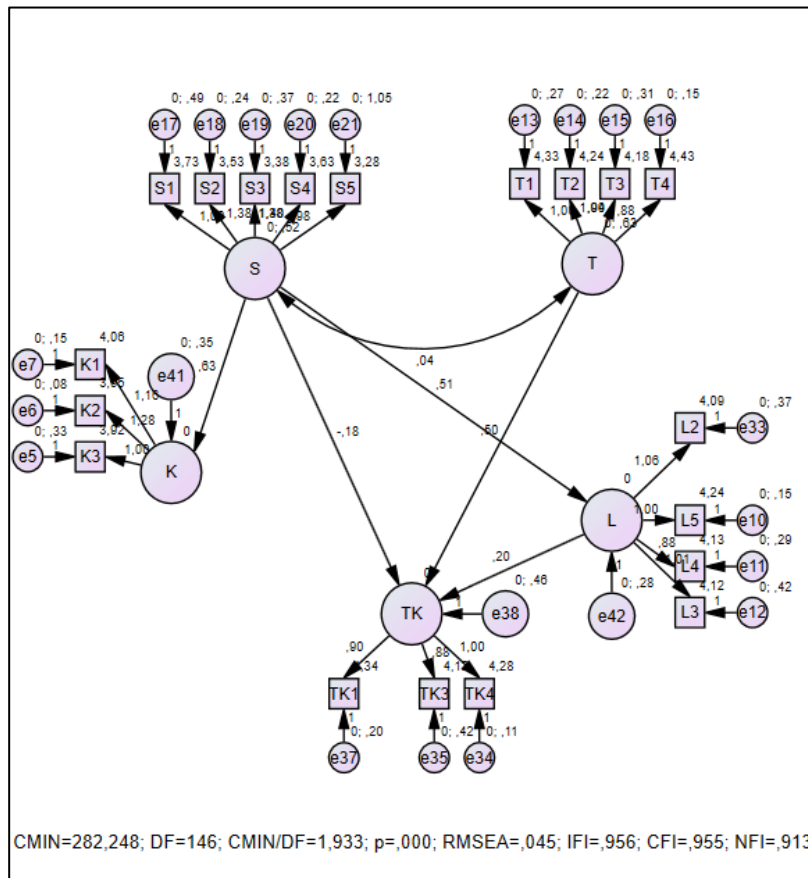
Şekil 2. Yol analizi değerlendirilmesi

Tablo 16. Yol analizi test sonucu

			Katsayı	Std.Katsayı	Std.Hata	t	P
Sorumluluk	<---	Kalite	0.594	0.567	0.071	8.009	***
Teslimat	<---	Kalite	0.021	0.022	0.094	0.232	0.817
Teslimat	<---	Sorumluluk	0.059	0.065	0.099	0.658	0.51
Lojistik	<---	Kalite	0.489	0.415	0.067	6.218	***
Lojistik	<---	Teslimat	0.022	0.017	0.047	0.372	0.71
Lojistik	<---	Sorumluluk	0.257	0.228	0.068	3.38	***
Tedarikçi Kararı	<---	Teslimat	0.503	0.502	0.067	7.479	***
Tedarikçi Kararı	<---	Lojistik	0.159	0.197	0.117	1.681	0.093
Tedarikçi Kararı	<---	Sorumluluk	-0.158	-0.174	0.093	-1.871	0.061
Tedarikçi Kararı	<---	Kalite	-0.006	-0.006	0.098	-0.065	0.949
K3	<---	Kalite	0.798	1			
K2	<---	Kalite	0.952	1.263	0.072	17.633	***
K1	<---	Kalite	0.916	1.154	0.068	16.974	***
L5	<---	Lojistik	0.852	1			
L4	<---	Lojistik	0.719	0.88	0.074	11.851	***
L3	<---	Lojistik	0.704	1.011	0.088	11.544	***

(Tablo 16'nın devamıdır.)			Katsayı	Std.Katsayı	Std.Hata	t	P
T1	<---	Teslimat	0.835	1			
T2	<---	Teslimat	0.873	1.045	0.063	16.504	***
T3	<---	Teslimat	0.813	0.987	0.066	14.872	***
T4	<---	Teslimat	0.876	0.879	0.053	16.593	***
S1	<---	Sorumluluk	0.717	1			
S2	<---	Sorumluluk	0.901	1.389	0.102	13.58	***
S3	<---	Sorumluluk	0.86	1.406	0.108	12.986	***
S4	<---	Sorumluluk	0.907	1.385	0.101	13.668	***
S5	<---	Sorumluluk	0.565	0.975	0.115	8.487	***
L2	<---	Lojistik	0.753	1.078	0.086	12.543	***
TK4	<---	Tedarikçi Kararı	0.92	1			
TK3	<---	Tedarikçi Kararı	0.733	0.876	0.067	13.169	***
TK1	<---	Tedarikçi Kararı	0.845	0.902	0.057	15.758	***

Tablo 16'daki değerler incelendiğinde P=0.05 anlamlılık düzeyinde bazı değişkenlerin yordama gücünün istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Bu aşamada anlamlı olmayan yollar modelden çıkartılarak yeniden bir analiz yapılmıştır. Sırasıyla S-T, T-K, T-L, TK-K yolları çıkarılmış olup, bu değişiklik ve analizlerin sonucunda model Şekil 3'teki haline gelmiştir.



Şekil 3. Yol analizi son şekli

Tablo 17 'de modelin son halinin uyum değerleri incelendiğinde, ki-kare istatistiği (CMIN/DF <=3, p<0.01) ve uyum değerlerinden RMSEA<=0.05, IFI>=0.95 olmasından ötürü iyi uyumlu CFI>=0.95 ve NFI<0.95 kabul edilebilir uyumda çıkmıştır.

Tablo 17. Son model uyum değerleri

CMIN	DF	CMIN/DF	p	RMSEA	CFI	NFI	IFI
282,248	146	1,933	0,000	0,045	0,955	0,913	0,956

Tablo 17 için değişkenlerin tahminlerine ait Amos metin çıktı değerleri ise Tablo 18'teki gibidir.

Tablo 18. Değişken tahmin amos metin çıktı değerleri

			Katsayı	Std.Katsayı	Std.Hata	t	P
Lojistik	<---	Sorumluluk	0.571	0.508	0.066	7.656	***
Tedarikçi kararı	<---	Sorumluluk	-0.165	-0.181	0.089	-2.044	0.041
Tedarikçi kararı	<---	Teslimat	0.505	0.503	0.067	7.498	***
Tedarikçi kararı	<---	Lojistik	0.164	0.202	0.103	1.972	0.049
Kalite	<---	Sorumluluk	0.61	0.634	0.078	8.167	***
K3	<---	Kalite	0.794	1			
K2	<---	Kalite	0.958	1.278	0.073	17.425	***
K1	<---	Kalite	0.912	1.156	0.069	16.718	***
L5	<---	Lojistik	0.855	1			
L4	<---	Lojistik	0.722	0.88	0.075	11.772	***
L3	<---	Lojistik	0.705	1.009	0.088	11.434	***
T1	<---	Teslimat	0.835	1			
T2	<---	Teslimat	0.873	1.045	0.063	16.508	***
T3	<---	Teslimat	0.814	0.987	0.066	14.876	***
T4	<---	Teslimat	0.876	0.879	0.053	16.589	***
S1	<---	Sorumluluk	0.718	1			
S2	<---	Sorumluluk	0.898	1.383	0.102	13.6	***
S3	<---	Sorumluluk	0.856	1.398	0.108	12.976	***
S4	<---	Sorumluluk	0.906	1.381	0.101	13.707	***
S5	<---	Sorumluluk	0.568	0.978	0.114	8.545	***
L2	<---	Lojistik	0.745	1.063	0.087	12.216	***
TK4	<---	Tedarikçi kararı	0.92	1			
TK3	<---	Tedarikçi kararı	0.733	0.876	0.067	13.14	***
TK1	<---	Tedarikçi kararı	0.845	0.903	0.057	15.721	***

Model son halini aldıktan sonra, analizde dolaylı, doğrudan ve toplam etkiler incelenmiştir. Bu değerlere ait sonuçlar Tablo 19, Tablo 20 ve Tablo 21 'deki gibidir.

Tablo 19. Toplam etkilere ait standardize edilmiş değerler

Toplam Etki	T	S	L	TK	K
L	0	0.571	0	0	0
TK	0.505	-0.071	0.164	0	0
K	0	0.61	0	0	0

Toplam etkilere ait standardize edilmiş değerler incelendiğinde sorumluluğun lojistiği toplam yordama gücünün 0.57 puan. kaliteyi yordama gücünün ise 0.61 puan olduğu görülmektedir. Tedarikçi kararı faktörünü yordama güçlerinin ise teslimat için 0.505 puan sorumluluk için negatif yönde 0.071 puan lojistik için 0.164 puan olduğu görülmektedir.

Tablo 20. Doğrudan etkilere ait standardize edilmiş değerler

Doğrudan	T	S	L	TK	K
L	0	0.571	0	0	0
TK	0.505	-0.165	0.164	0	0
K	0	0.61	0	0	0

Doğrudan etkilere ait standardize değerler incelendiğinde. sorumluluğun lojistiği direkt yordama gücünün 0.571 puan kaliteyi yordama gücünün ise 0.61 olduğu görülmektedir. Tek fark sorumluluğun tedarikçi kararını yordama gücünün negatif yönde 0.165 puan olmasıdır.

Tablo 21. Dolaylı etkilere ait standardize edilmiş değerler

Dolaylı	T	S	L	TK	K
L	0	0	0	0	0
TK	0	0.094	0	0	0
K	0	0	0	0	0

Dolaylı etkilere ait standardize edilmiş değerler incelendiğinde, sorumluluğun tedarikçi kararını dolaylı yordama gücünün 0.094 puan olduğu görülmektedir. Bu durum tedarikçi kararı üzerinde sorumluluğun hem doğrudan hem de lojistik aracılığı ile dolaylı etkisi olduğunu yani sorumluluğun tedarikçi üzerindeki etkisinde lojistiğin aracılık etkisini göstermektedir.

Sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde faktörlere ait hipotez testi sonuçları Tablo 22'de verilip yorumlanmıştır.

Tablo 22. Faktörlere ait hipotez testi sonuçları

			Katsayı	Std.Katsayı	Std.Hata	t	P	Sonuç
Lojistik	<---	Sorumluluk	0.571	0.508	0.066	7.656	***	Kabul
TK	<---	Sorumluluk	-0.165	-0.181	0.089	-2.044	0.041	Kabul
TK	<---	Teslimat	0.505	0.503	0.067	7.498	***	Kabul
TK	<---	Lojistik	0.164	0.202	0.103	1.972	0.049	Kabul
Kalite	<---	Sorumluluk	0.61	0.634	0.078	8.167	***	Kabul

Tablo 23'teki analiz sonuçları standart katsayılarına göre teslimat ve sorumluluğun tedarikçi kararı üzerinde güçlü olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda H1a ve H4 hipotezleri desteklenmektedir. Farklı departmanlarda çalışanların, tedarikçi seçimini etkileyen faktörlerini karşılaştırmak amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Levene'nin varyans homojenliği testinde Tablo 23'te $p > 0.05$ olduğu için homojenliğin sağlandığı görülmüştür. Tablo 24'te anlamlılık sütunundaki değer departman ve tedarikçi seçimi arasında $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç çıkarmamıştır. Bu bağlamda departman ve tedarikçi seçimi arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı için H6 hipotezi reddedilmiştir.

Tablo 23. Çalışanların Levene'in homejenlik testi

Tedarikçi kararı			
Levene İstatistik	df1	df2	Sig.
1.962	4	235	0.101

Tablo 24. Çalışanların faktörlere ait hipotez testi sonuçları

Tedarikçi kararı				
Karelerin toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.
3.404	4	0.851	1.373	0.244

Farklı departmanlarda çalışanların yaşlarının, tedarikçi kararları arasında farklılık olup olmadığının incelenmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Levene'nin varyans homojenliği testinde Tablo 25'te $p > 0.05$ olduğu için homojenliğin sağlandığı görülmüştür. Tablo 26'da anlamlılık sütunundaki değer yaş ve tedarikçi seçimi arasında $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç çıkarmamıştır. Bu bağlamda yaş ve tedarikçi seçimi arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı için H7 hipotezi reddedilmiştir.

Tablo 25. Çalışanların yaşlarının faktörlere ait hipotez testi sonuçları

Tedarikçi kararı			
Levene İstatistik	df1	df2	Sig.
1.564	4	235	0.185

Tablo 26. Çalışanların yaşlarının faktörlere ait hipotez testi sonuçları

Tedarikçi kararı				
Karelerin toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.
2.695	4	0.674	1.081	0.366

Tedarikçi kararının cinsiyete göre bir farklılık gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla T-testi kullanılmış ve sonuçlar Tablo 27’de verilmiştir. Tablo 27’de görüldüğü üzere $p > 0.05$ için Levene gruplar arası varyans homojenliğinin sağlandığı görülmektedir. Test sonucunda tedarikçi kararının kadın ve erkek çalışanlar için farklılaşmadığı görülmüş ($t=0.689$ $df=142.989$ $p=0.492$), sonuçlara göre H8 hipotezi reddedilmiştir.

Tablo 27. Tedarikçi kararının cinsiyete göre etkisi

TK	Levene's Varyans Homojenliği		t-test Ortalamalar Eşitliği						
	F	Sig.	t	df	Sig.	Ortalama Fark	Std. Hata Farkı	95% Farkın Güven Aralığı	
								Alt	Üst
	0.008	0.930	0.706	238	0.481	0.07692	0.10897	-0.13775	0.29159
			0.689	14.989	0.492	0.07692	0.11168	-0.14383	0.29767

Tedarikçi seçimini etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla yapılan çalışmada on iki adet belirtilmiş olan hipotez testi sonuçları Tablo 28 ‘de verilmiştir. Bu tabloya göre, belirlenmiş olan H1, H1a, H1b, H4 ve H5 hipotezleri kabul edilirken; H1c, H2, H3, H5a, H6, H7 ve H8 hipotezleri reddedilmiştir.

Tablo 28. Hipotez testi sonucu

Hipotez	β	p	Sonuç
H1	0.61	<0.001	Kabul
H1a	-0.165	0.041	Kabul
H1b	0.571	<0.001	Kabul
H1c	0.059	0.51	Red
H2	-0.06	0.949	Red
H3	0.021	0.817	Red
H4	0.505	<0.001	Kabul
H5	0.164	0.049	Kabul
H5a	0.022	0.71	Red
H6	-	0.244	Red
H7	-	0.366	Red
H8	-	0.492	Red

6. Değerlendirme ve Öneriler

Yenilenen ve gelişen dünyamızda gün geçtikçe artan rekabet birçok sektör ve firmaya alternatif yeni yollar ve yeni çözümler araması konusunda yön vermektedir. Özellikle firmaların bir tedarikçi ile çalışmaları maliyetlerinin azaltılması, ürün kalitesinin arttırılması ve iş ilişkilerinin sağlam temellere ulaşabilmesi konularında stratejiler üretir. Zamanında ve hızlı teslimatlar başarılı yönetim konusunda etkili olmaktadır. Bu doğrultuda sektör fark etmeksizin her işletme gereken çalışmaları yapmalıdır.

Denizcilik sektöründe yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle mühendislik ve fen bilimlerine yönelik araştırmaların olduğu; sosyal bilimler, davranış bilimleri ve istatistik gibi yardımcı alanlar kullanılarak literatürde yapılan çalışmaların az olduğu görülmüştür. Ülkelerin gelişim gösterebilmesi için dış ticaret faaliyetlerini geliştirmeleri son derece önemlidir. Bu ticaret faaliyetlerinin gelişimi iyi bir lojistik ağı ve bu lojistik ağı sonucu oluşturulacak iyi bir taşımacılık sektörü ile gerçekleşmektedir. Deniz taşımacılığı özellikle kıtalar arasında ürün hizmetlerin nakliyesi bakımından ülkemizde ilk sırada yer almaktadır. Bu sebeplerden ötürü bu çalışma Türkiye’de yer alan tersanelerin tedarikçi seçimine etki eden faktörlerini yapısal eşitlik modellemesi kullanılarak incelemek ve bu faktörlere detaylı bir biçimde yer vermek amaçlarıyla yapılmıştır.

Literatür incelendiğinde tedarikçi seçimi konusunda birçok çalışma yapıldığı söylenebilmektedir. Bu çalışmalar arasında ilk sayılabilecek Dickson (1966) tarafından yapılan ve 23 tane temel kriterin belirlendiği inceleme önemlidir. Kalite ve teslimat faktörlerinin önemine vurgu yapılmıştır. Genel olarak tedarikçilerin değerlendirilmesinde iki yaklaşım mevcuttur. İlk yaklaşım süreç temelli değerlendirme iken ikincisi ise performans temelli değerlendirme olarak gruplanabilmektedir. Performans bazlı değerlendirmede teslimatın zamanında yapılması, maliyet, ürün kalitesi gibi özellikler sıralanırken süreç bazlı değerlendirmede üretim ve hizmet süreçleri kriterleri incelenebilmektedir (Çetin ve Önder, 2015). Sektörler incelendiğinde ortak kriterlerin olduğu görülmüştür. Bu kriterler genel olarak fiyat, teslimat, kalite ve lojistik parametreleriyle gruplanabilmektedir (Uluskan ve Akın, 2022). Yapılan incelemeler sonucu bu çalışmada sorumluluk, lojistik, kalite, teslimat ve tedarikçi kararı faktörlerine yer verilmiştir.

Tedarikçi ile firmalar arasında birçok parametre, istek ve beklentilerin açıkça birbiri ile uyuşması sonucu oluşmaktadır. Firmalar arasında uzun dönemli anlaşma yapılmalı ve birbirleri arasında gerekli dayanışma sorumluluk ile gösterilmelidir. Özalp (2016)’ın yaptığı çalışmada lojistik firmasının tedarikçi ve müşteri firması ile kurduğu iletişim ve koordinasyonun sonucunda planlanan hammadde bekleme ve stoklardaki gecikme zamanının azaltılmasında pozitif bir etki gözlenmiştir. Tüketicilerin hızlı ve devamlı bir şekilde çeşitlenen malzemelere yetişmesi üretim sürecini hız ve kalite açısından kontrol altında tutması gerekmektedir. Süreçlerin yönetilmesi, iş etiği ilişkisi ve etik örgüt kültürü ile düzene getirilecektir. Firmaların kazanç odaklı olmanın ötesinde zarara uğradıkları diğer konulara çözüm üretmesi, sosyal ve çevresel kaygılara cevap verebilmesi gerekmektedir. Şüphesiz firmaların tedarik zincirinde kalite, fiyat ve teslimat gibi kriterleri etiksel konularında ele alınması gerekmektedir. Bu çalışmada uygulanan model sonucunda da sorumluluk beklenildiği gibi tedarikçi seçimi tutumu ile ilişkili çıkmış, sorumluluğun ayrıca tedarikçi kararı üzerinde doğrudan ve lojistik aracılığı ile dolaylı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Nevşehirli (2007) ’ye göre tedarikçi, alanında uzmanlaşmış olmalı ve bunun için gerekli standartlara uygun bir firma olması gerekmektedir. Fakat yapılan çalışma sonucunda firmanın kalitesinden daha çok firmanın verdiği hizmet ve teslimatın kaliteden daha önemli olduğu gözlenmiştir ve belirlenen parametrelerin tek başına anlam ifade etmediği birçok parametre ile konunun değerlendirilmesi gerektirdiğini ortaya koymuştur. Nitekim tedarikçi seçimi kriterlerine yönelik kalite parametresi bu

araştırmada da incelenmiş olup anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. Ayrıca, gemicilik kuralları gereği parçanın satın alımı gerekli klas kuruluşlarına uygun olması gerektiği için malzemenin belirli kalite de ve sertifikasyona sahip olması gereklidir. Bu sebeple sorulan soruda kalite göz ardı edilmiş olabileceği için kesin bir yanıt verilememektedir. Teslimat ve lojistik faktörleri ise literatürde de belirtildiği şekilde literatüre benzer tedarikçi seçim kararına etki ettiği tespit edilmiştir.

Araştırma bulguları ayrıca demografik özellikler ile etkilenip etkilenmediği konusunda değerlendirilmiştir. Fakat yaş, departman ve cinsiyet ile tedarikçi seçimi tutumuna yönelik bir farklılık tespit edilememiştir. Bunun sebebi belirlenen faktörlerin kişiye, yaşa ve statüye göre değişmemesi sebebinden kaynaklanabilir.

Tedarikçi seçiminde kullanılan kriterler tedarikçi seçiminin ulusal veya uluslararası olmasına, bulunduğu ülkeye, bulunduğu sektöre, mali kaynaklarına, firmaların vizyon ve misyonuna göre değişebilmektedir. Gelecek araştırmalarda birden fazla sektör kullanılarak yurtiçi ve yurtdişi lokasyonu dikkate alınarak daha geniş bir örneklem ile ilgili faktörlerin tekrar incelenmesinin faydalı olacağı düşünölmektedir.

7. Sonuç ve Araştırma Kısıtları

Bu alışma tedarikçi seçimi tutumuna yönelik sorumluluk, lojistik, teslimat ve kalite konularındaki etkileri ile cinsiyet yaş departman gibi faktörlerin tedarikçi kararı ile bir ilişki içerisinde olup olmadığını belirlemeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda tedarikçi seçimine etki eden durumların sorumluluk, teslimat ve lojistik faktörlerinin olduğu, kalite parametresini seçim kararına etki etmediği tespit edilmiştir. Faktörler arası uyuma bakıldığında sorumluluk ile kalite arasında, sorumluluk ile lojistik arasında bir ilişki olduğu görölmüştür. Sorumluluk ile teslimat arasında, kalite ile lojistik arasında, kalite ile teslimat arasında ve lojistik ile teslimat arasında ise bir ilişki tespit edilememiştir. Sorumluluğun tedarikçi kararı üzerinde hem doğrudan hem de lojistik aracılığı ile dolaylı etkisi olduğu görölmüştür. Ayrıca standart katsayılarına göre teslimat ve sorumluluğun tedarikçi kararı üzerinde güçlü olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Tedarikçi seçimine etki eden faktörlerde cinsiyet, yaş ve departman gibi demografik özellikler arasında farklılık ve ilişki görölmemiştir.

Araştırma sonuçları ele alınırken çalışmadaki birtakım kısıtlar dikkate alınmalıdır. Öncelikle bu araştırma yalnızca Türkiye’de tersanede çalışan kişilerin tedarikçi seçimine yönelik tutumlarını incelemektedir. Araştırmaya katılan kişi sayısı az ve yaş ile cinsiyet gibi demografik özellikler belli bir referans aralığı içerisinde yer almıştır. İnceleme sonuçlarının genelleştirilebilmesi adına bundan sonraki yapılacak olan çalışmalarda araştırmanın büyük örneklemle ilgili farklı coğrafyalarda gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

Afşaroğulları . & Korkut Altuna, O. (2019). Etik Örgüt Kültürünün Etik Tedarikçi Seçimine Etkileri Üzerine Bir Araştırma, İzmir İktisat Dergisi, 34(2), 171-189.

Alakurt, T., Öztürk, H. T., Karademir, T., & Yılmaz, B. (2019). Mesleki Gelişim Bağlamında Bilişim Teknolojileri Öğretmenlerinin Öğrenme Durumlarının İncelenmesi. Eğitim Teknolojisi Kuram Ve Uygulama, 9(1), 127-153.

Bearden, W. O., Sharma, S., & Teel, J. E. (1982). Sample Size Effects on Chi Square and Other Statistics

Used in Evaluating Causal Models. *Journal of Marketing Research*, 19(4), 425–430.

Çetin, O. Önder, E. (2015). Using Analytic Network Process Method For Supplier Selection, *The Journal of KAU IIBF*, 6(10), 335-354.

Danacı, B., Helvacıoğlu, Ş., & Korkut, E. (2019). Tersanelerde Tedarik Zinciri Yönetimi. *GİDB Dergi* (14), 29-40.

Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions, *J. Purch.*, vol. 2, no. 1, pp. 5–17.

Durmaz, A. & Önaçan, M. B. K. (2018). Tersanelerin Tedarikçileri İle İlişkilerinde Lojistik Performansın İlişki Memnuniyetine Etkisi, *Beykoz Akademi Dergisi*, 6(2), 1-19.

Eker, Ö. (2006). Lojistik Yönetimi ve Tedarik Lojistiği Sürecinde Performansın Arttırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.

Erkan, B. (2014). Türkiye’de Lojistik Sektörü ve Rekabet Gücü. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 1(1), 44-65.

Garip, Ç., Pirtini, S. & Kaplan, B. (2021). Rekabet Avantajı Açısından Tedarik Zinciri Dayanıklılığı, Tedarik Zinciri Bütünleşmesi ve Yeşil Pazarlama Yönelimi İlişkileri Üzerine Bir Araştırma, *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (43), 139-162.

Kaya, Ö. (2013). Türkiye’deki Tekstil–Konfeksiyon İşletmelerinin (Kobi’lerinin) Tedarik, Üretim Ve Lojistik Faaliyetlerinin Ulusal Rekabet Üzerindeki Etkileri, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Giyim Endüstri Ve Moda Tasarımı ABD, Doktora Tezi.

Kelecioğlu, H., Bilge, F., & Akman, Y. (2006). Öğretim Elemanları İş Doyumu Ölçeğinin Geliştirilmesi, *Türk Psikolojik Danışma ve Rehberlik Dergisi*, vol. 3, no. 26, pp. 115–128.

Meydan, C., & Şeşen, H. (2015). Yapısal Eşitlik Modellemesi AMOS Uygulamaları, Detay Yayıncılık, İstanbul.

Nevşehirli, E. (2007). Tedarik Zinciri Yönetiminde Tedarikçi Değerlendirmesi ve Ayakkabı Sektöründe Bir Uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.

Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric Theory* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.

Özalp, Ö. (2016). Tedarik Zinciri Performansının Ölçümü: Ekonomik Katma Değer Yönteminin Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizcilik İşletmeleri Yönetimi ABD, Yüksek Lisans Tezi.

Özesenli, Ö. (2011). Tedarik Zinciri Yönetiminde Optimal Depo Yeri Seçimi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, Doktora Tezi.

Sayan, Z. (2018). Lojistik, Pazarlama ve Üretim Arasındaki İçsel Entegrasyonun, Tedarik Zincirinin Süre Odaklı Performansına Etkisi Algısının Ölçülmesi: Güven ve Bilgi Teknolojilerinin Aracı Değişken Rolü, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme ABD, Doktora Tezi.

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). *Using Multivariate Statistics* (6th ed.). Boston, MA: Pearson

Tanrıverdi, Y. (2010). Tedarik Zinciri ve Stok Yönetimi Üzerine Bir Uygulama, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Derg., p. 119, 2010.

Tufan, C., & Yasar Ugurlu, O. (2022). İş birliklerinde güven, bağlılık, bilgi edinimi ve yayılımının iş birliği memnuniyetine etkisi: Türkiye yat imalat sektöründe bir araştırma. Journal of Economy Culture and Society, 65, 351-374.

Ullman, J. B. (2001). Structural equation modeling. In: B. G. Tabachnick, & L. S. Fidell (Eds.), Using multivariate statistics. Boston, MA: Pearson Education.

Uluskan, M., & Akin, Ş. (2022). Tedarikçi Seçiminin Nihai Ürün Kalitesi Üzerinde Etkilerinin Yapısal Eşitlik Modeli ile Analizi. Endüstri Mühendisliği, 33(3), 452-468.

URL-1 <Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı Genel Müdürlüğü,
<https://ticaret.gov.tr/hizmet-ticareti/dis-ticaret-lojistigi>> [Online] [Erişim 21.07.2023]

URL-2 <Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Hizmet Üretenleri Derneği,
<https://www.utikad.org.tr/images/HizmetRapor/utikadlojistiksektoruraporu2022-857.pdf>> [Online] [Erişim 21.12.2022]

URL-3 <Ulaştırma ve Alt Yapı Bakanlığı,
<https://tkygmistatistikleri.uab.gov.tr/tersane-sayisi-2023>> [Online] [Erişim 21.01.2023]

Wang, C., and Zhang, P. (2012). The evolution of social commerce: The people, management, technology, and information dimensions, Commun. Assoc. Inf. Syst., vol. 31, no. 1, pp. 105–127.

Yalçın, Y. (2010). Tedarikçi kalite sistemi değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşik Proses Uygulaması, Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Yönetimi ABD, Yüksek Lisans Tezi.

Yurt, Ö. (2007). The Impact of Services Supply Chain Orientation on Perceived Industrial Service Quality: An Empirical Analysis, The Graduate School Of Social Sciences Izmir University of Economics, Business Administration Major, Doctoral Thesis.

Salınlı Su Kolonu (OWC) için Güç Çıkışı ve Verimin Deneysel Olarak Doğrulanması

Şafak Nur Ertürk Bozkurtoğlu

Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi ve Deniz Teknolojisi
Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye

erturk@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8494-1988

ÖZET

Küresel enerji talebinin artması ve fosil yakıtların çevresel etkilerine ilişkin endişeler nedeniyle daha temiz, sürdürülebilir alternatiflere acil ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, yenilenebilir enerji bağlamında dalga enerjisinin kıyı yapılarının güç ihtiyaçlarına potansiyel katkısını vurgulamaktadır. Araştırma, kıyı yapılarına entegre edilebilecek, böylece bu yapıların güç ihtiyacının bir kısmını karşılayabilecek bir Salınlı Su Kolonu (OWC) sistemi için güç çıkışı ve verimliliği değerlendirmektedir. Hem teorik hesaplamalardan hem de 1:10 ölçekli bir model deneyinden elde edilen bulgular sunulmuştur. Tam bir prototip için sistemin çıkış gücü ve verimliliği, 3 m dalga yüksekliğine sahip derin su koşulları için hesaplanmıştır. Hazne içindeki su yüzeyi salınımının hazne dışında meydana gelen salınımı yansıttığı varsayılmıştır. Tam ölçekli prototip için 22.5 m dalga boyuna karşılık gelen maksimum ortalama mekanik güç çıkışı 64.8 kW olarak belirlenmiş ve %64.4'lük bir mekanik verim elde edilmiştir. Sistemin genel verimliliği, jeneratör verimliliğinin %85 olduğu varsayılarak %55 olarak hesaplanmış ve bu da yaklaşık 55 kW'lık bir ortalama güç çıktısı sağlamıştır. Wells türbinli OWC sisteminin 1:10 ölçekli bir modeli oluşturulmuş ve derin su koşulları için bir tankta test edilmiştir. Froude benzerliği ve Keulegan-Carpenter benzerliği kullanılarak modelden prototipe sorunsuz bir geçiş sağlanmıştır. OWC modeli, $T = 1.2$ s periyotla kontrollü dalıp-çıkma hareketine tabi tutulmuştur. OWC modeli tarafından üretilen güç, Wells türbini üzerindeki entegre dört adet 3.4 V LED'i aydınlatmış ve bu da üretilen güç çıkışını ölçmek için kullanılmıştır. Modelin güç çıkışı 107 rpm dönüş hızı için minimum 0.12 W olarak ölçülmüştür ve bu da ölçeklendirilmiş prototip için 12 kW'lık bir güç çıkışına karşılık gelmektedir. Bu sistem, dalga etkisine maruz kalan kıyı yapılarına birden fazla OWC'nin dahil edilmesiyle daha fazla geliştirilme potansiyeline sahiptir. Bu tür bir gelişme, kıyı yapılarının güç gereksinimlerinin karşılanmasını kolaylaştırabilir ve böylece hem yenilenebilir enerji üretiminin hem de sürdürülebilir bir çevrenin teşvik edilmesine katkıda bulunabilir. Gelecekteki araştırmalar, belirli sahalar için OWC hazne boyutlarını optimize etme ve su yüzeyi salınım dinamiklerini daha iyi yakalayacak şekilde modeli iyileştirmeye odaklanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, dalga enerjisi, salınlı su sütunu, sürdürülebilirlik

Makale geçmişi: Geliş 14/12/2023– Kabul 19/05/2024

<https://10.54926/gdt.1405048>

Experimental Validation of Power Output and Efficiency for an Oscillating Water Column (OWC)

Şafak Nur Ertürk Bozkurtoğlu

Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering, Department of Shipbuilding and Ocean Engineering, İstanbul Technical University, Türkiye

erturk@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8494-1988

ABSTRACT

With the global energy demand escalating and concerns over the environmental impact of fossil fuels, there's a pressing need for cleaner, sustainable alternatives. This study highlights the potential contribution of wave energy to the power needs of coastal structures in the context of renewable energy. The research evaluates the power output and efficiency for an Oscillating Water Column (OWC) system that can be integrated into coastal structures to meet part of their power needs. Findings from both theoretical calculations and a 1:10 scale model experiment are presented. The mechanical power output and efficiency of the system for a full-scale prototype were calculated for deep water conditions with a wave height of 3m. The water surface oscillation inside the chamber is assumed to reflect the oscillation occurring outside the chamber. The maximum average mechanical power output for the full-scale prototype, corresponding to a wavelength of 22.5 m, was determined to be 64.8 kW, achieving a mechanical efficiency of 64.4 %. The overall efficiency of the system is calculated as 55 % by assuming the generator efficiency to be 85 %, resulting in an average power output of approximately 55 kW. A 1:10 scale model of the OWC system with a Wells turbine was constructed and tested in a tank for deep water conditions. Froude similarity and Keulegan-Carpenter similarity were used, ensuring a seamless transition from the model to the prototype. The OWC model was subjected to controlled heaving motion with a period of $T = 1.2$ s. The power generated by the OWC model illuminated four integrated 3.4 V LEDs on the Wells turbine, which were used to measure the power output produced. The power output of the model was measured to be a minimum of 0.12 W for a rotational speed of 107 rpm, which corresponds to a power output of 12 kW for the scaled-up prototype. This system has the potential for further enhancement by incorporating multiple OWCs into coastal structures exposed to wave action. Such development could facilitate meeting the power requirements of coastal structures, thereby contributing to the promotion of both renewable energy generation and a sustainable environment. Future research will focus on optimizing OWC chamber sizes for specific sites and refining the model to better capture water surface oscillation dynamics.

Keywords: Renewable energy, wave energy, oscillating water column, sustainability

Article history: Received 14/12/2023 – Accepted 19/05/2024

1. Introduction

While the world's energy needs are constantly increasing recently, much of it is met by fossil fuels. However, the harm that fossil fuels have on the environment is an important consideration. This issue relates to industrialized and developing countries that signed the Kyoto Protocol in 1997 to control and reduce carbon emissions in the atmosphere. The Kyoto Protocol was an amendment to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), a pivotal international treaty that was entered into force on March 21, 1994, aimed at mitigating global warming (*Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, 2023). By uniting nations, its primary objective was to address the inevitable consequences of rising temperatures. The protocol imposed legally binding provisions on ratifying countries, surpassing the strength of those outlined in the UNFCCC. The Kyoto Protocol established precise emission reduction targets for industrialized countries, with an exemption for developing countries. In order to achieve these targets, most countries that ratified the protocol were required to employ various strategies. One prominent strategy involved a shift towards enhanced utilization of renewable energy sources, such as solar power, wind power, ocean energy, and biodiesel, as substitutes for conventional fossil fuels.

While the majority of industrialized nations endorsed the Kyoto Protocol, economic considerations led some signatory countries to express reservations (Shishlov et al., 2016). Despite being finalized in Kyoto, Japan, in 1997, the protocol only took effect in 2005 after extensive negotiations. As the 1997 Kyoto Protocol focused on developed countries, only 84 countries signed it and implemented the framework. But 196 countries have signed the 2015 Paris Agreement, which goes even further and places responsibility on all countries to limit emissions (*The Paris Agreement*, UNFCCC, 2024). Meanwhile, the severity of environmental pollution stemming from fossil fuels has escalated significantly. In addition to relying on fossil fuels, many developed countries constructed nuclear power plants to fulfill their energy requirements and derive energy from nuclear sources. However, the potential for natural disasters, substantial negligence, and other factors pose a significant risk. As a result, nations with nuclear power plants are progressively opting for the phased closure of these facilities as a strategy to mitigate the associated risks (*PRIS - Reactor Status Reports - Permanent Shutdown - By Country*, 2024).

Extensive research has been conducted in the realm of clean energy to mitigate the potential disasters stemming from the misuse of nuclear power plants and the pollution associated with fossil fuels. The outcomes of these investigations have fueled a growing inclination towards renewable energy sources (Dey et al., 2022). This shift is characterized by a heightened focus on energy alternatives that substantially decrease environmental pollution. As a result, the adoption of renewable energy is on the rise, reflecting a concerted effort to address environmental concerns and promote sustainable energy practices.

Given Türkiye's unique geographical positioning with three sides surrounded by seas, a strategic focus on wave energy sources is a necessity. Although the wave potential might not be ample for significant clean energy generation, it is important for newly constructed coastal structures to be designed to meet at least a portion of their energy requirements. Retrofitting existing coastal structures with wave energy converters, if possible, should also be considered. For such a goal, an Oscillating Water Column (OWC) system is one of the best alternatives (Zheng et al., 2019). The main focus of this study concerns the theoretical estimation of both the efficiency and potential power output generated by an OWC system specifically designed for integration into coastal structures. The aim is to support these

theoretical assessments with experimental findings and ultimately aim to meet the power requirements of coastal structures.

1.1. Wave energy converters

Ocean waves contain tremendous energy potential. When it comes to energy production from the oceans, energy production from the waves is the most advantageous commercial method and is preferred by many companies (Minerals Management Service, 2006). Wave energy exhibits a range of advantages and drawbacks. On the positive side, it is renewable, environmentally friendly, abundant, predictable, and poses no harm to land. Harnessing this energy is relatively straightforward. Conversely, it is limited to specific locations, can have adverse effects on marine ecosystems (Grecian et al., 2010; Hutchison et al., 2022), disrupts vessel traffic, introduces noise and visual pollution (Patricio et al., 2009), and underperforms in inclement weather conditions.

