

UCTEA - The Chamber of Marine Engineers



JEMS

JOURNAL OF ETA MARITIME SCIENCE



ARBUN O. (2018) KPS 14 Onur Sultan, Belewau, Indonesia.



ISSN:2147-2955

Volume : 6
Issue : 2
Year : 2018

JOURNAL INFO

Publisher	: Feramuz AŞKIN <i>The Chamber of Marine Engineers Chairman of the Board</i>
Engagement Manager	: Alper KILIÇ
Typesetting	: Remzi FIŞKIN Emin Deniz ÖZKAN Burak KUNDAKÇI Ömer ARSLAN
Layout	: Remzi FIŞKIN
Cover Design	: Selçuk NAS Remzi FIŞKIN
Cover Photo	: Oğuz ARBUN
Publication Place and Date	:

The Chamber of Marine Engineers

Address	: Caferağa Mah. Damga Sk. İffet Gülhan İş Merkezi No: 9/7 Kadıköy/İstanbul - Türkiye
Tel	: +90 216 348 81 44
Fax	: +90 216 348 81 06

Online Publication : www.jemsjournal.org / 30.06.2018

ISSN : 2147-2955
e-ISSN : 2148-9386

Type of Publication: JEMS is a peer-reviewed journal and is published quarterly (March/June/September/December) period.

Responsibility in terms of language and content of articles published in the journal belongs to the authors.

EDITORIAL BOARD

EXECUTIVE BOARD:

Editor in Chief

Prof. Dr. Selçuk NAS

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Layout Editors

Res. Asst. Remzi FIŞKIN

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Res. Asst. Emin Deniz ÖZKAN

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Res. Asst. Burak KUNDAKÇI

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Res. Asst. Ömer ARSLAN

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Foreign Language Editors

Dr. Berna GÜRYAY

Dokuz Eylül University, Buca Faculty of Education

Res. Asst. Gökçay BALCI

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Ceyhan Can YILDIZ

Yücel YILDIZ

BOARD OF SECTION EDITORS:

Maritime Transportation Eng. Section Editors

Assoc. Prof. Dr. Momoko KITADA

World Maritime University, Sweden

Assoc. Prof. Dr. Özkan UĞURLU

Karadeniz Tech. Uni, Sürmene Fac. of Mar. Sciences

Assoc. Prof. Dr. Selçuk ÇEBİ

Yıldız Technical Uni., Fac. of Mechanical Engineering

Prof. Dr. Serdar KUM

İstanbul Technical University, Maritime Faculty

Res. Asst. Remzi FIŞKIN

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Naval Architecture Section Editors

Prof. Dr. Dimitrios KONOVESSIS

Singapore Institute of Technology

Dr. Rafet Emek KURT

University of Strathclyde, Ocean and Marine Engineering

Sefer Anıl GÜNBEYAZ (Asst. Sec. Ed.)

University of Strathclyde, Ocean and Marine Engineering

Marine Engineering Section Editors

Assoc. Prof. Dr. Alper KILIÇ

Bandırma Onyedi Eylül University, Maritime Faculty

Asst. Prof. Dr. Görkem KÖKKÜLÜNK

Yıldız Technical Uni., Fac. of Nav. Arch. and Maritime

Dr. José A. OROSA

University of A Coruña

Maritime Business Admin. Section Editors

Prof. Dr. Soner ESMER

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Assoc. Prof. Dr. Çimen KARATAŞ ÇETİN

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Coastal and Port Engineering Section Editor

Assoc. Prof. Dr. Kubilay ÇİHAN

Kırıkkale University, Engineering Faculty

Logistic and Supply Chain Man. Section Editor

Assoc. Prof. Dr. Ceren ALTUNTAŞ VURAL

Dokuz Eylül University, Seferihisar Fevziye Hepkon School of Applied Sciences

EDITORIAL BOARD

MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

Prof. Dr. Selçuk NAS

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty, TURKEY

Assoc. Prof. Dr. Ender ASYALI

Maine Maritime Academy, USA

Prof. Dr. Masao FURUSHO

Kobe University, Faculty, Graduate School of Maritime Sciences, JAPAN

Prof. Dr. Nikitas NIKITAKOS

University of the Aegean, Dept. of Shipping Trade and Transport, GREECE

Assoc. Prof. Dr. Ghiorghe BATRINCA

Constanta Maritime University, ROMANIA

Prof. Dr. Cengiz DENİZ

Istanbul Technical University, Maritime Faculty, TURKEY

Prof. Dr. Ersan BAŞAR

Karadeniz Technical University, Sürmene Faculty of Marine Sciences, TURKEY

Assoc. Prof. Dr. Feiza MEMET

Constanta Maritime University, ROMANIA

Dr. Angelica M. BAYLON

Maritime Academy of Asia and the Pacific, PHILIPPINES

Dr. Iraklis LAZAKIS

University of Strathclyde, Naval Arch. Ocean and Marine Engineering, UNITED KINGDOM

Assoc. Prof. Dr. Marcel·la Castells i SANABRA

Polytechnic University of Catalonia, Nautical Science and Engineering Department, SPAIN

Heikki KOIVISTO

Satakunta University of Applied Sciences, FINLAND

JEMS JOURNAL

MEMBERS OF ADVISORY BOARD:

Prof. Dr. Durmuş Ali DEVECİ

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty, TURKEY

Prof. Dr. Mustafa ALTUNÇ

Girne University, Maritime Faculty, TRNC

Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT

İstanbul Technical University, Maritime Faculty, TURKEY

Prof. Dr. Mehmet BİLGİN

İstanbul University, Faculty of Engineering, TURKEY

Prof. Dr. Muhammet BORAN

Karadeniz Technical University, Sürmene Faculty of Marine Sciences, TURKEY

Prof. Dr. Bahar TOKUR

Ordu University, Fatsa Faculty of Marine Sciences, TURKEY

Prof. Dr. Oral ERDOĞAN (President)

Piri Reis University, TURKEY

Prof. Dr. Temel ŞAHİN

Recep Tayyip Erdoğan University, Turgut Kıran Maritime School, TURKEY

Prof. Dr. Bahri ŞAHİN (President)

Yıldız Technical University, TURKEY

Prof. Dr. Irakli SHARABIDZE (President)

Batumi State Maritime Academy, GEORGIA

JEMS SUBMISSION POLICY:

1. Submission of an article implies that the manuscript described has not been published previously in any journals or as a conference paper with DOI number.
2. Submissions should be original research papers about any maritime applications.
3. It will not be published elsewhere including electronic in the same form, in English, in Turkish or in any other language, without the written consent of the copyright-holder.
4. Articles must be written in proper English language or Turkish language.
5. It is important that the submission file to be saved in the native format of the template of word processor used.
6. References of information must be provided.
7. Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text.
8. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.
9. JEMS operates the article evaluation process with "double blind" peer review policy. This means that the reviewers of the paper will not get to know the identity of the author(s), and the author(s) will not get to know the identity of the reviewer.
10. According to reviewers' reports, editor(s) will decide whether the submissions are eligible for publication.
11. Authors are liable for obeying the JEMS Submission Policy.
12. JEMS is published quarterly period (March, June, September, December).
13. JEMS does not charge any article submission or processing charges.

JEMS JOURNAL

CONTENTS

(ED)	Editorial	83
	<i>Selçuk NAS</i>	
(AR)	Experimental Performance Analysis of a Partially Loaded Natural Gas Fuelled Research Engine.	85
	<i>Mehmet ÇAKIR</i>	
(AR)	Modeling of Manufacturing Time and Processes of Karadeniz Type Fishing Boat with Simulating Technique.	93
	<i>Murat ÖZKÖK, Dursun SARAL</i>	
(RE)	Lighteners of Seas: Establishment and Development of Lighthouses in Turkey.	103
	<i>Yasemin NEMLİOĞLU KOCA</i>	
(AR)	Evaluation of Critical Operational Faults of Marine Diesel Generator Engines by Using DEMATEL Method.	119
	<i>Veysi BAŞHAN, Hakan DEMİREL</i>	
(AR)	Efficiency Analysis of Mediterranean Container Ports.	129
	<i>Veysel GÖKÇEK, Yunus Emre ŞENOL</i>	
(AR)	Proposing Fuzzy Bow-Tie Method for Assessment of Occupational Risks at Shipyards.	141
	<i>Selçuk ÇEBİ, Esra İLBAHAR</i>	
(AR)	A Risk Based Decision Making Approach for Critical Ship Operations.	159
	<i>Kadir ÇİÇEK, Yusuf İlker TOPCU</i>	
	Guide for Authors	I
	JEMS Ethics Statement	V
	Reviewer List of Volume 6 Issue 2 (2018)	IX
	Indexing	X

JEMS JOURNAL

İÇİNDEKİLER

(ED)	Editörden	84
	<i>Selçuk NAS</i>	
(AR)	Doğal Gaz Yakıtlı Bir Araştırma Motorunun Kısmi Yüklerdeki Performansının Deneysel Analizi.	85
	<i>Mehmet ÇAKIR</i>	
(AR)	Karadeniz Tipi Balıkçı Teknesinin İmalat Süre ve Süreçlerinin Benzetim Tekniği ile Modellenmesi.	93
	<i>Murat ÖZKÖK, Dursun SARAL</i>	
(RE)	Denizlerimizi Aydınlatanlar: Türkiye’de Fenerlerin Kuruluşu ve Gelişimi.	103
	<i>Yasemin NEMLİOĞLU KOCA</i>	
(AR)	Gemi Dizel Jeneratörlerinde Kritik Operasyonel Arızaların DEMATEL Metoduyla Değerlendirilmesi.	119
	<i>Veysi BAŞHAN, Hakan DEMİREL</i>	
(AR)	Akdeniz Konteyner Limanlarının Verimlilik Analizi.	129
	<i>Veysel GÖKÇEK, Yunus Emre ŞENOL</i>	
(AR)	Tersanelerde Yaşanan Mesleki Risklerin Analizi için Bulanık Papyon Model Önerisi.	141
	<i>Selçuk ÇEBİ, Esra İLBAHAR</i>	
(AR)	Kritik Gemi Operasyonlarına Yönelik Risk Kontrol Esaslı Bir Karar Verme Yaklaşımı.	159
	<i>Kadir ÇİÇEK, Yusuf İlker TOPCU</i>	
	Yazarlara Açıklama	III
	JEMS Etik Beyanı	VII
	Cilt 6 Sayı 2 (2018) Hakem Listesi	IX
	Dizinleme Bilgisi	X



Journal of ETA Maritime Science

JEMS
JOURNAL

Editorial (ED)

We are pleased to introduce JEMS 6(2) to our valuable followers. There are valuable and endeavored studies in this issue of the journal. We hope that these studies will contribute to the maritime industry. I would like to mention my gratitude to authors who sent their valuable studies for this issue, to our reviewers, to our editorial board, to our section editors, to our foreign language editors who provide quality publications by following our publication policies diligently and also to layout editors who spent great efforts in the preparation of this issue.

Your Sincerely,

Editor
Prof. Dr. Selçuk NAS



Editörden (ED)

JEMS 6(2)'yi değerli takipçilerimizin ilgisine sunmaktan mutluluk duyuyoruz. Dergimizin bu sayısında birbirinden değerli çalışmalar yer almaktadır. Dergimizde yer alan bu çalışmaların denizcilik endüstrisine katkı sağlamasını ümit ediyoruz. Bu sayı için değerli çalışmalarını gönderen yazarlarımıza, yayın politikalarımızı titiz bir şekilde takip ederek kaliteli yayınlar çıkmasına katkıda bulunan başta hakemlerimiz olmak üzere, bölüm editörlerimize, yabancı dil editörlerimize ve yayın kurulumuza, sayımızın yayına hazırlanmasında büyük emekleri olan mizanpaj editörlerimize teşekkürlerimi sunuyorum.

Saygılarımla.

Editör
Prof. Dr. Selçuk NAS



Doğal Gaz Yakıtlı Bir Araştırma Motorunun Kısmi Yüklerdeki Performansının Deneysel Analizi

Mehmet ÇAKIR

Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye
mecakir@yildiz.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5939-951X>

Öz

Bu çalışmada tek silindirli bir araştırma motoru sıkıştırılmış doğal gaz (compressed natural gas, CNG) yakıtının kullanımı için uygun hale getirilmiştir. Motor farklı yük ve devirlerde çalıştırılmış olup, CNG yakıtının performans değerlerine etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Deney motorunda CNG yakıtı emme manifoldu üzerinden emme zamanı enjekte edilmiştir. Yakıt miktarı enjektörün açık kalma süresiyle kontrol edilmiştir. Yapılan performans ölçümleri sonucu efektif gücün motor devrinin yükselmesiyle arttığı belirlenmiştir. Özgül yakıt tüketimi ise motor devrinin yükselmesiyle artmış, ancak yükün artırılmasıyla azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde volümetrik verim düşük yüklerde %80 civarında iken motor devrinin yükselmesiyle birlikte %65 civarına düştüğü belirlenmiştir. Sonuç olarak, deney motoru sıkıştırma oranı 10 için CNG yakıtı ile çalıştırılmış, performans eğrileri başarılı bir şekilde elde edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Yakıt olarak CNG kullanılması durumunda motor devrinin artmasıyla volümetrik verimin azaldığı ve yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğal Gaz, Motor Performans, Temiz Enerji.

Experimental Performance Analysis of a Partially Loaded Natural Gas Fuelled Research Engine

Abstract

In this study, a single-cylinder research engine was refitted to CNG fuel usage. The effect of CNG fuel on the engine performance was examined in detail in different engine loads and speeds. In the single-cylinder test engine, the CNG fuel was injected to intake manifold through the suction time. Performance measurements showed that the effective power increased through the increase of the engine speed. The specific fuel consumption decreased as the load increased, but it was seen to increase with the engine speed increase. Similarly, it was seen that while the volumetric efficiency was about 80% at the low speed, the efficiency rate fell to 65% as the engine speed increased. As a result, the specific research engine at a compression ratio of 10 was run with CNG fuel, the performance curves were obtained, and performance analysis was carried out successfully. In the case of CNG usage, the results showed that as the engine speed increased volumetric efficiency decreased and the fuel consumption increased.

Keywords: Natural Gas, Engine Performance, Clean Energy.

1. Giriş

İçten yanmalı motorlarda fosil kökenli yakıtlardan kaynaklanan zararlı emisyonları azaltmak ve motorun termal verimini artırmak amacıyla yine fosil kökenli temiz bir enerji kaynağı olan doğal gazın kullanımı günümüzde hız kazanmıştır. Özellikle, gemi kaynaklı hava kirliliğini engellemek için Uluslararası Denizcilik Örgütü (The International Maritime Organization, IMO) tarafından Marpol Ek 6'ya göre gemi kaynaklı NO_x ve SO_x emisyonları sınırlandırılmıştır. Belirli emisyon bölgelerinde bu kurallar daha sert bir şekilde uygulanmaktadır. Bu nedenle, motor üreticileri ve araştırmacılar, emisyonların düşürülmesi için fosil kökenli çevreci bir yakıt olan doğal gazın motorlarda kullanımı üzerindeki araştırmaları sürdürmektedirler.

Doğal gaz fosil kökenli yenilenebilir bir yakıt olmamasına karşın benzin ve dizel yakıt emisyonlarına göre daha çevreci bir yakıttır. Bu yüzden doğal gaz alternatif bir temiz enerji kaynağı olarak görülmektedir [1-3].

Doğal gaz yaklaşık %90'ından daha fazlası metan olan fosil kökenli bir yakıttır. Yüksek basınç altında sıkıştırılarak depolanabilmektedir [4]. Ayrıca atmosferik şartta sıcaklığının -162 °C'ye düşürülmesi ile sıvı hale geçerek de depolanabilme özelliğine sahiptir. Doğal gazın tutuşma sıcaklığı benzin ve dizele göre daha yüksek olması ve havadan daha hafif olması nedeniyle daha emniyetli olduğu söylenebilir.

İçten yanmalı motorlar üzerinde doğal gaz kullanım araştırmaları son yıllarda hızlanmıştır. Tek yakıt veya çift yakıt olarak kullanımı üzerine dönüşüm kitleri endüstride yerini almıştır. Ancak sıkıştırma oranı (ϵ), ateşleme avansı, yanma odası tasarımı vb. gibi konularda mühendislik araştırmaları halen devam etmektedir [5,6].

Gorby, alternatif yakıt çalışmaları için üretilen Ricardo deney motorunda, farklı doğal gaz enjeksiyon süreleri, farklı buji

ve enjektör açıları yaptığı çalışmada, kademeli dolgunun açığa göre değiştiğini gözlemiştir [7]. Diğer bir araştırmada manifolddan enjeksiyonlu bir buji ateşlemeli motor, direkt enjeksiyonlu bir doğal gaz motoruna dönüştürülmüş ve özgül yakıt tüketiminde % 0.28'lik bir düşüş olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca NO_x emisyonlarında % 42'lik bir azalma olduğu gözlenmiştir [8]. Mohamad çalışmasında, buji ile beraber yekpare bir enjeksiyon tasarlamış ve doğal gaz buji tırnağının kenarından püskürtmeyi denemiştir. Yapılan uygulama sonucu yanma odasında kademeli dolgu oluşmuş ve doğal gazın manifolddan enjeksiyonuna göre yanmış kütle oranında büyük avantaj elde etmiştir. Silindir içi maksimum basıncın %11 yükseldiği ve volümetrik verimin %15 arttığı belirlenmiştir [9].

Yadollahi ve Boroomand [10], dört silindirli çok noktadan enjeksiyonlu bir benzin motorunun direkt enjeksiyonlu bir doğal gaz motoruna dönüşümü için sayısal bir model geliştirmişlerdir. AVL FIRE programını kullanarak, beş farklı piston oyuğu üzerinde yapılan yanma simülasyonunda en iyi performansın en dar oyuğa sahip pistonun çalışma şartlarında sağlandığını belirlemişlerdir.