Wave Energy Converters (WECs) are devices designed to harness energy from either the movement of waves at the surface or the pressure variations beneath the water's surface. These devices generate electricity using one of the following three functions: wave motion, wave pressure, and air pressure. These systems are further divided into two as fixed or floating systems. The wave energy is obtained from the movement of the equipment which is fixed to the float or seabed. While numerous designs and concepts exist, WECs can generally be categorized into three main types: attenuators, point absorbers, and terminators (Drew et al., 2009). Attenuators are systems with floating parts that move with the waves. They use wave motion as the driving force. The kinetic energy of the wave moves the turbines and drives electricity generation. Pelamis® is an example of such systems (Rodrigues, 2008). Point absorbers make use of the pressure difference created by the rising and falling water level due to the wave action to generate electricity. These structures can either be floating, moving up and down on the water's surface, or submerged below the water surface (Drew et al., 2009). Terminators are positioned perpendicular to the wave direction. These devices typically include a component that moves up and down in response to the waves. This reciprocal motion is utilized to pressurize fluid, which in turn drives a turbine, generating energy. An example of a terminator-type WEC is the Salter's Duck, developed at the University of Edinburgh. (Falcão, 2010). It is also possible to classify WECs based on their operation modes. This classification includes submerged pressure differential devices, oscillating wave surge converters, oscillating water column (OWC) devices, and overtopping devices.

1.2. OWC Systems

OWC systems represent a first-generation of WECs and are widely used in coastline applications. One of the earliest OWC system was integrated into a cliff at Toftestallen, near Bergen in 1985. Another small OWC shoreline prototype was deployed at the island of Islay, Scotland in 1991 (Falcão, 2010; Henriques et al., 2016). UK, Portugal, India, and Japan are the leading countries that installed and are still working on OWC systems (Cruz, 2008). OWC systems are preferred more often by energy companies because of the cheaper and easier cost and maintenance compared to other WEC systems. OWC systems have the flexibility to be constructed onshore, nearshore, or offshore. Nevertheless, each location comes with its distinct set of drawbacks: offshore structures have disadvantages such as high maintenance costs and difficulties in energy transfer, while systems in the shallow zone should be durable to cope with the increased kinetic energy due to the breaking of waves approaching the shore. The deployment of shoreline devices could be limited by the shoreline geology, tidal range and the

requirements of preservation of coastal scenery, etc. (Cruz, 2008).

Conversely, a well-designed OWC system tailored to the specific site can generate sufficient power to fulfill the energy requirements of the structure it is integrated into. These systems, integrated into marine structures like ports, docks, etc. offer an alternative to high-carbon footprint generators. Their value becomes particularly evident as they generate electricity consistently, even in unfavorable weather conditions when the city's power grid may face challenges. Thus, they emerge as an ideal tool for environmental sustainability.

OWC systems (Figure 1) are typically designed to be stationary. The fundamental principle of OWC technology involves harnessing energy through the rotation of an air turbine driven by the movement of air trapped and released during wave oscillation. In these systems, seawater brought in by the waves enters through the bottom of an enclosed structure, known as the chamber. As the water rises within the chamber, it compresses the air inside. At the top of the OWC system, a turbine is placed. The compressed air is directed to the turbine through a specially designed funneling interior. Subsequently, as the gravity-driven wave recedes, it creates a vacuum within the system, leading to the influx of external air through the turbine. This airflow causes the turbine to rotate, thereby converting the wave energy into mechanical energy. By connecting a generator to the turbine, the mechanical energy generated can be further transformed into electrical energy. This process illustrates how OWC systems facilitate the conversion of wave energy into a usable and sustainable form of power.

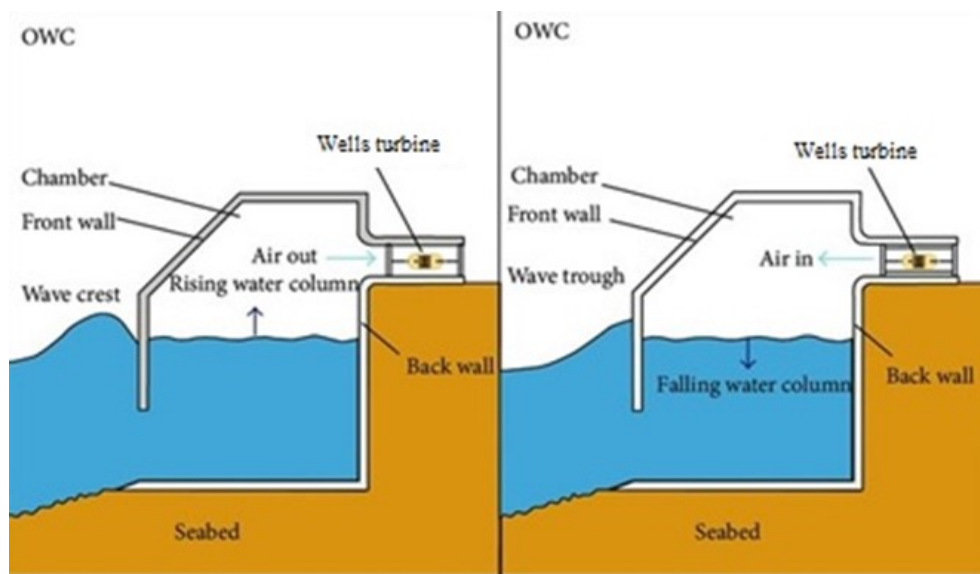


Figure 1. Schematic layout of an OWC system at compression and suction stages (Cui & Liu, 2015)

Conventional turbines are typically engineered for fluid movement in a specific direction. Consequently, when integrated into OWC energy conversion systems, these turbines may generate energy either during the compression of air or its suction, leading to a reduction in overall efficiency. To optimize energy production and capture the maximum potential of the system, a self-rectifying turbine becomes essential. This specialized turbine rotates consistently in the same direction during both the air compression and suction stages, ensuring enhanced efficiency throughout the OWC energy conversion process.

While OWC systems boast a straightforward structure, they offer significant prospects for development and efficiency enhancements. Extensive research has been conducted on OWC systems

(Brito-Melo et al., 2002; Josset & Clément, 2007; Martins-Rivas & Mei, 2009; Orphin et al., 2022). Despite the progress made, it's important to note that OWC systems are still undergoing development.

1.3. Wells Turbine

Presently, three types of self-rectifying air turbines are in use: Wells Turbine, Impulse Turbine and Dennis-Auld Turbine. Wells Turbines capable of bi-directional operation is best suited for the OWC systems. The Wells Turbine (Figure 2), was first conceptualized in 1980 in Belfast (Čarija et al., 2012). The most important feature of the Wells turbine is that each airfoil blade is symmetrical for the axis passing through the blade center.

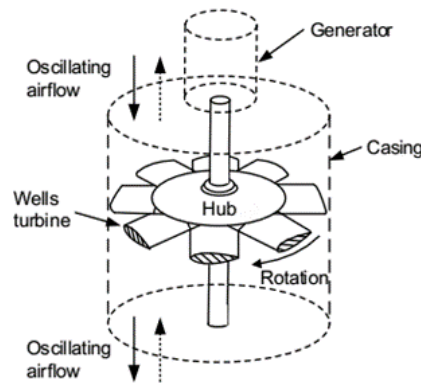


Figure 2. Outline of Wells' turbine (Okuhara et al., 2013)

Symmetric airfoil blades, positioned around an axis of rotation, rotate in the tangential force direction which acts only in one direction independent of the direction of airflow (Mohamed, 2011) (Figure 3). Consequently, the Wells turbine exhibits a stable rotation in one direction, ensuring continuous power generation for the connected electrical generator, irrespective of changes in the airflow direction. If the airfoil is oriented at an angle of attack α within a fluid flow, it generates a lift force L , perpendicular to the free stream, and a drag force, D , aligned with the direction of the free stream. The combined aerodynamic force, F_R , resulting from the lift and drag forces, is expressed as follows:

$$F_R = \sqrt{L^2 + D^2} \quad (1)$$

The resultant force can be decomposed into its axial and tangential components, F_A and F_t respectively. These components can be further expressed in terms of lift and drag as:

$$F_A = L \cos \alpha + D \sin \alpha \quad (2)$$

$$F_t = L \sin \alpha - D \cos \alpha \quad (3)$$

The tangential force, denoted as F_t , is accountable for generating torque, thereby contributing to the blade power. On the other hand, the axial force, represented as F_A , leads to an axial thrust along the rotor's axis. In the context of a symmetrical airfoil section, the tangential force F_t retains its direction for both positive and negative values of α , whereas the axial force F_A undergoes a reversal in its direction. This results in a unidirectional rotation of the device when exposed to alternating airflow (Mohamed, 2011).

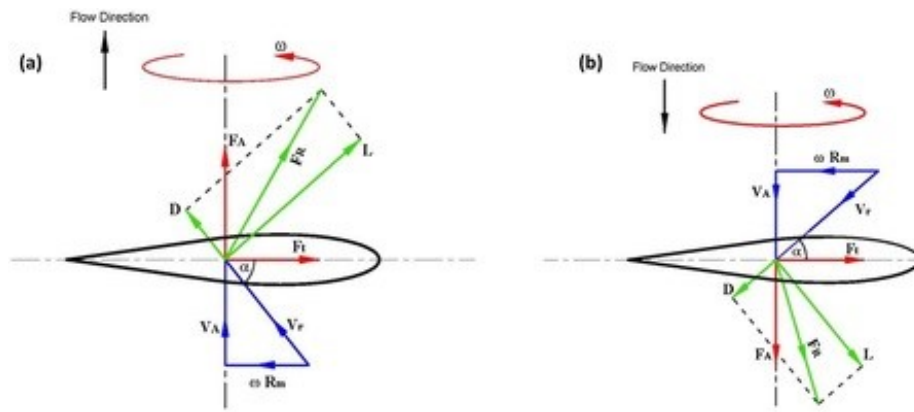


Figure 3. Aerodynamic forces acting on a Wells turbine blade (a) compression stage, (b) suction stage (Shehata et al., 2017)

2. Materials and Methods

Coastal structures, such as breakwaters, offshore platforms, and submerged pipelines, may encounter deep water conditions depending on their location and the characteristics of the surrounding ocean or sea. These conditions are crucial considerations in the design and assessment of coastal structures to ensure their stability, functionality, and resilience against wave action and other environmental forces. A 1:10 scale oscillating water column (OWC) model was constructed for experimental evaluation. Theoretical computations were conducted to ascertain its performance under deep water conditions.

The choice of model scale and the depth of the testing tank were pivotal in establishing the upper limit of the oscillation period. The lower limit of the period was determined based on the critical wave steepness value that could lead to wave breaking. Subsequently, calculations were performed to determine various parameters including wave length, wave power, rotational power, and system efficiency. The OWC model underwent controlled heaving motion within the tank, where the minimum power output was gauged through the illumination of LEDs. The resultant power data from the OWC model experiment was then scaled up and compared with the theoretical estimations for the prototype. These steps are explained in detail in the following subheadings.

2.1 Model Construction

The aim of this research is to design an OWC system for integration into marine structures, particularly breakwaters. The objective is to provide a sustainable energy solution for these structures, inherently exposed to wave loading. In this context, a model of an OWC system suitable for integration with marine structures has been constructed. The emphasis is on the simplicity of the working principle and the ease of installation at a laboratory scale. OWCs are designed to produce electrical energy by converting wave energy. These systems have equipment that provides the electrical cycle as well as chambers where the increasing water column compresses the air inside. In the OWC operating principle, the turbine takes its energy from the compressed air stream, although the energy is harnessed from the wave.

The OWC system in this study comprises two main components: a chamber for compressing and pressurizing air and a Wells turbine utilizing the air pressure difference as the driving force to generate electricity. The subsequent subheadings provide a detailed description of the Wells turbine

construction and chamber design for the 1:10 scale model.

2.1.1. Construction of Wells Turbine

A 20 cm diameter LED (Light Emitting Diode) computer fan (Figure 4a) was employed as a substitute for the Wells turbine, generator, and rotor assembly (Figure 2). Due to the incompatibility of the computer fan blades with those of a Wells turbine, they were removed (Figure 4b) and are set to be replaced with blades that align with the Wells turbine design.



Figure 4. a) 20 cm DC12V 0.30A LED computer fan b) The skeleton of the fan with the original blades removed

Typically designed for electricity consumption, computer fans operate as consumers of electrical power. In adapting the existing computer fan for use as a Wells turbine, a crucial transformation was required: shifting the fan's role from an electricity consumer to an electricity generator. This necessitated a modification of the fan's original circuitry to facilitate the generation of electricity. Initially, the modification process involved the removal of the Integrated Circuit (IC) pin. Figure 5a shows four slender copper wire windings and the detached IC pin.

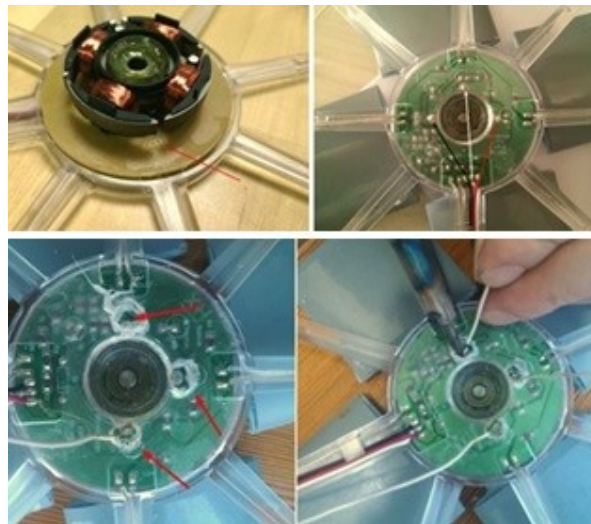


Figure 5. a) Copper wire windings and detached IC pin, b) Connection points of copper wires at the back of the fan, c) Drilling holes in the cover section, d) Soldering copper cables to copper windings.

The red and black copper wires on the fan (Figure 5b) serve to regulate the incoming current circuit, while the white copper wire is employed for adjusting the rotational speed. The copper wire windings are soldered to the points indicated by the arrows in Figure 5b. There are magnets inside the main body where the blades are mounted and the rotor is connected. When the rotation takes place, electric

current is generated on the copper wire windings. To facilitate the transfer of the generated electricity, holes were drilled in the cover section (Figure 5c). Subsequently, copper cables were soldered (Figure 5d) to copper windings, establishing a connection for the transmission of the generated electricity to the targeted circuit.

To optimize the aerodynamic performance of the turbine model, the original blades were replaced with new ones designed to conform to the NACA0020 airfoil profile. The NACA0020 airfoil profile, well-known for its high efficiency, is widely recognized as one of the predominant blade profiles utilized in Wells turbines (Cruz, 2008), (Shehata et al., 2017). Six symmetrical blades were constructed and affixed to the fan body. A quarter circle with an outer radius of 9 cm and an inner radius of 3 cm was cut from PVC, Styrofoam was inserted inside, folded symmetrically, and the edges were joined (Figure 6) to form the new blades.

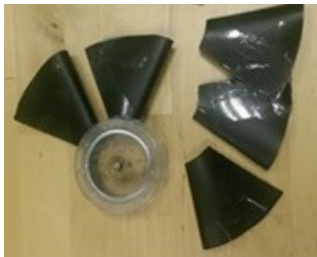


Figure 6. Side view of the six symmetrical sectioned NACA0020 blades

2.1.2. Construction of the Chamber

The next step in this study was to design a chamber in which the elevated water would compress the air and the compressed air would rotate the blades of the Wells turbine. A simple OWC chamber model is constructed with a truncated cone-shaped plastic container. The model chamber has an outlet diameter of 30 cm and an inlet diameter of 40 cm. The construction of the OWC model was completed by mounting the Wells turbine with a fan diameter of 20 cm at the outlet of the chamber model. A schematic representation of the OWC system along with the solid model is given in Figure 7.

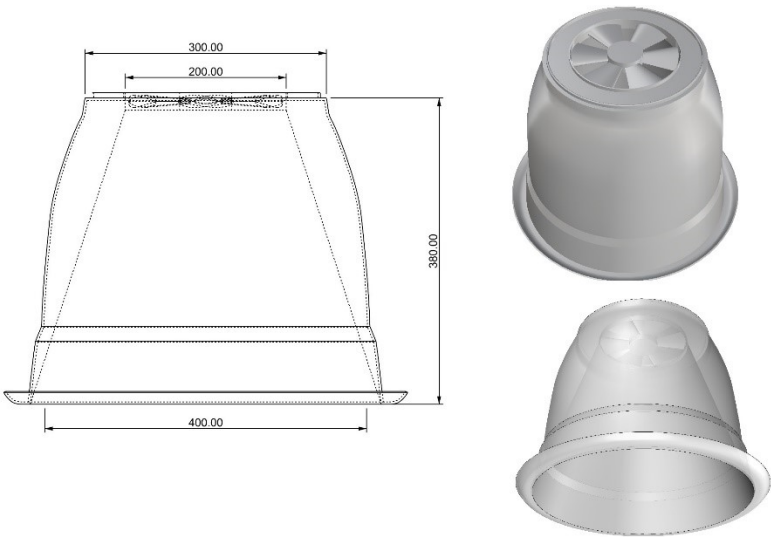


Figure 7. Geometric properties and the solid model of the OWC system.

The inner surface of the chamber is covered with a plastic layer to ensure a conical geometry. This configuration accelerates the flow inside the chamber and efficiently directs the air flow to the turbine. In addition, a layer of silicone is applied between the plastic sheet and the chamber to ensure a secure seal.

2.2. Calculation of Wave Power (P_w)

The wave power (P_w) and the wavelength (λ) are determined using the standard linear wave theory (Heller, 2012) for deep and shallow water conditions, as follows:

$$P_{w,deep} = \rho_{water} g^2 T H^2 w / 32\pi, \quad \lambda = gT^2 / 2\pi \quad (4)$$

$$P_{w,shallow} = \rho_{water} g^2 T H^2 dw / 8\lambda, \quad \lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd \quad (5)$$

where ρ_{water} is the water density, g is the gravitational acceleration, T is the wave period, d is the water depth, w is the width of the wave crest presented to the chamber, H is the wave height and k is the wave number, which is:

$$k = 2\pi / \lambda \quad (6)$$

2.3. Calculation of Mechanical Power Output (P_t)

A schematic representation of a forcing linear wave profile and the corresponding wave properties is provided in Figure 8, along with the depiction of the OWC system utilized in this study. In the employed model, the water-air chamber is in the form of a truncated cone, with circular inlet and outlet sections. The methodology for calculating the power output of the OWC system relies on the heave velocity of the water column within the chamber, derived from the displacement value.

The volumetric air-flow rate into the OWC chamber can be calculated as:

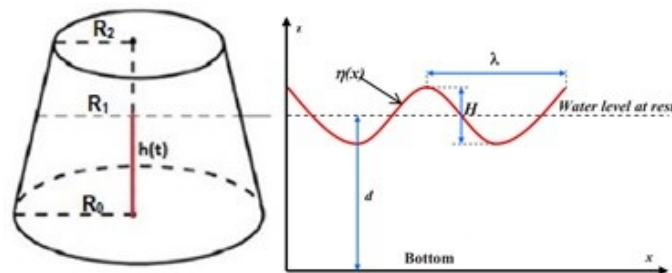


Figure 8. The model chamber and water wave properties. R_1 is the radius of the model chamber at the still water level (SWL), R_0 is the inlet radius, R_2 is the outlet radius of the chamber model and $h(t)$ is the water level time series inside the chamber. λ is the wavelength, H is the wave height, d is the water depth.

$$Q = A_1 V_1 \quad (7)$$

where A_1 is the cross-sectional area of the water column at the SWL in the chamber and V_1 is the

average velocity of the water column at the SWL in the chamber (Kelly et al., 2013).

Using the continuity equation, the average output velocity V_2 can be calculated.

$$V_2 = \frac{A_1 V_1}{A_2} = \frac{\pi R_1^2 V_1}{\pi R_2^2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 V_1 \quad (8)$$

If we assume that the maximum water level change in the chamber will be $h_{max} = H$ in time $T/2$ then the average air velocity at the SWL, V_1 will be

$$V_1 = \frac{h_{max}}{T/2} \quad (9)$$

Combining Equation (8) and Equation (9), the average air velocity at the outlet, V_2 , is found

$$V_2 = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \frac{2H}{T} \quad (10)$$

The airflow velocity at the blades, namely V_2 , is directly proportional to the wave height and decreases as the wave period increases.

The water level change in the chamber can be expressed as:

$$\eta(x, t) = \frac{H}{2} \sin(kx - \sigma t) \quad (11)$$

The initial volume of air confined in the chamber at the initial time t_0 is

$$V_c = \frac{\pi m}{3} [R_1^3 - R_2^3] \quad (12)$$

where m is the slope of the lateral surface of the chamber.

The volume of sucked/compressed air, $V_w(t)$, at time t as a result of change in water level is:

$$V_w(t) = \frac{\pi m}{3} \left[R_1^3 - \left(R_1 - \frac{H}{2m} \sin(kx - \sigma t) \right)^3 \right] \quad (13)$$

The volume of air trapped in the chamber at time t is the initial volume of air plus/minus the sucked/compressed air volume which is:

$$V_{air}(t) = V_c - V_w(t) \quad (14)$$

$$V_{air}(t) = \frac{\pi m}{3} \left[\left(R_1 - \frac{H}{2m} \sin(kx - \sigma t) \right)^3 - R_2^3 \right] \quad (15)$$

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \frac{dm_{cv}}{dt} \quad (16)$$

The rate of change of the air volume $\dot{V}_{air}(t)$ is the air volume flow rate passing through the turbine

$$\dot{V}_{air}(t) = \frac{dV_{air}(t)}{dt} = \pi\sigma \left[\left(R_1 - \frac{H}{2m} \sin(kx - \sigma t) \right)^2 \right] \left[\frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) \right] \quad (17)$$

A wind turbine captures kinetic energy from the airflow, characterized by the speed V_{air} and mass flow rate \dot{m}_{air} and transforms it into mechanical rotational power. Applying the Bertz's limit (16/27) (University of South Florida & Blackwood, 2016) which is the theoretical maximum efficiency for a wind turbine, we can write the total mechanical rotational power of the system as:

$$P_t = \frac{1}{2} \left(\frac{16}{27} \right) \dot{m}_{air} V_{air}^2 = \frac{8}{27} \frac{\rho_{air}}{A_c^2} \dot{V}_{air}(t)^3 \quad (18)$$

where ρ_{air} is the air density and A_c is the turbine cross-section area. The total delivered energy during one period T of the incident wave can be expressed as:

$$E_t = 4 \int_0^{T/4} P_t dt \quad (19)$$

The mechanical efficiency (%) of the system in converting wave power to rotational power is given by:

$$\eta_P = (P_t/P_w) \times 100 \quad (20)$$

where P_t is the average rotational power output of the system, P_w is the mean wave power transmitted for width w of the wave front in the direction of wave propagation.

2.4 Experimental Setup

The model is tested in a tank at the Ata Nutku Ship Model Testing Laboratory located at ITU Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering. The tank width is 1.4 m and the water depth is 1.3 m. The schematic depiction of both the model OWC system and the tank's geometric configuration is illustrated in Figure 9.

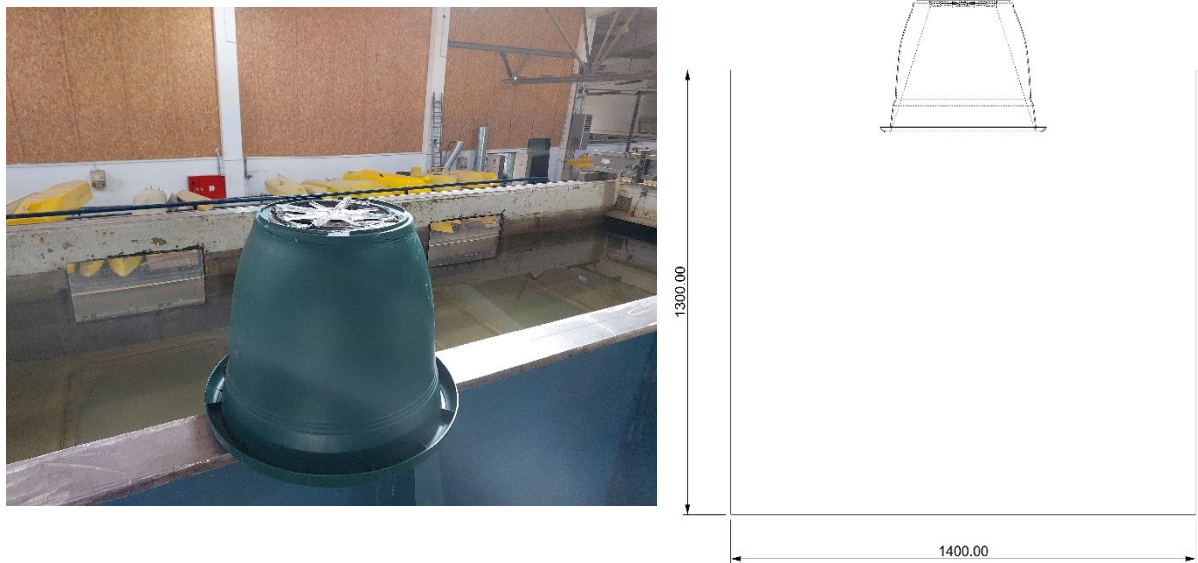


Figure 9. The OWC model and schematic layout of the model and the tank geometry.

The circuit on the electronic board of the computer fan has four 3.4 V LEDs. Initially, the electric circuit of the model is tested by blowing air to force the blades to rotate. The rotation of the blades induced rotation in the rotor, generating an electrical current along the copper wires, consequently lighting up the LEDs. The OWC system model is then tested in the tank to see whether the water elevation inside the chamber is sufficient to trigger rotation of the blades. The rotation of the blades is effectively driven by the airflow generated through the water level changes within the chamber. A voltmeter is used for measuring the potential difference (V) across the circuit integrated on the electronic board of the Wells turbine. During the model experiments, while the wave forcing was manually generated, recordings were captured using a high frame rate camera, and the applied wave period was determined through analysis of these recordings.

3. Results and Discussion

3.1. Experimental Results for the Model

The OWC model was forced manually to heave in the tank with a period of $T = 1.2$ s. This period value is within the range of deep-water condition. Remarkably, the power generated by the simple model OWC system proved sufficient to illuminate all four 3.4 V LEDs (Figure 10). The LED serves as an indicator, emitting light only when it receives sufficient electrical power, making it a useful tool for measuring the power generated by the model OWC.



Figure 10. Four 3.4 V blue LEDs are illuminated.

A voltmeter recorded a 2 V potential difference across the circuit integrated on the electronic board of the Wells turbine in the tank, when LEDs emit low brightness light. The forward current and brightness of LEDs vary depending on both the semiconductor material and applied voltage. The terminal voltage was changed by using a variable voltage source, and the total system current at the terminals that is summation of the currents of all system elements such as LEDs, coils, driver etc. was measured. The change of total system current with terminal voltage of the fan is given in Table 1.

Table 1. The change of total current with terminal voltage of the fan

Terminal Voltage (V _{DC})	Total system current (mA)	LED brightness
2.6	32	low brightness
4	60	normal brightness
6	103	normal brightness
8	146	high brightness
10	190	high brightness

It was seen from the experiments that the model is capable to generate electrical power. Since the air turbines within OWCs operate at low rotational speeds, it's crucial to identify the ideal turbine rotational speed and develop an energy-optimized control system (Rosati et al., 2022). Measurements, including rotational speed, voltage, current, and frequency, were also performed. As a sample case, at a rotational speed of 107 rpm, the voltage was measured as 6 V, the current drawn by a single LED was 5 mA. Under this operating condition, the total led current is calculated as $I = 4 \times 0.005 \text{ A} = 0.02 \text{ A}$, the consumed power on 4 LEDs is calculated as $P_{consumed} = 6 \text{ V} \times 0.02 \text{ A} = 0.12 \text{ Watts}$. Considering the model scale, the prototype power output is expected to be 10^5 times the model power output, leading to a power output of 12 kW for the scaled-up prototype.

Since the fan motor used in the model is a brushless motor, it generates AC electrical power, and both the frequency and terminal voltage depend on rotational speed. When assessing the model's feasibility for a specific location, choosing the right electrical generator is crucial. According to literature (Amilibia & Iturregi, 2010), two generator types suitable for use with variable-speed turbines in wave-based power generation are the synchronous permanent magnet generator (PMG) with the frequency inverter and the asynchronous induction generator. The efficiencies of PMGs and DFIGs (Double Fed Induction Generators) range from 0.86 to 0.95 depending on the type and size of the generator.

3.2. Theoretical Results for the Prototype

The geometric properties of the model and prototype OWC are given in Table 2. Froude (Fr) similarity and Keulegan-Carpenter (KC) similarity are used respectively, for scaling up the model heave velocity and model period to full-scale prototype values. Thus, the prototype period is found to be $\sqrt{10}$ times the model period ($T_m = 1.2 \text{ s}$), which corresponds to $T = 3.8 \text{ s}$ for the prototype.

Table 2. Model and prototype OWC parameters.

Parameter	Model	Prototype
Inlet Diameter [m]	0.40	4.0
Outlet Diameter [m]	0.20	2.0
Diameter at SWL [m]	0.15	1.5
Chamber Height [m]	0.38	3.8
Wave Height [m]	0.30	3.0
Period [s]	1.20	3.8
Deep water wave length [m]	2.25	22.5

Equation 4 was employed to calculate the wave power (P_w), Equation 18 was used for the mechanical power output (P_t), and Equation 20 was used for determining the mechanical efficiency (η_p) values corresponding to various wavelengths. The outcomes of these calculations are presented in Table 3.

At the determined wave height, rotational power and mechanical efficiency increase as the wave length decreases. Deep water waves break when the wave steepness H/λ reaches the threshold value of $(1/7)$ (Dean and Dalrymple , 1994). In our case, for a 3 m wave height the lower limit for the wavelength is $\lambda = 21$ m. This is the lowest wavelength that a deep-water wave with the specified height can maintain its stability. Below this value, the wave will break. On the other hand, when the wavelength exceeds $\lambda = 26$ m, deep water condition is violated. This is the upper limit for the wavelength. The scaled-up wavelength for the prototype, $\lambda = 22.5$ m, falls within this range.

Table 3. Variations of mechanical power output and efficiency versus wavelength for the prototype

Prototype	Deep Water Condition			Intermediate Water Condition										
	3.67	3.80	4.00	4.38	4.73	5.00	5.37	5.66	5.93	6.20	6.45	6.70	6.93	7.16
T [s]	3.67	3.80	4.00	4.38	4.73	5.00	5.37	5.66	5.93	6.20	6.45	6.70	6.93	7.16
λ_0 [m]	21	22.5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
λ [m]	21	22.5	25	29.9	34.4	38.8	43.1	46.9	50.7	54.4	57.8	61.2	64.1	67.1
P_t [kW]	71.9	64.8	55.5	42.3	33.6	28.4	22.9	19.6	17.0	14.9	13.2	11.8	10.6	9.7
η_p [%]	73.9	64.4	52.4	36.4	26.8	21.4	16.1	13.0	10.8	9.1	7.8	6.7	5.8	5.1

The maximum instantaneous air volume flow rate (Figure 11a), maximum instantaneous mechanical power output and average mechanical power (Figure 11b) were calculated for the scaled-up prototype, where the period is $T = 3.8$ s. The average mechanical power output for the prototype was determined to be 64.8 kW with a mechanical efficiency of $\eta_p = 64.4$ % (Table 3).

The rate of airflow through the turbine fluctuates over time in response to variations in the water level within the tapered chamber (Figure 11a). The volume flow rate is taken as positive during the suction stage where air in the chamber flows in the downward direction. The volume flow rate is taken as negative during the compression stage where the air in the chamber flows in the upward direction. The volume flow rate is zero at the end of the suction and compression stages where the air motion halts and changes direction. The first 0.95 seconds of one period is the suction stage where the water level keeps going down. The compression stage takes place between 0.95 and 2.85 seconds of one period and the water level goes up in this stage. The mechanical power output of the system varies over time (Figure 11b), reaching zero at the 0.95 and 2.85 seconds, corresponding to instances of zero flowrate. Suction takes place again between 2.85 and 3.8 seconds.

The average mechanical power output for the full-scale prototype, corresponding to a wavelength of 22.5 m, was determined to be 64.8 kW, achieving a mechanical efficiency of 64.4 %. The overall efficiency of a system can be calculated by multiplying efficiencies of all equipment such as turbine, electrical generator, connection elements etc. The overall efficiency of the proposed system can be calculated as 55 % by taking generator's efficiency as 85 % in which case the average power output of the system will be around 55 kW. The losses in other components may reduce the overall efficiency. The resulting efficiency value is promising and not less than the range applicable to most air turbines. Air turbines typically operate at an efficiency range of 20 % to 40 % in converting wind into energy ("Renewable Energy Fact Sheet: Wind Turbines," 2013).

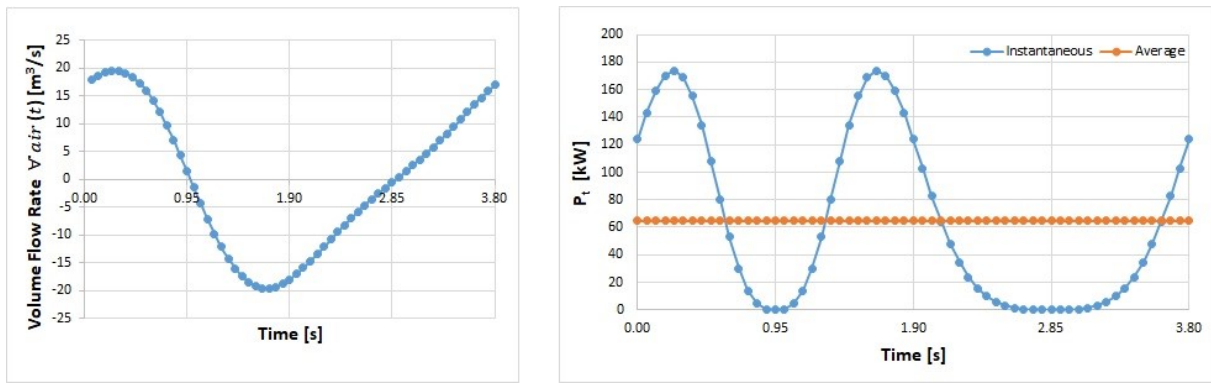


Figure 11. a) Maximum instantaneous air volume flow rate, b) Maximum instantaneous mechanical power output and average mechanical power.

The main objective of the numerical calculation pertaining to the efficiency of OWC systems is to model the oscillations of the free surface within the reservoir. The findings presented in this context may not offer an exact representation of the flow dynamics within the chamber. The assumption is that the oscillation of the water surface inside the chamber mirrors that of the oscillation outside the chamber. However, the fluctuation of the water free-surface inside the chamber, influenced by actual sea conditions, will introduce a level of uncertainty.

4. Conclusion

It is feasible to provide at least a portion of the energy needed by coastal structures through wave energy within the scope of clean energy. In this study, the power output and efficiency of an OWC system that could be considered in the design of new coastal structures or integrated into existing coastal structures through retrofitting have been calculated, and the results have been compared with the findings of a 1:10 scale model experiment. The study reveals that the mechanical power output is directly proportional to the cube of the wave height (H) and inversely proportional to the cross-sectional area of the air inlet/outlet (A_c). Notably, the relationship between the mechanical power output and the wave length is nonlinear (Table 3). Both the mechanical power output and mechanical efficiency exhibit a decrease as the wavelength increases. Intriguingly, the maximum values for both the mechanical power output and mechanical efficiency coincide at the same wavelength.

OWC systems should be designed and installed considering parameters such as the regional wave climate, the wave length, wave period and water depth. In the conducted study, an illustrative case was resolved under deep-water conditions, assuming a wave height (H) of 3 m. The results indicate that the maximum power achieved was 64.8 kW with an accompanying mechanical efficiency of 64.4 %. The optimal performance occurred at a specific wave length (λ) of 22.5 m.

In a particular region, the most frequently observed wavelength and wave height can be employed to ascertain the optimal dimensions of an OWC chamber, aiming for maximum mechanical power output and efficiency. Future research will involve a parametric study aimed at optimizing the dimensions of an OWC chamber for a selected site and will focus on developing a more accurate model for water surface oscillation within the chamber.

Acknowledgements

The author would like to acknowledge the resources and support of ITU Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering Ata Nutku Ship Model Testing Laboratory. The author would also like to express gratitude to Prof. Dr. Mustafa Bağrıyanık for his invaluable feedback on the electrical calculation sections of this article.