Kato [11], 2.2 litre hacme sahip benzinli bir motoru, yakıt olarak sıkıştırılmış doğal gaz kullanan yeni bir motora dönüştürmüştür. Doğal gaz motoru, benzinle karşılaştırıldığında güç ve torkun düştüğü görülmüştür. Ancak sıkıştırma oranını artırılmış halde emme valfini erken kapatarak ve emme ve egzoz valf aralığını artırarak bu güç kaybını telafi etmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar doğal gazın içten yanmalı bir motorda yakıt olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak, mevcut motor sistemleri için güç kaybını önlemek amacıyla motor üzerinde bazı modifikasyonların yapılması gereklidir. Bu çalışmada, Otto çevrime sahip tek silindirli su soğutmalı, sıkıştırma oranı 10 olan

bir deney motoru CNG ile çalıştırılmış ve performans ölçümü yapılmıştır. Farklı devir ve yüklerde CNG yakıtının kullanılmasının motor performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. Deneysel Uygulama ve Metot

Motor performans deneyleri Tablo 1 ve Şekil 1'de verilen deney sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği, tek silindirli su soğutmalı deney motoru, motoru yüklemeye yarayan bir manyetik dinamometre, yakıt ve hava debisini ölçmek için kullanılan kütleli debimetre ve sensörlerden gelen analog sinyalleri dijital hale dönüştüren bir donanımdan oluşmaktadır.

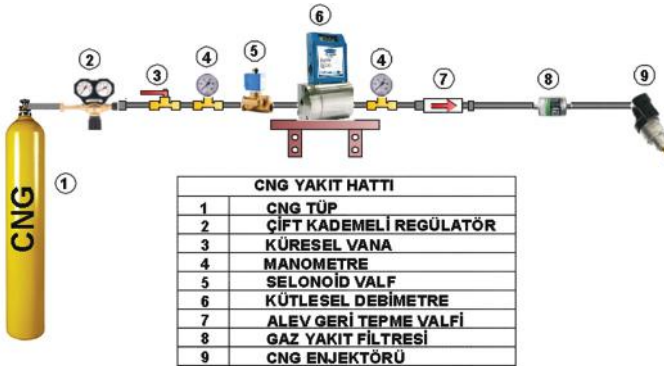
Motor yükünün ölçülebilmesi için Saj Test Plant firması tarafından imal edilen AG10 model dinamometre kullanılmıştır.

Tablo 1. Deney Motoru Teknik Özellikleri

Silindir sayısı	Tek silindirli
Soğutma	Su
Motor zamanı	4 zamanlı
Motor devri	2000
Güç (benzin için)	4.5 kW @ 1800
Silindir çapı	87.5 mm
Strok boyu	110 mm
Sıkıştırma oranı	10:1



Şekil 1. Motor Performans Deney Sistemi



Şekil 2. CNG Yakıt Hattı ve Enjeksiyon Sistemi

Dinamometre üzerinde bulunan Sensortronics marka, 60001 model, S tipi, 0-50 kg kapasiteli üniversal bir yük hücresi motor çıkış milinde üretilen kuvveti ölçmek amacıyla sisteme eklenmiştir. Yük hücresinin dinamometre dönme merkezine uzaklığı 185 mm'dir.

CNG'nin motora uygun zamanda verilebilmesi için Şekil 2'de şeması verilen yakıt hattı imal edilmiş olup, yakıtın tutuşturulması için elektronik ateşleme sistemi geliştirilmiştir. Ateşleme ve püskürtme avansları elektronik bir kontrol ünitesi yardımıyla yapılmıştır.

Motor performans deneyleri, orijinal benzin motorunun sıkıştırma oranında (10:1) yapılmıştır. Motorun yanma odası Şekil 3'te detaylı olarak verilmiştir. Deneyler, gaz kelebeğinin tam açık konumunda farklı devir ve yüklerde gerçekleştirilmiştir. Motor yükü dinamometre üzerinde bulunan bir yük hücresi vasıtasıyla ölçülmüştür. Deneyler sonucu, motorun efektif gücü (G_e), fren ortalama efektif basıncı (oeb), fren özgül yakıt sarfiyatı (ÖYS), volümetrik verim (η_v) ve efektif verim (η_E) değerleri, aşağıdaki denklemler kullanılarak hesap edilmiştir [12].

Burada n devir sayısı (d/d), T motor torku (Nm), D silindir çapı (m), L strok (m), \dot{m}_y yakıt kütleli debisi (kg/h), \dot{m}_H hava kütleli debisi (kg/h), ρ_H hava yoğunluğu ($1,16 \text{ kg/m}^3$) ve H_U yakıtın alt ısıl değeridir ($H_U=47100 \text{ kJ/kg}$).

$$G_e = \frac{2\pi n T}{60000} (kW)$$

$$oeb = \frac{bP \cdot 60}{\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \cdot \frac{n}{2} \cdot 100} (bar)$$

$$\ddot{O}YS = \frac{\dot{m}_y}{BP} \left(\frac{kg}{kWh} \right)$$

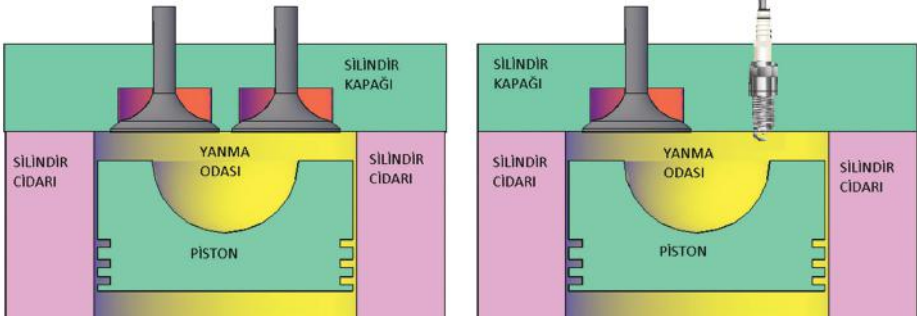
$$\eta_v = \frac{\dot{m}_H}{\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \cdot \frac{n}{2} \cdot 60 \cdot \rho_H} \cdot 100$$

$$\eta_E = \frac{bP \cdot 3600}{\dot{m}_y \cdot H_U} \cdot 100$$

Motor performans deneyleri, gaz kelebeğinin tam açık konumu için motorun 1000-1200-1400-1600-1800 devirlerinde ve 4-20 kg arasında değişen yüklerde gerçekleştirilmiştir. CNG yakıtı emme manifoldu üzerinde bulunan bir CNG enjektör vasıtasıyla motorun emme zamanında püskürtülmüştür. Enjektörün açık kalma süresi ile karışımın zenginliği ayarlanmıştır. Tüm performans değerleri için ateşleme avansı 25 krank mili açısı (KMA) olarak belirlenmiştir.

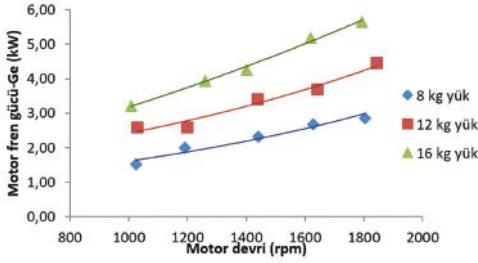
3. Araştırma Bulguları

DeneySEL çalışmalar, motor rejim sıcaklığına ulaştıktan sonra yapılmıştır. Parametre değişimlerinde motor dinlendirilmiştir. Ölçümler sonucu bulunan veriler motor hızı referans alınarak karşılaştırılmıştır. Şekil 4 ve 5'te motorun

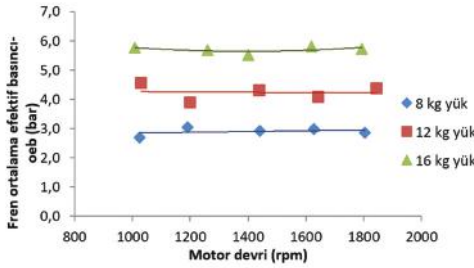


Şekil 3. Deney Motoru Yanma Odası Görünüşleri

efektif gücü ve fren ortalama efektif basıncının motor hızına göre değişim grafiği verilmektedir.

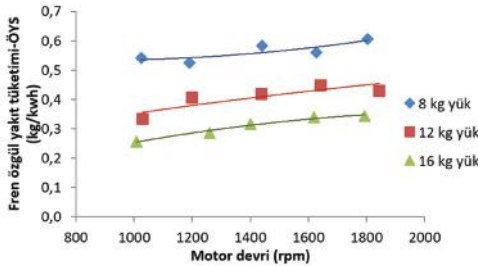


Şekil 4. Farklı Yüklerde Efektif Gücün Motor Hızına Göre Değişimi



Şekil 5. Farklı Yüklerde Ortalama Basıncın Motor Hızına Göre Değişimi

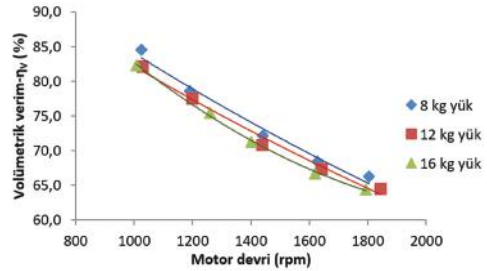
Şekil 4 ve 5 incelendiğinde efektif gücün motor devri ile arttığı, ortalama efektif basıncın ise yüke bağlı olarak 3 ile 6 bar arasında bir değişime uğradığı görülmüştür. Daha detaylı bir karşılaştırma için özgül yakıt sarfiyatının motor hızına göre değişim grafiği Şekil 6'da verilmiştir.