References

- Amilibia, J. L., & Iturregi, A. (2010). Selection of the Electrical Generator for a Wave Energy Converter. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1, 125–134. <https://doi.org/10.24084/repqj08.255>
- Brito-Melo, A., Gato, L. M. C., & Sarmiento, A. J. N. A. (2002). Analysis of Wells turbine design parameters by numerical simulation of the OWC performance. *Ocean Engineering*, 29(12), 1463–1477. [https://doi.org/10.1016/S0029-8018\(01\)00099-3](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(01)00099-3)
- Čarija, Z., Kranjčević, L., Banić, V., & Čavrak, M. (2012). Numerical analysis of wells turbine for wave power conversion. *Engineering Review*, 32(3), 141–146.
- Cruz, J. (2008). Ocean Wave Energy Current Status and Future Prepectives. In *Springer Series in Green Energy and Technology*. <https://doi.org/10.2174/97816080528511060101>
- Cui, Y., & Liu, Z. (2015). Effects of Solidity Ratio on Performance of OWC Impulse Turbine. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1155/2014/121373>
- Dean R.G., & Dalrymple R.A. (1994). *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. World Scientific Publishing.
- Dey, S., Sreenivasulu, A., Veerendra, G. T. N., Rao, K. V., & Babu, P. S. S. A. (2022). Renewable energy present status and future potentials in India: An overview. *Innovation and Green Development*, 1(1), 100006. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2022.100006>
- Drew, B., Plummer, A. R., & Sahinkaya, M. N. (2009). A review of wave energy converter technology. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 223(8), 887–902. <https://doi.org/10.1243/09576509JPE782>
- Falcão, A. F. de O. (2010). Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 899–918. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.003>
- Grecian, W., INGER, R., Attrill, M., Bearhop, S., Godley, B., Witt, M., & Votier, S. (2010). Potential impacts of wave-powered marine renewable energy installations on marine birds. *Ibis*, 152, 683–697. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2010.01048.x>
- Heller, V. (2012). Development of Wave Devices from Initial Conception to Commercial Demonstration. In *Comprehensive Renewable Energy* (pp. 79–110). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00804-0>

Henriques, J. C. C., Portillo, J. C. C., Gato, L. M. C., Gomes, R. P. F., Ferreira, D. N., & Falcão, A. F. O. (2016). Design of oscillating-water-column wave energy converters with an application to self-powered sensor buoys. *Energy*, *112*, 852–867. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.054>

Hutchison, Z. L., Lieber, L., Miller, R. G., & Williamson, B. J. (2022). Environmental Impacts of Tidal and Wave Energy Converters. In *Comprehensive Renewable Energy* (pp. 258–290). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819727-1.00115-1>

Josset, C., & Clément, A. H. (2007). A time-domain numerical simulator for oscillating water column wave power plants. *Renewable Energy*, *32*(8), 1379–1402. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.04.016>

Kelly, T., Dooley, T., Campbell, J., & Ringwood, J. V. (2013). Comparison of the experimental and numerical results of modelling a 32-oscillatingwater column (OWC), V-shaped floating wave energy converter. *Energies*, *6*(8), 4045–4077. <https://doi.org/10.3390/en6084045>

Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. (2023). Audiovisual Library of International Law. <https://legal.un.org/avl/ha/kpccc/kpccc.html>

Martins-Rivas, H., & Mei, C. C. (2009). Wave power extraction from an oscillating water column at the tip of a breakwater. *Journal of Fluid Mechanics*, *626*, 395–414. <https://doi.org/10.1017/S0022112009005990>

Minerals Management Service. (2006). Wave Energy Potential on the U.S. Outer Continental Shelf Introduction. *Renewable Energy and Alternate Use Program, May*. <http://ocsenergy.anl.gov>

Mohamed, M. H. A. (2011). Design Optimization of Savonius and Wells Turbines [Otto-von-Guericke-Universität at Magdeburg]. In *Faculty of Process and Systems Engineering: Vol. Doktoringe*. <https://www.mendeley.com/catalogue/design-optimization-savonius-wells-turbines/>

Okuhara, S., Takao, M., Takami, A., & Setoguchi, T. (2013). Wells Turbine for Wave Energy Conversion—Improvement of the Performance by Means of Impulse Turbine for Bi-Directional Flow. *Open Journal of Fluid Dynamics*, *03*(02), 36–41. <https://doi.org/10.4236/ojfd.2013.32A006>

Orphin, J., Nader, J.-R., & Penesis, I. (2022). Size matters: Scale effects of an OWC wave energy converter. *Renewable Energy*, *185*, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.121>

Patricio, S., Moura, A., & Simas, T. (2009). Wave energy and underwater noise: State of art and uncertainties. In *OCEANS '09 IEEE Bremen: Balancing Technology with Future Needs* (p. 5). <https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2009.5278302>

PRIS - Reactor status reports—Permanent Shutdown—By Country. (2024, February 11). <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/ShutdownReactorsByCountry.aspx>

Renewable Energy Fact Sheet: Wind Turbines. (2013). *United States Environmental Protection Agency*.

Rodrigues, L. (2008). Wave power conversion systems for electrical energy production. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(06), 601–607. <https://doi.org/10.24084/repqj06.380>

Rosati, M., Henriques, J. C. C., & Ringwood, J. V. (2022). Oscillating-water-column wave energy converters: A critical review of numerical modelling and control. *Energy Conversion and Management: X*, 16, 100322. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100322>

Shehata, A. S., Xiao, Q., Saqr, K. M., & Alexander, D. (2017). Wells turbine for wave energy conversion: A review. *International Journal of Energy Research*. <https://doi.org/10.1002/er.3583>

Shishlov, I., Morel, R., & Bellassen, V. (2016). Compliance of the Parties to the Kyoto Protocol in the first commitment period. *Climate Policy*, 16(6), 768–782. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1164658>

The Paris Agreement, UNFCCC. (2024, February 9). <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

University of South Florida, & Blackwood, M. (2016). Maximum Efficiency of a Wind Turbine. *Undergraduate Journal of Mathematical Modeling: One + Two*, 6(2). <https://doi.org/10.5038/2326-3652.6.2.4865>

Zheng, S., Zhang, Y., & Iglesias, G. (2019). Coast/breakwater-integrated OWC: A theoretical model. *Marine Structures*, 66, 121–135. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2019.04.001>

Türk Karasularında Gerçekleşen Gemi Kazalarının Denizcilik Sözleşmeleri İhlalleri Üzerine Araştırma

Ozan Hikmet Arıcan

Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü, Denizcilik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye

ozanhikmet.arican@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2061-6112

ÖZET

Ülkeler arasındaki ticaretin artmasıyla birlikte deniz yolu taşımacılığına olan talep hızla artmıştır. Türkiye'nin ithalat ve ihracat rakamlarındaki sürekli artış, ülkenin yurtdışından daha fazla ürün almasını ve bunları yurtdışına göndermesini sağlamaktadır. Artan bu ticaret hacmiyle doğru orantılı olarak Türkiye'ye gelen veya transit boğazlardan geçen gemi sayısı da artış göstermektedir. Ancak, gemi sayısındaki bu artış, deniz kazalarının da her geçen gün arttığına işaret etmektedir. Gemi kazalarının sayısındaki artış, ülkemizin karasularında çevresel ve ekonomik riskler oluşturmaktadır. Çalışmanın amacı Türk karasularında son 10 yılda gerçekleşmiş gemi kazalarının Uluslararası Denizcilik Sözleşmeleri ihlalleri üzerinden inceleyerek sözleşmelerin etkilerini ölçmektir. Gemi personeli tarafından en sık ihlal edilen sözleşmeler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kazaların analiz edilmesi ve elde edilen bilgiler doğrultusunda frekans analizi ve Çok Ciddi Kaza (ÇCK) türü üzerinden Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi yöntemleri kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, COLREG, SOLAS ve ISM kodlarına yönelik ihlallerin kazalara daha fazla etki ettiği STCW kod ve MARPOL'ün etkisinin az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 500 GRT altındaki deniz araçlarının Türk karasularında gerçekleşmiş kazalarda daha fazla etkili olduğu çalışmada ayrıca tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, kazaların önlenmesi ve azaltılması için yetkili denizcilik otoritelerine rehberlik edecek önemli bilgiler sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Uluslararası Denizcilik Sözleşmeleri, Gemi Kazaları, Deniz İşletmeciliği, Deniz Ulaştırma ve İşletme, Deniz Ulaşımı.

Makale geçmişi: Geliş 09/01/2024 – Kabul 05/03/2024

<https://doi.org/10.54926/gdt.1417218>

Research on Violations of Maritime Conventions in Ship Accidents in Turkish Territorial Waters

Ozan Hikmet Arıcan

Department of Maritime Business Administration, Maritime Faculty, Kocaeli University, Kocaeli, Türkiye

ozanhikmet.arıcan@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2061-6112

ABSTRACT

As trade between countries increased, the need for maritime transportation also increased rapidly. The continuous increase in Türkiye's import and export figures enables the country to buy more products from abroad and send them abroad. As these figures increase, the number of ships coming to Turkey or passing through the transit straits also increases in parallel. It is seen that maritime accidents are increasing day by day with the increase in the number of ships. The increase in accidents poses an environmental and economic risk in our country's territorial waters. The aim of the study is to examine the ship accidents that have occurred in Turkish territorial waters in the last 10 years through violations of International Maritime Conventions and to measure the effects of the conventions. The contracts most frequently violated by ship personnel were examined in detail. Frequency analysis and Multiple Linear Regression Analysis methods were used to analyze the accidents and based on the information obtained. According to the results of the research, it was determined that violations of COLREG, SOLAS and ISM codes had a greater impact on accidents, and the effect of STCW code and MARPOL was less. In addition, it was also determined in the study that marine vessels under 500 GRT were more effective in accidents that occurred in Turkish territorial waters. The results of this study provide important information to guide competent maritime authorities to prevent and reduce accidents.

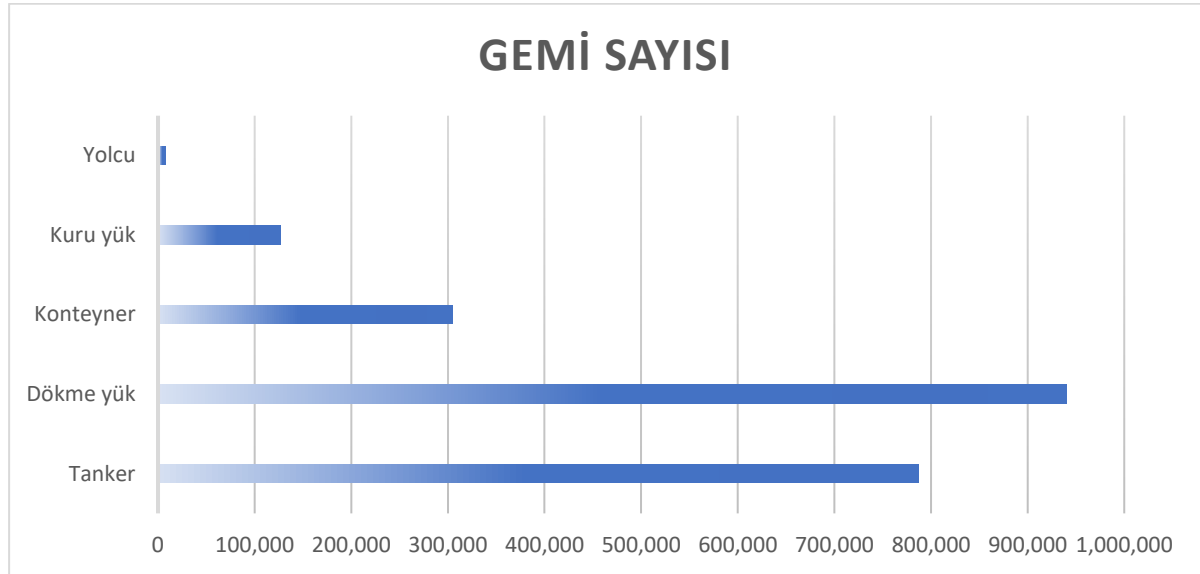
Keywords: International Maritime Conventions, Ship Accidents, Maritime Management, Maritime Transportation and Management, Maritime Transportation.

Article history: Received 09/01/2024 – Accepted 05/03/2024

1. Giriş

Denizyolu taşımacılığı, çeşitli yönlerden önemli bir rol oynar ve dünya ticaretinin temel taşıma modlarından birini temsil eder. Bu taşıma modeli geniş kapasite imkanları, ekonomik ve maliyet açısından etkinlik, çevresel avantajlar, ulaşılması zor alanlara erişim ve sürekli taşıma gibi bir dizi avantaja sahiptir. Bu nedenle, denizcilik taşımacılığı küresel ticaretin hayati bir unsuru olup dünya ekonomisi için kritik bir rol oynar. Uluslararası taşımacılığın temel taşı olan denizcilik taşımacılığı, hızla modernleşmekte ve büyümektedir. Modernleşme sürecinde gemilerin yakıt tüketimi, kullanılan yakıt türü ve yük işlem operasyonu açısından daha gelişmiş seviyelere ulaştığı gözlemlenmektedir. Modernleşme aşamasında, elektronik sistemlerin daha fazla kullanıldığı ve insan hatalarını azaltmaya odaklandığı görülmektedir. Bu büyüme sürecinde, küresel talebin artmasıyla birlikte daha fazla gemi inşa edilerek deniz filolarına katılmaktadır. EQUASIS verilerine göre, 2022 yılı itibariyle tüm denizlerde sefer yapan 100 Gros Ton (GRT) ve üzeri toplam gemi sayısı 126.947 adettir. Bu sayı, önceki yıla göre %3,4 oranında artmıştır. Ortalama olarak yılda %3,6 artan gemi sayısı, 2030 yılında yaklaşık 3 milyon gemiye ulaşacağını göstermektedir. 2023 yılına ait gemi sayısının gemi türlerine göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 2023 Yılı Gemi Sayısının Gemi Türlerine Göre Dağılımı (DTO, 2023).



Denizlerde ticaret yapan gemilerin %79'unu dökme yük gemileri ile tanker gemileri oluştururken, %0,3'lük bir oran yolcu gemilerine aittir.

Gemi sayılarının artması ile deniz kazalarının artışı da paralel bir şekilde devam etmektedir (Goerlandt ve Montewka, 2015). Yeni gemilerin modern olmasının aksine deniz kazalarına etkisinin azaltıcı bir eğilimde olduğu net olarak belirlenememiştir (LV, 2017). Deniz kazalarına yol açan etkiler her platformda sıkça dile getirilmektedir. Büyük kazalar incelendiğinde deniz kazalarının ana etmenleri olarak insan hatası, hava ve deniz koşulları, ekipman arızası, denizcilik alt yapısı sorunları, güvenlik kurallarına uyumsuzluk ve gemi trafik yoğunluğu belirtilebilir. Akademik çalışma ve kaza inceleme raporlarında deniz kazalarının ana nedeni olarak insan hatalarının %70'in üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Fan vd., 2020). İnsan hatalarına bakıldığında gemi çalışanlarının Uluslararası Denizcilik Sözleşmeleri 'ne (UDS) uymadıkları tespit edilmiştir (Uğurlu vd., 2015). Türkiye deniz ticareti bakımından önemli bir ülke konumundadır. Bu önemli konuların başında coğrafik konum, limanlar,

boğazlar, lojistik altyapı ve denizcilik endüstrisi olarak stratejik bir konumdadır (Balık vd., 2022). Türkiye, Asya ile Avrupa'yı birleştiren önemli bir coğrafi konuma sahiptir. Boğazlar (İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı) aracılığıyla Karadeniz'e erişim sağlar ve Akdeniz'e açılan stratejik bir konumdadır (Çakır ve Kamal, 2020). Bu nedenle, Türkiye, Doğu ile Batı arasında ticaretin ana geçiş noktalarından birini oluşturur. Türkiye'nin deniz kazaları konusunda özellikle seçilmesinin en önemli nedeni stratejik konumuyla deniz trafiğinin yoğun olduğu bir bölgede bulunur. İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı gibi dar su yollarıyla çevrili olması, gemi trafiğinin sıkışık olduğu ve kazaların meydana gelebileceği bir ortam yaratır (Kılıç ve Sanal, 2015). Ayrıca Türkiye, önemli bir deniz ticareti hacmine sahiptir ve bu da kazaların olasılığını artırır. Limanları ve deniz yolları, uluslararası ticaretin ana geçiş noktalarından biri olduğu için kazalara açık hale gelebilmektedir (Tunçel, 2020).

Bu çalışma, Türkiye kara sularında meydana gelen deniz kazalarının mevcut verilerini analiz etmektedir. Analiz sürecinde, tüm olayların temel nedenleri sayısal verilerle desteklenerek UDS kapsamındaki ihlaller sistematik bir yaklaşımla belirlenmiştir. Veri analizi sonuçlarına göre, tespit edilen ihlallerin hangi gemi tiplerinde, tonajlarda ve bölgelerde daha sık görüldüğü belirlenmiştir. Ayrıca, kaza verilerinin frekanslarına göre Çok Ciddi Kaza statüsündeki olayların, UDS kapsamında hangi sözleşmelerin daha fazla ihlal edildiğini Çoklu Doğrusal Regresyon Yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, Türk kara sularında meydana gelen kazaların önlenmesi için ilgili yetkililer tarafından alınacak önlemlere ve yeni düzenlemelere yönelik yapılacak çalışmalara katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

2. Deniz kazaları ve Uluslararası Denizcilik Sözleşmeleri

2.1. Deniz Kazaları

Deniz ulaşımının artması ile gemi sayısının artışı paralellik göstermektedir. Günümüzde bu sayının artışı ile gemi kazalarının sayısı da artmıştır. Gemi kazalarının analiz edilmesi ve incelenmesi ile birlikte gemi işleten firmalar ve liman otoriteleri için bir fikir oluşturmak önemlidir (Fu ve ark., 2022). Deniz kazalarının detaylı bir şekilde incelenmesi, kaza nedenlerini ve ortaya çıkmasına yol açan faktörleri anlamak için önemlidir. Bu, benzer kazaların önlenmesi veya risklerin azaltılması için alınacak tedbirlerin belirlenmesine yardımcı olacaktır (Karabacak ve Köseoğlu, 2021). Kazaların nedenleri anlaşıldığında, alınacak önlemlerle deniz güvenliğini daha da artırmak mümkün olacaktır. İncelenen kazalar, sektördeki güvenlik standartlarının ve prosedürlerin iyileştirilmesine katkıda bulunacaktır. Deniz kazalarının incelenmesi, hukuki süreçlerde ve sigorta taleplerinde önemli bir rol oynar (Xue vd., 2022). Kazanın nedenlerinin belirlenmesi, sorumluların tespiti ve maddi zararın değerlendirilmesi için gereklidir. Kazaların detaylı bir şekilde incelenmesi, denizcilik endüstrisinde çalışan personelin eğitimi ve bilinçlendirilmesi için önemlidir. Kazalardan elde edilen deneyimler, benzer durumların tekrarlanmasını önlemek için eğitim programlarında kullanılabilir (Kodak vd., 2022). Deniz kazalarının incelenmesi, olaya karışan taraflar arasındaki sorumlulukların belirlenmesine yardımcı olur. Bu, kazada suçlu olan tarafın tespit edilmesini ve gerekli yaptırımların uygulanmasını sağlar. Kazaların incelenmesi, denetim ve denetim mekanizmalarının etkinliğini artırmak amacıyla kullanılmaktadır (Kaya, 2016). Bu, denizcilik endüstrisinde daha sıkı bir düzenleyici çerçevenin oluşturulmasına katkı sağlar. Deniz kazaları çeşitli kriterlere göre sınıflandırılır. Tablo 2'de deniz kazalarının sınıflandırılması ile ilgili detaylar verilmiştir.

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından 2019 yılında Resmî gazetede belirtilen Deniz Kaza ve Olaylarını inceleme Yönetmeliğinde deniz kazalarını Çok Ciddi Kaza (ÇCK), Ciddi Kaza (CK) ve Deniz Olayı (DO) olarak üç gruba ayırmıştır. ÇCK, geminin tamamen batması, kaybı, ölümlü olay veya şiddetli çevre

kirliliğinin oluşması olarak tanımlanır. CK'de ise ÇCK niteliğinde olmayan çarpma, yangın, karaya oturma gibi durumların olması; niteliği ve miktarı ne olursa olsun çevre kirliliğinin mevcut olması; yedi günden fazla iş göremez olan kazalar gibi tanımlara girer (KEGM, 2023). DO ise ÇCK veya CK dışındaki olayları tanımlar.

Tablo 2. Deniz kazalarının sınıflandırılması (ICS, 2023).

Deniz Kazaları				
Türüne Göre	Nedenine Göre	Sonuçlarına Göre	Gemi Türüne Göre	Coğrafi konumuna göre
Çarpışma	İnsan hataları	Can kaybı	Yük gemileri	Liman
Yatma veya Batma	Doğal faktörler	Yaralanma	Tankerler	Açık deniz
Yanma veya Patlama	Teknik arızalar	Çevresel zarar	Balıkçılar	Dar Boğazlar
Karaya Oturma	Altyapı sorunları	Maddi Hasar	Yolcu gemileri	Demir yerleri
			Servis gemileri	

2.2. Uluslararası Denizcilik Sözleşmeleri (UDS)

Deniz kazaları incelenirken birçok faktör göz önünde bulundurulur. Çalışmanın ana yapısı olan UDS faktörleri diğer faktörlere nazaran çalışan personelin bilgisini ölçen bir niteliktedir. UDS, denizcilikle ilgili çeşitli konuları kapsayan Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) 'nün belirlediği bir dizi uluslararası anlaşmayı içerir. Bu sözleşmeler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Uluslararası Denizcilik Sözleşmeleri ve tanımları (IMO, 2023).

IMO bünyesinde oluşturulan UDS	
Deniz Emniyet ve Güvenliği ile ilgili sözleşmeler	Tanımlanması
SOLAS (Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesi)	Gemilerin güvenliği ile ilgili standartları belirler. Gemi tasarımı, ekipman ve işletme standartlarına odaklanır.
SOLAS / LSA Kod (Can Kurtarma Teçhizatları)	Gemilerde bulunması gereken can kurtarma teçhizatları can filikalari, can sallari ve diğer can kurtarma ekipmanların olması gereken standartları, sayılarını ve yerlerini belirleyen bir kurallar kodudur.
SOLAS/ FFA Kod (Yangınla Mücadele Teçhizatları)	Gemilerde bulunması gereken yangın teçhizatları yangın pompaları, yangın dolapları, hortumlar, nozullar, acil yangın planı, itfaiyeci donanımları ve diğer yangın ekipmanlarının olması gereken standartları, sayılarını ve yerlerini belirleyen bir kurallar kodudur.
SOLAS /ISM Kod (Uluslararası Emniyetli Yönetim Sistemi)	Gemilerin güvenli yönetimi ve işletilmesi ile kirliliğin önlenmesi için uluslararası bir standart sağlamaktır.
SOLAS /ISPS Kod (Uluslararası Gemi ve Liman Tesisi Güvenlik Kodu)	Denizcilik tesisleri ve limanlarda güvenlik standartlarını belirler.
COLREG (Denizde Çatışmayı Önleme Uluslararası Kuralları Sözleşmesi)	Denizde deniz vasıtalarının çatışmalarının önlenmesi için kuralları belirler.
STCW (Gemi Adamlarının Eğitimi, Belgelendirilmesi ve Vardiya Tutma Standartlarına ilişkin Uluslararası Sözleşme))	Gemi mürettebatının eğitimi, belgelendirilmesi ve vardiyalı çalışma düzenleri gibi konularda standartları belirler.
LOADLINE (Yükleme Sınırı Uluslararası Sözleşmesi)	Load Line Sözleşmesi, gemilerin su hattına kadar yüklenmesine izin verilen maksimum yüklenme seviyesini belirleyen uluslararası bir anlaşmadır. Bu sözleşme, gemilerin denizde güvenli bir şekilde seyir yapabilmeleri için yüklenme sınırlarını belirler.

SAR (Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesi)	SAR Sözleşmesi, uluslararası denizcilik ve havacılık alanlarında yaşanan acil durumlarda arama ve kurtarma operasyonlarını düzenleyen bir anlaşmadır. Bu sözleşme, kayıp veya tehlikede olan insanların ve gemilerin bulunması ve kurtarılması için uluslararası iş birliğini sağlar.
FAL (Uluslararası Deniz Trafiğini Kolaylaştırma Sözleşmesi)	FAL Sözleşmesi, IMO (Uluslararası Denizcilik Örgütü) tarafından hazırlanan ve uluslararası deniz ticaretinin kolaylaştırılmasını amaçlayan bir anlaşmadır.
Deniz Kirliliğine İlişkin Sözleşmeler	Tanımlanması
MARPOL (Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Uluslararası Sözleşmesi)	Deniz çevresine zarar veren maddelerin kontrolüne yönelik uluslararası standartları belirler. Atık yönetimi, gemi deşarjı ve deniz çevresi koruma konularını içerir.
OPRC 1990 (Petrol Kirliliğine Karşı Hazır Olma, Mücadele ve İşbirliğine dair Sözleşme)	Denizde meydana gelen petrol kirliliği olaylarına karşı hazırlık yapılmasını, müdahale edilmesini ve uluslararası iş birliğinin sağlanmasını amaçlayan bir anlaşmadır.
OILPOL 1954 (Denizlerin Petrol ile Kirlenmesini Önlemeye İlişkin Uluslararası Sözleşme)	OILPOL Sözleşmesi, denizde meydana gelebilecek petrol kirliliğini önlemek, kontrol altına almak ve azaltmak için alınması gereken önlemleri belirler. Bu kapsamda, gemilerin petrol taşımaları sırasında, petrol platformlarından ve diğer denizcilik faaliyetlerinden kaynaklanabilecek kirliliği önlemeye yönelik tedbirler ve standartlar belirlenir.
Sorumluluk ve Tazminata İlişkin Sözleşmeler	Tanımlanması
FUND (Petrolle Kirlenme Zararları için Uluslararası Tazminat Fonu Kurulmasına İlişkin Uluslararası Sözleşme)	FUND 1971, denizde meydana gelen petrol kirliliği nedeniyle ortaya çıkan zararların tazmin edilmesi için uluslararası bir fonun kurulmasını amaçlayan bir anlaşmadır.
UNCLOS (Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi)	Deniz hukukunun genel bir çerçevesini belirler ve deniz sınırları, kıta sahanlığı hakları, gemi geçişleri ve diğer denizle ilgili konuları düzenler.
CLC (Petrol ve Petrol Ürünlerinden Kaynaklanan Zararlar için Sözleşme)	Petrol ve petrol ürünlerinden kaynaklanan deniz kirliliği durumlarında tazminat ve sorumluluk düzenlemelerini içerir.
Diğer Kapsamdaki Sözleşmeler	Tanımlanması
Gemi Balast Suları ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi Hakkında Uluslararası Sözleşme	Gemi balast sularının etkilerini azaltmaya yönelik önlemleri belirler.
SALVAGE 1989 (Uluslararası Kurtarma Sözleşmesi)	Gemi veya diğer deniz araçlarının acil durumlarda kurtarılmasını düzenler. Bu kurtarma operasyonları, geminin veya yükün kaybını önlemek, tehlikeyi bertaraf etmek ve çevresel zararları minimize etmek amacıyla gerçekleştirilir.

Stingheru vd., 2018 yılında çalışmalarında çıkan sonuçlardan UDS kapsamındaki sözleşmelere bakıldığında gemi kazalarının analizleri doğrultusunda özellikle sözleşme ihlallerinden SOLAS'a ait kodlara ait kısımlarından %35, STCW ile ilgili %18 olarak belirtmişlerdir. Küresel Entegre Gemi Bilgi Sistemi (GISIS) kaza inceleme raporlarına göre ise MARPOL %4,1 olarak belirtilmiştir. Uğurlu ve Çiçek, 2022'deki çalışmalarında COLREG hatalarından kaynaklı kazaları %41'lik olarak belirtmişlerdir (Uğurlu ve Çiçek, 2022). Bu çalışmanın ana yapısını ön plana çıkan UDS'ler SOLAS, STCW, COLREG, MARPOL ve ISM oluşturacaktır.

3. Literatür İncelemesi

Deniz kazalarını detaylı bir şekilde inceleyen birçok araştırma mevcuttur. Psarros, G. vd., (2010)'a göre denizcilik sektöründeki düzenleyici değişiklikler genellikle geçmiş gemi kazalarından elde edilen deneyimlere dayanmaktadır. Güvenlik önlemlerinin nasıl iyileştirileceği konusundaki kararlar genellikle kamu baskısı veya itibar faktörlerinden etkilenerek, genellikle geçici çözümlerle hızlı bir şekilde alınır (Hassel vd., 2011). Bu nedenle, bu tür düzeltmeler genellikle maliyet ve fayda analizi yapılmadan tercih edilmiştir. Bu düzenlemeler genellikle kural koyucu olarak adlandırılır ve belirli bir güvenlik sorununa yönelik çözümleri öngörerek diğer eşdeğer çözümlere sınırlı bir alan bırakır. Düzenleyici gelişmelerin endüstri ihtiyaçlarına yeterince hızlı ayak uyduramadığı ve teknik eşdeğerlik ilkesinin hızlı teknoloji ilerlemesi dönemlerinde yeniliklerin önünde bir engel teşkil edebildiği durumlar endişe verici olabilir (Fan vd., 2020).

Eliopoulou vd. (2016)'ya göre deniz güvenliği, toplum tarafından kabul edilebilir bir risk durumu olarak tanımlanabilir. Bu bağlamda, gemilerin mevcut güvenlik düzeyini değerlendirmek için, faaliyet gösteren dünya filusunun risk düzeyini ölçmek, dolayısıyla riske katkıda bulunan temel unsurları, yani deniz kazalarının sıklığı ve sonuçlarının kapsamını tahmin etmek ve değerlendirmek gerekir. Çalışmalarının sonucunda, son on yılda gemi kazalarının sıklığı genel olarak artmasına rağmen, çeşitli gemi türlerinin güvenlik seviyesinin önemli ölçüde değişmediğini, kazaların sonuçlarının ortalama olarak yaklaşık aynı seviyede kaldığını göstermektedir. UDS kapsamında değişikliklerin gemi personelinin kazalara yönelik eğitimleri konusunda yeterli düzeyde geri dönüş vermediği görülmüştür (Chauvin vd., 2013).

Özdemir Ü., 2012'de yaptığı çalışmada deniz kazalarının UDS bazında deniz kirliliğini ele alarak Türkiye'de yapılan uygulamalar ve düzenlemeler konusunda araştırma yapmıştır. Özdemir'e göre, ulusal politika oluşturulmasında yetersizliklerin olduğu ve gemi kazaları sonucu deniz kirliliğinde yeterli yaptırım ve kuralların oluşturulmadığı belirtilmiştir. Asyalı ve Kızılcı (2012) tarafından Türk kıyılarında 2004-2008 arasında gerçekleşen deniz kazaları incelenmiştir. Bu incelemenin amacı, deniz kazalarının sıklıklarını ve nedenlerini belirlemektir. Araştırma sonucunda, geçmişten günümüze süregelen bir zaman diliminde gemi kazalarının nedenlerinin değişmediği görülmüştür.

Sakar vd., 2022'de gemideki kapalı alan kazalarındaki risk değerlendirmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında güvenli olmayan kapalı alan operasyonlarının nedenlerini ve potansiyel sonuçlarını belirlemek amacıyla bulanık tabanlı papyon metodolojisi uygulamışlardır. Çalışmalarında FTA-ETA'nın dinamik bir risk analizi metodolojisi kullanılmıştır. Nu tür kazaların tekrarlanmasının önüne geçilmesi için önerilerde bulunulmuştur (Sakar vd., 2022).

Şeyler vd., 2021'de çalışmalarında karaya oturma kazalarına ilişkin risk değerlendirmelerinde bulunmuşlardır. Çalışmalarında hay-ta ağacı analiz yöntemi kullanılmıştır. Çalışmalarında Navigasyona dayalı faktörlerin karaya oturma kazaları üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca gemi mürettebatın mesleki yeterlilik düzeyi düzenli aralıklarla değerlendirilmesi gerektiğini önermişlerdir (Şeyler vd., 2021).

Eliopolou vd., 2016'da çalışmalarında dünya çapında faaliyet gösteren yolcu gemileriyle ilgili deniz kazalarının istatistiksel analizini ve son olarak, güvenlik seviyesinin toplumsal olarak kabul edilebilir bir risk seviyesi olarak tanımlanabileceğini varsayarak, belirli bir gemi tipinin mevcut güvenlik seviyesinin değerlendirilmesini ele almaktadırlar. Yöntem olarak istatistiksel analiz kullanılmıştır. Çalışmalarının sonucunda SOLAS hasar stabilitesi düzenlemelerinin acilen yeniden değerlendirilmesini gerektirmekte olduğu belirtilmiştir.

Pedersen 2010'da çalışmasında çift cidarlı gemi yapıların çarpışmaya dayanıklılığını değerlendirmek için pratik bir çarpışma ve karaya oturma metodolojisi önermiştir. Çalışma sonucunda hasar boyutunun

değerlendirilmesinde çarpışma ve karaya oturma kaza istatistiklerinden elde edilen yüzde 50 ve yüzde 90'lık değerler dikkate alınacağını tespit etmiştir.

Tablo 4. Gemi kazaları üzerine en çok atıf alan makaleler.

Yayın adı	Yazar	Çalışma yılı	Yöntem	Çalışmanın amacı
Kazaların İstatistiksel Analizi ve Yolcu Gemilerinin Güvenlik Düzeyinin İncelenmesi	Eliopoulou, E., Papanikolaou, A., & Voulgarellis, M.	2016	İstatistiksel Analiz	Kaza oranları ile gemi yaşı arasındaki ilişki
Çift cidarlı gemilerin çarpışma ve karaya oturma durumunda yapısal çarpışma dayanıklılığının analizi	Pedersen, P. T.	2010	Risk Analizi	Çarpışma ve karaya oturma olaylarının çevresel ve ekonomik maliyetleri
Deniz taşımacılığı sistemlerinin risk analizi için bir çerçeve: Bir gemi-gemi çarpışmasında tankerlerden dökülen petrol için bir örnek olay çalışması.	Goerlandt, F., & Montewka, J.	2015	Bayes ağı	Risk modeli ve risk analizine yönelik değerlendirme yapılmak amaçlanmıştır.
Deniz kazası araştırmasını geliştirmek için risk bazlı bir modelleme yaklaşımı	Celik, M., Lavasani, S. M., & Wang, J.	2010	Bulunık genişletilmiş hata ağacı analizi	Gemi kazası soruşturmasının (SAI) yürütme sürecini geliştirmek için risk bazlı bir modelleme yaklaşımı
FTA yöntemi kullanılarak petrol tankerindeki çarpışma ve karaya oturma için deniz kazası analizi	Uğurlu, Ö., Köse, E., Yıldırım, U., & Yüksekıldız, E.	2015	Hata ağacı analizi	Petrol tankerleri için GISIS (Global Integrated Shipping Information System)'e kayıtlı çarpışma ve karaya oturma verileri
Gemi-gemi çarpışması için olasılıksal risk analizi: Son teknoloji.	Chen, P., Huang, Y., Mou, J., & Van Gelder, P. H. A. J. M.	2019	Risk analizi	Gemi-gemi çarpışmasına ilişkin olasılıksal risk analizi ile belirlenmiştir.

Goerlandt ve Montewka 2015'te Gemi-gemi çarpışmasında tankerlerden dökülen petrol için bir örnek olay çalışması yapmışlardır. Yöntem olarak Bayes ağ kullanılmıştır. Çalışma Finlandiya Körfezi'ndeki petrol sızıntısı riskine ilişkin bir vaka çalışmasına uygulanmıştır. Sonuç olarak çalışmalarında Finlandiya bölgesinde tankerlerin çatışması sonucu petrol kirliliğinin olasılıkları hesaplanmıştır.

Uğurlu vd., 2015'te yaptıkları çalışmada petrol tankerlerinde meydana gelen çarpışma ve karaya oturma olayları için hata ağacı analizi (FTA) programı kullanılarak risk değerlendirmeleri yapmışlardır. Çalışmalarında çarpışma ve karaya oturma kazalarına sebep olan potansiyel problemler tespit etmişlerdir. Kazaların meydana gelişi FTA yöntemi ile nedensel faktörlerle birlikte göstermişler ve son

olarak kazaların önem derecesini araştırmışlardır. Kazaların oluşmasına neden olan ilk olayları ortaya koymuşlardır.

Çelik vd., 2010'da çalışmalarında organizasyonel hataların ve gemideki teknik sistem arızalarının etkilerini bir risk değerlendirme şeması altında birleştiren bulanık genişletilmiş hata ağacı analizini (FFTA) ile ele almışlardır.

Gemi kazaları ile ilgili 2010-2023 yılları arasında Scopus, Google akademik ve diğer uluslararası aramalarda en çok atıf alan yayınlar Tablo 4'te verilmiştir.

Çalışmalar incelendiğinde gemi kazaları ve Türkiye kıyılarında yaşanan gemi kazaları konusunda çalışmaların mevcut olduğu görülmüştür. Fakat yapılan çalışmalarda incelenen kazaların UDS'ye göre analizi yapılmamıştır. Çalışma literatürde UDS'ye göre yapıldığı için öncü olacaktır.

4. Materyal ve Metot

4.1. Kullanılan Veriler

Çalışmada 2013-2023 yılları arasında Türk karasularında meydana gelmiş gemi kazaları incelenmiştir. Gemi kazaları raporları resmi IMO GISIS web adresinden, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı sisteminden ve klas kuruluşların paylaştığı raporlardan alınarak toplanmıştır. Toplamda 273 gemi kazası raporu incelenmiştir. Gemi kazaları çatma/çatışma, karaya oturma, yangın, patlama, su alma, yük kazaları, denize adam düşmesi ve operasyonel kazalar olmak üzere incelenmiştir. Çalışmanın araştırma kısmında GRT kısıtlaması verilmemiştir. GRT kısıtlaması verilmemesinin nedeni diğer akademik çalışmalardan farklı olarak küçük teknelerin yer aldığı kazalara yer verilmemiş olmasıdır. Araştırmada Türk karasularında gerçekleşen gemi kazalarının olduğu bölgelerin haritalandırılması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Gemi kazalarının incelendiği alanlar (IMO, 2024).

Tablo 5'te çalışmada kullanılan değişkenler, değişkenlerin tipleri ve kaza tiplerine göre dağılımlarına yer verilmiştir. Kaza raporları incelenerek toplamda 8 değişken kriter bağımsız değişken olarak oluşturulmuştur.