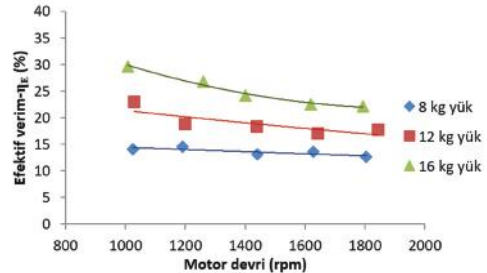
Şekil 6. Farklı Yüklerde Özgül Yakıt Sarfiyatının Motor Hızına Göre Değişimi

Şekil 6'ya göre, motor devri yükseldikçe ÖYS artmıştır. Ancak motor yükü arttıkça ÖYS değerinin azaldığı görülmüştür. ÖYS grafiği Şekil 4'deki efektif güç grafiği ile karşılaştırıldığında, efektif gücün yükselmesiyle ÖYS değerinin arttığı, ancak daha yüksek fren gücünde yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür. Örneğin, 1400 devir için 8 kg yük altında efektif güç 2,3 kW ve ÖYS değeri 0,6 kg/kWh iken, 16 kg yük altında değerler 4,3 kW ve 0,3 kg/kWh olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, manifolddan enjeksiyonlu bir buji ateşlemeli motor, direkt enjeksiyonlu bir doğal gaz motoruna dönüştürülmüş ve özgül yakıt tüketiminde % 0.28'lik bir düşüş olduğu sonucuna ulaşılmıştır [13]. Bulgular, verim açısından karşılaştırıldığında, volümetrik verim ve efektif verimin motor devrine göre değişim grafikleri Şekil 7 ve 8'de sırasıyla verilmiştir.

Volümetrik verim - motor hız grafiği incelendiğinde devrin yükselmesiyle



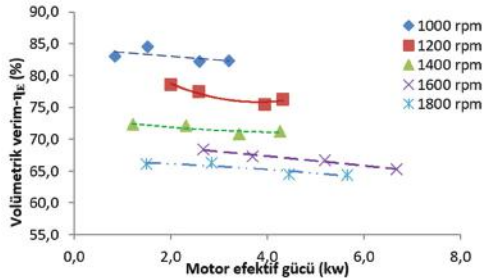
Şekil 7. Farklı yüklerde volümetrik verimin motor hızına göre değişimi



Şekil 8. Farklı Yüklerde Efektif Verimin Motor Hızına Göre Değişimi

birlikte tüm yüklerde volümetrik verimin azaldığı görülmüştür. Ayrıca aynı motor hızında motor yükünün yüksek olması volümetrik verim değerini düşürmüştür. Şekil 8 incelendiğinde, CNG yakıtlı deney motorunun düşük devirlerde ve yüksek yüklerde daha verimli çalışmaya yöneldiği sonucu ortaya çıkmıştır. Motor 8 kg yük altında efektif verimi devirle fazla değişmezken, 16 kg yük altında efektif verim devrin artmasıyla azalmıştır. Ayrıca motor yüklendikçe efektif verimin arttığı gözlenmiştir.

Volümetrik verim motor için önemli bir parametre olup, motorun hava alabilme kabiliyeti olarak değerlendirilebilir. Bu bakımdan motor hızını dikkate alarak volümetrik verim efektif güç değişimi Şekil 9'da verilmiş olup, performans değerlerine farklı bir bakış açısı getirebileceği öngörülmüştür.



Şekil 9. Farklı Motor Hızlarında Volümetrik Verimin Efektif Güç ile Değişimi

Şekil 9'a göre volümetrik verim, motor devri yükseldikçe azalmıştır. Maksimum değerler % 85 civarı olup, 1000 devirde görülürken; motorun maksimum devri olan 1800 devirde % 68 civarına kadar düştüğü gözlenmiştir.

4. Sonuçlar

Enerji kaynağı olarak motorlarda petrol türevi benzin ve dizel yakıt kullanımı halen ilk sıradadır. Ancak, bu yakıtların çevreye ve insan sağlığına verdiği zarar, atmosferi maruz bıraktığı sera gazı etkisi,

üretim maliyetleri ve kaynakların giderek azalması alternatif yakıt arayışlarına neden olmuştur. Düşük emisyon değerleri, daha fakir karışımlarda yanabilmesi ve maliyetinin benzin ve dizel yakıtına göre daha düşük olması gibi nedenlerden dolayı doğalgaz alternatif bir temiz enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Bu çalışmada; tek silindri, su soğutmalı, sıkıştırma oranı 10 olan bir benzin motoru, CNG dönüşümü yapılmış ve performans ölçümü başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneysel ölçümler farklı yük ve devirlerde yapılmıştır.

Araştırma bulguları motor hızı referans alınarak karşılaştırılmıştır. Efektif güç, yakıt sarfiyatı ve motor verimi grafikler ile gösterilmiştir. Efektif gücün motor hızının yükselmesiyle arttığı belirlenmiştir. Özgül yakıt sarfiyatı, motor devrinin yükselmesiyle artmış, ancak yük arttıkça azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Aynı şekilde volümetrik verim düşük yüklerde %80 civarında iken, motor devrinin yükselmesiyle birlikte %65 civarına gerilemiştir. Sonuçta motor devrinin yükselmesiyle volümetrik verim azalmış, yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür. Maksimum yüklerde yakıt sarfiyatının artması beklenen bir durumdur. Ancak yakıt tüketim eğrileri incelendiğinde sürekli artan bir eğri görülmektedir. Yakıt tüketimindeki artış ve volümetrik verimdeki azalmanın, emme havasının bir miktar soğutulması veya motora aşırı doldurma desteği verilmesiyle, engellenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 3501 Kariyer Geliştirme Programı kapsamında 214M329 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Shashikantha., Parikh P.P., (1999). Spark ignition producer gas engine and dedicated compressed natural gas engine-Technology development and experimental performance optimization, SAE Technical Paper, 1999-01-3515.
- [2] Stone, Richard., (1997). Introduction to Internal Combustion Engines 2nd Edition, SAE Inc., USA.
- [3] Poulton, M.L., (1994). Alternative Fuels for Road Vehicles, Comp. Mechanics Publications, UK.
- [4] Semin, Rosli Abu Bakar, (2008). Technical Review of Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel for Internal Combustion Engines, American J. of Engineering and Applied Sciences 1 (4): 302-311.
- [5] Cakir M., Sönmez H.İ., (2017). Determination of Pre-combustion Chamber Design for a Stratified Charge Natural Gas Engine, III. International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS), Budapeşte, MACARISTAN, 3-7 Mayıs 2017, pp.609-613.
- [6] Saraçoğlu, H., Söğüt, O. S. (2017). Metan yakıtlı sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda piston geometrisi ve yanma süreci parametrelerinin motor performansına etkilerinin kriging yöntemiyle incelenmesi. Journal of ETA Maritime Science, 5(4), 314-321.
- [7] Gorby, D., (2007). An Evaluation of Partially Stratified Charge Ignition in a Direct Injection Natural Gas Engine, The University of British Columbia, Master Thesis of Applied Science, 87 p., Colombia.
- [8] Kalam, M. A., Masjuki, H. H., (2011). An Experimental Investigation of High Performance Natural Gas Engine with Direct Injection, Energy, 36, 3563-3571.
- [9] Mohamad., T. I., (2010). Compressed Natural Gas Direct Injection (Spark Plug Fuel Injector), Natural Gas, Primo...¼ Poto, Anik (Ed.), ISBN: 978-953-307-112-1
- [10] Yadollahi, B., Boroomand, M., (2013). The Effect of Combustion Chamber Geometry on Injection and Mixture Preparation in a CNG Direct Injection SI Engine, Fuel, 107, 52-62.
- [11] Kato, K., Igarashi, K., Masuda, M, Otsubo, K., Yasuda, A., Takeda, K., Sato, T., (1999). Development of engine for natural gas vehicle, SAE Technical Paper 1999-01-0574.
- [12] Pulkrabek W. W. (2003). Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey, 394p.
- [13] Kalam M. A., Masjuki H. H. (2011). An Experimental Investigation of High Performance Natural Gas Engine with Direct Injection, Energy, 36, 3563-3571.

This Page Intentionally Left Blank



Karadeniz Tipi Balıkçı Teknesinin İmalat Süre ve Süreçlerinin Benzetim Tekniği ile Modellenmesi

Murat ÖZKÖK, Dursun SARAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Türkiye
muratozkok@ktu.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1782-8694>
dursunsaral@ktu.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1029-7007>

Öz

Bu çalışmada, Karadeniz tipi bir balıkçı teknesinin üretim süreci detaylı olarak incelenmiş ve SIMIO simülasyon tabanında bir modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model ile Karadeniz tipi balıkçı teknesinin üretim süresi belirlenmiştir. Sonra, tekne imalatında çalışma saatleri değiştirilmek suretiyle teknenin imalat süresi belirlenmiş ve bu şekilde çalışma saatlerinin tekne üretim süresine olan etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, çalışma süresindeki her artışın tekne üretim süresini etkilemediği gözlemlenmiş ve çalışma saatlerindeki düzenli artışların Karadeniz tipi teknenin üretim süresi üzerine etkileri sayısal olarak ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tekne Üretimi, Benzetim, Üretim Süresi.

Modeling of Manufacturing Time and Processes of Karadeniz Type Fishing Boat with Simulating Technique

Abstract

In this study, the production process of a Black Sea type fishing boat was examined in detail, and a model was created in the SIMIO simulation base. With this model, the production period of Black Sea type fishing boat was determined. Subsequently, by changing working hours in the manufacture of boats, the production duration of the boat was determined and the effects of working hours on the boat production period were investigated. Consequently, it was observed that not every increase in working time affected the production of boats, and the effects of regular increases in working hours on the production period of Black Sea type of boats were quantified.