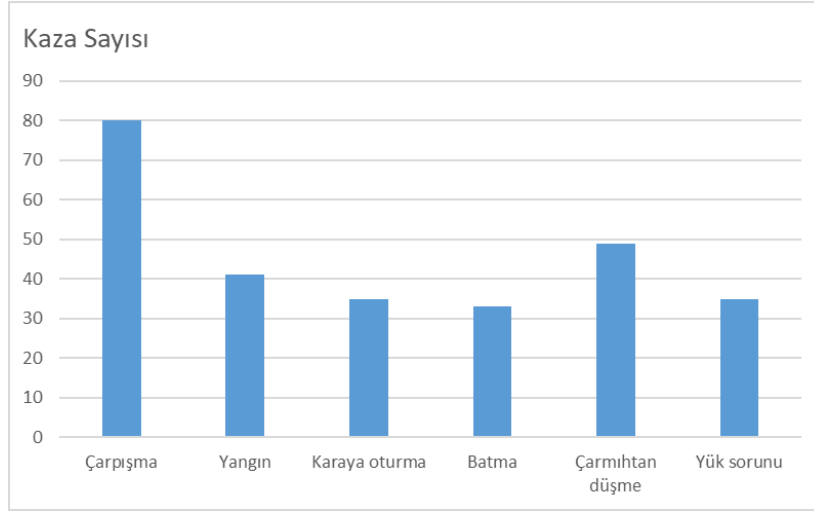
Tablo 5'te aynı zamanda kaza türlerinin sayısal oranı verilmiştir. Tabloya göre Türk karasularında gerçekleşen kazaların 80 adeti çarpışma sonucunda oluşmuştur. Şekil 2'de araştırmada tespit edilen kaza türlerinin sayısal miktarı verilmiştir.

Tablo 5. Kazaların istatistiksel verileri.

Değişkenler	Türleri	% oranı	Kaza türü			Sözleşme ihlali türü				
			ÇCK	CK	DO	COLREG	SOLAS	MARPOL	ISM	STCW
Yıl	2020-2023	27	40	37	18	34	30	16	11	4
	2017-2019	41	43	36	33	37	21	34	12	8
	2013-2016	32	35	23	29	33	16	26	5	7
GRT	0-100	24	25	27	13	20	20	12	10	3
	101-500	13	10	17	8	10	10	7	5	3
	501-1000	21	23	12	22	20	15	12	5	5
	1001-3000	23	20	25	17	23	21	7	4	7
	3000 üstü	19	19	21	12	24	12	12	3	1
Bayrak	Türk	40	45	37	27	45	35	19	5	5
	KB ¹	33	41	18	31	42	15	23	7	3
	Panama	15	19	11	10	19	9	5	3	4
	Malta	12	12	10	10	14	8	5	4	1
Gemi türü	Dökme	13	13	10	12	16	19	5	2	3
	Kuru yük	25	20	25	23	25	21	13	4	5
	Tanker	19	15	23	14	25	4	12	7	4
	Yolcu	11	11	10	9	5	8	11	3	3
	Balıkçı	15	15	17	9	15	14	6	4	2
	Servis	17	21	12	13	22	17	3	3	1
Coğrafik konum	Akdeniz	12	12	11	10	12	7	10	3	1
	Ege	18	10	20	29	18	11	13	4	3
	Marmara	42	37	51	27	47	40	19	5	4
	Karadeniz	28	30	21	25	19	40	14	1	2
Gemi yaşı	0-5	15	19	11	11	9	10	14	5	3
	6-10	23	11	32	20	10	26	16	6	5
	11-20	28	23	18	35	37	18	13	5	4
	21 ve üstü	37	42	40	19	40	27	25	4	5
Kaza zamanı	Gündüz	35	28	35	33	32	31	25	5	3
	Gece	65	55	65	57	84	38	41	7	7
Kaza nedeni	Çarpışma	29	35	31	14	16	13	13	3	35
	Yangın	15	11	16	14	11	16	3	7	4
	Karaya oturma	13	7	18	10	6	2	4	8	15
	Batma	12	22	11	0	11	10	0	8	4
	Çarmıhtan düşme	18	30	11	8	0	34	0	15	0
	Yük sorunu	13	12	5	18	0	17	4	12	2

Tablo 6'da gerçekleşen gemi kazalarında tespit edilen sözleşme ihlallerinde UDS kapsamında en çok karşılaşılan ana sözleşmeler ve alt bölümleri şeklinde maddeleri belirtilmiştir. Tabloya göre COLREG sözleşmesi kural 5 ve kural 7 kazalarda sıklıkla görülen maddelerdir (DÇÖT, 2017). SOLAS Bölüm V Kural 23 ise pilot çarmıh donanımı hakkında bilgi vermektedir. Kazalarda sıkça gördüğümüz diğer kural olarak ortaya çıkmıştır.

¹ KB: Kolay bayrak. Gemilerin herhangi bir devletin bayrağını taşıma zorunluluklarını onlara tescil kolaylığı, vergi muafiyetleri, istihdamla ilgili sınırlamaların bulunmayışı gibi avantajlar sağlayan ve bu avantajlarla gemi sahiplerince çoğunlukla tercih edilen devletlerdir.



Şekil 2. Kaza türlerinin sayısal miktarı.

Tablo 6. İhlal edilen uluslararası denizcilik sözleşmelerinin alt kurallarına göre ayrımı.

İHLAL EDİLEN ANA DENİZCİLİK SÖZLEŞMELERİ				
COLREG	SOLAS	ISM	STCW	MARPOL
Kural 5-6-7-8	Böl II-2 kural 1-4-5-7-15-20	Kısım A md. 1.2.2,	Böl 2-3	Annex I
Kural 15-17	Böl III kural 19	Kısım A md. 1.4	Böl 6 md. 1	Annex II
Bölüm B md. 5-6	Böl V Reg 23 ²	Kısım A md. 9	Böl VIII/ 4.1	Annex V
Bölüm B md. 8-35	Kural 26 md. 5	Kısım A md. 10.3	Böl A md 5-7-8-9	Annex VI
	Böl 2-4-5	Kısım A md. 7	Böl 8 kural 5	

4.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi

Türk karasularında 2013-2023 yılları arasında tespit edilen gemi kazalarının UDS ihlalleri ile Çok ciddi kaza (ÇCK) arasındaki istatistiksel açıdan ilişkilendirilmesi incelenmiştir. Araştırma sonucunda tespit edilen kaza raporları sonucu üzerinden Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi (ÇDRA) yöntemi kullanılmıştır. ÇDRA yönteminin uygulanması aşamasında çalışmalarda yaygın olarak kullanılan istatistik programı SPSS (sürüm 22) kullanılmıştır.

Regresyon, iki veya daha fazla değişken arasındaki sebep-sonuç ilişkisini belirlemek için kullanılan bir istatistiksel analiz yöntemidir (Montgomery vd., 2021). Bu analiz, bazen kestirim yapmak, bazen de tahminlerde bulunmak amacıyla kullanılabilir. Analiz edilecek ilişkinin tarafları bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak adlandırılır. Regresyon analizinde bağımlı değişken, açıklanan veya tahmin edilen değişkeni temsil eder. Başka bir deyişle, bağımlı değişken, bağımsız değişken tarafından etkilenen ve sonuç değişkeni olarak da tanımlanabilir (Seber ve Lee, 2012). Bağımsız değişken, açıklayıcı veya bağımlı değişkenin değerini tahmin etmeye yardımcı olan değişken olarak tanımlanabilir. Regresyon analizlerinde genellikle bir bağımlı değişken bulunurken, bağımsız değişkenler bir ya da daha fazla olabilir. Bağımlı değişken üzerindeki etkileri inceleyen analiz, bağımsız değişken sayısına bağlı olarak basit regresyon analizi veya çoklu regresyon analizi olarak adlandırılır (Montgomery vd., 2021).

Bir bağımsız değişkenli doğrusal regresyon matematiksel ifadesi denklem (1)'de ifade edilmiştir.

² Bölüm V Kural 23 Pilot Transfer Düzenlemesini içermektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \varepsilon \quad (1)$$

Bu formülde;

β_0 ve β_1 modelin bilinmeyen parametreleridir. ε , Hata terimi olup Y gözlenebilen bağımlı değişken X gözlenebilen bağımsız değişken değerleridir.

Çoklu Doğrusal Regresyon modelinin matematiksel ifadesi denklem (2)'de ifade edilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_k \cdot X_k + \varepsilon \quad (2)$$

Bu formülde; β_0 ve β_1 modelin bilinmeyen parametreleridir. ε , Hata terimi olup Y gözlenebilen bağımlı değişken X gözlenebilen bağımsız değişken değerleridir. Karabulut ve Şeker, 2018'de çalışmalarında Çoklu Doğrusal Regresyon Analiz modelini denklem (2) deki gibi kullanmışlardır (Karabulut ve Şeker, 2018). Bu çalışmada da benzer bir şekilde Çoklu Doğrusal Regresyon Analiz modeli kullanılmıştır. Bu modelin kullanılmasının nedeni literatürde kabul görmesi, kaza analizlerinde karmaşık ilişkileri anlamak, risk faktörlerini tanımlamak ve önleyici stratejiler geliştirmek için güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, iş güvenliği ve trafik kazalarının nedenleri ve etkileri üzerine yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

5. Bulgular

Çalışmada gemi kazalarının UDS kapsamında 5 farklı sözleşme ihlalleri çerçevesinde ÇCK sınıfı kazalara göre Çoklu Doğrusal Regresyon etkisi incelenmiştir. Bu UDS sözleşmeleri aşağıda listelenmiştir.

- COLREG (S_1)
- ISM kod (S_2)
- STCW kod (S_3)
- SOLAS (S_4)
- MARPOL (S_5)

Kaza sonucunda geminin tamamen batması, kaybı, ölümlü olay veya şiddetli çevre kirliliğinin oluşması olaylarının UDS sözleşmeleri ile etkisi araştırılmıştır. Araştırmada Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi (ÇDRA) kullanılmış UDS sözleşmelerinin etkileri ayrı ayrı, ikili, üçlü, dördü ve beşli şekilde incelenmiştir. En iyi regresyon sonucu, "R2 değerinin 1'e yaklaştıkça" olmaktadır. Analiz sonucu çıkan veriler Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo incelendiğinde tüm kural ihlallerinin beraber olduğu sistemde ölüm ve gemi kaybı gibi ÇCK tipi kazalara daha çok etki ettiği görülmektedir. Kural ihlallerinden tekli olarak bakıldığında COLREG (S_1) ve SOLAS (S_4) olduğu görülmektedir. Bu ikisinin dahil olmadığı sistemde ise etki değerlerinin düştüğü görülmüştür. S_1 ve S_4 diğer sözleşmelere eklendiğinde artış kaydettirmektedir. S_5 diğer unsurlar kadar etkileyciliği azdır. Tablo 7'de belirtilen sonuçlara göre en ideal ÇDRA sonucu Tablo 8'te belirtilmiştir.

ÇCK vakalarına göre MARPOL (S_5) maddesinin kazalara etkisi daha minimize edilir şeklindedir. Çoklu ÇDRA'ya göre tahmin edilebilecek değerlerin hesaplamasında kullanılacak denklem (3) aşağıda belirtilmiştir. Bağımlı değişken olarak seçilen ÇCK ve bağımsız değişken olan S_1 , S_2 , S_3 ve S_4 ne şekilde etkilediği aşağıdaki denklemde gösterildiği üzere araştırılmıştır. Model en küçük kareler modeli ile bulunmaya çalışılmıştır.

$$\text{ÇCK} = \beta_0 + \beta_1 \cdot S_1 + \beta_2 \cdot S_2 + \beta_3 \cdot S_3 + \beta_4 \cdot S_4 + \varepsilon \quad (3)$$

Tablo 8’de düzeltilmiş R^2 değerinin 0,589 çıkması, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki değişmelerin %58.9’unu açıklayabildiğini göstermektedir. Bulgular, S_1 , S_2 , S_3 , S_4 değişkeninin ÇCK üzerinde pozitif ve istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

ÇDRA ile yapılan analiz neticesinde elde edilen veriler ile GISIS ve UAB tarafından alınan kazaların ÇCK bazında karşılaştırılması Şekil 3’te belirtilmiştir.

Tablo 7. Farklı UDS gruplarının kaza sonucunda ÇCK üzerine etkileri.

Bağımsız Değişken	R^2	Düzeltilmiş R^2
S_1	0.265	0.214
S_2	0.189	0.135
S_3	0.164	0.114
S_4	0.254	0.205
S_5	0.009	0.015
S_1, S_2	0.569	0.517
S_1, S_4	0.557	0.507
S_1, S_3	0.498	0.447
S_2, S_3	0.487	0.435
S_2, S_4	0.418	0.367
S_1, S_2, S_4	0.615	0.567
S_1, S_3, S_4	0.629	0.572
S_1, S_2, S_3, S_4	0.634	0.589
S_2, S_3, S_4, S_5	0.625	0.571
S_1, S_2, S_3, S_4, S_5	0.639	0.581

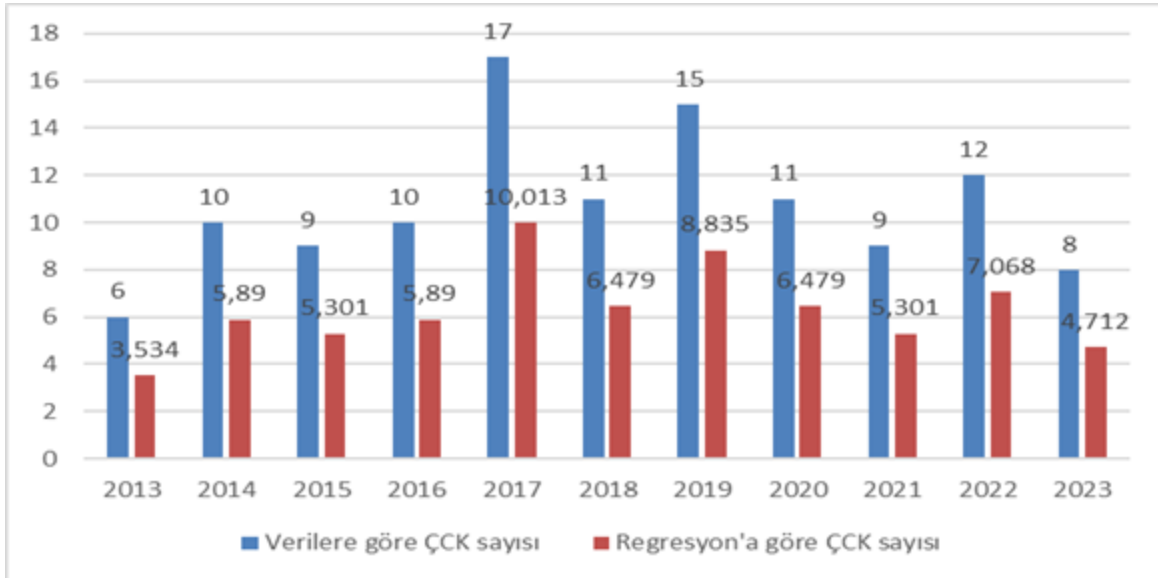
Tablo 8. Araştırma modeline göre en iyi regresyon sonucu.

Bağımsız Değişken	R^2	Düzeltilmiş R^2
S_1, S_2, S_3, S_4	0.634	0.589

6. Sonuç ve Değerlendirme

Çalışmada IMO GISIS, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı verileri ve Klas kuruluşlarından alınan veriler üzerinden araştırma yapılmıştır. Çalışmanın kısıtı olarak sadece Türkiye karasularında gerçekleşen kazalar incelenerek analiz yapılmıştır. Çalışmada gemi kazaları sonucunda belirtilen üç farklı olay adlandırılmasından UDS’ye göre ÇCK incelenmiştir. UDS’ye göre COLREG, ISM, STCW, SOLAS ve MARPOL olmak üzere 5 farklı sözleşme incelenmiştir. Araştırmada neden sonuç ilişkisi arasındaki bağıntıyı bulmamıza yardımcı olması için doğrudan çoklu regresyon analiz yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre COLREG ve SOLAS kurallarına uyulmaması neticesinde ÇCK niteliğinin arttığı belirtilmiştir. Ayrıca bunun yanında ISM sistemindeki hataların kazalara etkisinin diğer kurallara (STCW ve MARPOL) göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Regresyon analizine tekli, ikili, üçlü, dörtlü ve beşli gruplar şeklinde kombinasyonlarına da bakılmıştır. COLREG, SOLAS ve ISM kodun aykırılık yaşandığı kazalarda ÇCK daha fazla oluşmaktadır. Kazalar incelendiğinde COLREG sözleşmesi bölümlerinden 5 (gözcülük), 7 (Çatışma tehlikesi), 8 (Çatışmayı önleme hareketi), 15 (aykırı geçiş), 17 (yol veren teknenin davranışı) nolu maddelerin gemi personeli tarafından uyulmadığı ve dikkate alınmadığı görülmüştür. SOLAS sözleşmesinde ise bölüm 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 9 nolu alt bölümlerine gemi personelinin uymadığı

belirlenmiştir. Bulgular sonucunda dikkat çekici bir şekilde ISM kod madde 9'da belirtilen güvenlik önlemlerinin alınmaması neticesinde pilotun veya personelin çarpmıhtan düşerek ölmesi ile sonuçlanan kazaların çok sıklıkla karşılaşıldığı belirlenmiştir. Alınan kaza verilerinde dikkat çekici bir diğer önemli olgu ise, küçük gemilerin denetlemelerinin ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından özensiz yapıldığıdır. Kazaların özellikle 500 GRT altındaki gemilerde/teknelerde oluş sıklığı %35 ile yüksek bir değerdedir. STCW sözleşmesi neticesinde özellikle küçük tekne personelinin eğitim yeterliliği konusunda eksikliklerin olduğu belirlenmiştir. Kaza nedenlerine bakıldığında ise, gemilerin seyirde ve demirde çarpışması en çok görülen kaza vakalarıdır. Çarpmıhtan adam düşmesi ikinci sayısal büyüklükteki kazalardır. Kuru yük ve tanker sınıfı gemilerde kaza olma oranları son on yıllık dönemde diğer gemilerden fazla olduğu tespit edilmiştir. 10 yaş üstü gemilerde kaza oranı daha fazladır. Bunun nedeni olarak, ekipman yıpranması ve arızalardır. Bayrak devleti üzerinden yapılan değerlendirmeye göre, Türk bayraklı ve Kolay bayrak uygulamasındaki gemilerin daha fazla kazaya karıştığı görülmektedir. Türk bayraklı gemilerin kaza oranının fazla çıkmasının nedeni, kabotaj hattında çalışan küçük tonajlı gemilerin kaza raporlarında sıkça yer almasıdır. Kolay bayraklı gemilerin kaza raporlarında fazla olmasının en büyük nedeni, bayrak devletinin gemilerin denetimlerini düzgün yapmaması olduğu düşünülmüştür.



Şekil 3. Kaza verilerine göre ÇCK sayısı ile Regresyon analizine göre veri sayısının karşılaştırılması.

Gemi kazalarına yönelik yapılan akademik çalışmalarda COLREG kurallarının ihlalleri sorunu yüzünden kazaların arttığı tespit edilmiştir. Benzer bir şekilde, bu çalışmada da bu oran paralel çıkmıştır. Diğer akademik çalışmalarda kazalarda yer alan gemilerin içerisinde 500 GRT altı gemilere yer verilmemesinin çalışmaların sonuçlarını etkilediği düşünülmüştür. Özellikle kıyı sularda ve dar boğazlarda azımsanmayacak kadar fazla küçük ebatla tekne mevcut olduğu düşünüldüğünde, bu gemilerin de kaza analiz çalışmalarına dahil edilmesi gerekmektedir. Özellikle küçük teknelerin içerisinde bulunduğu ölümlü kaza raporları incelendiğinde, küçük teknelerin büyük gemiler ile düzgün iletişim kuramadığı tespit edilmiştir. SOLAS ve MARPOL kapsamında küçük ebattaki teknelerin muafiyetleri olabilir, fakat büyük gemilerin içinde bulunduğu bir kaza olayına giriliyorsa hukuki açıdan teknede bulunan personelin bilgi, eğitim ve sertifikalandırılması üzerine araştırmaların artırılması gerekmektedir.

Çalışma sonucunda tespit edilen COLREG, SOLAS (LSA ve FFA üzerinden) ve SOLAS'ın altındaki kodlardan biri olan ISM Kod kaza analizlerinde etki değeri yüksek olarak belirlenmiştir. Benzer bir kaza analizi

çalışmasından olan Stingeru vd., 2018 yılında çalışmalarında özellikle COLREG ve insan hatalarının yer aldığı ISM ile ilgili kazaların oluştuğunu çalışmada benzer bir şekilde belirtmiştir. Ayrıca ekipman hatalarını farklı bir bölümde belirtmesine karşı sistematik kontroller olduğu için Emniyetli Yönetim Sistemi içerisine dahil edersek aynı şekilde benzerliğin bu çalışma ile ortak noktalar olduğu görülmektedir. Uğurlu ve Çiçek, 2022’de COLREG kazalarının önemli olduğunu çalışmada vurgulamıştır ve benzer şekilde bu çalışmada da COLREG kurallarının ihlalleri önemli olarak çıkmıştır. Literatürdeki kaza analizi çalışmaları genellikle tek bir başlık üzerine, örneğin karaya oturma, çarpışma veya deniz kirliliği üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmada, kazaların çeşitli nedenleri ve uluslararası denizcilik sözleşmelerine ilişkin ihlaller üzerine odaklanan araştırma, diğer deniz kazaları üzerine yapılan literatür çalışmalarından farklılık göstermektedir.

Çalışmanın sonucunda, uluslararası denizcilik sözleşmelerine gemi personeli tarafından uyulmaması ve uygulanmamasının kazalara doğrudan etkisinin analizi yapılmıştır. Türk karasularında gerçekleşen gemi kazalarında yetkili gemi personeli tarafından UDS kapsamında büyük ölçüde SOLAS ve COLREG kurallarının göz ardı edilmesi sonucu kazaların olduğu tespit edilmiştir. Bu kazaların ana nedeni olan personel bilgi ve tecrübe eksikliklerinin giderilmesi için eğitim kurumları, denizcilik şirketleri ve yetkili devlet otoritelerinin konunun hassasiyeti nedeni ile üzerine düşmesi gerekmektedir. Gemi personelinin eğitim seviyesini yükseltmenin, denizcilik sözleşmelerine hakimiyetinin ve iletişim tekniklerinin üst seviyeye çıkartılmasının ne kadar önemli olduğu bu çalışma neticesinde bir kez daha ön plana çıkmıştır. Bu çalışma, gemi kazalarının birden fazla nedeni olan durumlarının incelenmesi yoluyla denizcilik sözleşmeleri ihlallerinin etkisi üzerine literatüre önemli katkıda bulunmaktadır.

Kaynaklar

Asyalı, E., & Kızkapan, T. (2012). Türkiye Kıyılarında 2004-2008 Yıllarında Uluslararası Sefer Yapan Gemilerin Karıştığı Deniz Kazalarının Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, 4(2), 27-45.

Balık, İ., Aydın, S. Z., & Bitiktas, F. (2022). Türk Boğazları trafik yoğunluğu, bekleme süreleri ve deniz kazaları. Kent Akademisi, 15(1), 262-276.

Celik, M., Lavasani, S. M., & Wang, J. (2010). A risk-based modelling approach to enhance shipping accident investigation. Safety Science, 48(1), 18-27.

Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J. P., & Langard, B. (2013). Human and organisational factors in maritime accidents: Analysis of collisions at sea using the HFACS. Accident Analysis & Prevention, 59, 26-37.

Chen, P., Huang, Y., Mou, J., & Van Gelder, P. H. A. J. M. (2019). Probabilistic risk analysis for ship-ship collision: State-of-the-art. Safety science, 117, 108-122.

Çakır, E., & Kamal, B. (2020). İstanbul Boğazı’ndaki ticari gemi kazalarının karar ağacı yöntemiyle analizi. Aquatic Research, 4(1), 10-20.

Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (DÇÖT), (2017). Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (COLREGs), Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı Yayınları, ISBN: 978-975-499-670-5

Deniz Ticaret Odası (DTO) (2023). Deniz Sektörü Raporu 2022. İstanbul: Deniz Ticaret Odası.
Equasis (2023). The World Merchant Fleet in 2017 – Statistics from Equasis. <http://www.equasis.org/EquasisWeb/public/PublicStatistic?fs=HomePage> Son Erişim Tarihi: 17.12.2023

Eliopoulou, E., Papanikolaou, A., & Voulgarellis, M. (2016). Statistical analysis of ship accidents and review of safety level. *Safety science*, 85, 282-292.

Fan, S., Blanco-Davis, E., Yang, Z., Zhang, J., & Yan, X. (2020). Incorporation of human factors into maritime accident analysis using a data-driven Bayesian network. *Reliability Engineering & System Safety*, 203, 107070.

Fu, S., Yu, Y., Chen, J., Xi, Y., & Zhang, M. (2022). A framework for quantitative analysis of the causation of grounding accidents in arctic shipping. *Reliability Engineering & System Safety*, 226, 108706.

Goerlandt, F., & Montewka, J. (2015). A framework for risk analysis of maritime transportation systems: A case study for oil spill from tankers in a ship–ship collision. *Safety Science*, 76, 42-66.

Hassel, M., Asbjørnslett, B. E., & Hole, L. P. (2011). Underreporting of maritime accidents to vessel accident databases. *Accident Analysis & Prevention*, 43(6), 2053-2063.

International Chamber of Shipping (ICS), (2023). Description of the Subject - International Chamber of Shipping (ICS). <http://en.reingex.com/Chamber-Shipping.shtml#:~:text=The%20purpose%20of%20the%20International,transporting%20all%20types%20of%20cargo> (Erişim Tarihi: 03.12.2023)

International Maritime Organization (IMO) (2023). Safety of navigation <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/NavigationDefault.aspx> Son Erişim Tarihi: 16.11.2023

International Maritime Organization (IMO) (2024). Global Integrated Shipping Information System <https://gisis.imo.org/Public/Default.aspx> Son Erişim Tarihi: 05.01.2024

Karabacak, A., & Köseoğlu, B. (2021). Türk Karasularında Meydana Gelen Gemi Kazalarının Analizi: Bir Veri Madenciliği Uygulaması. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 7(1), 54-74.

Karabulut, R., & şeker, K. (2018). Belirlenmiş değişkenlerin vergi gelirleri üzerindeki etkisi: çoklu doğrusal regresyon analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(3), 1049-1070.

Kaya, İ. S. (2016). Gemi kaynaklı deniz kirliliğini önleme amaçlı sözleşmelerin uluslararası hukuk açısından değerlendirilmesi. *International Journal of Social Sciences and Education Research*, 2(4), 1310-1319.

KEGM (2023). T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri Kullanıcı Rehberi, <https://kiyiemniyeti.gov.tr/Data/1/Files/Document/Documents/kb/OM/TM/OR/TBGTH%20Kllan%C4%B1c%C4%B1%20Rehberi.pdf> (Erişim: 03.01.2024)

Kılıç, A., & Sanal, H. T. (2015). Çanakkale Boğazı'nda karaya oturma ile sonuçlanan gemi kazaları. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(2), 38-50.

Kodak, G., Kara, G., Yıldız, M., & şalçı, A. (2022). İstanbul Boğazı'ndaki deniz kazalarının seyir emniyeti perspektifinde incelenmesi: İstanbul maks gemi tipi önerisi.

Lv, K. (2017). Analysis the human factors of maritime accidents based on HFACS—MTA—CM. Master Thesis, World Maritime University.

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). Introduction to linear regression analysis. John Wiley & Sons.

Özdemir, Ü. (2012). Türkiye’de Gemilerden Kaynaklı Deniz Kirliliğinin İncelenmesi. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 1(2), 373-384.

Pedersen, P. T. (2010). Review and application of ship collision and grounding analysis procedures. Marine Structures, 23(3), 241-262.

Psarros, G., Skjong, R., & Eide, M. S. (2010). Under-reporting of maritime accidents. Accident Analysis & Prevention, 42(2), 619-625.

Sakar, C., Toz, A. C., Buber, M., & Koseoglu, B. (2021). Risk analysis of grounding accidents by mapping a fault tree into a Bayesian network. Applied Ocean Research, 113, 102764.

Sakar, C., Buber, M., Koseoglu, B., & Toz, A. C. (2022). Risk analysis for confined space accidents onboard ship using fuzzy bow-tie methodology. Ocean Engineering, 263, 112386.

Seber, G. A., & Lee, A. J. (2012). Linear regression analysis. John Wiley & Sons.

Stingheru, C., Rusu, E., & Gasparotti, C. (2018). The Cause-Effect Method Used in Highlighting the Main Causes and Implications of Maritime Accidents in the Black Sea. ICTTE Belgrade, Serbia, International Journal for Traffic and Transport Engineering, 283-289.

Tunçel, A. L. (2020). Dökme yük ve genel kargo gemi kazalarının analizi (Master's thesis, İskenderun Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü/Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı).

Uğurlu, H., & Cicek, I. (2022). Analysis and assessment of ship collision accidents using Fault Tree and Multiple Correspondence Analysis. Ocean Engineering, 245, 110514.

Uğurlu, Ö., Köse, E., Yıldırım, U., & Yüksekıldız, E. (2015). Marine accident analysis for collision and grounding in oil tanker using FTA method. Maritime Policy & Management, 42(2), 163-185.

Xue, J., Papadimitriou, E., Reniers, G., Wu, C., Jiang, D., & van Gelder, P. H. A. J. M. (2021). A comprehensive statistical investigation framework for characteristics and causes analysis of ship accidents: A case study in the fluctuating backwater area of Three Gorges Reservoir region. Ocean Engineering, 229, 108981.

Dairesel Silindirlerin Girdap Kaynaklı Titreşimlerine Serbest Su Yüzeyi Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi

Aytekin Duranay

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye

aytekin.duranay@ikc.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9551-3508

ÖZET

Girdap kaynaklı titreşimler (GKT), çeşitli yapı tiplerinde, açık deniz yapılarından durağan ve yüzen platformlara kadar, lineer olmayan bir akış-yapı etkileşimi fenomeni olarak karşımıza çıkmakta ve bu durum genellikle yapısal hasara ve istikrarsızlığa neden olmaktadır. Ancak, son yıllarda yapılan bazı GKT çalışmaları, fenomeni doğrudan yenilenebilir enerji üretimi için kullanmaya ya da çeşitli şekillerde yararlanmak amacıyla cihazlar geliştirmeye odaklanmıştır. Bu çalışmada, GKT'nin hem yıkıcı-tahrip edici özelliklerinden kaçınmaya hem de fenomenden yararlanmayı amaçlayan araştırmaların sıklıkla karşılaştığı ortak problemlerden biri olan serbest su yüzeyi etkisini yüksek Reynolds sayılarında inceleme amaçlanmıştır. Bu amaçla, serbest yüzeye yakın bir konumda bulunan dairesel bir silindirin GKT'si üzerine yapılan deneysel ve sayısal araştırmaların bulguları sunulmakta ve tartışılmaktadır. Çalışmada öncelikle, serbest su yüzeyinden yeterince uzakta konumlandırılan bir silindirin GKT performansı deneysel olarak verilmiştir. Ardından aynı silindir kademeli olarak yüzeye yaklaştırılmış ve sonunda sakin suda silindir üst noktası serbest su yüzeyi hizasında olacak şekilde konumlandırılmıştır. Serbest su yüzeyinden yeterince uzakta olduğu koşulda en yüksek genlik ürettiği kenetlenme durumundaki kütle oranı, yay sabiti, Reynolds sayısı gibi deneysel parametreler sabit tutularak sadece su içindeki derinliği değiştirilmiş ve her yeni koşul için hareketli silindir etrafındaki akış özelliklerine ve GKT performansına izahat getirilmiştir. Çalışma, serbest yüzey etkisi altında GKT hareketi gözlemlenen dairesel silindirin salınım genliğinin, frekansının ve faz farkının su içindeki derinliğine bağlı olarak kontrol edilebileceğini ve düzenlenebileceğini göstermektedir. Bu bulgular, açık denizde yerleştirilen rüzgâr türbinleri, dalga enerjisi üreteçleri, hidrojen ve güneş enerjisi tesisleri gibi birçok potansiyel uygulamanın daha güvenli ve uzun ömürlü olmasına sağlamasına katkı sağlayacak niteliktedir. Çalışmada, tercih edilen deneysel ve sayısal yöntemler, parametrik analiz ve ana sonuçlar detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Girdap kaynaklı titreşimler, dairesel silindir etrafında akış, serbest yüzey etkisi.

Makale geçmişi: Geliş 25/03/2024 – Kabul 17/04/2024

<https://doi.org/10.54926/gdt.1458453>

Experimental and Numerical Investigation of Free Surface Effect on Vortex-Induced Vibrations of Circular Cylinders

Aytekin Duranay

Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering, Izmir Kâtip Çelebi University, Izmir, Türkiye

aytekin.duranay@ikc.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9551-3508

ABSTRACT

Vortex-induced vibrations (VIV) occur as a nonlinear flow-structure interaction phenomenon on various types of structures, ranging from offshore structures to stationary and floating platforms. VIV phenomenon usually leads to structural damage and instability. However, recent studies have focused on harnessing this phenomenon directly for renewable energy generation or developing devices for various purposes. In this study, effects of free surface conditions were examined on VIV at high Reynolds numbers—a common challenge faced by researches aiming both to avoid the destructive effects or harnessing the benefits of VIV. To achieve this, the findings of experimental and numerical investigations on the VIV of a circular cylinder located near the free surface are presented. Initially, the VIV performance of a cylinder positioned sufficiently far from the free surface was experimentally measured. Subsequently, the same cylinder was gradually brought closer to the surface until its uppermost point aligns with the still free water level. While keeping experimental parameters such as mass ratio, spring stiffness, and Reynolds number constant for the condition where the cylinder produced the highest oscillation amplitudes, only the water depth was gradually altered. The flow characteristics around the moving cylinder and its VIV performance under each new condition have been interpreted. The study demonstrates that the oscillation amplitude, and frequency of the circular cylinder experiencing VIV under free surface effects can be controlled and adjusted based on the water depth. These findings have implications for various potential applications, including offshore wind turbines, wave energy converters, hydrogen production, and solar energy facilities, making them safer and more sustainable in open sea environments. In the study, the proposed experimental and numerical methods, parametric analyses, and main results are presented in detail.

Keywords: Vortex-induced vibrations, flow around a circular cylinder, free surface effect.

Article history: Received 25/03/2024 – Accepted 17/04/2024

1. Giriş

Küt bir cisim belirli Reynolds sayıları üzerinde akışa maruz kaldığında, cismin etrafında girdaplar oluşmaya ve periyodik olarak kopmaya başlayacaktır (Zdravkovich, 2003). Bu girdaplar, dönen akışkan hareketinin iz bölgelerinde çıplak gözle dahi gözlemlenebilmektedir. Koparak cisim üzerinden ayrılan girdaplar, ayrıldıkları yüzeyde basınç farklılıkları meydana getirmekte ve bunun sonucunda akışa dik eksenin her iki yönünde zamanla değişen kuvvet farkları oluşturmaktadır. Periyodik olarak etkiyen bu kuvvetler neticesindeki cisim titreşime zorlanmaktadır. Tam bu noktada, cismin doğal frekansı ile üzerinde kopan girdapların frekansı arasındaki ilişki önem arz etmektedir. Elastik bir cismin doğal frekansı değerleri yakınında GKT hareketi göstermesi durumunda bir “*senkronizasyon bölgesi*”nden bahsetmek mümkün hale gelmektedir. Senkronizasyon bölgesi içinde bu titreşimlere maruz kalması durumunda salınım genlikleri gözle görünür biçimde artmakta ve bölge içinde rezonansa girdiği noktada bu genlikler genellikle en yüksek değerine ulaşmaktadır. Girdap kaynaklı titreşimler (GKT) olayında bu özel duruma “*kenetlenme (lock-in)*” adı verilir (Kınacı, 2016a).

GKT olayı yapılarda tahribe, yorulmaya ve diğer yapısal bozulmalara neden olmaktadır. 1940 yılında Washington Tacoma Narrows Bridge ismiyle bilinen ve kendi döneminde dünyanın en büyük asma köprülerinden biri olan yapı üzerinde meydana gelen salınımlar yıkılma ile sonuçlanmış ve o tarihlere bu yıkımın sebepleri net olarak ortaya konamamıştır. Hadisenin GKT nedenli olduğu ise ancak birkaç on yıl sonra Feng (1968)'in ortaya koyduğu bulgular ışığında anlaşılabilmiştir. Feng (1968), küt cismi temsilen dairesel bir silindir kullanarak rüzgâr akışına maruz bırakmış ve kenetlenme halinde bu silindirin kendi çapından büyük salınım genliği ürettiğini gözlemlemiştir. Literatürde öncü çalışmalardan kabul edilen bu deney sonuçları sonrasında köprü, açık deniz yapıları, gökdelen, baca, ısı eşanjörleri, deniz tabanındaki kablolar gibi akışa dik yönde maruz kalan küt geometri mühendislik yapıları üzerine GKT araştırmaları önem kazanmış ve yapı dinamiği hesaplamaları içindeki yerini almaya başlamıştır.