Keywords: Boat Production, Simulation, Manufacturing Duration.

1. Giriş

Denize kıyısı olan ülkelerdeki insanların önemli geçim kaynaklarından biri balıkçılıktır. Türkiye’de özellikle Karadeniz kıyılarında balıkçılık, hem balık avcılığı hem de balıkçı gemisi inşaatı ile ekonomide mühim bir yere sahiptir. Balıkçılıkta balık avlama takım donanımları kadar balıkçı gemilerinin de işlevi büyüktür. Balık avcılığında kullanılan gemiler; avlanma yöntemlerinin çeşitliliği, avlanmanın yapıldığı bölgenin hava, deniz ve iklim koşulları, geçmişten bugüne ulaşılmış deneyim ve bilgi birikimleri ile hızla gelişmekte olan bilimsel ve teknolojik faktörlerin de etkisi altında çok değişik formlara sahip olabilmektedirler [1].

Ahşap veya çelik konstrüksiyonlu olan motorlu balıkçı gemileri; sahil (yakın sahil) balıkçı gemileri ve açık deniz (okyanus) balıkçı gemileri olarak sınıflandırılabilir [2]. Günümüzde boyları 40 metreden büyük çelikten inşa edilmiş tekneler açık deniz balıkçı gemisi olarak çalışabilecek mukavemete ve donanıma sahiptir. Karadeniz’de balıkçılık hem ahşap hem de çelikten inşa edilen sahil balıkçı gemileri ile yapılmaktadır. Karadeniz’de avlanan balıkçı gemilerinin %82.7’si boyları 5-10 metre arasında değişen ahşap teknelerden oluşmaktadır ve yapımı çok emek isteyen bu ahşap tekneler günümüzde artık 15 metreden büyük yapılmamaktadır [3].

Türkiye’de inşa edilen balıkçı gemileri yakın çağ boyunca gelişim göstermiştir. 1980’li yıllara kadar Türkiye sularında çalışan balıkçı tekneleri özellikleri itibariyle başlıca üç tipe ayrılmıştır: Taka tipi balıkçı tekneleri, çektirme tipi balıkçı tekneleri ve alometro tipi balıkçı tekneleri [2]. Türkiye denizlerinde, özellikle balıkçılığın yoğun bulunduğu Karadeniz kıyılarında çoğunlukla geleneklere göre inşa edilmekte olan bu ahşap balıkçı gemileri kullanılmıştır [4]. Çektirme ve özellikle takalar Karadeniz yapısı olup, en iyileri Sürmene, Rize, Ünye, Ayancık, v.s. de inşa edilirdi [5].

1950’den sonra Karadeniz sahillerinin taka tipi yelkenli kayığı ihtiyaçların artması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte zamanla 10 m. boyunda motorlu tekne haline dönüşmüştür [6]. Ancak, Taka tipi balıkçı gemilerinin kare kış yapısı pervane takmaya yeterince elverişli olmadığı görüldüğünden, ticari gemilerin kruzer (karpuz kışlı) kış yapısı örnek alınarak, 1960’lardan sonra taka formlarının kare kış yapıları kruzer yapılarak Alometro tipi balıkçı gemileri ortaya çıkmıştır [2]. Gemi yapım sürecinde 1970’li yıllarda dikkate değer bir değişim meydana gelerek gemi yapımında sac tekne imalatı önem kazanmış, Tuzla ve Sürmene gibi tersane bölgelerinde 3000 tonluk çelik gemilerin inşa edilmeye başlanması ile Çektirme ve Taka tipi gemilerin yapımı ortadan kalkmıştır [7]. 1980’lerde Taka ve Çektirme tipi ahşap balıkçı tekneleri yerlerini Alometro tipi teknelere bırakmıştır. Alometro tipi ahşap balıkçı tekneleri ise günümüzde genellikle 15 metre uzunluğa kadar ayna kışlı olarak inşa edilip, kıyı balıkçılığında kullanılmaktadır [8].

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Teşkilatınca balıkçı tekneleri konusunda 1953’te Paris’te, 1959’da Roma’da ve 1965’te Göteborg şehrinde olmak üzere üç kez toplantı düzenlenmiştir [9].

Birinci toplantıda; Amerikan balıkçı gemileri, Bombay balıkçı tekneleri, Batı Pakistan balıkçı teknesi, Avrupa sahil balıkçı teknesi, Portekiz küçük balıkçı tekneleri, Japon balıkçı tekneleri, British Columbia (Kanada) balıkçı tekneleri, Orkinos balıkçı tekneleri, Japon sürükleme ağı tekneleri, Fransız motor trolü, Hollanda kıyı balıkçı tekneleri, Alman balıkçı tekneleri, İspanyol balıkçı tekneleri, İrlanda balıkçı tekneleri ve İzlanda balıkçı teknelerinin yapıları üzerinde sunumlar ve tanıtımlar yapılarak, bu teknelerin; konstrüksiyonu, direnç testleri, sevk testleri, açık su pervanesi testleri, pervane kavitasyon testleri ile seyir

denemeleri hakkında tartışmalar yapıлып, balıkçı gemilerinin nasıl geliştirileceği konusunda öneriler sunulmuştur [10].

İkinci toplantıda; balıkçı gemilerinin ana boyutları, güverte dizaynı ve ekipmanları, balıkçı teknesi inşasında kullanılacak materyaller, balıkların nasıl depolanacağı, buzlama odaları, balıkçı gemileri için uygun olan makineler, motorlu trol teknelerin tahrik sistemleri, trol teknelerinde titreşim, genel olarak motor tasarımları, dizel-elektrik tahrik sistemi, şanzıman, dişli kutuları, piç kontrollü pervaneler, pervaneler ve şaftlar, trol teknelerinin dirençleri gibi konularda yapılan çalışmalar sunulmuştur [11].

Üçüncü toplantıda; tekno-sosyo ekonomik tekne sorunları, balıkçı gemisi tasarımında tomografik faktörler, balıkçı gemilerinin performansları, balıkçı gemileri için yapılacak testler, balıkçı gemisi inşalarında kullanılacak malzemeler (ahşap, alüminyum, plastik ve fiberglas takviyeli plastik tekneler), balıkçı gemilerinde kullanılacak makineler, hidrolik güverte makineleri, küçük balıkçı teknelerinde soğutma-dondurma tesisleri, küçük teknelerin tasarımları ve balıkçı gemisi formlarının nasıl geliştirilebileceği gibi konular tartışılmıştır [12].

Yapılan bu çalışmalara paralel olarak Türkiye'de de balıkçı gemileri üzerine bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Savcı [13] tarafından yapılan çalışmada balıkçı gemilerinin ana boyutları, narinlik katsayıları, formları, stabiliteleri, dalgalı denizlerdeki hareketleri ve dirençleri incelenerek, dizaynda kullanılmak üzere bazı ampirik ifadeler ve grafikler elde edilmiştir. Nutku [14] tarafından yapılan çalışmada üç adet balıkçı gemisi modelinin (MG1, MG3 ve DG3) direnç ve sevk analizleri İTÜ Gemi Model Deney Tankında yapılmış, elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir şekilde sunularak bu gemilerin performansları birbirleri ile karşılaştırılıp, ekonomik hız ve pervane karakteristiklerinden

bahsedilmiştir. Yine Nutku [15] tarafından Türkiye sularında çalışan Taka ve Almetro tipi balıkçı gemilerinin direnç ve sevk deneylerini yapılarak ekonomik hız sınırları belirlenmiştir. Küçük [16] tarafından çektirme tipi teknelerin model ve gemi sonuçlarının sürtünme direnci bakımından analizi ilk defa bilimsel olarak ele alınmıştır.

Teknenin işçiliğinin ve bağlantılarının sağlam olması, teknenin su hattının güzel olması, inşasında kaliteli malzeme ve kereste kullanılması iyi bir ahşap teknenin inşa edilebilmesi için gereklidir [17]. [18] numaralı kaynakta 4.90, 5.10, 5.40, 5.94, 6.80, 8.23, 8.43 ve 11.25 metre boylarındaki ahşap teknelerin inşasında kullanılacak ahşap malzemelerin özellikleri ve seçimi, planları ve konstrüksiyon çizimleri verilerek üretim prosedürleri anlatılmıştır. [19] numaralı kaynakta ise 15 metre altında inşa edilen ahşap teknelerin konstrüksiyonu için kullanılan ahşap malzemelerin özellikleri ile küçük çaplı teknelerin inşası için kullanılacak fiberglas plastik malzemelerin özellikleri verilerek, 5.2, 6.3, 7.4 ve 8.5 metre boylarındaki ahşap teknelerin planları ve konstrüksiyon çizimleri ile üretim prosedürleri verilmiştir. Tunçel [20] tekne inşasında kullanılacak malzemelerin neler olduğunu ve dayanımlarının hangi yöntemler ile artırılabilirliğini incelemiştir. Yerli ağaç türleri olarak Sarı Çam, Dışbudak, Meşe ve Kestane; yabancı ağaç türleri olarak Afrika Maunu, Prena Çamı, Dipterokarpus, Amerikan Maunu, Firavun İnciri, Makore, Opecpe, Orta Amerikan Sediri ve Tik ağaçlarının özellikleri ve hangi tekne inşaatında nerede kullanılabilecekleri açıklanmıştır.

Kaygın ve Aytekin [21] çalışmasında, ahşap tekne konstrüksiyonu hakkında bilgi verilip, ahşap malzemedan en az kayıpla ve en uygun verimle yararlanma yolları araştırılmıştır. Ahşap tekneyi oluşturan elemanlar; omurga, balast omurga, baş bodoslama, kış bodoslama, postalar (eğriler), döşekler, şiyer kuşağı,

sintine stringeri, ıstralya ve gurcatalar, kemeler, taban (döşeme) kirişleri, ve dış kaplama şeklinde gruplandırılıp, ne anlama geldiklerini tarif edilerek, kullanılacak ahşap malzemenin boyutları genel olarak verilip, birbirleri ile bağlantı şekilleri anlatılmıştır.

Davulcu [22, 23] çalışmalarında ahşap bir teknenin imalat sürecini şöyle derlemiştir: Ahşap tekne imalatı, teknenin en alt kısmını oluşturan ve baştan kıça kadar boylamasına uzanarak teknenin dengesini sağlayan "omurga"nın dengeli ve sağlam bir yere oturtulması ile başlar. Ustalar, tekne büyükse omurgayı birkaç parçadan, küçükse tek bir kütükten imal eder. Omurga ağacının yerine oturtulma ve sabitleme işlemi tamamlandıktan sonra baş ve kıç bodoslamalar hazırlanarak omurgaya sabitlenmesi ile süreç devam eder. Bodoslamalar genellikle formları eğri olan ağaçlardan seçilerek şekillendirilip omurgaya sabitlenir. Bodoslamaların da hazırlanmasından sonra, teknenin formunu oluşturan ve postaların hepsini ifade eden "kaburga"nın inşaatına başlanır. Dış kaplama için bir iskelet oluşturmak üzere eğri veya ıskarmoz olarak isimlendirilen postalar omurgaya dik olarak yerleştirilir. Postaların omurgaya sabitlenmesinden önce endaze kalıpları uygun yerlere çakılarak, bunlara göre postalar ve dış sargı tahtaları yerlerine çivilenir. Tek parçadan oluşmayan postalar döşek, ıskarma ve uzantılardan oluşmaktadır ve enine tekne kirişleri olan kemere elemanları ile postalar birbirlerine bağlanmaktadır. Postaların yerleştirilmesi tamamlandıktan sonra destek kuşakları çakılır. Böylece teknenin kaburgası tamamlanarak dış kaplamanın yapım aşamasına geçilir. Dış sargıda kullanılacak ağaçlar açık ateş veya suda yumuşatılarak yerlerine çakılır. Sargı tahtaları işkence aletleri ile yerlerine tutturulur. Dış kaplamanın tamamlanmasından sonra endazeler sökülür, iç takviyeler yerleştirilip güverte

kaplamanın yapım aşamasına başlanır. Teknenin ahşap işçiliği bitirildikten sonra kalafatlama işlemine geçilir. Kalafatlama ahşap teknelerin içlerine su sızmamaları için dış kaplama tahtalarının birleşim yerleri arasında kalan boşlukların ziftlenen kenevir (üstüpü) ya da ham pamuk ile doldurulması işlemidir. Kalafatlama işleminden sonra ilk kat boya sürülür ve macun çekilir. Daha sonra ise ikinci kat boya atılır. Teknenin tüm iç donanımı hazırlandıktan sonra, tekne sahibine teslim edilerek suya indirilir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda balıkçı teknelerinin form özellikleri, dirençleri, konstrüksiyonları, yapı malzemeleri ve imalat şekilleri incelenmiştir. Çalışmamızda ise mevcut çalışmalarda incelenmeyen ve üzerinde durulmayan Karadeniz Tipi Balıkçı Teknesinin imalat süre ve süreçleri SİMİO benzetim tekniği ile modellenip incelenmiştir. Böylece bir balıkçı teknesinin imalat süresinin ne kadar olduğu ve çalışma saatlerine bağlı olarak nasıl değiştiği araştırılmıştır.

SİMİO benzetim çalışmasında, genellikle ahşap balıkçı teknelerinin 5-10 metre arasında inşa edilmesinden dolayı ortalama bir imalat süresinin tespit edilebilmesi için çalışmamızda 10 metre bir balıkçı teknesinin imalat süre ve süreçleri tetkik edilmiştir.

2. Yöntem

Bu çalışmada, 10 metrelik Karadeniz tipi ahşap tekne imalatının süreç analizi doğrudan doğruya saha çalışması sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda yapılmıştır. Bu veriler, imalatın yapıldığı alana gidilerek ve ölçümler yapılarak elde edilmiştir. Veriler elde edildikten sonra, SİMİO benzetim yazılımı kullanılarak teknenin üretim süreçlerinin benzetim modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan benzetim modeli içerisine saha çalışmasından elde edilen veriler uygun modüller içerisine girilerek 10 metrelik teknenin üretim modeli elde

edilmiştir. Oluşturulan benzetim modeli koşturularak teknenin ne kadarlık sürede imal edildiği belirlenmiştir. Sonuç olarak ise, çalışma saatlerinin artırılmasının tekne imalat süresi üzerindeki etkilerinin tespit edilmesine çalışılmıştır.

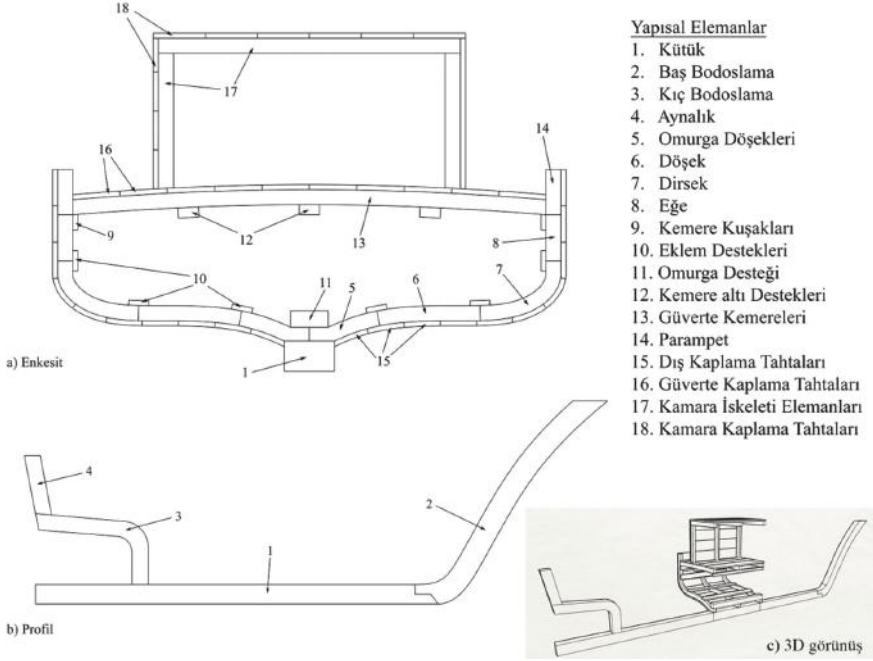
3. Uygulama

3.1. Teknenin Üretim Süreçlerinin Analizi

Karadeniz Sürmene bölgesinde üretilen 10 metrelik teknenin üretim aşamaları ve işlem göreceği olan parça tipleri Tablo

1'de verilmiştir. Tekneyi oluşturan yapısal elemanların en kesit ve profil planı ile 3D kesit görünüşü ise Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tekne ana üretim akış diyagramı şöyledir: Depodan alınan ilgili parçalar, ilgili taşıma aracına yüklenir ve hızar tezgâhına götürülür. Hızarda işlem gören parçalar daha sonra yine taşıma aracıyla birlikte planya tezgâhına getirilir. Planya tezgâhından çıkarılan parçalar yine taşıma aracına bindirilir ve teknenin montajının yapılacağı alana getirilir. Şekil 2'de bu süreçler gösterilmektedir.



Şekil 1. Tekneyi Oluşturan Yapısal Elemanların En Kesit (a)/Profil Planı (b) ve 3D Kesit Görünüşü (c)



Şekil 2. Tekne Ana Üretim Akış Diyagramı

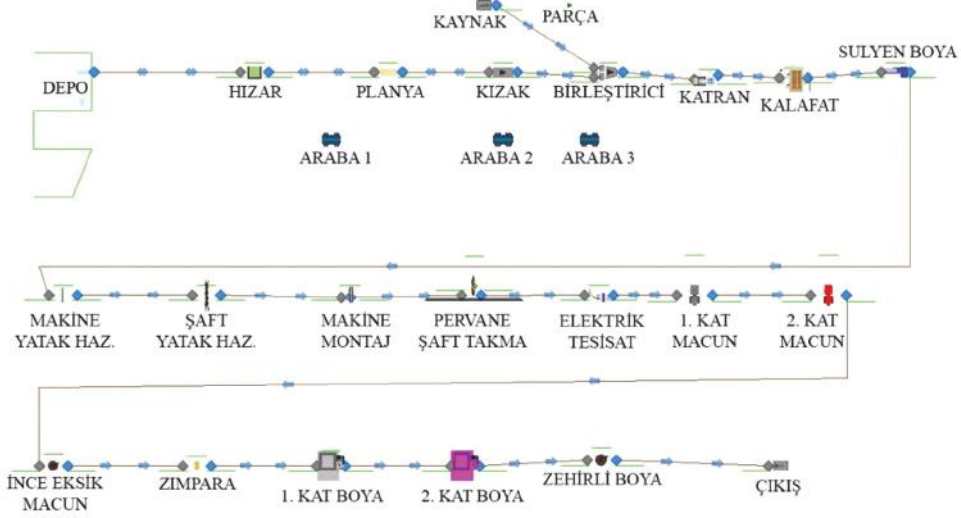
Tablo 1. Tekne İmalatında Kullanılan Parça ve İmalat Süreçleri