GKT çalışmaları üzerine yapılan deneysel ve sayısal hesaplamalarda küt cisim olarak genellikle dairesel bir silindir tercih edilmektedir. Sabit bir silindir etrafındaki akış karakteristikleri ve iz bölgesi yapıları Sumer & Fredsoe (1997) ve Zdravkovich (2003) tarafından detaylıca tartışılmıştır. Sabit silindire benzer mühendislik yapıları üzerinde levha sarmalı (helical fairings) ve karenajları (strakes) gibi mekanik uygulamalar kullanılarak yapı üzerindeki girdap oluşumu veya girdap kuvvetlerinin periyodik olarak yapıya etki etmesi azaltılmaya çalışılmaktadır (Schulz & Kallinderis, 2000). İnşası planlanan bir yapının GKT'den etkilenmesini en aza indirebilmek için öncelikle fenomenin bağlı olduğu parametrelerin irdelenmesi gerekmektedir. Akış hızı (U), akış kaynaklı titreşimlere maruz kalan yapının çapı (D), uzunluğu (L) ve ağırlığı (m), taşıdığı akışkanın yapı ağırlığına oranı (kısaca kütle oranı: $m^* = m_{osc}/m_d$), yapının yay sabiti (k) ve blokaj oranı (BO) gibi parametreler silindir etrafındaki akışın özellikleri ve yapı dinamiği üzerinde mutlak rol oynamaktadır. Bu parametrelerin değiştirilmesi ile GKT'nin senkronizasyon bölgesinin genişletilmesi ya da daraltılması, salınım genliklerinin artırılıp azaltılması ve de kenetlenme olayının açığa çıkarılması mümkündür.

Geçtiğimiz son 15 yıla kadar GKT çalışmalarının sıklıkla araştırdığı yıkıcı-tahrip edici özelliklerinin aksine son yıllarda yapılan bazı icatlar ve prototip modeller ile bu fenomenden yararlanılabileceği ispatlanmıştır. 2005 yılında Bernitsas & Raghavan tarafından patentlenen VIVACE isimli dönüştürücü sayesinde akışa dik yöndeki GKT hareketine elastik yaylar ile izin verilen dairesel bir silindirin titreşimlerinden elektrik enerjisi elde etmeyi başarması ile fenomene olan bakış açısı değişmiş ve ilgi artmıştır (Bernitsas & Raghavan, 2005). Başka bir çalışmada geleneksel GKT düzeneği tasarımından farklı olarak silindire bağlı yaylar yerine kullanılan akışa paralel levhanın elastikliğinden faydalanılmış ve piezoelektrik malzeme kullanılarak elektrik enerjisi üretilmiştir (Akaydın vd., 2010). 2013 yılında ise

dairesele bir silindirin GKT hareketinin frekansından yola çıkarak meskenlerde kullanılan suyun debi ölçümünü efektif olarak yapan bir alet geliştirilmiştir (Lakka, 2013). Dört farklı GKT düzeneği ile piezoelektrik malzeme kullanılarak elektrik üreten bir başka çalışmanın bulguları Dai vd. tarafından 2016 yılında paylaşılmıştır. 2020 yılında ise tek serbestiyet dereceli dairesele bir silindir–elastik yay kullanılan GKT düzeneği marifeti ile üretilen mekanik enerjiden tarımda sulama için kullanılabilir ve kendi kendini tahrik eden pompa tasarlanarak patentlenmiştir (Kınacı & Gökçe, 2020).

Bu çalışmada, Türkçe kaynakların sınırlı olması sebebiyle GKT üzerinde yeterli ilginin gösterilememesi sorununu aşmak amacıyla, fenomenin fiziksel izahatını yapmak ve aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilirliğini artırmak için sığ sularda karşılaşılan serbest su yüzeyi etkisi gibi problemler ele alınmıştır. Çalışmanın deneysel kısmında, İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deneysel Laboratuvarında yer alan sirkülasyon kanalı üzerine kurulu ve 2022 yılında restore edilerek dairesele silindirler etrafında girdap kaynaklı titreşim deneylerini çok daha düşük ağırlıklarda yapmaya olanak tanıyan yeni deneysel mekanizması kullanılmıştır. Yapılan deneysel testlere ek olarak üç boyutlu simülasyonlardan yararlanılmıştır. Sığ sularda elektrik üretimi, su pompası tahriki gibi enerji üretimi hedefleyen çalışmalarda karşılaşılan serbest su yüzeyi etkisini irdelemek için modellemede kullanılan dairesele silindir ile serbest su yüzeyi arasındaki mesafe değiştirilerek üç farklı senaryo oluşturulmuştur: serbest su yüzeyi etkisinden yeterince uzakta konumlandırılan dairesele silindir, serbest su yüzeyi etkisinde üç farklı derinlikte dairesele silindir koşulu ve sakin sudaki serbest yüzeye temas eden dairesele silindir. Bu senaryolarda dairesele silindir etrafındaki akışın özellikleri tartışılmış ve iz bölgesindeki girdap yapılarının GKT hareketi üzerindeki rolü gözlemlenmiştir. Çalışmada iz bölgesindeki girdap yapılarını incelemeye oldukça başarılı olan Detached Eddy Simülasyonu (DES) yöntemi kullanılmış, GKT hareketinin simülasyonu için ise STAR CCM+'da yer alan Dinamik Akışkan–Yapı Etkileşimi (Dynamic Fluid Body Interaction, kısaca DFBI) yönteminden yararlanılmıştır.

2. Girdap Kaynaklı Titreşimlerin Bağlı Olduğu Başlıca Parametreler ve Fiziksel İzahatı

Küt bir cisim etrafında girdap oluşumu, başta akışkan özellikleri olmak üzere cisim ile akışkan arasındaki uzaysal ve zamansal etkileşime bağlıdır. Örneğin, hareketsiz dairesele bir silindir üzerindeki akışı ele aldığımızda, silindirin çapı (D), akışkanın hızı (U) ve yoğunluğu (ρ), akışkanın dinamik viskozitesi (μ) ya da kinematik viskozitesi (ν) ile Reynolds sayısı (Re) hesaplanır. Bu Reynolds sayısına bağlı olarak akışkanın cisim üzerinde tek–çift yönlü girdap kopmaları oluşturup oluşturmayacağı, sınır tabakanın türbülanslı olup olmayacağı hakkında tahminde bulunmak mümkündür.

2.1 Akış Hızı, Silindir Çapı ve Reynolds Sayısı

Reynolds sayıları tarafından belirlenen akış rejimi sınırları ve karşılık gelen sınır tabaka ve akış özellikleri, Tablo 1'de verildiği gibi alt bölümlere ayrılmıştır (Martins & Avila, 2019).

$$Re = \frac{\rho DU}{\mu} = \frac{DU}{\nu} \quad (1)$$

Okyanus yataklarından doğal kaynak rezervlerini su yüzeyine doğru taşımada kullanılan çıkış boruları (riser) ve seren, denizde petrol ve doğalgaz arama ve çıkarmada kullanılan açık deniz yapılarının ayakları gibi gemi inşaatı ve denizcilik yapılarına etkileyen dış akışlar genellikle kritik-altı akış rejimindeki TrSL2 ve TrSL3 (Transition Shear Layer: Geçiş Kayma Tabakası) aralığına denk gelmektedir (Rahman, 2015). Bu yapıları dairesele bir silindir ile temsil ettiğimiz zaman Şekil 1'de görüldüğü üzere stagnasyon noktası civarında ikiye ayrılan akım, silindirin altında ve üstünde kayma tabakaları meydana getirecek,

bu kayma tabakaları silindir üzerinde bir süre yol aldıktan sonra cisim üzerinden koparak yoluna devam etmek isteyecektir. Bu noktada, silindirin altında ve üstünde, başta Reynolds sayısı olmak üzere akışın anlık özelliklerine göre silindir merkezine göre belirli açılarda silindir üzerinden ayrılmaya başlayacaktır. Kayma sınır tabakasının silindire temas eden yüzeyinin kopmak istememesi, silindir aftında (arkasında) negatif basınç oluşumu nedeniyle kayma tabakasındaki akışın bir kısmının yön değiştirerek yeniden silindire doğru hücum etmesi gibi nedenler ile girdaplar oluşacaktır. Cismin simetrik olduğu göz önüne alındığında, bu girdapların alttan ve üstten birbirini takip ederek kopacağını tahmin etmek zor değildir. Bütün bu yapı-sıvı etkileşimi neticesinde silindir üzerinde çift yönlü kuvvetler oluşacak ve bu da cismi titreşim yapmaya zorlayacaktır. Eğer silindir rijit bir bağlantı ile sabitlenmemiş ise, başka bir deyişle akışa dik yönde elastik serbestlik verilmiş ise, girdap kopmalarından kaynaklanan kuvvetler cisimde salınımlara neden olacaktır.

Tablo 1. Reynolds sayısı aralıkları ve bunlara karşılık gelen dairesel silindirler etrafındaki akış karakteristikleri.

Reynolds Sayısı	Akış Rejimi	Özelliği
Laminer Rejim		
$Re < 1$		Sürüklenen Akış (Creeping Flow)
$3 - 5 < Re < 30 - 40$	L	Durağan Ayrılma (Steady separation)
$30 - 40 < Re < 150 - 300$	L	Periyodik laminer dökülme
Kritik-altı Rejim		
$150 - 200 < Re < 200 - 250$	TrW1	İz bölgesinde Laminer Girdaptan Geçiş
$200 - 250 < Re < 350 - 500$	TrW2	Düzensiz Girdap Oluşumuna Geçiş
$350 - 500 < Re < 1 - 2 \times 10^3$	TrSL1	Serbest kayma tabakasında geçiş dalgalarının gelişimi
$1 - 2 \times 10^3 < Re < 1 - 2 \times 10^4$	TrSL2	Serbest Kayma Tabakasında Girdap Oluşumu
$1 - 2 \times 10^4 < Re < 1 - 2 \times 10^5$	TrSL3	Tamamen Türbülanslı Kayma Tabakası
Kritik Rejim		
$1 - 2 \times 10^5 < Re < 3.1 \times 10^5$	TrS0/TrBLO	Ayrılma Noktasındaki Geçişin Başlangıcı
$3.1 \times 10^5 < Re < 3.4 \times 10^5$	TrS1/TrBL1	Tek Ayrılma Balon Rejimi
$3.4 \times 10^5 < Re < 3.8 \times 10^5$		Kararsız Bölge

2.2 Kütle, Sönüm Katsayısı ve Yay Sabiti

Tek serbestlik derecesinde k rijitliğindeki elastik yaylar ve c sönüm katsayısı ile y yönünde titreşimine izin verilen m kütleli bir GKT silindirin titreşimini Denklem 2 ile verilen zorlanmış titreşim ifadesi ile temsil etmek mümkündür.

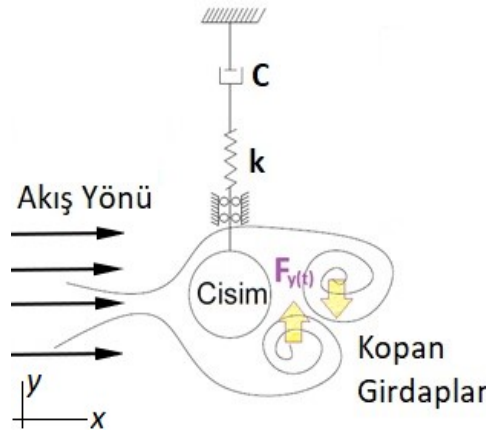
$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F_y(t) \quad (2)$$

Bu denklemde doğal frekans $\omega_n = \sqrt{k/m}$ ve kütsüz sönüm parametresi $\gamma = c/m$ yerine konursa Denklem 3 elde edilir.

$$\ddot{y} + \gamma\dot{y} + \omega_n^2 y = F_y(t) \quad (3)$$

Hareket denkleminde tanımlanan doğal frekansın ve girdap kopmaları neticesinde oluşarak zamana bağlı olarak büyüklüğü ve yönü değişen $F_y(t)$ ifadesinin frekansının birbirine yakın olduğu durumlarda titreşimin senkronizasyon bölgesinde olduğu, birbirine eşit olduğu durumlarda da kenetlenme olayının ortaya çıktığı bilinmektedir. Bu noktadan hareketle, bir GKT çalışmasında şayet tasarımı yapılacak

mühendislik yapısının en kötü durum senaryosu (worst-case scenario) incelenmek isteniyorsa kenetlenmeyi de içine alan ve senkronizasyon bölgesinin en tehlikeli alanı olarak bilinen “üst dallanma” aralığı ayrıntılı olarak incelenmelidir. Taşırılan akışkanın ağırlığı (displaced-fluid-mass) $m_d \gg 1$ olduğu hava ortamında senkronizasyon aralığında genellikle başlangıç dallanması (initial-branch) ve üst dallanma (upper-branch) olmak üzere iki dallanma görülür. Su gibi yüksek öz-kütleyle sahip bir akışkan ortamında GKT gözlemlenirken düşük ve orta Reynolds sayılarında bu senkronizasyon bölgelerine ilaveten üçüncü bir dallanma türü olan alt dallanma (lower-branch) gözlemlenir.

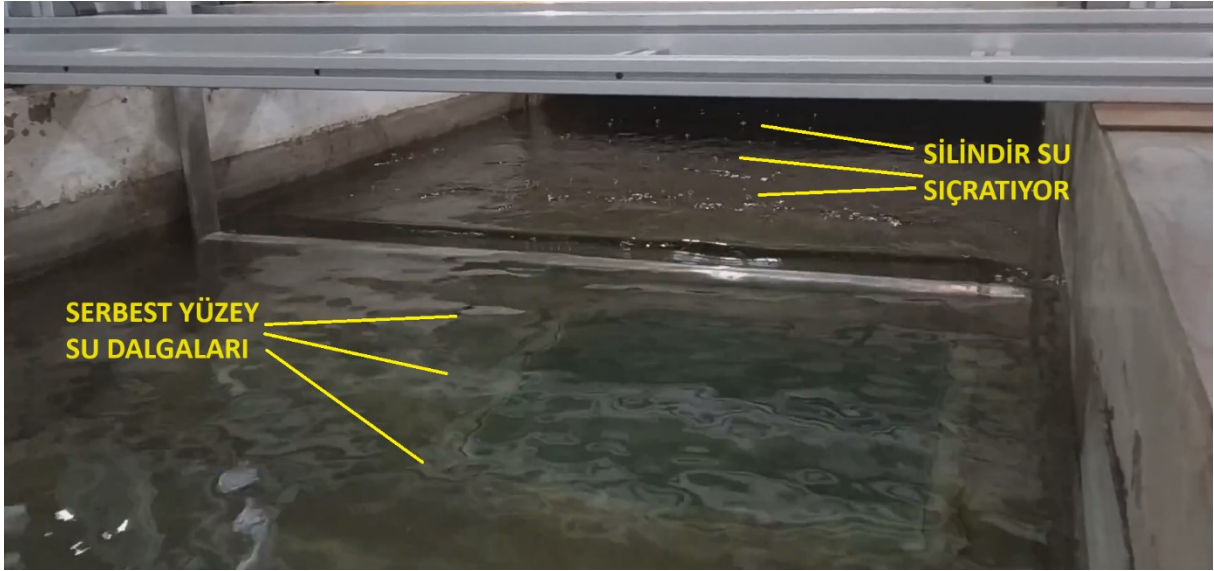


Şekil 1. Girdap kopmalarından kaynaklanan kuvvetlerin cismi titreşime zorlaması

GKT olayından faydalanmayı hedefleyen çalışmalarda, hareket denkleminde faydalanılarak doğal frekansların matematiksel yöntem ile tespit edilmesi ve ardından girdap kopma frekanslarına yakın çalışma koşulları oluşturularak senkronizasyon aralığındaki üst dallanma bölgesi incelenmelidir. Bu hesaplamalarda sabit silindir etrafında akış problemlerinin incelendiği Fredsoe & Sümer (1997), Yüksel (2011) gibi kaynaklarda farklı akış hızlarında ve bu akış hızlarına karşılık gelen Reynolds sayılarında girdap kopmalarını veren Strouhal (St) sayısından yararlanılabilir.

2.3 Serbest Su Yüzeyi Etkisi ve Boşluk Katsayısı

Dairesel silindirin içinde bulunduğu akışkan ile hava arasındaki sınır görevini gören serbest su yüzeyi, GKT dinamiğinde daha fazla karmaşıya sebebiyet vermesi kaçınılmazdır. Açık deniz yapılarında GKT'ye serbest su yüzey etkisi ile birlikte maruz kalan mühendislik yapılarının dayanım ve ömür hesaplamalarında bu iki etki birlikte incelenmelidir. Serbest su yüzeyinin mevcudiyeti, su içinde akışa maruz kalan küt cisimler üzerindeki akış desenini önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca bu etki, serbest su yüzeyi yakınındaki akış hızı ve basınç gradyanını da değiştirmektedir. Bu şartlarda periyodik olarak alttan ve üstten kopması gereken girdaplar için üst sınır tabakanın tahrip olması ya da hiç oluşmama riski vardır. Bütün bunlara ek olarak, serbest yüzeye yakın tarafta yeterince alan olmaması, serbest yüzey gerilimi ya da su jetlerinin oluşumundan kaynaklanan yeni kuvvetlerin de aktif rol oynaması gibi (Reichl vd., 2005) sebepler girdapların oluşumunu kısmen ya da tamamen engelleyerek sadece alt sınır tabakadan kopmasına neden olmaktadır. Bütün bu etkiler, şüphesiz yay-silindir sisteminin doğal frekansını ve sönümünü de değiştirecektir. Yüzeyden yeterince derinde konumlandırılan dairesel bir silindire akışkandan GKT vasıtasıyla geçen enerjinin bir kısmı, silindirin yüzeye yakın konumlandırılması durumunda, su sıçratma ve serbest su yüzeyinde dalga oluşturmaya harcanacaktır. Silindirin oluşturduğu bu dalgalar hiç şüphesiz kendi GKT hareketini de etkileyecek böylece zaten ancak doğrusal olmayan denklemler ile tanımlanabilen fiziksel olgunun izahatı daha da karmaşık bir hal alacaktır.



Şekil 2. İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarında yer alan sirkülasyon kanalında GKT'ye maruz bırakılmış dairesel bir silindirin serbest su yüzeyi etkisindeki hareketi.

Şekil 2'de örnek olarak verilen serbest su yüzeyine yakın konumlandırılan dairesel silindirin üst noktası ile yüzey arasındaki mesafe h (m), silindir çapı D (m) olmak üzere boyutsuz boşluk oranı (gap ratio) $h^* = h/D$ ile ifade edilmektedir. Çalışmadaki Froude sayısı (Fr) ise serbest su yüzeyi ile silindirin üst noktasındaki boşluk oranına bağlı olarak hesaplanmıştır. Tahmin edileceği üzere oranı h^* arttıkça serbest su yüzeyi etkileri azalacaktır. Ancak bu etkinin azalıp artmasının GKT hareketine etkisinin doğru orantılı olup olmadığı söylemek ancak sayısal ve deneysel testler ile mümkün olacaktır. Boşluk oranının azaldığı ve sonunda silindirin serbest su yüzeyine temas ettiği noktadan itibaren negatif h^* değerlerinden söz etmek mümkün olmakla birlikte, çalışmada sakin su yüzeyindeki silindirin serbest su yüzeyi deldiği bir koşul incelenmemiştir. Kısaca, GKT hareketi üzerindeki rolü açısından serbest su yüzeyi etkisi incelenmek istendiğinde, h^* önemli bir parametre olarak anılacaktır.

3. Model Kurulumu

Çalışmanın iki ana bölümüne ait bulgular, deneysel testler ve simülasyonlar, GKT olayında üretilen indirgenmiş genlik ve frekans değerlerini bulmakta ve bu değerlerin genel hatları ile literatüre uyumluluklarına çift denetim sağlamaktadır. Ayrıca doğru sonuçlar üreten bir simülasyon modellenmesi sağlanması, ileride yapılması planlanan GKT analizlerinin düşük maliyetli ve daha hızlı olmasını sağlayacaktır. Bütün bunlara ek olarak, iz bölgesindeki akış ve girdap yapılarını simülasyonlar aracılığı ile irdeleyebiliyor olmamız, deneysel olarak oldukça maliyetli ve erişiminde güçlük yaşadığımız PIV (Particle Image Velocimetry) ekipmanının olmayışının eksikliğini büyük ölçüde azaltmaktadır.

3.1 Deney Mekanizması

Deneyel araştırma, İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarında yer alan sirkülasyon kanalı üzerine kurulu GKT deney mekanizması ile gerçekleştirilmiştir. Sirkülasyon kanalı, bir adet elektrik motoru, pervane ve rpm (dakikadaki devir sayısı) kontrol paneli içermektedir. Kanaldaki suyun akış hızı (U), rpm değerlerine bağlı olarak tarafımızca 2019 yılındaki renevasyon sonrası kalibre edilmiştir. Sirkülasyon kanalında yaklaşık $43m^3$ su, 50 kW gücündeki elektrik motoru-pervane düzeneği ile tahrik edilmektedir. Şekil 3'te gösterilen deneylerin yapıldığı test alanı ölçüleri $1.5m \times 0.64m$ ve akış hızı aralığı

0 – 1.95 m/s şeklindedir. Deneylerde kullanılan silindirin boyu $L = 1.42\text{m}$ olup yatay blokaj oranı (BO) %94.67'dir. Bu oran silindirin bağlı olduğu kolların kanal duvarlarına sürtmemesi için kasten %100 olarak ayarlanmamıştır. Öte yandan, silindir üzerindeki akışın üç boyutlu karakteristikler göstermesi ve uçlara doğru akış formunun bozulmasına neden olabilecek niteliktedir. Bu çalışmanın kapsamı içinde yer verilmeyen bu etkilerin sayısal analizlerde de benzer bulunması için simülasyonlarda aynı BO değeri kullanılmıştır. Dairesel silindirlerin GKT hareketine uç akışın etkileri benzer akış rejimlerinde Duranay vd. (2021) ve Kınacı vd. (2016)'da müstakilen tartışılmıştır.



Şekil 3. Sirkülasyon kanalı ve GKT deney mekanizması

Önceki deneysel çalışmalarımızda kullanılan deney mekanizmalarının aksine (Duranay & Kınacı, 2020; Duranay vd., 2021), dairesel silindirlerin daha düşük kütle oranlarında VIV deneylerini gerçekleştirmek için bazı ağır bileşenler değiştirilmiş ve mekanizma genel hatları ile revize edilmiştir. Deneylerde ölçüm almak için donanımsal tasarımı ve yazılımı tarafımızca geliştirilen ultrasonik bir sensör (HC-SR04), her bir test boyunca en az bir dakika boyunca veri kaydetmiştir. Her bir koşulda ve akış hızında alınan verilerin ortalama değerleri kullanılmıştır.

3.2 Sayısal Yöntem

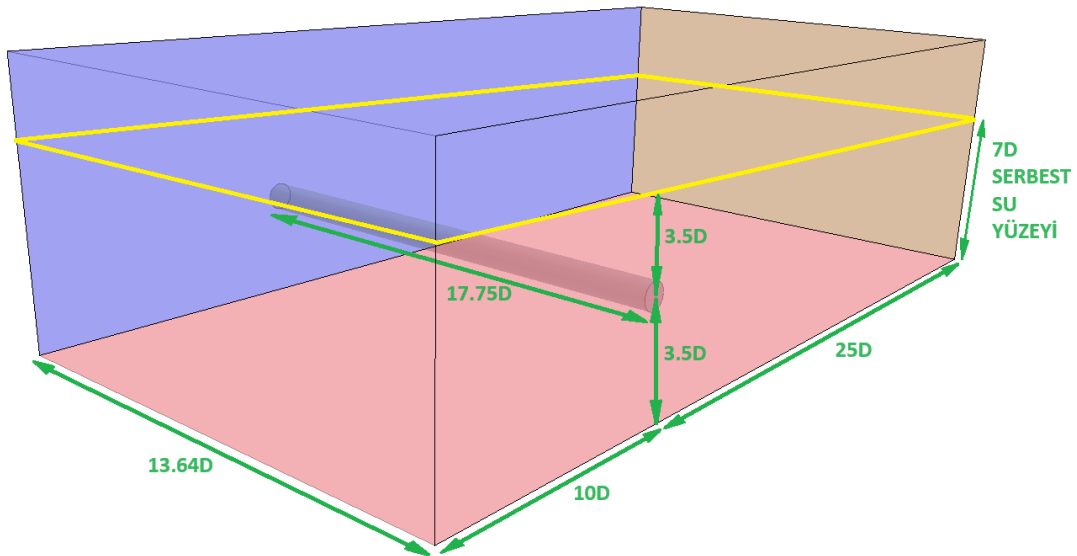
Bu çalışmada düzensiz, sıkıştırılmayan akış kullanılarak gerçekleştirilen yapı-sıvı etkileşimi olayını simüle etmek için Detached Eddy Simülasyonu (DES) yöntemi kullanılmış, GKT hareketinin simülasyonu için ise STAR CCM+'da yer alan Dinamik Akışkan-Yapı Etkileşimi (Dynamic Fluid Body Interaction, kısaca DFBI) yönteminden yararlanılmıştır. Navier-Stokes denklemleri ile akış içindeki momentum, kütle ve enerjinin korunumu, kullanılan ticari yazılımın Sonlu Hacimler Yöntemi (Finite Volume Method, kısaca FVM) yardımı ile kontrol hacminde tanımlanarak ayrıklaştırılmıştır. STAR CCM+ temelde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olmakla birlikte akışkan-yapı etkileşimi analizlerinde yapı dinamiğinin özelliklerini ve hareket denkleminin bileşenlerini tanımlamaya izin veren DFBI modülü sayesinde GKT olayını simüle etmemize imkân sağlamaktadır.

Çalışmada, iz bölgesindeki girdap yapılarını incelemeye başarılı türbülans modeli olarak SST $k - \omega$ Detached Eddy yöntemi kullanılmıştır (Menter, 1994). Seçilen bu türbülans modeline göre yakın duvar bölgesini doğru bir şekilde modellemek için geliştirilmiş y^+ duvar işlemi kullanılmıştır. Bu model,

özellikle akış ayrılması, girdap kopması veya bozucu bir basınç gradyanı olduğunda diğer iyi bilinen türbülans modellerine kıyasla daha doğru tahminler sağladığı bilinmektedir. $k-\omega$ türbülans modeli ayrıca mevcut simülasyonlar için doğruluk ve hesaplama süresi arasında iyi bir denge sağlamaktadır. Türbülans modelleri arasındaki kıyaslamalar hakkında daha geniş bilgi Ünal vd. tarafından 2010 yılında yayınlanan içerikte elde edilebilir.

3.2.1. Kontrol Hacmi ve Sınır Koşulları

Çalışmada, sınır koşulları olarak İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarında yer alan sirkülasyon kanalının boyutları taklit edilerek simülasyonlarda tanımlanmıştır. Üç boyutlu silindirin hacim merkezi sıfır noktası olarak ayarlanarak silindir çapına (D) bağlı sınır koşulları Şekil 4'teki gibi düzenlenmiştir. Dairesel silindir, akışın girişten stagnasyon noktasına kadar düzgün ulaşabilmesi ve GKT hareketiyle silindirin ters yönde oluşturacağı yüzey dalgalarının hareket edeceği yeterli alanı sağlayabilmek amacıyla girişten $10D$ mesafeye konumlandırılmıştır. Akışın kontrol hacmini terk edeceği yönde iz bölgesinin oluşumu ve görüntülenebilmesi için $25D$ mesafe bırakılmıştır. Sirkülasyon kanalındaki genişliği taklit etmek için toplamda $13.64D$ ($BO = L_{silindir} / L_{kanal} = 0.947$) genişlik ve duvar etkilerini asgariye indirmek için toplamda $10.25D$ yükseklik tanımlanmıştır. Su-hava karışımının aynı anda bulunduğu bu analizlerde, farklı boşluk oranlarına (h^*) göre tanımlanan $10.25D$ yükseklik içindeki su seviyesi farklılık göstermektedir. Hava-su karışımının kontrol hacmine giriş yaptığı ön, alt ve üst yüzeyler analizlerde *giriş (inlet)*, akışkanın kontrol hacmini terk ettiği arka yüzey *çıkış (outlet)* ve diğer yüzeyler *simetri düzlemi* olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4. Boşluk oranı $h^*=3.5D$ olduğu durum için kontrol hacmi ve silindir.

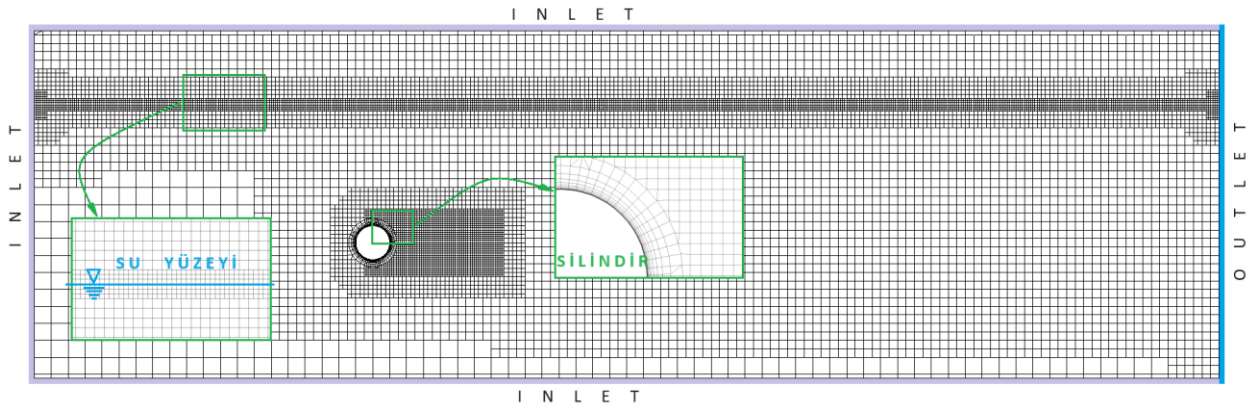
3.2.2 Uzaysal-Zamansal Ayrıklaştırma ve Ağ Yapısı

Dönüş ve ötelenme hareketlerin olduğu akışkan-yapı problemlerinin sayısal olarak modellendiği HAD analizlerindeki ağ yapısı oluşturulurken Şekil 5'te gösterildiği üzere üç boyutlu altı düzlem yüzeyli bir örgü kullanmak, özellikle cismin hareket ettiği bölgede daha dinamik ve dirençli hücreler oluşmasını sağlamaktadır (STAR CCM+, 2018). Ağ yapısı oluşturulurken cisim etrafında ve iz bölgesinde daha küçük ve sık bir doku kullanmak, sınır tabaka ve viskoz alt katmanların doğru bir şekilde modellenmesini sağlamaktadır. Çalışmada, bu sık ağ örgüsünün dairesel silindir etrafındaki prizmatik katmanlarının

sayısı, genişleme oranı ve toplam kalınlığı oluşturulurken y^+ kriterleri uygulanarak ve cisim etrafındaki ilk hücreler üzerindeki sayısal değerinin 5'ten küçük sonuçlar üretmesine dikkat edilmiştir. Bunun sonucu olarak analizlerde toplam 2,744,473 ağ hücresi kullanılarak çözüme gidilmiştir. Simülasyonlarda kullanılan zaman adımı büyüklüğü girdap kopma periyodunun (T) 200'de 1'ini geçmeyecek şekilde $\Delta s=0.01$ olarak alınmıştır. GKT hareketi yapan dairesel bir silindirin sayısal analizlerinde doğru bir ağ yapısının genel hatları ile oluşturulması, y^+ kriterlerinin detayları ve zaman adımı büyüklüğünün doğru seçilmesi hususlarında Duranay (2024), Kınacı (2016b) ve Mandelli vd. (2016)'dan daha detaylı bilgiler edinilebilir. Çalışmada, ağ sayısından ve zaman adımı aralığından bağımsızlık irdelenmiş ve Tablo 2'de sunulmuştur. Standart sapma değerleri incelendiğinde simülasyonlarda kullanılan hücre sayısı ve zaman adımı aralığı seçimlerinin yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 2. $U^*=6.144$ hızında farklı hücre sayısı ve zaman adımı aralıklarında indirgenmiş genlik ve indirgenmiş frekans değerleri

Hücre Sayısı (Adet)	Zaman adımı aralığı (Δs)	A^*	f^*
1,703,391	0.010	1.16173	1.19878
2,744,473	0.020	1.14846	1.22521
2,744,473	0.010	1.15124	1.21982
2,744,473	0.005	1.15119	1.21456
5,162,089	0.010	1.15061	1.21807
	Standart Sapma	0.00320	0.00694



Şekil 5. Kontrol hacmi kesit görüntüsü ve ağ örgüsünün dağılımı.

4. Deneysel Testler ve Sayısal Analizlerdeki Girdap Kaynaklı Titreşim Silindirin Teknik Özellikleri

Üç boyutlu analizlerde tek bir silindir kullanılarak aynı sınır ve başlangıç koşullarında sadece su yüksekliği değiştirilmiş ve böylece 5 farklı boşluk oranı (h^*) elde edilmiştir. Bu h^* değerlerinin ilkinde, silindir merkezi serbest su yüzeyinden $3D$ kadar uzakta konumlandırılmış ve öncelikle bu etkiye maruz kalmadığı durumdaki GKT performansı elde edilmiştir. Son h^* değerinde ise su seviyesi silindir üst sınırına teğet olacak şekilde tanımlanarak (yani silindir merkezi ile su seviyesi arası $0.5D$ de denebilir) GKT hareketi sırasında silindirin kısmen de olsa kendiliğinden su üzerine çıkması amaçlanmıştır. Ara h^* değerlerinde ise silindir üst sınırı ile serbest su yüzeyi arasındaki mesafe kademeli olarak azaltılarak her bir yeni koşulda silindirin serbest su yüzeyine daha fazla maruz kalması ve bunun sonucu olarak da GKT performansında değişim gözlemlenmesi istenmiştir.

Tablo 3. Deneysel ve Sayısal analiz koşulları ve değişkenleri.

Değişken	Sembol	Birim	Değer ve aralık
Silindir Çapı	D	m	0.080
Silindir Boyu	L	m	1.420
Yay Sabiti	k	N/m	766
Su içindeki doğal frekans	f_{nw}	1/s	1.221
İndirgenmiş akış hızı	U^*	–	6.144
Kütle oranı	m^*	–	0.829
Boşluk oranı	h^*	–	0 – 3.500
Reynolds sayısı aralığı	Re	–	$2.2 \times 10^4 - 1.07 \times 10^5$
Froude sayıları	Fr	–	0.362 – 0.958
Sönüm katsayısı	ζ	–	0.050
Akışkan özkütlesi	ρ	kg/m ³	997.561

Çalışmanın sayısal kısmında, serbest su yüzeyi etkilerinde incelenen deneysel çalışma ile kıyaslanması yapılarak, kenetlenme civarına denk gelen indirgenmiş akış hızları ($U^* = 5 - 7$) olduğu koşullar taklit edilerek $U^* = 6.144$ hızında analizler yapılmıştır. Silindir geometrisi ve suyun teknik özellikleri hesaplandığında bu hızdaki Reynolds sayısı TrSL3 akış rejimine denk gelen $Re = 4.8 \times 10^4$ olarak bulunmuştur. Silindir çapı, boyu ve ağırlık oranı, yay sabiti ve sönüm katsayısı deneysel çalışmalarımızda kullandığımız özellikler ile uyumlu olacak şekilde ayarlanmıştır (örneğin Duranay vd., 2021). Bu parametrelerin GKT üzerindeki etkisi literatürdeki çalışmalarda detaylı olarak açıklanmış olup (Lee & Bernitsas, 2011), (Kınacı, 2016a), (Duranay vd., 2023) mevcut çalışmada sadece serbest su yüzeyi etkisine odaklanılmıştır.

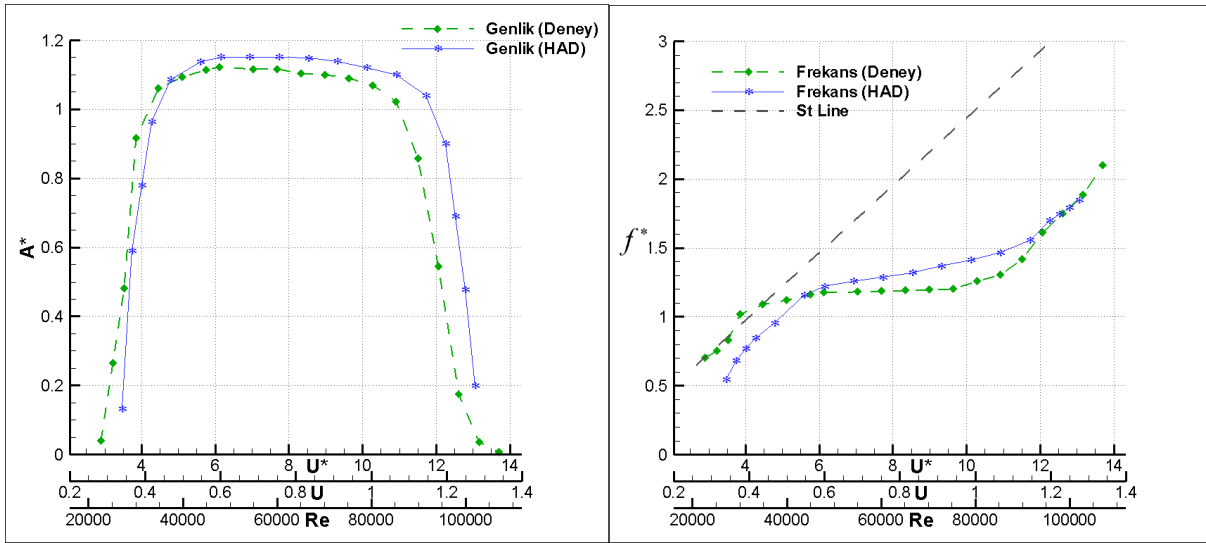
5. Sonuçlar ve Çıkarımlar

5.1 Kullanılan Yöntemlerin Doğrulanması

Kullanılan sayısal yaklaşım, İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarında yer alan sirkülasyon kanalında yapılan deneysel çalışmalar ile doğrulanmıştır. Şekil 6, serbest su yüzeyinden yeterince uzakta konumlandırılan ($h^* = 3.5D$ için) dairesel silindirin Tablo 3'te yer alan koşullarda GKT hareketinin bütün senkronizasyon aralığındaki sayısal ve deneysel sonuçlarını birlikte sunmuştur. Sayısal ve deneysel yöntemin birlikte verildiği bu boşluk oranına denk gelen sonuçlar aynı zamanda çalışmada kullanılan beş farklı derinlikten en büyüğüdür. Tüm parametrik detaylar Tablo 3'te verilmiş olup testlerin tamamı TrSL3 akış rejimi içinde gerçekleşmiştir. Serbest su yüzeyi ile silindirin üst noktasındaki mesafe ve akış hızına bağlı hesaplamalarda en derin konumdaki silindir koşulunda Froude sayısı $Fr = 0.362$ olarak bulunmuştur.