Faaliyet no	Faaliyet adı	Faaliyet no	Faaliyet adı
1	Kütüğü yerine oturtma	18	Kamara tahtalarının sarılması
2	Baş bodoslama yerine koyma ve çivileme	19	Katranlama
3	Kıç bodoslama yerine koyma ve çivileme	20	Kalafatlama
4	Aynalık yerine koyma ve çivileme	21	Sülyen boya
5	Omurga döşeklerini yerine koyma ve çivileme	22	Makine yatağının hazırlanması
6	Döşekleri yerine koyma ve çivileme	23	Şaft yatağının hazırlanması
7	Dirsekleri yerine koyma ve çivileme	24	Makine takma
8	Eğeleri yerine koyma ve çivileme	25	Şaft ve pervane takma
9	Kemere kuşaklarını yerine koyma ve çivileme	26	Elektrik tesisatı
10	Eklem desteklerini yerine koyma ve çivileme	27	1 Kat macun sürme
11	Omurga desteğini yerine koyma ve çivileme	28	1 Kat macun sürme
12	Kemere altı desteklerini yerine koyma ve çivileme	29	İnce-eksik macun sürme
13	Güverte kemerelerini yerine koyma ve çivileme	30	Zımpara
14	Parampetleri yerine koyma ve çivileme	31	1 Kat boya
15	Dış kaplama tahtalarının yerine koyulması ve çivilenmesi	32	1 Kat boya
16	Güverte tahtalarının yerine konulması ve çivilenmesi	33	Zehirli boya
17	Kamara iskeletinin konulması ve çivilenmesi		

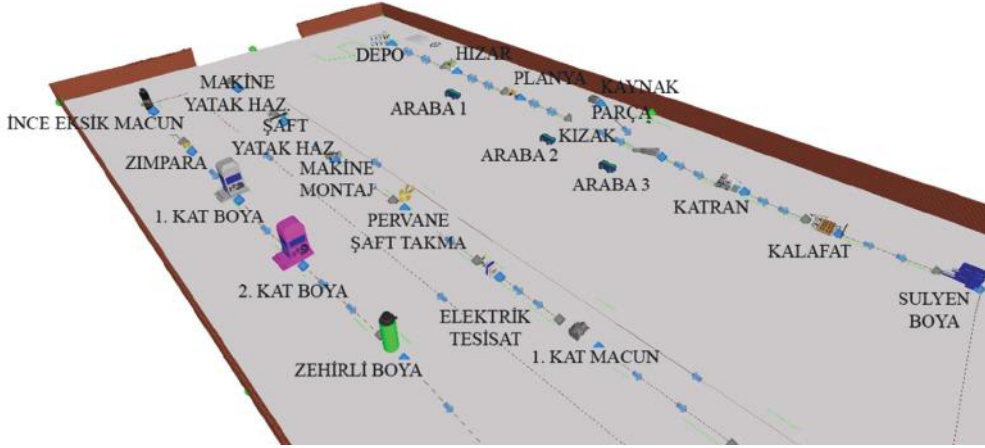
3.2. Tekne Üretim Süreçlerinin Benzetim Modelinin Oluşturulması

Bu bölümde, Karadeniz tipi teknenin üretim süreç benzetim modeli oluşturulmuştur. Bunun için, kullanılan SİMİO benzetim yazılımında yazılım modülleri tanımlanarak ve ilgili veriler bu modüllerin uygun yerlerine girilmek suretiyle benzetim modeli ortaya çıkarılmıştır. Şekil 3'te, Karadeniz tipi teknenin 2 boyutlu benzetim modeli, Şekil 4'te ise 3 boyutlu benzetim modeli gösterilmiştir.

Oluşturulan benzetim modelinin koşutlanması sonucunda Şekil 5'te verilen benzetim model çıktısına göre, 10 metre boyundaki Karadeniz tipi bir ahşap teknenin imalat süresi yaklaşık olarak 1773 saattir. Bu süre belirlenirken, benzetim modeli içerisine Şekil 6'da gösterildiği gibi sistemin sabah saat 08:00'de üretime başladığı, 12.00-13.00 saatleri arasında öğle arası verildiği ve akşam 17:00'de üretimi durdurduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3. Karadeniz Tipi Teknenin Üretim Süreci Benzetim Modeli (2 Boyutlu)



Şekil 4. Karadeniz Tipi Teknenin Üretim Süreci Benzetim Modeli (3 Boyutlu)

Sink	Çıkış	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Ho...)	1.773,5015
					Maximum (Ho...)	1.773,5015
					Minimum (Ho...)	1.773,5015
					Observations	1,000
		InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	1,000
				NumberExited	Total	1,000

Şekil 5. Tekne Üretim Süresinin Benzetim Modeli Çıktısı

Day Patterns					
Name	Description				
StandardDay	Standard 8-5 Work Day				
Work Periods					
Start Time	Duration	End Time	Value		
08:00	4 hours	12:00	1		
13:00	4 hours	17:00	1		
*					
*					

Şekil 6. Benzetim Modeli Çalışma Saatleri

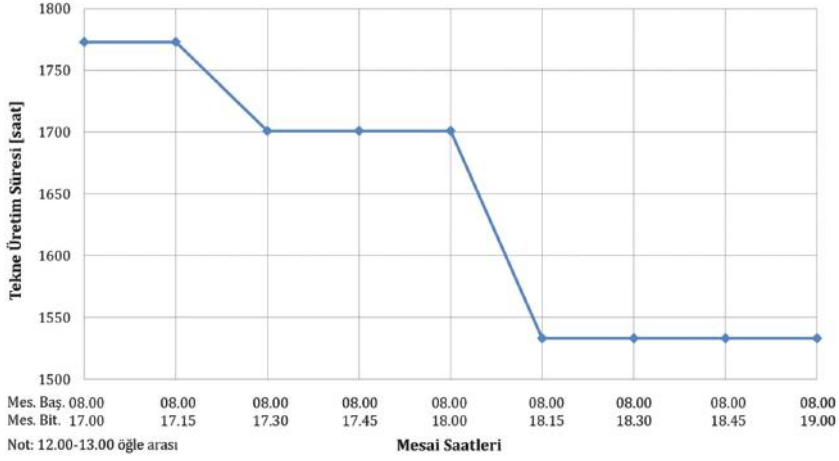
3.3. Mesai Saatlerinin Değişiminin Tekne Üretim Süresine Etkisinin Belirlenmesi

Çalışmanın bu kısmında, Karadeniz tipi ahşap teknenin benzetim modeli üzerinde yapılacak olan mesai saatleri değişiminin tekne üretim süresi üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Tablo 2’de ve Şekil 7’de Karadeniz tipi tekne imalatı yapan bir üretim sistemindeki çalışma saatlerinin tekne üretim süresine olan etkileri gösterilmiştir. Buna göre, tekne imalatı yapan firmanın başlangıçta 08:00-17:00 saatleri arasında (12.00-13.00 öğle arası) çalıştığı düşünülüş sonrasında ise

mesai bitiş saati 15’er dakika aralıklarla artırılarak tekne imalat süresine olan etkileri görülmüştür. Burada, tekne imalatı yapan firma mesai bitiş süresini 17:30 olarak ayarladığında yani günlük 30 dk fazladan çalışmak suretiyle tekne imalatını 1701 saatte tamamladığı, mesai bitiş süresini 18:15 olarak ayarladığı takdirde ise tekne imalat süresinin 1533 saat olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, tekne imalatı yapan firmanın günlük 75 dk fazladan çalışmasıyla birlikte tekne imalat süresini 240 saat (yaklaşık 26 iş günü) kısalttığı görülmüştür.