Çalışmanın deneysel sonuçlarının literatürde benzer parametreler ile yürütülen çalışmalarla mukayesesi önceki yayınlarımızda, örneğin (Duranay vd., 2021; Kınacı vd., 2022), yapılmış olup deneysel belirsizlikleri Usta & Duranay (2020) ve Duranay vd. (2022)'de detaylıca tartışılmıştır. Şekil 6'da ifade edilen genlik ve frekans değerleri U akış hızlarında, bu akış hızlarına denk gelen indirgenmiş akış hızlarında (U^*) ve Reynolds (Re) sayılarında gösterilmiştir. Buradaki f_{nw} ifadesi silindirin su içindeki doğal frekansı anlamına gelmektedir. GKT testlerinde, çalışılan Reynolds sayısı aralığına denk gelen Strouhal frekansı St Line ile gösterilmiştir. Bu değer, hareketsiz silindirler üzerinde girdap kopma frekansı değerinin Reynolds sayılarına bağlı olarak değişimini göstermektedir. St Line, GKT çalışmalarındaki frekans değerlerinin Reynolds değerlerine bağlı ana yönelimin belirlenmesi ve

takibinde referans alınan önemli bir değişkendir. f_{osc} , hareketli silindirin salınım frekansı olmak üzere U^* ve f^* ifadeleri (4) ve (5) numaralı denklemlerde verilmiştir.



Şekil 6. Kullanılan sayısal ve deneysel yöntemler ile $h^*=3.5D$ koşulundaki dairesel silindirin GKT indirgenmiş genlik (A^*) (solda) ve indirgenmiş frekans (f^*) (sağda) sonuçları.

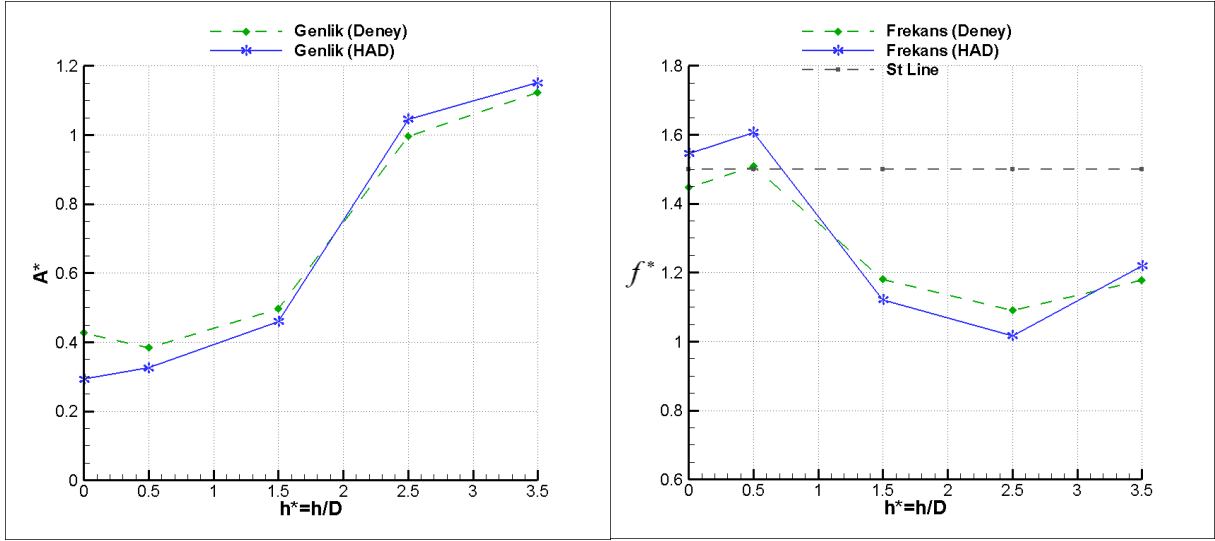
$$U^* = U / (f_{nw} \times D) \quad (4)$$

$$f^* = f_{osc} / f_{nw} \quad (5)$$

HAD analizleri, bulunan genlik ve frekans değerleri senkronizasyon aralığı, dallanmalar arası geçiş ve maksimum genlikler açısından değerlendirildiğinde deneyler ile oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir. Senkronizasyon aralığındaki başlangıç dallanması deneylerde daha önce başlamış ve üst dallanmadan alt dallanmaya ve hatta senkronizasyon dışına daha erken çıkmıştır. Öte yandan, HAD analizlerinde üst ve alt dallanma bölgelerinde daha yüksek, başlangıç dallanmasında ise deneylerden daha düşük genlikler üretilmiştir. İki yöntemde elde edilen kenetlenme noktası ve civarındaki üst dallanma genlikleri farkı sadece %2–3 aralığında iken bu fark sırasıyla başlangıç dallanması ve alt dallanmada daha yüksektir. GKT konusunda öncü çalışmalardan kabul edilen Govardhan & Williamson (2000)'e uygun olarak, su içindeki doğal frekans (f_{nw}) ve vakum ortamındaki doğal frekans (f_v) değerlerinin aşıldığı noktalarda dallanmalar arası geçişler görülmüştür. Bu geçiş noktaları sayısal ve deneysel çalışmalarda benzer aralıklarda bulunmuş olup sırasıyla $U^*=4-5$ ve $U^*=11-12$ değerlerinde meydana gelmiştir. Bu geçiş aralıkları Şekil 6'da hem genlik (solda) hem de frekans (sağda) değerlerindeki kırılmalar ile net olarak anlaşılmaktadır. Genliklerde alt dallanma bölgesinin üst dallanma bölgesi ile senkronizasyon çıkışı arasında fazla yer işgal etmemesi, hatta oldukça sönük kalmasının nedeni, çalışmanın TrSL3 akış rejiminde yürütülmesidir. TrSL3 akış rejiminin karakteristikleri hakkında detaylı bilgi için Ji vd. (2018) ve Duranay (2024)'den yararlanılabilir.

5.2 Serbest Su Yüzeyinin Dairesel Silindirin GKT Hareketine Etkisi

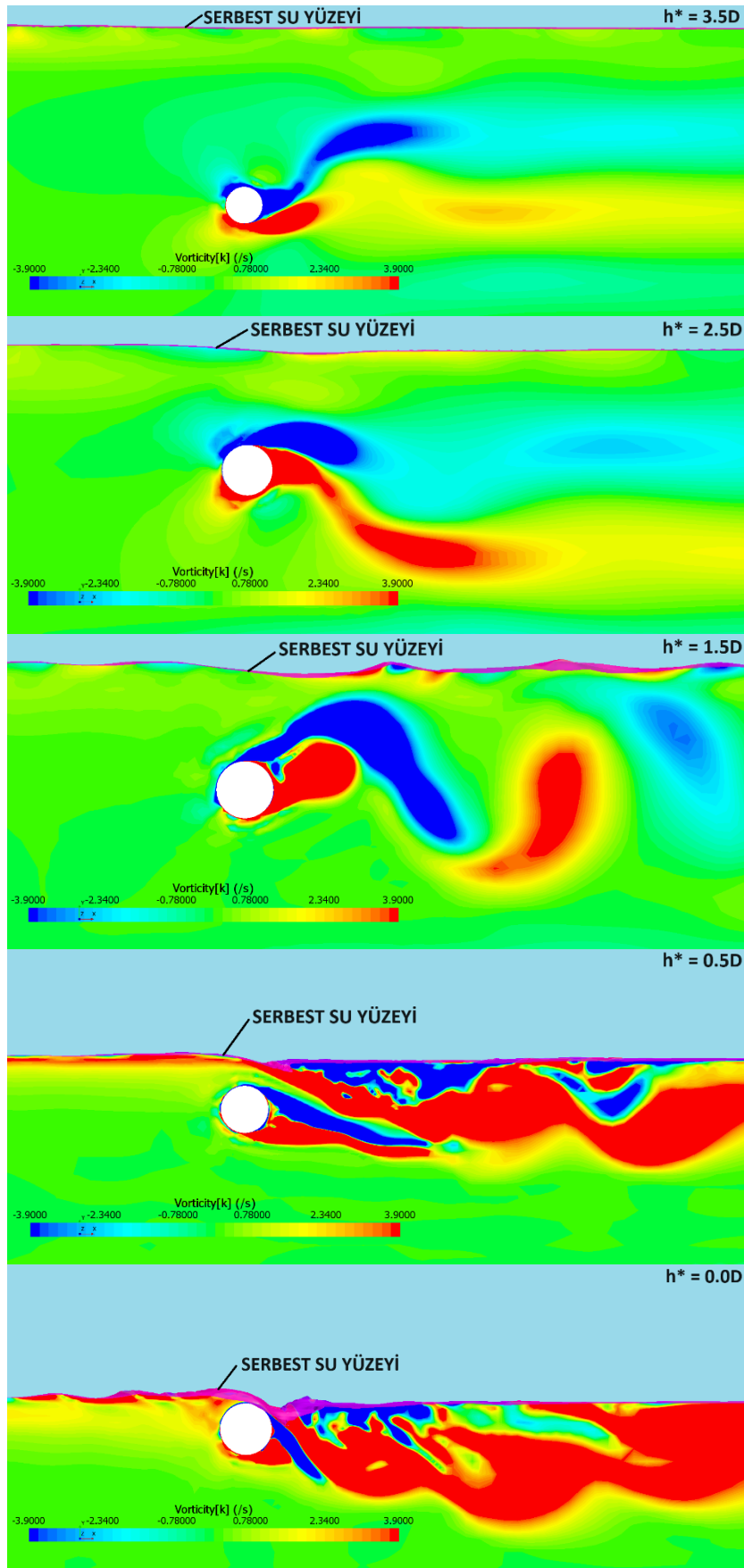
Çalışmada deneysel ve sayısal olarak GKT performansı incelenen dairesel silindirin senkronizasyon bölgesinde elde etmiş olduğu en yüksek genlik değerine karşılık gelen indirgenmiş akış hızı $U^* \approx 6$ civarındadır. Bu akış hızında üretilen sayısal ve deneysel genlikler sırasıyla $A^* = 1.130$ ve $A^* = 1.151$ iken sayısal hesaplamalarda elde edilen indirgenmiş frekans $f^* = 1.220$ ve deneysel indirgenmiş frekans $f^* = 1.178$ olarak bulunmuştur.



Şekil 7. $U^* \approx 6$ civarında erişilen en yüksek genliklerin (A^*) (solda) ve aynı hıza denk gelen frekans (f^*) değerlerinin (sağda) boşluk oranına ($h^* = h/D$) bağlı olarak değişimi.

Şekil 7’de $U^* \approx 6$ civarındaki üst dallanma bölgesinde GKT performansı irdelenen dairesel silindirin yapılan deneysel testler ve sayısal HAD analizleri beş farklı boşluk oranına bağlı olarak birlikte sunulmuştur. Dairesel silindirin su içindeki derinliği azaldıkça serbest su yüzeyi etkisinin genlikler üzerindeki negatif etkisi açıkça görülmektedir. HAD analizlerindeki genlikler yeterli derinlikte deneysel sonuçlardan yüksek değer üretmekteyken serbest su yüzeyine yaklaştıkça HAD ile üretilen genlikler deneysel genlikleri aşmıştır. İndirgenmiş frekans değerlerinde ise genliklerin aksine, serbest su yüzeyi etkisi ile artış meydana gelmiştir. Akışkandan dairesel silindire olan enerji transferi açısından bakıldığında GKT genliklerin azalırken frekanslarının aynı etki ile artması, GKT fenomeninden yenilenebilir enerji elde etmeyi hedefleyen çalışmalar için bir optimizasyon problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, GKT’nin açık deniz yapılarında meydana getirebileceği tahribat söz konusu olduğu durumlarda doğal frekansı yüksek yapılar için serbest su yüzeyine yakın koşullarda daha fazla risk oluşturacağı görülmektedir.

HAD simülasyonlarında, serbest su yüzeyi etkisinin girdapların oluşumuna nasıl kısmen veya tamamen engel olduğu Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekilde, beş farklı boşluk oranında diğer tüm parametreler sabit tutularak gerçekleştirilen analizlerde meydana gelen girdaplar verilmiş olup bu girdap formlarının ve akışın oluşturduğu desenlerin derinliğe bağlı olarak büyük değişim gösterdiği açıktır. Hareket denkleminin sağ tarafında ifade edilen ve zamana bağlı değişiklik gösteren $F_y(t)$ girdap kopması kaynaklı periyodik kuvvetlerin oluşabilmesi için öncelikle gerekli olan sınır koşulları en sığ iki derinlikte ($h^* = 0.0D$ ve $h^* = 0.5D$) büyük oranda sağlanamamıştır. Bu şartların ilki ve en önemlisi Şekil 1’de gösterilen alt ve üst sınır tabakalarıdır. Şekilde, dairesel silindir serbest su yüzeyine daha yakın konumlandırıldıkça yüzey civarında akışkan yapıları kaotik bir hal almış, silindirin varlığı münasebeti ile serbest su yüzeyinin yüksekliği de artmıştır. Böylece dairesel silindirin GKT hareketi daha düzensiz bir akış içinde gerçekleşmiştir. Sonuç olarak Şekil 7’de gösterildiği üzere oluşan salınım genlikleri de boşluk oranı ile birlikte azalmıştır.



Şekil 8. GKT silindirin $U^* \approx 6$ civarında beş farklı boşluk oranına ($h^*=h/D$) bağlı olarak değişen iz bölgesi.

Aynı akış hızında hesaplanan Froude sayıları, boşluk oranlarının farklı olması nedeniyle her bir koşulda derinliklere bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Boşluk oranının $h^*=3.5D$ olduğu 0.24m derinlikte $Fr=0.362$ olan Froude sayısı değeri dairesel silindir serbest yüzeye yaklaştıkça artmıştır. Chung (2016)'da detaylıca bahsedildiği üzere serbest su yüzeyinin etkisi arttıkça, başka bir deyişle Fr değeri arttıkça, dairesel silindirlerin GKT hareketi baskılanmaktadır. Benzer bir çalışmada Reichl et al. (2005) paralel bir çıkarımda bulunmuş ve Fr değeri arttıkça üst sınır tabakada girdap kopma olasılığının azaldığını göstermiştir. Mevcut çalışmanın sonuçları bütün bu bulgular ve önceki bölümlerde bahsedilen literatürde GKT üzerinde serbest su yüzeyi etkisini irdeleyen araştırma sonuçları ile uyumludur. Deneysel ve sayısal sonuçların serbest su yüzeyi etkisi altında ürettiği genlik ve frekans değerleri birbirini destekler nitelikte olup, oluşan küçük farkların deneysel belirsizlikler ve sayısal modellemenin eksiklerinden kaynaklandığı not edilmelidir.

5.3 Çıkarımlar

Bu çalışmada, serbest su yüzeyine yakın şartlarda ve yüzeyden yeterince uzakta konumlandırılan akışa dik eksende hareket etmesine izin verilen dairesel bir silindirin girdap kaynaklı titreşimleri incelenmiştir. Silindirin su yüzeyinden derinliğine bağlı olarak toplamda beş farklı koşulda gerçekleştirilen araştırma, deneysel ve sayısal olarak yürütülmüş olup aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Serbest su yüzeyine yaklaştıkça salınım frekansı değerleri artmış olup, yüzeye teğet ve en yakın koşuldaki dairesel silindirin salınım frekansı sabit silindir etrafındaki girdap kopma frekansı olan Strouhal frekansını geçmiştir.
- Serbest su yüzeyi varlığı ile silindir üst sınır tabakasında girdap oluşumunu kısmen ya da tamamen engelleyerek dairesel silindir üzerinde ve iz bölgesinde periyodik girdap oluşumlarını azaltmış ya da engellemiştir. Bunun sonucunda ise serbest su yüzeyi etkisi arttıkça daha düşük genlikli GKT hareketleri elde edilmiştir.
- Boşluk oranı $h^* = h/D = 1.5$ daha büyük olduğu durumlarda serbest su yüzeyi etkisi $h^* = 0.5$ ve $h^* = 0.0$ seviyelerine kıyasla oldukça sönük kalmıştır. Bu oran $h^* = 1.5$, $h^* = 2.5$ ve $h^* = 3.5$ olduğunda iz bölgesinde rijit girdaplar gözlemlenmiştir.
- Araştırmanın amacına uygun olarak üretilen bulgular neticesinde, dairesel silindirin GKT hareketine serbest yüzey etkisi Şekil 7'deki genlik değerlerinden ve Şekil 8'deki iz bölgesinde girdap oluşumlarındaki farklılıklar ile kolayca ayırt edilebilmiştir.
- GKT hareketinden yararlanan su pompası, elektrik üretimi sağlamayı planlayan bir yöntem için teçhizatın çok derinde konumlandırılmasının maliyeti artıracığı muhakkaktır. Çalışmanın bulgularından yola çıkarak, serbest su yüzeyi ile hareketli silindirin üst noktası arası mesafe sadece 2.5D kalacak durumda dahi genlik ve frekans bakımından büyük farklılıklar oluşmadığı sonucuna varılmaktadır. Öte yandan, derinliğe bağlı değişen GKT performansı ve kurulum maliyeti hesaplarının bir optimizasyon problemi olduğu unutulmamalıdır.

Kullanılan sayısal yaklaşımın sonuçları ile İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarında yer alan sirkülasyon kanalında yapılan deneysel çalışmanın sonuçları birbiri ile uyumludur. Simülasyonlar sayesinde elde edilen iz bölgesindeki akış yapılarının gelecek çalışmalarda PIV gibi yöntemler ile deneysel olarak da gözlemlenebilmesi planlanmakta ve tavsiye edilmektedir.

Bilgilendirme

Bu çalışmanın deneysel testleri, 2023 yılında İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı'nda yer alan sirkülasyon kanalında Araştırma Görevlisi Yüksek Mühendis Alkın Erdal Demirhan'ın değerli katkılarıyla tamamlanmıştır. Kendisine teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

Akaydin, H. D., Elvin, N., & Andreopoulos, Y. (2010). Energy harvesting from highly unsteady fluid flows using piezoelectric materials. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 21(13), 1263–1278.

Bernitsas, M. M., & Raghavan, K. (2005). Fluid Motion Energy Converter. In United States Patent and Trademark Office Patent# 7,493,759 B2.

Chung, M. H. (2016). Two-degree-of-freedom vortex induced vibration of low-mass horizontal circular cylinder near a free surface at low Reynolds number. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 57, 58-78.

Dai, H. L., Abdelkefi, A., Yang, Y., & Wang, L. (2016). Orientation of bluff body for designing efficient energy harvesters from vortex-induced vibrations. *Applied Physics Letters*, 108(5), 053902.

Duranay, A., & Kinacı, Ö. K. (2020). Enhancing two-dimensional computational approach for vortex-induced vibrations by scaling lift force. *Ocean Engineering*, 217, 107620.

Duranay, A., Usta, O., & Kinacı, Ö. K. (2021). Systematic investigation of the tip effects on vortex-induced vibrations for circular cylinders. *Ocean Engineering*, 239, 109829.

Duranay, A., Kinacı, Ö. K., & Bernitsas, M. M. (2022). Effect of aspect ratio on hydrokinetic energy harnessing using cylinders in VIV. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 8(2), 217-232.

Duranay, A., Demirhan, A. E., Dobrucali, E., & Kinacı, O. K. (2023). A review on vortex-induced vibrations in confined flows. *Ocean Engineering*, 285, 115309.

Duranay, A. (2024). Numerical and experimental investigation of vortex formation modes on a freely vibrating circular cylinder at high Reynolds numbers. *Applied Ocean Research*, 144, 103909.

Feng, C. C., (1968). The measurements of vortex-induced effects in flow past a stationary and oscillating circular and d-section cylinders, University of British Columbia, Yüksek Lisans Tezi, Vancouver, Kanada.

Fredsoe, J., & Sumer, B. M. (1997). *Hydrodynamics around cylindrical structures (Vol. 12)*. World Scientific.

Govardhan, R., & Williamson, C. (2000). Modes of vortex formation and frequency response of a freely vibrating cylinder. *Journal of Fluid Mechanics*, 420, 85-130.

Ji, C., Xu, W., Sun, H., Wang, R., Ma, C., & Bernitsas, M. M. (2018). Interactive flow-induced vibrations of two staggered, low mass-ratio cylinders in the TrSL3 Flow Regime ($2.5 \times 10^4 < Re < 1.2 \times 10^5$): Smooth Cylinders. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 140(4), 041801.

- Kınacı, Ö. K., 2016a, Girdap kaynaklı titreşimler. *GMO Journal of Ship and Marine Technology*, 22(206), 51-65.
- Kınacı, Ö.K., 2016b. 2-D URANS simulations of vortex induced vibrations of circular cylinder at Trsl3 flow regime. *J. Appl. Fluid Mech.* 9 (5), 2537–2544.
- Kınacı, Ö. K., Lakka, S., Sun, H., & Bernitsas, M. M. (2016). Effect of tip-flow on vortex induced vibration of circular cylinders for $Re < 1.2 * 10^5$. *Ocean engineering*, 117, 130-142.
- Kınacı, Ö. K., & Gökçe, M. K. (2020). Akımla kendi kendini tahrik eden pompa (TPE 2015 17104).
- Kınacı, Ö. K., Demirhan, A. E., & Duranay, A. (2022). Vortex-induced vibrations of a single-degree-of-freedom circular cylinder in the vicinity of the free surface. *Applied Ocean Research*, 124, 103202.
- Lakka, S. (2013). Flowmeter based on vibration induced by vortices, Doktora Tezi, Lempäälä, Finlandiya.
- Lee, J. H., Bernitsas, M. M. (2011). High-damping, high-Reynolds VIV tests for energy harnessing using the VIVACE converter. *Ocean Engineering*, 38, s. 1697-1712.
- Mandelli, S., Muggiasca, S., Malavasi, S (2016). Pressure field and wake modes analysis of an oscillating cylinder. *Ocean Engineering* 124, 74–83.
- Martins, F. A. C., & Avila, J. P. J. (2019). Effects of the Reynolds number and structural damping on vortex-induced vibrations of elastically-mounted rigid cylinder. *International Journal of Mechanical Sciences*, 156, 235-249.
- Menter, F. (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*, 1598-1605.
- Rahman, M. A. A. (2015). Vortex-induced Vibration of Circular Cylindrical Structure with Different Aspect Ratios (Doktora Tezi).
- Reichl, P., Hourigan, K., & Thompson, M. C. (2005). Flow past a cylinder close to a free surface. *Journal of Fluid Mechanics*, 533, 269-296.
- STAR-CCM+. User Guide. CD-Adapco Inc., USA.
- Schulz, K. W., & Kallinderis, Y. (2000). Numerical prediction of the hydrodynamic loads and vortex-induced vibrations of offshore structures. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 122(4), 289–293.
- Sumer, B. M., Fredsoe, J. (1997). *Hydrodynamics around cylindrical structures*, World Scientific, Singapur.
- Usta, O., & Duranay, A. (2020). Uncertainty analysis of experiments of vortex-induced vibrations for circular cylinders. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 14(2).
- Ünal, U., Atlar, M., Gören, Ö. (2010). Effect of turbulence modelling on the computation of the near-wake flow of a circular cylinder. *Ocean Eng.* 37 (4), 387–399.
- Yüksel, Y. (2011). *Deniz tabanı hidrodinamiği ve kıyı morfolojisi:(Planlama ve tasarım)*, Beta, İstanbul.
- Zdravkovich, M. M. (2003). *Flow Around Circular Cylinders*. New York: Oxford University Press.

Sefer planlamasında gemilerin karbon ayak izinin azaltılması: Atlantik geçişi üzerine bir vaka çalışması

İdris Turna ¹

¹ Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü, Turgut Kiran Denizcilik Fakültesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize

¹ idris.turna@erdogan.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2517-179X

ÖZET

Sefer planlaması sırasında hem emniyetli hem de yakıt tasarrufunun sağlanması açısından en verimli gemi rotalarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Büyük daire seyri ve Hava durumu yönlendirmesi, denizciler tarafından okyanus geçişleri için kullanılan en yaygın iki yöntemdir. Büyük daire seyri, uzun mesafelerde daha kısa rotaları takip ederek zamandan ve yakıttan tasarruf etme potansiyeliyle bilinir; ancak daha yüksek enlemlerde seyredilmesi nedeniyle gemileri olumsuz hava koşullarına ve deniz durumlarına maruz bırakabilir. Öte yandan, hava durumu yönlendirmesi, potansiyel olarak daha uzun da olsa daha emniyetli rotaları belirlemek için pilot haritaları ve meteorolojik verileri entegre ederek sert hava koşullarıyla ilişkili riskleri en aza indirir. Bu çalışma, belirli bir zaman diliminde batıya doğru Atlantik okyanusu seferi yapan handy-size bir tanker rota planlamasına odaklanmaktadır. Çalışmanın temel amacı bu iki yöntemin etkinliğini değerlendirmektir. Büyük daire seyri rota bileşenleri küresel trigonometri denklemleri kullanılarak hesaplanırken, hava durumu rota planlaması pilot haritaları ve meteorolojik veriler kullanılarak belirlenmiştir. Transas Köprüüstü Simülatöründe (NTPRO 4000) çevresel koşullar oluşturuldu ve test edildi. Sonuçlar, Hava durumu yönlendirmesi yönteminin GC'ye göre %21,3 daha yüksek enerji verimliliği sağladığını ortaya koymaktadır. Bu araştırmadan elde edilen bilgiler, ticari gemilerin operasyonel verimliliğinin ve emniyet standartlarının artırılmasına önemli ölçüde katkıda bulunuyor.

Anahtar Kelimeler: Karbon ayakizi, büyük daire seyri, hava durumu yönlendirmesi, sefer optimizasyonu, denizcilikte enerji verimliliği, operasyonel enerji verimliliği (EEOI)

Makale geçmişi: Geliş 25/03/2024 – Kabul 18/05/2024

<https://doi.org/10.54926/gdt.1458845>

Reducing carbon footprint of ships in voyage planning: a case study of Atlantic passage

İdris Turna ¹

¹ Department of Maritime Transportation Management Engineering, Turgut Kiran Maritime Faculty, Recep Tayyip Erdogan University, Rize

¹idris.turna@erdogan.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2517-179X

ABSTRACT

Determining the most efficient ship routes is crucial to ensuring both safety and fuel savings during voyage planning. Great circle navigation and weather routing are the two most common methods used by navigators for ocean crossings. Great circle navigation is renowned for its potential to save time and fuel by following shorter routes over long distances; however, it may expose vessels to adverse weather conditions and sea states owing to navigation at higher latitudes. However, weather routing integrates pilot charts and meteorological data to identify safer routes, albeit potentially longer ones, minimizing the risks associated with rough weather. This study focuses on route planning for a handy-sized tanker that contracts a westbound Atlantic ocean voyage within a specific timeframe. The main objective of this study is to evaluate the efficacy of these two methods. The great circle route components were computed using spherical trigonometry equations, whereas weather routing planning relied on pilot charts and meteorological data. The environmental conditions were simulated and tested using a Transas Full Mission Simulator (NTPRO 4000). The results reveal that the WR method provides 21.3% higher energy efficiency than the GC. The insights derived from this study contribute significantly to enhancing the operational efficiency and safety standards of commercial vessels.

Keywords: Carbon footprint, great circle sailing, weather routing, voyage optimization, energy efficient shipping, EEOI

Article history: Received 25/03/2024– Accepted 18/05/2024

1. Introduction

In the modern world, ship navigation relies heavily on advanced technologies. In recent years, improved communication capabilities, along with greater accessibility to trustworthy weather forecast data, have resulted in safer and more effective ship voyage planning. However, navigational safety is still strongly dependent on comprehensive voyage plans and a master's ability to make sound judgments. According to the International Convention for the Safety of Life at Sea, before departing a voyage, masters should ensure that every step of the voyage, from berth to berth, is planned using updated nautical charts at a suitable scale and navigational publications. Furthermore, ocean passages have special aspects of voyages that must be planned differently from restricted waters because of the large distance between search and rescue units and the aim of energy efficiency.

Fuel-efficient planning of ship voyages within the maritime industry has become a crucial factor for reducing the carbon footprint. In this regard, two approaches that ship masters might utilize when planning an efficient ocean passage stand out: the Great Circle (GC) route and Weather routing (WR). The GC Route aims to minimize fuel consumption by traversing shorter distances, whereas WR guides ships to choose more efficient routes based on weather conditions, thereby lowering carbon emissions. GC is one of the most commonly used methods for crossing the oceans (Wang et al., 2020). The routes determined using equations or special charts created using gnomonic projection provide the shortest routes between the two locations on Earth's surface (Bowditch, 1977). GC involves calculating a vessel's course using trigonometric functions and axioms. Traditional methods use spherical trigonometry, Haversine formulas, and the Napier Wheel (Tseng et al., 2013; Baric et al., 2021). Additionally, recent studies have discovered methods derived from vector analysis and calculations to determine the distance and courses of a GC (Hsu et al., 2017; Iphar & Joussetme, 2023; Hsieh et al., 2023). Because GC routes evolve convexity towards the poles, increasing latitude increases the probability of encountering bad weather. To avoid the risks posed by bad weather, safe route options should be studied by evaluating up-to-date data using a WR approach. Ship WR focuses on optimizing ship routes based on meteorological and oceanographic data. It aims to reduce fuel usage, minimize cargo and hull damage, and enhance safety (Simonsen et al., 2015; Skoglund et al., 2015; Perera & Soares, 2017; Chen et al., 2019). Weather forecasting services for ship routing have become critical to a variety of navigational and ocean engineering research issues. Various optimization algorithms and weather forecasts are used in the routing process (Walther et al., 2016; Wang et al., 2018; Zis et al., 2020; Kytariolou & Themelis, 2022; Zhao et al., 2022). The selection of the optimization algorithm and input parameters is crucial for the effectiveness of the WR system. Numerous services provide a diverse range of weather predictions, incorporating original and post-processed data from numerous sources. These services differ in terms of update frequency, area coverage, geographical resolution, investigated natural phenomena, and output file formats (Życzkowski et al., 2019). Ship meteorological navigation involves route planning before sailing and route correction during navigation, based on real-time weather information. Kobayashi et al. (2015) proposed a weather-routing optimization technology that reduces fuel consumption and EEOI.

This research compares the GC with WR methods for crossing the Atlantic Ocean: one employs shorter routes in more challenging sea conditions, while the other uses longer routes in better sea conditions. The comparison focused on three key performance criteria for optimization: CO₂ emissions, arrival time, and fuel economy. In doing so, it aims to contribute significantly to making more informed and efficient decisions in reducing carbon footprints within the maritime industry. GC is one of the most commonly used methods for crossing the oceans comparing the GC and WR methods have focused on

the underwater hydrodynamics of ships by employing mathematical methods (Lin et al., 2013; Pennino et al., 2020; Wang et al., 2020); however, little information is available on the factors influencing ship speed, such as ocean mass currents, wind-driven surface currents, and wind resistance due to the structure of the ship. Furthermore, while it is commonly recognized that data on the main engine continuous rate and speed relations for various ship navigation situations are required for fuel consumption and sailing time calculations, it has been discovered that this information is not provided in adequate detail. Previous studies have utilized different equations to account for the impacts of the sea and waves on average ship speeds. Unlike previous studies, in this study, all projected conditions, such as auto pilot response and paddle effect for both navigation methods, were examined using the Transas Full mission simulator (NTPRO 4000), and the average speed was determined. The remainder of this paper is organized as follows: First, an overview of the methodology used for the comparison described in this study is given in Section 2. The results and discussion will delve into key metrics, such as fuel consumption, emissions levels, cost implications, and environmental sustainability aspects associated with each routing method, which are presented and discussed in Section 3. In the last section, the author presents his conclusions and suggestions for future studies.

2. Materials and Methods

The shortest distance between two locations on the globe is the GC arc connecting them; therefore, the GC method is often preferred for ocean crossing. Because each longitude is a GC arc, the distance between the rhumb line and the GC is minimal when navigating between the 000° and 180° routes. The advantage was greatest when sailing near the east 90° and west 270° courses (Bowditch, 1977). Various equations have been proposed to generate the GC equation (Miller, 1991; Earle, 2005; Earle, 2006). In the Northern Hemisphere, the arc between locations A and B creates a GC track (Figure 1).

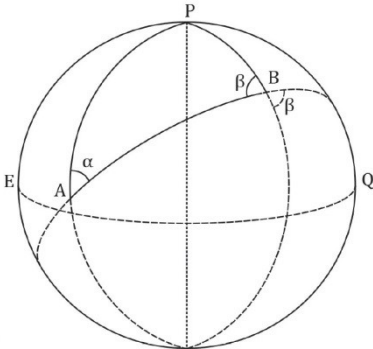


Figure 1. GC elements in the Northern Hemisphere

The latitude of departure (LatA), latitude of destination (LatB), and the difference in longitude between departure and destination (DlongAB) are all known. GC can be solved using spherical trigonometry equations. If the departure and arrival latitudes are in the same hemisphere, the GC(dist) distance can be determined as follows:

$$\cos dist = (\sin LatA \cdot \sin LatB) + (\cos LatA \cdot \cos LatB \cdot \cos DlongAB) \tag{1}$$

where α represents the inner angle of the spherical triangle at the departure position.

$$\alpha = \text{Cos}^{-1}\left(\frac{\text{SinLatB}-(\text{SinLatA}.\text{Cosdist})}{\text{CosLatA}.\text{Sindist}}\right) \quad (2)$$

β represents the inner angle of the spherical triangle at the destination position.

$$\beta = \text{Cos}^{-1}\left(\frac{\text{SinLatA}-(\text{SinLatB}.\text{Cosdist})}{\text{CosLatB}.\text{Sindist}}\right) \quad (3)$$

If the α and β angles have values of less than 90° , the vertex location is determined between the departure and destination positions. In this case, the latitude of the vertex (Latv) location was calculated as follows:

$$\text{Latv} = \text{Cos}^{-1}(\text{CosA}.\text{Sin}\alpha) \quad (4)$$

Dlongv refers to the difference between the longitudes of departure and vertex locations.

$$\text{Dlongv} = \text{Cos}^{-1}\left(\frac{\text{TanA}}{\text{TanB}}\right) \quad (5)$$

DlongVX is the difference between the vertex and waypoint longitude. The latitudes of the waypoint positions are calculated as follows:

$$\text{Latx}_1 = \text{Tan}^{-1}(\text{CosDlongvx}_1.\text{TanLatv}) \quad (6)$$

The approach for comparing the GC with WR is explained in Table 1.

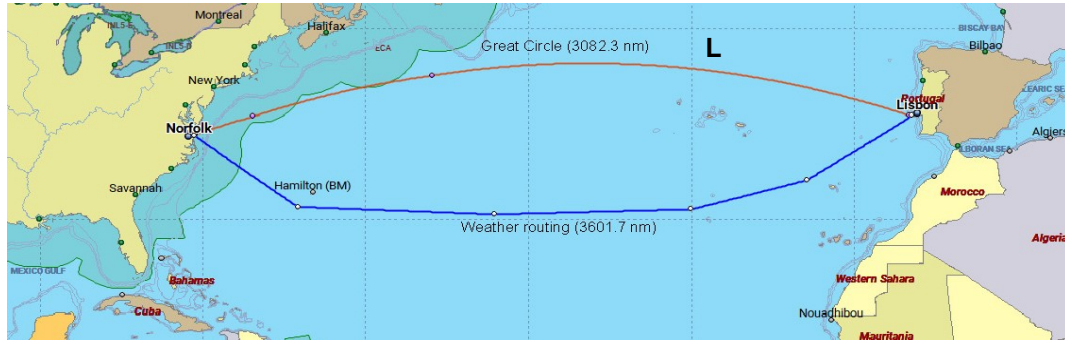
Table 1. GC and WR Comparison Algorithm

Step	Steps of the scenario
1	Determination of ports for departure and arrival coordinates.
2	A ship model suitable for ocean passage was selected from a simulation database (NTPRO 4000).
3	Determination of the ocean passage date and time for collecting sea, weather, and current data.
4	Determination of GC and WR courses and calculation of distances using spherical trigonometry equations.
5	Simulating ocean wind, current, and swell conditions in the ocean locations where the computed routes pass.
6	The average speed data were collected by navigating the model ship routes through simulated weather and water conditions.
7	Calculating arrival time and fuel consumption for both scenarios.
8	Comparison and analysis of results.

In this study, Lisbon was selected as the departure port and Norfolk as the destination port as shown in Figure 2. The GC waypoint coordinates were calculated using spherical trigonometry equations by selecting 5° longitudinal differences. The total distance was computed as 3070.31 nautical miles using spherical trigonometry equations. GC arcs can be transferred as divided lines in Mercator projection charts. The distance determined after converting the arcs to lines on the chart was 3082.30 nautical miles. The calculated coordinates were plotted on a Mercator projection navigation chart and the distances and courses between them were identified (Table 3). Tables 4 and 5 were created by

collecting data on weather conditions and force in areas where the GC routes crossed the Routing Chart North Atlantic Ocean (Admiralty 5124) in November.

Figure 2. Great Circle and Weather Routing Courses (Note: This chart is plotted on Netpas Distance



4.1)

Table 2 summarizes the characteristics of the ship selected from the NTPRO 4000 database that sailed on both routes. The expression Maximum Continuous Power (MCR) refers to the power rating of the sustained power output of the ship’s main engine. The environment setting window of the simulator is shown in Figure 3. After generating the environmental variables in the simulator for each route, the ship was left on autopilot control and sailed for 30 minto calculate the average speed.

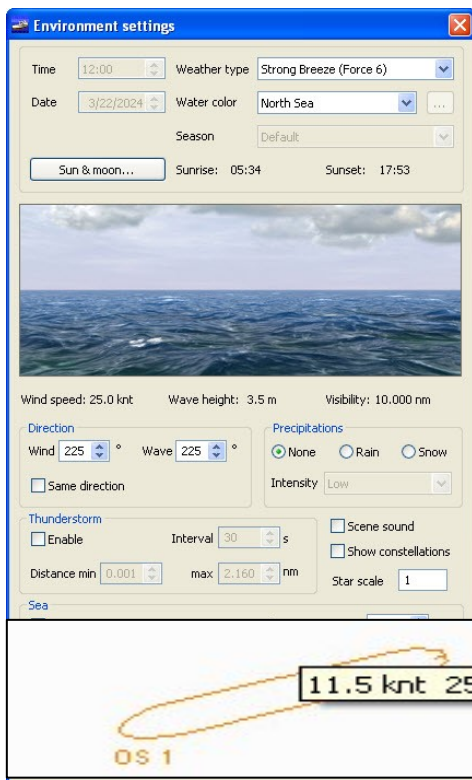


Table 2. The ship model in simulation

Particulars of the ship	
Type	Tanker
Loa [m]	242.8
Breadth [m]	32.2
Deadweight	59708
Full Load Displacement [t] at water densitv 1.025 t/m3	67850
Main Engine Power (kW)	12000
Daily Fuel oil consumption (FOC) [t]	29
Daily Diesel oil consumption (DOC) [t]	2
Laden Speed in knots (85 % MCR)	13.5

Figure 4. Course and speed data

According to the meteorological data, a gale occurred in the GC route area, followed by November 3 and 15, 2017. A layer of water on the sea surface shifts owing to the wind blowing over it. This surface layer is referred to as the Ekman layer, owing to the deflection generated by the Coriolis force. In the Northern Hemisphere, the Ekman layer is deflected by 40 ° in the open sea and 20 ° to the starboard

in coastal waters, instead of the direction of the wind. The drift of the wind-driven current is 2% of the wind speed (Bowditch, 1977). Tables 3 and 4 illustrate the environmental conditions calculated from meteorological data. After the environment was simulated, the average speed of the ship in each course was determined (Figure 4).

Table 3. Environmental conditions along the GC route

WP	Weather Direction/Beaufort	Ocean current Set/Drift	Wind driven current Set/Drift	Significant Wave Height (m)
Lisboa	N/3	195/0.5	200/0.2	1.0
1	W/5	155/0.5	130/0.4	1.5
2	NW/5	130/0.4	175/0.4	2.0
3	NW/7	130/0.5	175/0.6	3.0
4	NW/8	140/0.4	175/0.8	4.0
5	NW/8	095/0.5	175/0.8	4.0
6	N/7	085/0.5	220/0.6	2.5
7	N/5	085/0.7	220/0.4	1.5
8	N/3	085/0.7	220/0.2	1.0
9	SW/3	090/0.7	085/0.2	0.5
10	SW/5	090/0.7	085/0.4	1.5
11	SW/6	090/0.7	085/0.5	1.5
12	SW/4	060/0.5	085/0.3	1.5
13	W/3	045/0.5	130/0.2	1.0
Norfolk	NW/3	040/1.0	175/0.2	1.0

Table 4. Environmental conditions on WR route

WP	Weather Direction/Beaufort	Ocean current Set/Drift	Wind driven current Set/Drift	Significant Wave Height (m)
Lisboa	N/3	195/0.5	200/0.2	1.0
1	NE/4	215/0.5	265/0.3	1.5
2	E/3	240/0.4	310/0.2	1.0
3	E/3	280/0.5	310/0.2	1.0
4	NE/3	310/0.5	265/0.2	1.5
Norfolk	NW/3	040/1.0	175/0.2	1.0

The Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) is a metric that evaluates the relationship between the amount of cargo carried by a ship and the amount of fuel used to reduce emissions of greenhouse gases (GHG). EEOI was calculated as follows:

$$EEOI = \frac{\sum_i C_i}{\sum_i T_i \cdot D_i} \quad (7)$$

C_i is the carbon emissions from a voyage. C_i was calculated by multiplying fuel consumption by the carbon conversion factor. The computation should include both the fuel and diesel oil consumption during the voyage. The conversion factors from fuel mass to CO₂ mass were 3.1144 for heavy fuel oil and 3.2060 for diesel oil (IMO, 2009). The fuel consumption values of the ship model were calculated using the daily consumption values of the main and auxiliary engines presented in Table 2. T_i represents the amount of cargo transported in metric tons on a specific Voyage and D_i is the distance sailed in nautical miles while loaded with cargo during a voyage. For both routes assumed that the ship was laden with 58100 tons. After gathering data from the simulated scenarios, the Results and

Discussion section evaluate the effectiveness of the GC Route and WR methods in reducing carbon footprints. Statistical comparisons, such as fuel consumption rates, CO₂ emissions, and arrival times, were conducted between the two scenarios. By critically examining the data and drawing comparisons, this study aims to provide valuable insights into which routing method offers a more environmentally friendly approach, ultimately contributing to ongoing efforts toward sustainable practices within the maritime transportation industry.

3. Results and Discussion

This section provides a complete summary of the quantitative data obtained from the simulations and the subsequent analysis. First, the coordinates of the waypoint positions for the GC, as well as the routes and distances between these positions, were computed using spherical trigonometry equations (Table 5). The steaming time was computed for each route based on the recorded average speeds. The total fuel oil consumption and consumption figures were calculated for each route based on the steaming periods (Tables 5 and 6). The average speed on the GC route was 10.42 knots, however, it was recorded as 13.23 knots on the WR route. According to the data collected, the total steaming time on the GC route was 12 days 7 h 42 min, whereas on the WR route it was 11 days 8 h 07 min.

Table 5. GC route computations

WP	Latitude	Longitude	Course	Dtw	Dtg	Av speed	S.Time	FOC
Lisboa	38°30.00' N	009° 35.0' W	288.37	246.14	3082.30	12.9	19.08	23.04
1	39°47.57' N	014° 35.0' W	285.18	237.97	2836.16	12.1	19.66	23.74
2	40°49.88' N	019° 35.0' W	281.48	231.48	2598.19	12.1	19.13	23.10
3	41°37.72' N	024° 35.0' W	278.61	226.70	2366.71	10.2	22.22	26.84
4	42°11.67' N	029° 35.0' W	275.27	223.37	2140.01	7.3	30.59	36.95
5	42°32.20' N	034° 35.0' W	271.90	221.89	1916.64	6.6	33.61	40.60
6	42°39.57' N	039° 35.0' W	268.53	221.86	1694.75	8.6	25.79	31.15
7	42°33.87' N	044° 35.0' W	265.16	223.11	1472.89	10.9	20.46	24.71
8	42°15.04' N	049° 35.0' W	261.81	226.14	1249.78	12.2	18.53	22.38
9	41°42.83' N	054° 35.0' W	258.50	230.79	1023.64	12.4	18.61	22.48
10	40°56.80' N	059° 35.0' W	255.23	237.04	792.85	12.1	19.59	23.66
11	39°56.38' N	064° 35.0' W	252.04	244.99	555.81	11.3	21.68	26.18
12	38°40.81' N	069° 35.0' W	248.93	254.70	310.82	11.5	22.14	26.74
13	37°09.23' N	074° 35.0' W	248.32	56.12	0	12.2	4.6	5.55
Norfolk	36° 48.50' N	075° 40,0' W	-	-	-	-	-	-
					Sum	10.42	295.69	357.12

WP: Waypoints, Dtg: Distance to go, Dtw: Distance to waypoint, S.Time: Steaming time in hours

Table 6. WR computations

WP	Latitude	Longitude	Course	Dtw	Dtg	Av speed	S.Time	FOC
Lisboa	38°30.00' N	009° 35.0' W	237.12	569.15	3601.70	13.4	42.47	51.30
1	33°21.00' N	019° 23.0' W	253.84	560.38	3032.55	13.0	43.10	52.06
2	30°45.00' N	029° 55.0' W	268.54	939.36	2472.17	13.2	71.16	85.96
3	30°21.00' N	048° 00.0' W	272.36	946.42	1532.81	13.6	69.58	84.05
4	31°00.00' N	066° 14.0' W	306.46	586.39	0	12.8	45.81	55.33
Norfolk	36°48.50' N	075° 40,0' W	-	-	-	-	-	-
					Sum	13.23	272.12	328.70

WP: Waypoints, Dtg: Distance to go, Dtw: Distance to waypoint, S.Time: Steaming time in hours

The arrival time on the WR route, which was 519.4 nautical miles longer than that on the GC route, was calculated to be 23 h and 35 min shorter, respectively. When all FOC data were examined,

consumption on the WR route was 28.42 tons lower. The EEOI values for both voyages are calculated as follows:

$$EEOI (GC) = \frac{3.1144 * 357.12 + 3.2060 * 24.64}{58100 * 3082.3} = 6.65 \text{ gCO}_2/\text{ t-nm}$$

$$EEOI (WR) = \frac{3.1144 * 328.70 + 3.2060 * 22.67}{58100 * 3601.7} = 5.23 \text{ gCO}_2/\text{ t-nm}$$

Overall, these quantitative results provide a complete insight into the voyage performance parameters connected with the GC and WR, shedding light on the differences in fuel consumption, steaming times, average speeds, and EEOI. Kobayashi et al. (2015) et al. evaluated FOC and EEOI data on different routes in a scenario they generated for a ship crossing the Pacific Ocean in both directions within a specific time period. Mathematical models were used instead of a class-approved training simulator to estimate ship-sea interactions on different routes. The results of this study, which do not include ocean current and swell information, indicate that the optimized routes are more efficient than the GC route. Pennino et al. (2020) discussed a new adaptive WR model based on the Dijkstra shortest-path algorithm for optimum route assessment. Based on their findings, they concluded that the WR model could lead to significant fuel savings.

4. Conclusion

A voyage optimization strategy based on simulation trials was developed and presented with the aim of planning fuel-efficient voyages. The GC and WR route decisions for the west-bound Atlantic Ocean passage were evaluated in all aspects, with the goal of minimizing EEOI and FOC using weather and sea condition simulations. According to data based on GC and WR voyages, it was determined that the WR route has 21.3% better EEOI than the GC route when comparing the calculated EEOI values. These results indicate that the WR option in the winter Atlantic west-bound passage is more effective in terms of energy efficiency than the GC route in terms of reducing the carbon footprint of marine transportation. Voyage planning is a time-consuming procedure that involves collecting extensive information, performing computations, and performing evaluations. Moreover, when deciding on a voyage route, serious risks such as cargo damage, hull damage, and crew injury from adverse weather conditions should also be considered. The main limitation of this study is that the voyage performance data of a ship in certain weather conditions during a certain period in the Atlantic Ocean were analyzed. The safest and most efficient routes for a ship's ocean passage can be discovered by testing various routes at year-round time intervals. The approach presented in this work seeks to encourage mariner trainers to investigate the links between various navigational methods and other fields of science.

References

- Chen, C., Chen, Y., Bian, S., Li, H., & Liu, Q. (2019, February). Great Circle Route and Its Plotting on Chart Projection. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 234, No. 1, p. 012038). IOP Publishing.
- Simonsen, M. H., Larsson, E., Mao, W., & Ringsberg, J. W. (2015, May). State-of-the-art within ship weather routing. In International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (Vol. 56499, p. V003T02A053). American Society of Mechanical Engineers.

Skoglund, L., Kутtenkeuler, J., Rosén, A., & Ovegård, E. (2015). A comparative study of deterministic and ensemble weather forecasts for weather routing. *Journal of Marine Science and Technology*, 20(3), 429-441.

Perera, L. P., & Soares, C. G. (2017). Weather routing and safe ship handling in the future of shipping. *Ocean Engineering*, 130, 684-695.

Kytariolou, A., & Themelis, N. (2022). Ship routing optimisation based on forecasted weather data and considering safety criteria. *The Journal of Navigation*, 75(6), 1310-1331.

Walther, L., Rizvanolli, A., Wendebourg, M., & Jahn, C. (2016). Modeling and optimization algorithms in ship weather routing. *International journal of e-navigation and maritime economy*, 4, 31-45.

Zhao, W., Wang, H., Geng, J., Hu, W., Zhang, Z., & Zhang, G. (2022). Multi-objective weather routing algorithm for ships based on hybrid particle swarm optimization. *Journal of Ocean University of China*, 21(1), 28-38.

Zis, T. P., Psaraftis, H. N., & Ding, L. (2020). Ship weather routing: A taxonomy and survey. *Ocean Engineering*, 213, 107697.

Życzkowski, M., Szłapczyńska, J., & Szłapczyński, R. (2019). Review of weather forecast services for ship routing purposes. *Polish Maritime Research*, 26(4), 80-89.

Wang, H. B., Li, X. G., Li, P. F., Veremey, E. I., & Sotnikova, M. V. (2018). Application of real-coded genetic algorithm in ship weather routing. *The Journal of Navigation*, 71(4), 989-1010.

Baric, M., Brčić, D., Kosor, M., & Jelic, R. (2021). An Axiom of True Courses Calculation in Great Circle Navigation. *Journal of marine science and engineering*, 9(6), 603.

Hsieh, T. H., Meng, Q., Han, B., Wang, S., & Wu, X. (2023). Optimization of Waypoints on the Great Circle Route Based on Genetic Algorithm and Fuzzy Logic. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2), 358.

Tseng, W. K., Guo, J. L., & Liu, C. P. (2013). A comparison of great circle, great ellipse, and geodesic sailing. *Journal of Marine Science and Technology*, 21(3), 7.

Hsu, T. P., Chen, C. L., & Hsieh, T. H. (2017). A graphical method for great circle routes. *Polish Maritime Research*, 24(1), 12-21.

Iphar, C., & Jusselme, A. L. (2023). A geometry-based fuzzy approach for long-term association of vessels to maritime routes. *Ocean Engineering*, 281, 114755.

Bowditch, N. (1977). *American Practical Navigator*, Vol. I, Defense Mapping Agency Hydrographic Center.

Miller, A. R., Moskowitz, I. S., & Simmen, J. (1991). Traveling on the curved earth. *Navigation*, 38(1), 71-78.

Earle, M. A. (2005). Vector solutions for great circle navigation. *The Journal of navigation*, 58(3), 451-457.

Earle, M. A. (2006). Sphere to spheroid comparisons. *The Journal of navigation*, 59(3), 491-496.

Kobayashi, E., Hashimoto, H., Taniguchi, Y., & Yoneda, S. (2015, October). Advanced optimized weather routing for an ocean-going vessel. In 2015 International Association of Institutes of Navigation World Congress (IAIN) (pp. 1-8). IEEE.

Pennino, S., Gaglione, S., Innac, A., Piscopo, V., & Scamardella, A. (2020). Development of a new ship adaptive weather routing model based on seakeeping analysis and optimization. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(4), 270.

Wang, H., Mao, W., & Eriksson, L. (2020). Efficiency of a voluntary speed reduction algorithm for a ship's great circle sailing. *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 14(2), 301-308.

Lin, Y. H., Fang, M. C., & Yeung, R. W. (2013). The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements. *Applied Ocean Research*, 43, 184-194.

IMO. (1999). International Maritime Organization resolution MEPC.1/Circ.684 "Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI)", 17 August 2009.

12th National Ship and Yacht Design Competition Concluded

The 12th National Ship and Yacht Design Competition which is organized every year by the Ship, Yacht and Services Exporters Association (GYHİB) has concluded. University designers received their awards at the award ceremony of the competition held this year with the theme "Catamaran Cruise Boat".



The project named "**HOOPOE**" by **Yıldız Technical University and Maltepe University students BORA KADIOĞLU, MUHAMMET İNCİ and ÖMER ÖZCAN** was deemed worthy of the first prize.

Second place went to **OĞUZHAN SMART and BURAKCAN YELEK**, students of **Istanbul Technical University and Maltepe University**, with their project named "**ELITE**".

Yıldız Technical University students YASİN KARAKUŞ and HASAN EROĞLU earned third place with their project titled "**ZADA**".

Among the winning designers in the competition, cash prizes of 120 thousand TL were given to the first place, 80 thousand TL to the second place, and 60 thousand TL to the third place.

In the jury of the competition; A delegation of 9 professionals, including **Bülent Hüseyinoğlu, Prof. Oral Erdoğan, Necdet Salgür,**

Prof. Mustafa Insel, Elif Yıldırım Kapucu, H. Bülent Şener, Tanju Kalaycıoğlu, Yusuf Turhan Soyaslan and Esra Özalp, all are the members of TMMOB GMO, took part. The projects were evaluated according to the criteria of innovation, contribution to the sector, applicability, domestic contribution rate, environmentalism and quality of presentation. In National Ship and Yacht Design Competitions, unlike other design competitions, there is a requirement for at least one Naval Architect and Marine Engineering or Shipbuilding and Ocean Engineering student to take part in the team. Not only design but also engineering calculations are required from the projects applying to the competition.

"Nearly 1000 students participated in the competition, which has been held for 12 years."

In the opening speech of the award ceremony, President of Ship, Yacht and Services Exporters Association **Cem SEVEN** stated that their goal with the competition is to instill innovation and design culture in young people who are the future of the sector and to bring talented students to the sector, and noted that nearly 1000 students have participated in the competition, which has been held for 12 years. Seven said, "Our workforce quality is our strongest field in international competition. Design is an important concept that is one of the basic elements of the ship and yacht construction industry. With the National Ship and Yacht Design Competitions we have organized every year since the establishment of our Association, we bring together sustainability, innovation, engineering skills and aesthetic elements and try to ensure that our competitors bring a new vision to themselves and our industry. We aim to provide gains in both our workforce and design culture," he said. "By the end of the year, we will be at the top of the sectors that increase exports the most in Türkiye."

Association President Seven evaluated Türkiye's ship and yacht exports and stated that GYHİB reached the highest export amount since its establishment in 2010. Seven continued his words: "We have left behind 1.5 billion Euros, which is our highest annual export amount since 2010, when the Ship Yacht

and Services Exporters Association was established. By the end of the year, we will be at the top of the sectors that increased exports the most in Turkey. We are extremely proud to be able to break new records almost every year on behalf of our institution, which represents the export side of our industry and operates to solve the problems of our exporting companies. "I would like to take this opportunity to express my gratitude to all stakeholders of the ship and yacht building industry, who contributed to these records, for participating and supporting every event within the scope of the export and promotion vision we have put forward."

At the end of the award ceremony, it was announced that the subject of the design competition to be held in 2024 will be "Fishing Vessel Design".

12. Ulusal Gemi ve Yat Tasarım Yarışması Tamamlandı

Gemi Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliği'nin (GYHİB) her yıl organize ettiği ve artık gelenekleşen "12. Ulusal Gemi ve Yat Tasarım Yarışması" sonuçlandı. Bu sene "Katamaran Gezi Teknesi" konusu ile düzenlenen yarışmanın ödül töreninde, üniversiteli tasarımcılar ödülleri kavuştu. **Yıldız Teknik Üniversitesi ve Maltepe Üniversitesi** öğrencilerinin "**HOOPOE**" isimli projesi, birincilik ödülüne layık görüldü.

Gemi Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliği'nin (GYHİB), Ticaret Bakanlığı koordinasyonunda organize ettiği ve artık geleneksel hale gelen "**12. Ulusal Gemi ve Yat Tasarım Yarışması**" sonuçlandı. 2012 yılından beri her yıl düzenli olarak gerçekleştirilen ve bu yıl "Katamaran Gezi Teknesi" konusuyla düzenlenen yarışmanın final gecesinde farklı üniversitelerden 23 öğrenci 10 proje ile yarıştı.

Yarışmanın ödül törenine, Türkiye İhracatçılar Meclisi Başkanı Mustafa Gültepe, Kıyı Emniyeti Genel Müdürü Mustafa Bankaoğlu, Tersaneler Genel Müdür Yardımcısı Taner Keskin, GYHİB Yönetim Kurulu Başkanı Cem Seven, Deniz Ticaret Odası Başkan Vekili Recep Düzgit, İMEAK Deniz Ticaret Odası (DTO) Meclis Başkanı Başaran Bayrak denizcilik sivil toplum kuruluşlarının başkanları, ihracatçı birlikleri başkanları, sektör temsilcileri ile akademisyenler katıldı.

"12 yıldır yapılan yarışmaya 1000'e yakın öğrenci katıldı"

Ödül töreninin açılış konuşmasında **Gemi, Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliği Başkanı Cem Seven**, yarışma ile hedeflerinin sektörün geleceği gençlere inovasyon ve tasarım kültürünü aşılama, yetenekli öğrencileri sektöre kazandırmak olduğunu belirterek, 12 yıldır yapılan yarışmaya 1000'e yakın öğrencinin katıldığını kaydetti. Seven, "İş gücü kalitemiz bizim uluslararası anlamda rekabette en güçlü olduğumuz alan. Tasarım ise gemi ve yat inşa sektörünün temel unsurlarının başında gelen önemli bir kavram. Biz de Birliğimizin kuruluşundan itibaren her yıl düzenlediğimiz Ulusal Gemi ve Yat Tasarım Yarışmaları ile hem sürdürülebilirlik, inovasyon, mühendislik becerisi ve estetik unsurları bir araya getiriyor hem de yarışmacılarımızın kendilerine ve sektörümüze yeni bir vizyon kazandırmalarını sağlamaya çalışıyoruz. Hem iş gücümüze hem de tasarım kültürüne dair kazanımlar sağlamayı hedefliyoruz" dedi.

"Yıl sonu itibarıyla Türkiye'de ihracatını en çok artıran sektörlerin başında olacağız"

Birlik Başkanı Seven, Türkiye'nin gemi ve yat ihracatını değerlendirerek, GYHİB'in kurulduğu 2010 yılından bu yana en yüksek ihracat tutarına ulaştığını belirtti. Seven sözlerine şöyle devam etti: "Gemi Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliği'nin kurulduğu 2010 yılından bu yana en yüksek yıllık ihracat tutarımız olan 1 milyar 626 milyon doları geride bıraktık. Yıl sonu itibarıyla Türkiye'de ihracatını en çok artıran sektörlerin başında olacağız. Sektörümüzün ihracat ayağını temsil eden ve ihracatçı

firmalarımızın sorunlarını çözebilmek adına faaliyet gösteren kurumumuz adına hemen her yıl yeni rekorlara imza atabilmek bizi ziyadesiyle gururlandırıyor. Bu vesile ile bu rekorlara katkı sağlayan gemi ve yat inşa sektörünün tüm paydaşlarına da ortaya koyduğumuz ihracat ve tanıtım vizyonu dahilinde her etkinliğimize katılım sağladıkları ve destek oldukları için teşekkürlerimi iletmek istiyorum”.

Ödül töreni büyük heyecana sahne oldu

Yarışma jürisinin değerlendirmesi sonucu birinciliğe “**HOPOE**” isimli projesi ile **Yıldız Teknik Üniversitesi ile Maltepe Üniversitesi öğrencileri BORA KADIOĞLU, MUHAMMET İNCİ VE ÖMER ÖZCAN**; ikinciliğe “**ELITE**” isimli projesi ile **İstanbul Teknik Üniversitesi ile Maltepe Üniversitesi öğrencileri OĞUZHAN AKILLI ve BURAKCAN YELEK**; üçüncülüğe “**ZADA**” isimli projesi ile **Yıldız Teknik Üniversitesi öğrencileri YASİN KARAKUŞ İLE HASAN EROĞLU** layık görüldü.

Yarışmada dereceye giren tasarımcılardan birinciye 120 bin TL, ikinciye 80 bin TL, üçüncüye 60 bin TL tutarında para ödülleri verildi.

Yarışmanın jürisinde; Bülent Hüseyinoğlu, Prof.Dr.Oral Erdoğan, Necdet Salgür, Prof.Dr.Mustafa İnel, Elif Yıldırım Kapucu, H. Bülent Şener, Tanju Kalaycıoğlu, Yusuf Turhan Soyaslan ve Esra Özalp'in oluşturduğu 9 kişilik bir heyet yer aldı. Projeler inovasyon, sektöre katkısı, uygulanabilirlik, yerli katkı oranı, çevrecilik ve sunumun kalitesi kriterlerine göre değerlendirildi. Ulusal Gemi ve Yat Tasarım Yarışmaları'nda diğer tasarım yarışmalarından farklı olarak gruplarda en az 1 adet gemi inşaatı ve gemi makineleri veya gemi deniz teknolojileri mühendisliği öğrencisi yer alması şartı bulunuyor. Yarışmaya müracaat eden projelerden yalnızca tasarım değil, mühendislik hesaplamalarının yapılması da talep ediliyor.

Source/Kaynak: <https://gyhib.org/tr/basinda-12-ulusal-gemi-ve-yat-tasarim-yarismasi-odul-toreni>





1. First prize: HOOPOE



2. Designers of HOOPE: Bora Kadioğlu, Muhammet İnci and Ömer Özcan



3. Second prize: ELITE



4. Designers of ELITE: **Oğuzhan Smart** and **Burakcan Yelek**



5. Third prize: ZADA



6. Designers of ZADA: **Yasin Karakuş** and **Hasan Eroğlu**

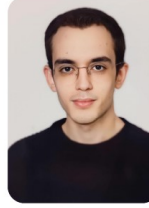
12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu

Katamaran
Gezi Teknesi

HOOPOE

HOE10862



Ömer Özcan
Yıldız Teknik Üniversitesi



Muhammet İnci
Yıldız Teknik Üniversitesi



Bora Kadioğlu
Maltepe Üniversitesi



Türkiye



TİM TÜRKİYE
İHRACATÇILARI
MECLİSİ



100
YIL
TÜRKİYE İHRACATÇILARI
BİRLİĞİ



Yatırım Yatırımcı Birliği
İhracat ve Tic. A.Ş.

GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

gemiyyatasarim.org

12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu

Katamaran
Gezi Teknesi

ELITE
ASI01777



Burakcan Yelek
Maltepe Üniversitesi



Oğuzhan Akıllı
İstanbul Teknik Üniversitesi



Türkiye



TİM TÜRKİYE İHRACATI MECLİSİ



100+ İHRACATÇILARI BİRLİĞİ



GİSBİR
TURKISH SHIPBUILDERS ASSOCIATION



GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

gemiyattasarim.org

12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu

Katamaran
Gezi Teknesi

ZADA

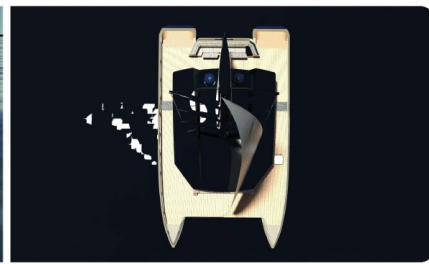
ZCT01283



Yasin Karakuş
Yıldız Teknik Üniversitesi



Hasan Eroğlu
Yıldız Teknik Üniversitesi



Türkiye



TİM TÜRKİYE İHRACAT MECLİSİ



100+ İHRACATÇILARI BİRLİĞİ



GISBİR
TÜRKİSH SHIPBUILDERS ASSOCIATION



GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

gemiyyattasarim.org

(Please see the fulltext sent by the design team on page 133)

12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu

Katamaran
Gezi Teknesi

NOVA

ABK31415



Bilge Taşdemir
Hamburg University of Technology



Akın Yıldırım
Piri Reis Üniversitesi



Türkiye



TİM TÜRKİYE İHRACATI MECLİSİ



100 TÜRK İHRACATI MECLİSİ



GIBIR
TURKISH SHIPBUILDERS ASSOCIATION



GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

gemyattasarim.org

(Please see the fulltext sent by the design team on page 139)

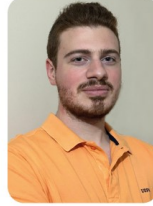
12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu

**Katamaran
Gezi Teknesi**

EMPRESS

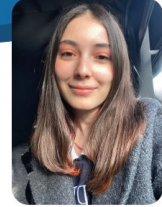
BMA26162



Batu Bayrak
Yıldız Teknik Üniversitesi



Furkan Arıkan
Yıldız Teknik Üniversitesi



Efsun Sultan Bulut
Yıldız Teknik Üniversitesi



Türkiye



TİM TÜRKİYE
MİLLİYET MECLİSİ



100
YIL
T.C. İZMİR İLİ



GISBİR
TURKISH SHIPBUILDERS ASSOCIATION



Yatırımla Akademiye
Yatırım Yatırım Yatırım
İleri ve Yık. A.Ş.

GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

gemi-yattasarim.org

(Please see the fulltext sent by the design team on page 143)

12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu

**Katamaran
Gezi Teknesi**

LAGOM

CPY16590



Ayşe Didem Onay
Dokuz Eylül Üniversitesi



Cüneyt Dursun
Dokuz Eylül Üniversitesi



Türkiye



TİM TÜRKİYE
İHRACATÇILARI
MECLİSİ



100
YIL
TÜRKİYE İHRACATI



GIBIR
TÜRKİŞİPİRLERİ BİRLİĞİ



GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

gemiyyat tasarim.org

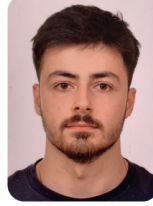
12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu

**Katamaran
Gezi Teknesi**

CRISTATA

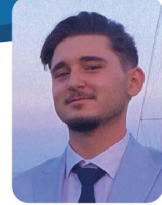
CTT25684



Ismail Gökürk Dirliksoy
Yıldız Teknik Üniversitesi



Furkan Kartal
Yıldız Teknik Üniversitesi



Burak Karaman
Maltepe Üniversitesi



Türkiye



TİM TÜRKİYE
İHRACATÇILARI
MECLİSİ



100
YIL İZMİRİNİN
KURULUŞU



GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

gemyattasarim.org

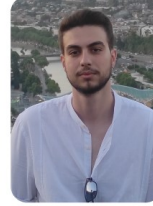
12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu

Katamaran
Gezi Teknesi

HERON

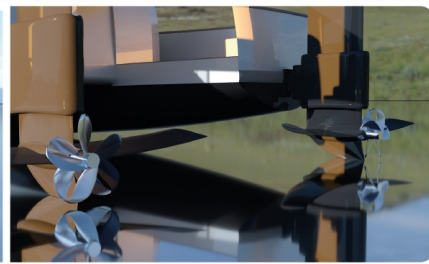
HRN37001



Cem Avcı
Karadeniz Teknik Üniversitesi



Barış Çay
Karadeniz Teknik Üniversitesi



Türkiye



TİM TÜRKİYE İHRACATI MECLİSİ



100 TÜRKİYE İHRACATI MECLİSİ



GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

gemiyyattasarim.org

(Please see the fulltext sent by the design team on page 148)

12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu

Katamaran
Gezi Teknesi

HYCATA-HOPE

HYC10319



Hüseyin Enis Sarıkaya
Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi



Birtane Gökçe
Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi



Türkiye



TİM TÜRKİYE İHRACATI MECLİSİ



100+ TÜRK İHRACATI MECLİSİ



GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ

İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

gemiyyatasarim.org

(Please see the fulltext sent by the design team on page 151)

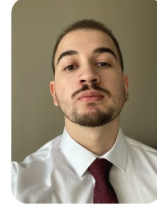
12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu

Katamaran
Gezi Teknesi

UKULA

USF83957



Giray Esmer
Yıldız Teknik Üniversitesi



Ömer Gümüş
Yıldız Teknik Üniversitesi



Türkiye



TİM TÜRKİYE İHRACAT MECLİSİ



100 TÜRKİYE İHRACAT MECLİSİ



GISBİR TÜRKİSH SHIPBUILDERS ASSOCIATION



Yıldırım Altınova İhracatçıları Birliği İletişim ve Tic. A.Ş.

GEMİ, YAT VE HİZMETLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ

gemiyattasarim.org



The third-place project of the 12th National Ship and Yacht Design Competition is the ZADA project designed by Yasin Karakuş and Hasan Eroğlu from Yıldız Technical University, Department of Naval Architecture and Marine Engineering.



Concept Design

The 'Zada' project was designed in accordance with the concept of the 12th Ship and Yacht Design Competition organized by the Turkish Ship and Yacht Exporters Association, which called for a 24- meter catamaran excursion boat.

In Turkish mythology, Zada is depicted as the god who rules over the winds and storms. He rides his

horse above the winds and embarks on journeys. His horse is depicted as brown-colored with hawk wings. This mythological motif forms the foundation of our concept. In the design process of the hull form, inspiration was drawn from the aerodynamic structure of the hawk.

Design Features

This project embraces harnessing the power of nature while also committing to preserving it. Therefore, its main principle is zero emissions. Consequently, the primary propulsion of the boat consists of sails and lithium-ion batteries. In the design process, imaginary systems that stray from feasibility were avoided to ensure manufacturability.

The main material of the boat is composite, with a preference for carbon fiber, and production will be executed using the vacuum infusion technique to ensure durability. Hydrofoil technology has been employed to reduce resistance, increase cruising speed, and extend the range.

Certification

Under the guidance of Turkish Lloyd regulations, boats under 24 meters obtain their qualifications by adhering to ISO standards. As a result of this qualification, they receive the CE (European Conformity) certification. There are various modules of the CE certification, which are categorized based on the capacity and capabilities of the boat. These modules are labeled as A, B, C, and D. The table provided by Turkish Lloyd, which explains these modules, is as follows:

Table 1. Modules of the Recreational Boats Regulations Prepared by Turk Loydu

Design and Structure	Design Categories	2.5 < Lh <12 (m)	12 < Lh <24 (m)
	A Ocean	Module A1, B+C, B+F, G	B+C, B+F, G
	B Offshore		
	C Coast	Where compliance with the harmonized standards regarding article 3.2 of annex-1.A of the 2013/53/EU regulation is ensured. Module A, A1, B+C, B+F, G	
	D Sheltered Water	Module A, A1, B+C, B+F, G	
	Personal Watercraft	A, A1, B+C, B+F, G	
	Ingredients	B+C, B+F, G	

The following regulations have been followed in the design and production of Zada. As a result of adhering to these regulations, it falls into the category of Class A module, which allows for ocean crossings. In this module, the boat is expected to withstand up to 8 Beaufort (40 knots of wind) resistance.

Table 2. ISO regulations followed

Selection of materials used in body and construction	ISO 12215-1 / ISO 12215-2
Following hull manufacturing rules	ISO 12215-4
Calculating pressure and tension	ISO 12215-5
Determination of main dimensions of ship	ISO 8666
Operation of electric bilge pump	ISO 8849
Fire prevention instructions for boats of 15 m and above	ISO 9094 - ISO 10133 - ISO 13297
Identity coding system	ISO 10087
Max. Load capacity	ISO 14946
Stability and Buoyancy classification	ISO 12217-2
Country unit and code	ISO 3166
Man overboard and rescue situation instructions	ISO 15085:2003
Points of anchorage, connect to backup, mooring to buoy	ISO 15084
Measuring sound emitted on pleasure boats	ISO 14509

Development Process of the Hull

In the process of developing the form, adjustments were made using points in 3D CAD programs to achieve the most optimal shape. Various types of forms were experimented with during these adjustments. Attention was paid to ensuring the desired displacement, and each area could be utilized without any technical area being lost. Resistance and power analyses were conducted on semi-displacement, planing, and single-chined forms using Computational Fluid Dynamics (CFD) applications.

Table 3. Main Dimensions and Features of the Boat

LOA	23.42 m
B	13.5 m
T	0.86 m
Mast Draft	30 m
Sail Area	220 m ²
Vcr	16 knot
Vmax	36 knot
Range	2160 miles
Referral System	Hydrofoil Pod
Electric Motor	TM4 SUMO LD HV1200
Propeller	Pod System
Material	Composite/Carbon Fiber
Guest	8
Crew	2
Certification	CE/A
Displacement	32.22 t

Lithium-ion batteries, known for their higher energy density compared to other battery groups and their environmentally friendly nature, have been preferred. The carbon footprint of lithium-ion batteries is significantly lower than other propulsion systems. A seawater cooling system will be used as the cooling system. The closed-loop fresh water cooling circuit will be cooled by seawater continuously circulating from outside. A total of 48 modules were used for one electric motor-battery unit in a configuration of 8 series and 6 parallel modules. A battery pack with a capacity of 500 kWh was prepared for a total of 1 electric motor unit.



Figure 1 - ZADA Main System Diagram.

Sails were selected from the NACA series profiles. This choice was made because NACA profiles are highly efficient and successful in directing flow. The wing selected as a sail is the NACA-0018 profile.

For foil selection, wings from the NACA series were examined. The lift coefficient (CL) required to lift the boat from the water depends on the wing profiles, speeds, and angles. Graphs were used to determine the angles at which the wing profiles should be for the same CL. Initially, it was understood that symmetric wings were not suitable for the foil because higher angles were required for lift in symmetric wings. Therefore, asymmetric wings were preferred. Among asymmetric wings, examinations were conducted on NACA-63412, NACA-63145, and NACA-4412. It was found that the NACA-63412 profile was more suitable for this purpose.

Electric marine vehicles with long range capabilities need to be able to charge themselves without connecting to a port. This system, which will charge the boat's batteries as long as access to sunlight is available, will efficiently utilize these energy sources provided by nature.

There is space available on the upper deck for flexible solar panels totaling 57.16 m². Flexible black monocrystalline panels have been integrated into the roof in a way that is integrated with the boat's aesthetic structure without compromising its appearance. 38 panels are used, and it is calculated that 88.16 kW of energy will be gained after the most effective 8 hours of sunlight between 09:00 and 17:00. The efficiency of the panel is in the range of 22-23%.

Hydro-generators are a system installed to charge the battery while the boat is underway. When the boat is sailing solely with sails, the rotation generated by sailing will enable the propeller to charge the batteries. For this system, the one developed by Watt and Sea for integrated use with a shaft keel has been utilized. This system, easily controlled from its screen, starts charging the battery by adjusting the blade angles of the propeller when activated.

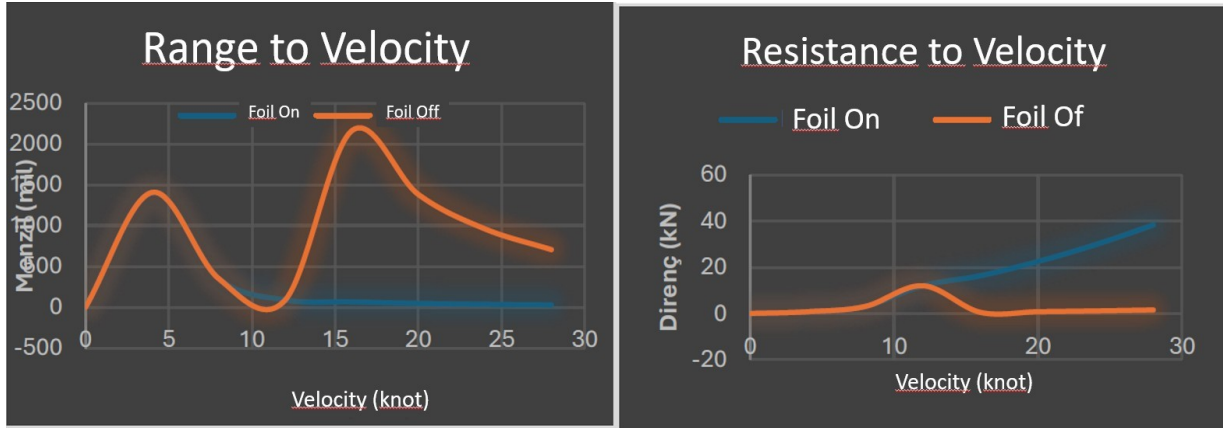


Figure 2 - Range and Resistance graphs versus speed.



Figure 3 - Hydrofoil arrangements.



Figure 4 - Rendered views.

12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu
Katamaran Gezi Teknesi

NOVA
ABK31415



Bilge Taşdemir
Hamburg University of Technology



Akın Yıldırım
Piri Reis Üniversitesi

Introduction

The NOVA catamaran, with its 24-meter overall length, stands out as an innovative design with a modern approach aimed at reflecting nature and harmoniously blending with its surroundings. The word “NOVA”, meaning new, is embodied in the design of the yacht. Designed with organic forms and natural colors, NOVA offers users an aesthetic and harmonious boating experience .

Additionally, the design focuses on minimizing environmental impacts by using sustainable energy and materials. These features ensure that the NOVA catamaran provides users with an eco-friendly and aesthetic maritime experience. The energy needs of the sailing NOVA catamaran are met through sustainable energy sources such as solar panels and wind turbines, reducing dependence on fossil fuels. This not only lowers operational costs but also aligns with the global shift towards renewable energy. Furthermore, using recycled or renewable materials in the boat’s construction reduces waste and utilizes natural resources as well. The aluminum selected for the hull and superstructure stands out for its recyclability and lower impact compared to traditional materials. The material choice also contributes to the boat’s longevity and ease of maintenance, ensuring it remains in top condition for many years.

The primary aim of this design is to create an efficient yacht while interacting lightly with the environment. The NOVA catamaran appeals to users seeking a high-quality experience by combining comfort, sustainability, and timeless design. The spacious deck layout provides space for relaxation, rest, and entertainment, while the latest technology enhances comfort and ease of use on board. High-end amenities, such as luxurious cabins, modern navigation systems, and advanced safety features, make every journey a pleasurable and secure adventure.

Combining the elegance of the design with a nature-friendly approach, ensures an unforgettable sea journey without worrying about environmental impacts.

Principle Features

$L_{OA} = L_{WL} = 24 \text{ m}$	Range: 300 nm at $V_{\text{Trial}} = 12 \text{ kn}$ (Cruising speed)
$B = 11.3 \text{ m}$	$V_{\text{Service}} = 10 \text{ kn}$
$T = 0.88 \text{ m}$	Range: 350 nm at $V_{\text{Economic}} = 7 \text{ kn}$
$D = 47.5 \text{ t}$	Prime mover: Hybrid, Torqeedo Deep Blue 50i 2000/1200 rpm 80HP

Interior - Main Saloon

The interior design of the NOVA catamaran aims to seamlessly blend with its natural surroundings by incorporating light and natural colors. Featuring a palette of open and bright tones, the interior creates a spacious atmosphere that enhances comfort and fosters a deep connection with the surrounding environment. This approach meticulously integrates the organic forms of NOVA's exterior into its interior, ensuring users experience consistency. Large windows are strategically placed to flood the interior with natural light, effectively bringing the outside scenery inside and amplifying the sense of being surrounded by natural beauty. This not only maximizes natural illumination but also enhances the overall ambiance of the living spaces. Materials selected for interior furniture and details are thoughtfully chosen, prioritizing recyclable and environmentally friendly options. This commitment ensures that every aspect of the interior design contributes to a greener and more responsible maritime experience. Overall, the interior design of the NOVA catamaran aims to create an inviting atmosphere onboard. It provides users with a comfortable and high-end experience while integrating seamlessly with the natural world.

Innovative Features

Solar Sails

Solar sails are an innovative and eco-friendly technology that harnesses the power of sunlight. The sails consist of lightweight and integrated flexible solar panels into the fabric of the sail, generating electricity as they capture solar energy. The electricity produced can be used to power the boat's electrical systems and reduce reliance on conventional fuel sources, promoting a greener and more sustainable sailing experience. Solar sails provide a clean energy solution and enhance the yacht's performance by reducing drag and improving efficiency. Embracing this cutting-edge technology allows sailors to enjoy a harmonious coexistence with nature while contributing to a cleaner and more environmentally responsible marine industry.

Solar Panels

Nova glides smoothly through the water, powered by additional solar panels that harness the energy of the sun to generate electricity. These photovoltaic panels are environmentally friendly, converting sunlight into clean, renewable energy that reduces the boat's reliance on traditional fuel sources and minimizes its carbon footprint. The solar panels effectively charge batteries, providing power for various onboard electrical systems, navigation instruments, lighting, and more. Their lightweight and compact design allows for seamless installation on the deck or mast, maximizing energy generation potential without compromising the boat's appearance or performance. By embracing solar technology, sailors adopt a more sustainable approach to sailing, promoting eco-friendly practices in the marine industry and fostering a harmonious coexistence with nature.

Hydro Generators

Hydro generators, also known as water generators or hydro-turbines, are innovative devices used on sailboats to generate electricity from the kinetic energy of water as the yacht moves through the

waves. These eco-friendly generators provide a sustainable energy solution, particularly during extended sailing voyages or when at anchor, as they continuously produce electrical power from the boat's motion. Hydro generators are designed to be compact, easy to install, and generate minimal drag, making them suitable for sailboats. By harnessing the power of water, sailors can reduce their reliance on traditional power sources, lower carbon emissions, and embrace a more environmentally conscious approach to sailing. Embracing hydro generators contributes to a greener and more self-sufficient sailing experience, aligning with sustainable practices in the marine industry.

Wind Generators

Hydro generators, also known as water generators or hydro-turbines, are innovative devices used on sailboats to generate electricity from the kinetic energy of water as the yacht moves through the waves. These eco-friendly generators provide a sustainable energy solution, particularly during extended sailing voyages or when at anchor, as they continuously produce electrical power from the boat's motion. Hydro generators are designed to be compact, easy to install, and generate minimal drag, making them suitable for sailboats. By harnessing the power of water, sailors can reduce their reliance on traditional power sources, lower carbon emissions, and embrace a more environmentally conscious approach to sailing. Embracing hydro generators contributes to a greener and more self-sufficient sailing experience, aligning with sustainable practices in the marine industry.

Eco Teak

Eco Teak is a sustainable and eco-friendly alternative to traditional teak wood used in sailboats. It is sourced from responsibly managed teak plantations or reclaimed teak, thereby reducing the impact on natural forests. Eco Teak undergoes a chemical-free treatment process, ensuring it is free from harmful substances and environmentally friendly. This eco-conscious teak option maintains the aesthetic appeal and durability of traditional teak while promoting a more sustainable approach to yacht construction. By choosing Eco Teak for the deck and interior of sailboats, sailors can enjoy a beautiful and luxurious finish without compromising their commitment to environmental conservation.

Antifouling

Antifouling coatings play a crucial role in protecting seafarers from biofouling, preventing the growth of algae, barnacles, and other marine organisms on the hull. These coatings create a smooth surface that reduces drag, enhancing the yacht's performance and fuel efficiency. Choosing eco-friendly alternatives that are biocide-free and environmentally friendly is the preferred option over relying on traditional antifouling products that may contain harmful chemicals. Bio-based antifouling solutions, such as copper-free coatings or photocatalytic technologies, offer effective fouling protection without harming marine ecosystems. Embracing eco-friendly antifouling practices is not only beneficial for the environment but also ensures cleaner waters and a more sustainable sailing experience for all.

The electrical propulsion system on sailboats is an eco-friendly technology that replaces internal combustion engines with electric motors. It utilizes electricity from renewable sources such as solar panels or hydro generators, thereby reducing reliance on fossil fuels and lowering carbon emissions. This system ensures quiet, smooth operation and precise maneuverability, enhancing the sailing ex-

perience. Regenerative braking optimizes energy efficiency by converting kinetic energy back into electricity. By adopting electrical propulsion, sailboats contribute to cleaner and more sustainable sailing practices, aligning with the sustainable practices in the marine industry.

Electrical Propulsion System

The electrical propulsion system on sailboats is an eco-friendly technology that replaces internal combustion engines with electric motors. It utilizes electricity from renewable sources such as solar panels or hydro generators, thereby reducing reliance on fossil fuels and lowering carbon emissions. This system ensures quiet, smooth operation and precise maneuverability, enhancing the sailing experience. Regenerative braking optimizes energy efficiency by converting kinetic energy back into electricity. By adopting electrical propulsion, sailboats contribute to cleaner and more sustainable sailing practices.



1 - Exterior views.



2 - Interior views.

12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu
Katamaran Gezi Teknesi

EMPRESS BMA26162



Batu Bayrak
Yıldız Teknik Üniversitesi



Furkan Arıkan
Yıldız Teknik Üniversitesi



Efsun Sultan Bulut
Yıldız Teknik Üniversitesi

Our design takes advantage of the width of catamarans and their high stability characteristics to maximize both comfort and green energy production. Featuring a total of 4 decks, including fly bridge, is a rare feature for conventional boats under 24 meters. The high depth of our boat provides spacious main and guest cabins not typically seen in conventional catamarans. The crew's cabins are also kept on a separate deck. By choosing main production material as Marine Grade Aluminium, we took advantage of light and strong hull.

Convenient for transatlantic voyages, our electric propulsion system-equipped catamaran integrates solar panels, wind turbines, and hydro generators, resulting in a green power generation capacity of up to 77 kWp and the ability to self-propel at speeds of up to 5 knots without running the generator. With robust diesel generators and large tank capacities, it will continue uninterrupted voyages even in adverse weather conditions.

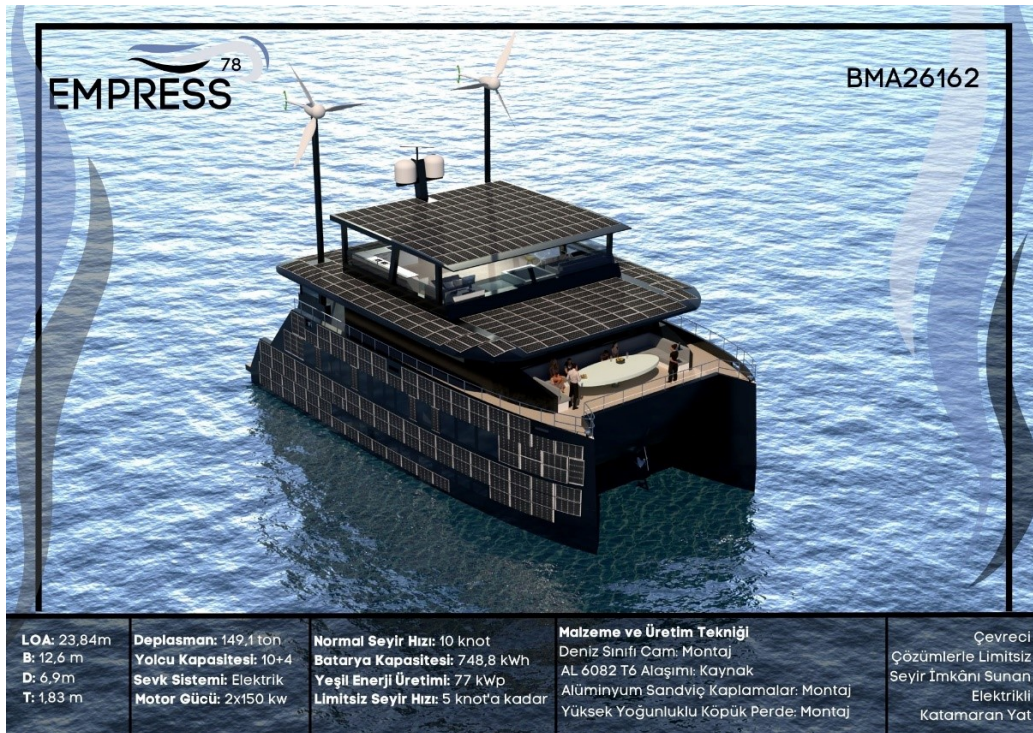
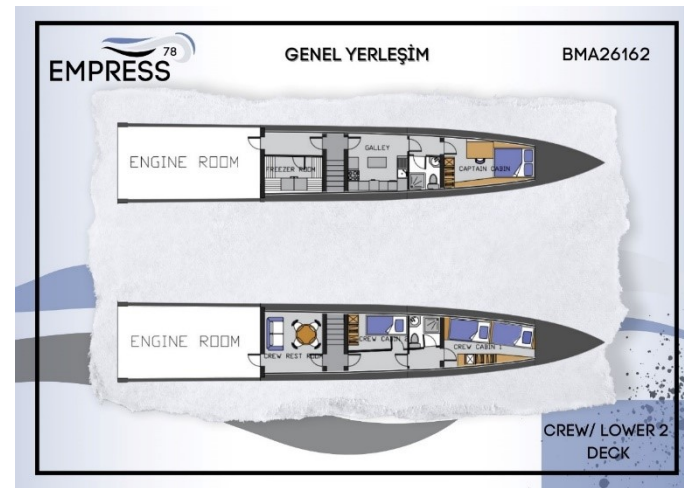
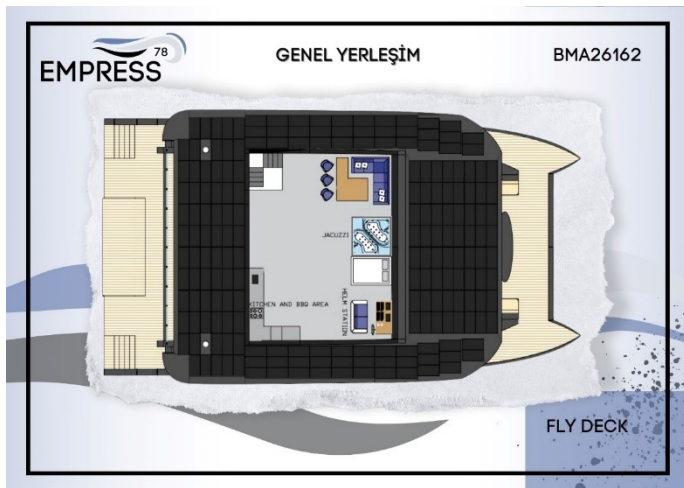
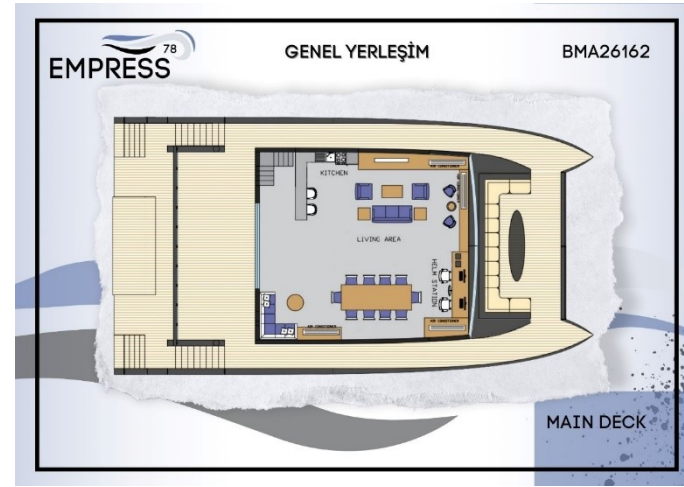
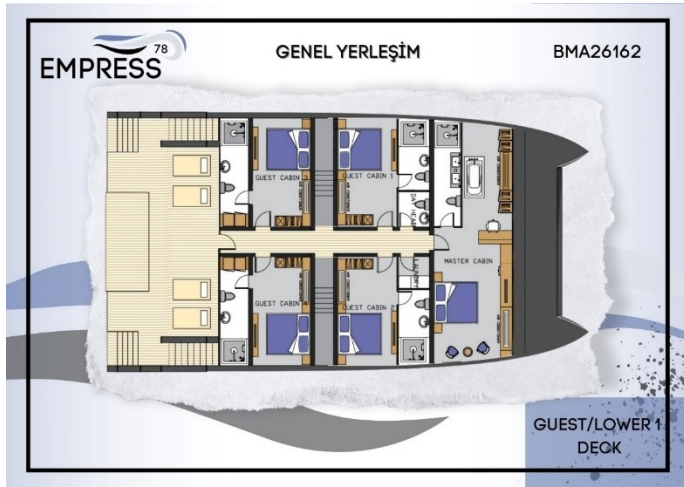


Figure 1 - Exterior view and specifications.



2 - General arrangement plans.

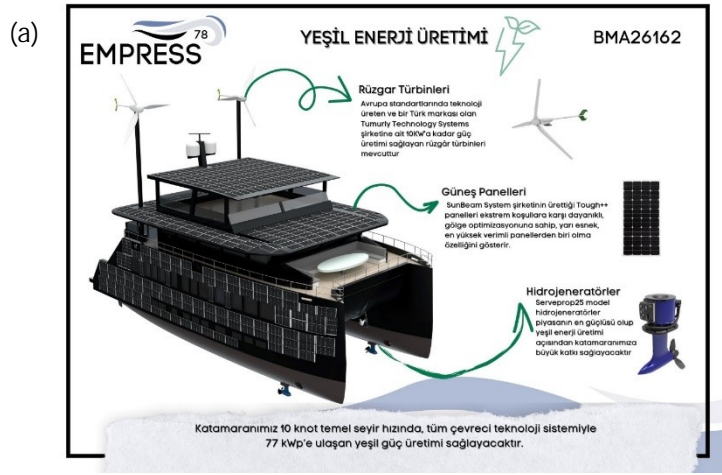


Figure 3 - a) Energy production; b), c) and d) Interior views.

12. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI

Konu
Katamaran Gezi Teknesi

HERON
HRN37001

Cem Avcı
Karadeniz Teknik Üniversitesi

Barış Çay
Karadeniz Teknik Üniversitesi

HERON is a composite electric concept catamaran with modular hydrofoils. Thanks to hydrofoils, it can reach speeds that require a lot of power for a standard 18 meter long yacht, but with lower power. In addition to the efficiency they provide, hydrofoils also add an impressive visual appearance to Heron when closed. This visuality forms a whole with Heron's sharp and aggressive design lines.

In addition, it can meet this power at lower values by using sharrow propellers, which are more efficient than normal propeller profiles, and thanks to the hydraulic pump-driven power transmission system. This system works by rotating the propeller with high pressure hydraulic fluid sent to the centrifugal system in the propeller, instead of connecting the propeller to the engine with a shaft. Heron has a very environmentally friendly concept in line with all these developments. However, if a propeller integrated into the standard hull was used when lifting the boat onto the hydrofoils, the propellers would also remain out of the water. For this reason, the propellers are not integrated into the hull, but into the system at the back, which has a hydrofoil wing and functions as a rudder, so that the propellers do not lose their function when the boat lifts out of the water.

Since HERON is a catamaran, there was a lot of space to work with, so we tried to utilize them as much as possible. The space between the Heron's hull was suitable for a hydraulic deck, which enabled a 2-meter openable deck at the bow of the boat. Thanks to this deck, it provides an extra deck area of 4 square meters and can also be accessed in cases where the wings prevent access from the side and rear.

HERON is a comfortable catamaran having a large main deck lounge as well as a large aft deck outside the 18 meter standard. A hydraulic deck in the middle of the aft deck was designed to perform boat loading and unloading operations and to expand the deck area slightly by lifting it to the main deck level.

This width of the rear deck and low board height offer a high level of comfort in fishing activities. The front deck, which is at least as wide as the rear deck, can be used as a sunbathing area.

HERON also has an upper deck that can be accessed by climbing up from the main deck lounge. The upper deck offers a very spacious area with 360 degree visibility and a glass ceiling.

In addition to the comfort provided by all exterior decks, it also offers comfort and luxury living space inside with its large master cabin, guest cabin, kitchen and bathroom.

HERON is a highly technological electric catamaran with all its efficiency and comfort features. All the controls that the captain will need have been integrated so that they can be controlled from the large touch screen. Thus, confusion and difficulty of use in the control panel was prevented.



Figure 1 - Exterior views.



Figure 2 - Principle deck view.

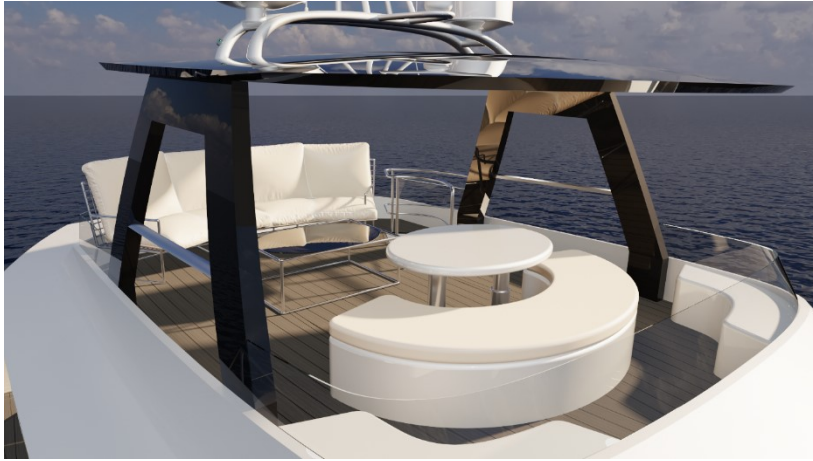


Figure 3 - Upper deck and bridge views.

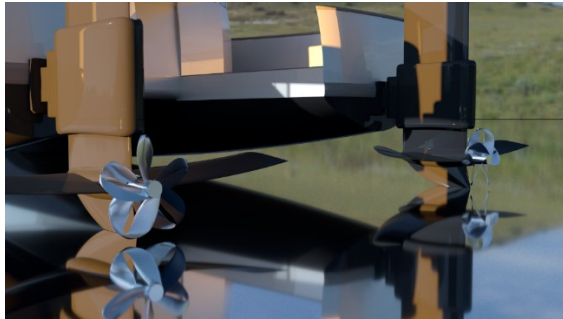


Figure 4 - Propeller arrangement.



Figure 5 - Interior views.





HYCata-HOPE (Powered by Hydrogen) is a zero-emission, environmentally friendly, zero-emission cruising catamaran that uses Sodium Boron Hydride as fuel and promotes the use of renewable energy sources. The Paris Agreement aims to mitigate climate change and its risks globally, and the maritime sector is expected to contribute to this goal. The Paris Agreement directs companies to new investments and research to reduce greenhouse gas emissions and reduce carbon emissions in order to keep the increase in global average temperature below 2 degrees Celsius compared to pre-industrial levels and to limit the increase to 1.5 degrees Celsius as much as possible. This catamaran has the potential to reduce carbon emissions and their impacts. And in these times when green energy is on the agenda, it could be a good alternative for companies.

Specifications

HYCata-Hope is a CE certified luxury cruising catamaran that complies with ILO, IMO, SOLAS, MARPOL international rules and prioritizes energy efficiency and passenger comfort.

Length Overall: 21.57 m

Breadth moulded: 9.89 m

Depth: 5.487 m

Draught: 1.879 m

Displacement: 148.8 t

Cruising Speed: 12 knot

Wetted Surface Area: 210.684 m²

$C_B = 0.578$

$C_M = 0.829$

$C_P = 0.708$

HYCata-Hope engine room consists of 2 decks and 1 bridge. The main deck consists of five cabins. There is one master class, two A class and 2 crew cabins on the main deck. The second deck consists of the galley and social living areas.

Propulsion System and Components

Power supply - Hydrogen and solar panels: Using Hydrogen from Sodium Boron Hydride, a proton exchange membrane (PEM) fuel cell generates 4080 kW of power in 12 hours. The solar panels installed on HYCATA-Hope cover an area of 23 square meters. Each solar panel provides 440 W of power and can generate 27.5 kW of energy per day. The energy from the solar panels will be used for the equipment.

Fuel cell: PEM fuel cell was selected to use in HYCata-Hope. Two 130 kW PEM fuel cells were selected per vessel, totaling 4 PEM fuel cells.

Battery System: For HYCata-Hope, there are two batteries on each boat and 4 batteries in total. Each battery is selected to provide 125 kW/h of energy.

Electric motor : For the motor, a 4-pole electric motor producing 160 kW of power was selected.

HYCata-Hope is an innovative zero-emission catamaran powered by Sodium Boron Hydride. Its aim is to reduce emissions, especially carbon emissions, and minimize the effects of global warming within the framework of the Paris Climate Agreement.

Unlike conventional ships, it uses Sodium Boron Hydride as fuel. Sodium Boron Hydride is stored in a tank on board. This ship converts the Hydrogen gas produced as a result of the reaction of Sodium Boron Hydride with water into electrical energy with a fuel cell and provides propulsion by means of an electric motor. After the reaction of Sodium Boron Hydride with water, Sodium Metaborate (NaBO_2) is produced as waste. This component is stored on board for the production of Sodium Boron Hydride again. A Proton Exchange Membrane Fuel Cell was selected for the conversion of hydrogen to electricity in the system. This fuel cell has a high power density.

It is intended to use waste wind turbine blades in the production of HYCata-Hope. The blades of large modern wind turbines consist of 95% glass reinforced plastic material (Dan and Veigh, 2001). Glass reinforced composite materials are preferred because they are lightweight, have high strength and corrosion resistance, and are easy and economical to produce compared to other fiber reinforced plastics. The lifetime of wind turbines is 20-30 years on average. It is estimated that waste wind turbine blades constitute 10% of fiber reinforced composite material waste in Europe.

Mechanical grinding method will be used for the recycling of wind turbine blades made of glass reinforced plastic material. Mechanical grinding is one of the effective methods that can be used for the recycling of glass fiber reinforced wind turbine blades. This method aims to break the wind turbine blades into small pieces and pulverize them. Other methods are pyrolysis, gasification and solvolysis, which are more complex and costly processes. In addition, these processes have not yet reached industrial solutions. Mechanical grinding is a more suitable and practical option. Glass fiber wind turbine blades subjected to mechanical grinding can be pulverized and then prepared with epoxy, a type of thermoset resin, and reused in composite boat construction. Thermosetting resins are used in many areas such as automotive parts, aircraft components, shipbuilding, wind turbine blades, composite structures and insulation materials. Epoxy is preferred as a resin because it has superior mechanical properties and strength, is more waterproof than polyester, which is also a type of thermoset resin, is less sensitive to temperature and humidity than polyester, and can be used even at temperatures below zero degrees with special hardeners. In addition, suitable parts can be cut from waste wings that have passed the preliminary examination and have sufficient strength and can be used as structural elements such as curtains, beams, decks, etc. in boats.

Innovative ideas include digital twin system, Gate Rudder, Power Management System, Battery Management System, liquid glass application as underwater coating for ships, and utilization of waste wind turbine blades.

Innovative Features

Recycling of Waste Wind Turbine Blades: Waste wind turbine blades will be used in the construction of the ship. According to research, wind turbine blade waste is estimated to increase to approximately 2 million tons globally by 2050, and this problem reveals the importance of recycling waste wind turbine blades. Thanks to this ship, waste turbine blades will be utilized.

Power Management System: Examination of resources, consumption analysis and energy stability an automation system that performs activities and ensures the continuity of the electrical power system

Power Management System (PMS) will be used in HYCata-Hope for its benefits in energy efficiency and battery management. PMS prevents unnecessary energy expenditures and optimizes energy according to demand. It also balances loads, helping to use energy resources efficiently and prevent overloading. PMS also enables remote monitoring and control of energy consumption. PMS for batteries prevents overcharging and discharging and increases battery life. In short, PMS ensures the continuity, safety and reliability of the electric power system.

Battery Management System: Battery Management System (BMS) will be used to secure and control the battery used in HYCata-Hope. The BMS controls and manages the charging and discharging processes of battery packs that are formed by connecting one or more batteries in series or parallel. This system will measure various parameters such as voltage, current, temperature and keep the battery within safe limits. At the same time, BMS can increase battery life and efficiency

Digital Twin: Digital Twin can predict problems, prevent failure, and plan the future by monitoring, analyzing and simulating data. In this way, inspection costs can be reduced and inspection quality can be increased. This system can be used in many areas such as capacity planning, efficient use and optimization of resources, passenger comfort, fault prediction. Currently, digital twins are used as design support in the maritime industry and are used for visualization, analysis and calculation, and various improvements. HYCata-Hope will be equipped with sensors for the digital twin system, which will perform functions such as passenger comfort, performance analysis, fault detection and prevention.

Liquid Glass Application: Liquid glass forms a protective layer on surfaces, increasing the durability and resistance of surfaces and providing surface protection and resistance to abrasion. When used in contact with water, it prevents the accumulation of organisms and substances on the surface thanks to its anti-fouling feature, thus reducing the friction of the ship under water. This can save fuel and prevent corrosion. Liquid glass will be applied to the underwater section of HYCata-Hope.

Gate Rudder: HYCata-Hope is designed to provide additional thrust, increase maneuverability, energy and An innovative rudder system "Gate Rudder™" is used to reduce fuel requirements. Gate rudder provides up to 14% fuel savings. This value can increase up to 30% in extreme weather conditions. The gate rudder can generate additional thrust with the twin rudder fans around it, giving the ship the ability to provide a great advantage over conventional rudder in port and pier maneuvers. This reduces energy use, cavitation, vibration and underwater noise levels, resulting in a better navigation.

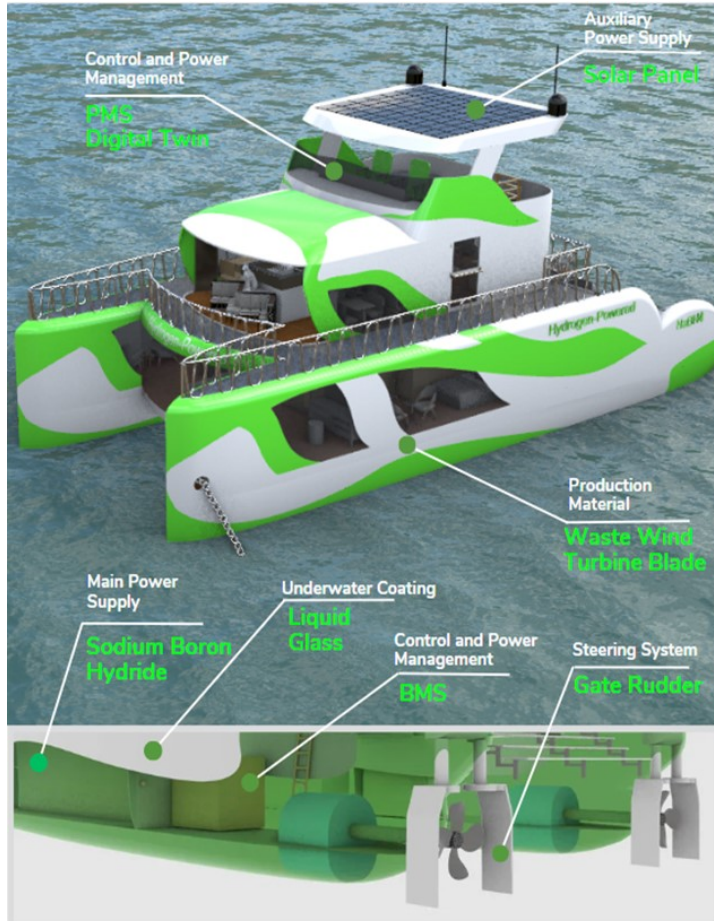


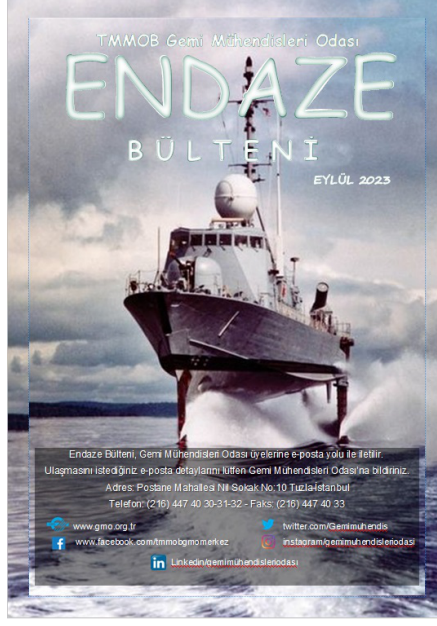
Figure 1. General Features and accomodation spaces of HYCata-Hope.

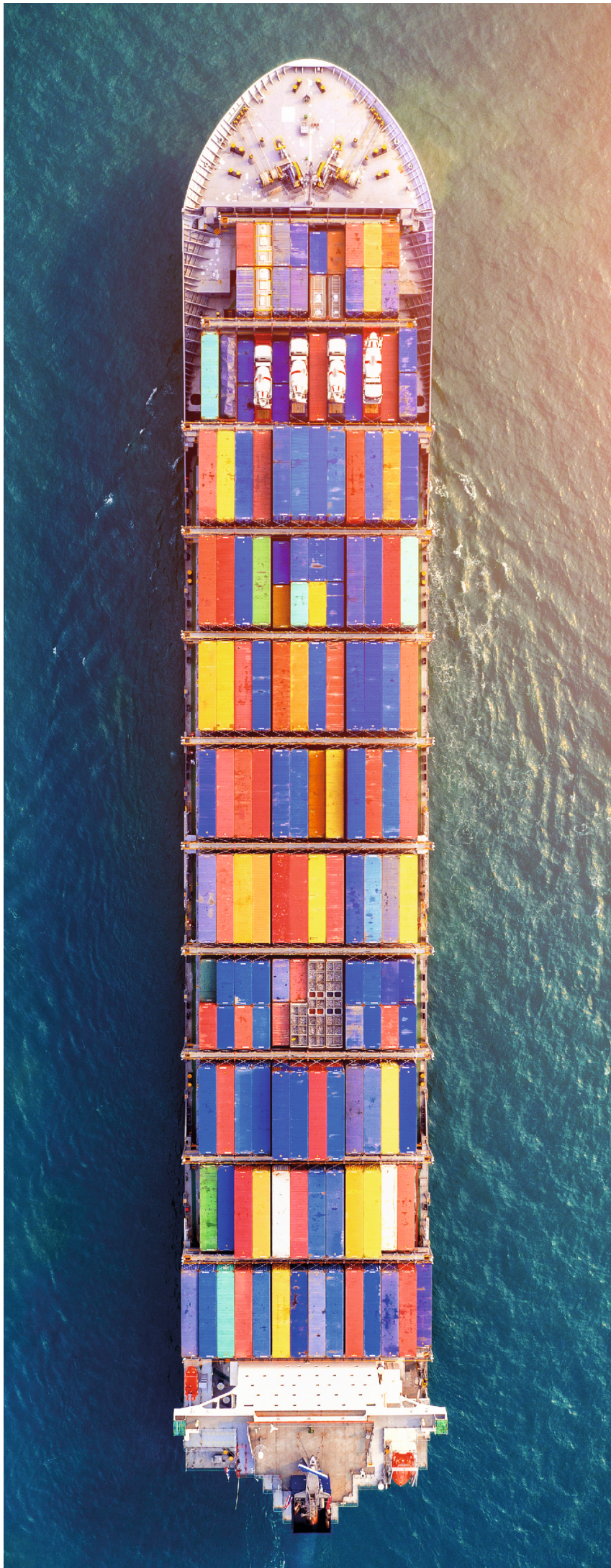


Figure 2. Deck plans and accommodation spaces.



Figure 3. Outside views.





TÜRK LOYDU

geleceği güvenle inşa ediyoruz

askeri deniz platformları, ticari gemiler ve yatlar başta olmak üzere, her tipte deniz aracının klaslama, uygunluk değerlendirme ve belgelendirme süreçlerinde; bağımsız ve tarafsız klas kuruluşu olarak yanınızdayız.

turkloydu.org