Tablo 2. Çalışma Saatlerinin Tekne Üretim Süresine Olan Etkileri

Durum	Mesai Başlangıç	Mesai Bitiş	Öğle Arası	Toplam Çalışma (saat)	Teknenin üretim süresi (saat)
1	08:00	17:00	12:00-13:00	8,00	1773
2	08:00	17:15	12:00-13:00	8,25	1773
3	08:00	17:30	12:00-13:00	8,50	1701
4	08:00	17:45	12:00-13:00	8,75	1701
5	08:00	18:00	12:00-13:00	9,00	1701
6	08:00	18:15	12:00-13:00	9,25	1533
7	08:00	18:30	12:00-13:00	9,50	1533
8	08:00	18:45	12:00-13:00	9,75	1533
9	08:00	19:00	12:00-13:00	10,00	1533



Şekil 7. Günlük Mesai Saatlerine Göre Tekne Üretim Süreleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Karadeniz tipi ahşap tekne üretimi yapan bir firmanın üretim süreçleri ele alınmış, saha çalışması yapılarak tekne imalatı ile ilgili veriler toplanarak benzetim modeli ile üretim süreçleri oluşturulmuştur. Çalışmada mevcut durumda, teknenin ne kadarlık sürede üretildiği benzetim modelinin koşturulması sonucunda belirlenmiş, sonrasında ise, çalışma saatlerindeki değişikliklerin yani fazla mesainin üretim süresine olan etkileri araştırılmıştır. Buna göre, mesai saatlerindeki her artışın tekne üretim süresini kısaltıcı etkisi olmadığı görülmüştür. Bunun nedeninin, tekne imalat süreci içerisindeki boşta beklemelerin etkili olduğu değerlendirilmiş, dolayısıyla mesai saatlerindeki artışlardan üretim süresi parametresinin etkilenmediği belirlenmiştir. Karadeniz tipi ahşap tekne üretimi yapan bir firmanın, tekne üretim süresi ve işçilik maliyetleri birlikte düşünüldüğünde, mesai saatlerini 08.00-18.15 olarak ayarlamasının en uygun olduğu görülmüştür. Bunun yanında üretimde kullanılan hızzar ve planya tezgâhlarının işlem hızının artırılması da üretim süresini azaltacaktır. Ancak, bu çalışmada, Karadeniz tipi tekne imalatı için hangi çalışma

saatlerindeki ne kadarlık sürede tekne imalatının tamamlanabildiği gösterilmiştir. Karadeniz tipi balıkçı teknesi üreten imalathaneler için, hangi mesai saatleri içerisinde çalışmanın ne kadarlık sürede tekne imalatının tamamlanabileceğini göstermesi açısından faydalı bir çalışma olduğu değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Aydın, M. (2002). Türkiye Sularına Uygun Balıkçı Gemilerinin Bilgisayar Destekli Dizaynı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Kafalı, K. (1970). Türkiye'ye Uygun Balıkçı Tekneleri ve Ülkemizde Yapım İmkânları, Balık ve Balıkçılık, 1970:18(3):7-14.
- [3] Mısıır, S. (2008). Karadeniz Bölgesi Balıkçı Tekneleri, Yunus Araştırma Bülteni, 2008:1:13-16.
- [4] Kafalı, K., Şaylan, Ö. ve Şalçı, A. (1979). Türkiye Sularına Uygun Balıkçı Gemisi Formlarının Geliştirilmesi, TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu, Proje No: G-416, İstanbul.
- [5] Kafalı, K. (1955). Türkiye Sularında Çalışan Hafif Tekneler Takalar, Gemi Mecmuası, 1955:1:12-19.

- [6] Chappelle, H. İ. (1957). Türk Balıkçı Tekneleri, Balık ve Balıkçılık, 1975:5(1):14-18.
- [7] Özdemir, Ü. (2006). Kurucaşile İlçesinde Geleneksel Ahşap Tekne Yapımı, Doğu Coğrafya Dergisi: 2006:11(16):193-210.
- [8] Saral, D. (2016). Yumrubaşın Balıkçı Gemilerinin Direncine Olan Etkisinin Sistematik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [9] Akagündüz, D. (1965). Balıkçı Tekneleri Konusunda FAO Teşkilâtı Tarafından Düzenlenen Üçüncü Teknik Toplantı, Balık ve Balıkçılık, 1965:13(10):13-15.
- [10] Traung, J. O. (1955). Fishing Boats of The World. London: Fishing News (Books) Limited.
- [11] Traung, J. O. (1960). Fishing Boats of The World: 2. London: Fishing News (Books) Limited.
- [12] Traung, J. O. (1967). Fishing Boats of The World: 3. London: Fishing News (Books) Limited.
- [13] Savcı, M. (1956). Balıkçı Gemilerinin Dizaynı İçin Yeni Yollar, Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- [14] Nutku, A. (1957). Model Tests with Fishing Boats I, Gemi Enstitüsü Bülteni, 1957:3.
- [15] Nutku, A. (1962). Model Tests with Fishing Boats II Taka, Gemi Enstitüsü Bülteni, 1962:7.
- [16] Küçük, F. (1964). Çektirmenin Direnç Karakteristikleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İstanbul.
- [17] Tezel, R. (1959). Yeni Bir Balıkçı Teknesi Yapılıyor, Balık ve Balıkçılık, 1959:7(3):16-21.
- [18] Haug, A. F. (1974). Fishing Boat Designs 1: Flat Bottom Boats. Roma: FAO Fisheries Technical Paper No: 117.
- [19] Gulbrandsen, Øy. (2004). Fishing Boat Designs 2: V-Bottom Boats of Planked Plywood Construction. Grimstad: FAO Fisheries Technical Paper No: 134 Rev 2.
- [20] Tunçel, S. (2016). Tekne İmalatında Ahşap Malzeme Seçimi, GİDB Dergi, 2016:6:13-22.
- [21] Kaygın, B. ve Aytekin, A. (2005). Ahşap Tekne Konstrüksiyonu, ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 2005: 7(7):14-23.
- [22] Davulcu, M. (2013). Bartın Yöresinde Ahşap Tekne Yapımcılığı, Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, 2013:5(1):23-52.
- [23] Davulcu, M. (2015). Karadeniz Bölgesinde Ahşap Tekne Yapımcılığı ve Günümüzdeki Durumu, Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi, 2015:7(12):94-124.



Denizlerimizi Aydınlatanlar: Türkiye’de Fenerlerin Kuruluşu ve Gelişimi

Yasemin NEMLİOĞLU KOCA

Kocaeli Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Türkiye

y.nemlioglukoca@kocaeli.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2533-8078>

Öz

Denizcilerin en önemli seyir yardımcılarında olan fenerler, çok eski çağlardan itibaren kuruluşları ve işletilmeleriyle denizciliğin bir unsuru olmuşturlar. Mimari ve estetik tasarımlarıyla denizcilik ve şehircilikte; kendilerine yüklenen soyut anlamlarıyla da edebiyat, felsefe, mitoloji gibi sosyo-kültürel alanlarda önemli yere sahiptirler. Bilinen en eski deniz fenerinin MÖ. 11. yy.da Sigeion’da (Kumkale-Çanakkale) yapılmış olması, Anadolu kıyılarının dünyanın en eski deniz ticaret alanı olmasının bir sonucudur. 18. yy.da optik bilimindeki gelişmeler ve Akdeniz’de deniz ticaretinin yoğunlaşmasıyla, deniz fenerlerinin sayısı artmıştır. Türkiye’deki ilk planlı fenerlerin yapımı da bu dönemde görülmektedir. Özellikle Türk karasularının yabancı ticaret gemilerine açılması ve deniz ticaretinin yoğunlaşmasıyla, fenerlere ihtiyaç artmış ve çeşitli bölgelerde yeni fenerler yapılmıştır. Fenerlerin yapımı, işletilmesi, bakım ve onarımı için kurulan Fenerler İdare-i Umumiyesi Osmanlı Devleti’nden Türkiye Cumhuriyeti Devleti’ne devrolan kurumlardan biridir. Bu çalışmada Osmanlı Devleti zamanında yapılan ve günümüze ulaşan deniz fenerlerinin coğrafi konumları, özellikleri ve işletilmeleri hakkında bilgi verilmiş ve arşiv ve kaynaklardan yararlanılarak tarihi gelişimleri açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fenerler, Denizcilik, Osmanlı Devleti, Türkiye, Deniz Ticareti.

Lighteners of Seas: Establishment and Development of Lighthouses in Turkey

Abstract

The lighthouses, which are the most important navigational aids of sailors, have been an element of maritime since ancient times with their activities. They have an important place in the socio-cultural areas such as literature, philosophy and mythology by their abstract meanings; in maritime and urbanism by their architectural and aesthetic designs. The oldest lighthouse being built at Sigeion (Kumkale-Çanakkale) in the 11th BC century is a result of Anatolian coast being the oldest sea trade area of the world. With the developments in optical science in the 18th century and the intensification of sea trade in the Mediterranean, the number of lighthouses has increased. The first planned construction of lighthouses in Turkey has also in this period. Especially, by the opening of Turkish sea to foreign trade vessels and the intensification of sea trade, the need for lighthouses increased and new lighthouses built in various regions. Fenerler İdare-i Umumiyesi (General Management of Lighthouses Administration), which was established for construction, operation, maintenance and repair of the lighthouses, was an institution transferred from the Ottoman Empire to the Republic of Turkey. In this study, information about the geographical locations, characteristics and operations of the lighthouses which were constructed in the Ottoman Empire and extant today, were given and explained their historical developments by archives and sources.

Keywords: Lighthouses, Maritime, Ottoman Empire, Turkey, Sea Trade.

*Bu makale, 4-5 Mayıs 2017 tarihlerinde Uluslararası 9. Türk Deniz Ticareti Sempozyumu’nda sunulan bildiri den genişletilerek hazırlanmıştır.

To cite this article: Koca, Y. N. (2018). Denizlerimizi Aydınlatanlar: Türkiye’de Fenerlerin Kuruluşu ve Gelişimi. *Journal of ETA Maritime Science*, 6(2), 103-117.

To link to this article: <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2018.95867>

1. Giriş

Dünya ticaretinin ulaştırma kısmını büyük ölçüde sağlayan deniz taşımacılığı için seyir emniyeti, günümüzde en önemli unsur haline gelmiştir. Denizlerde oluşabilecek kazaların ve kayıpların önlenmesi amacı, seyir emniyetinin uluslararası kural-yönetmeliklere uygun olarak düzenlenmesine ve teknolojik alt yapılarla desteklenmesine neden olmuştur. Fenerler, şamandıralar, sis işaretleri gibi seyir yardımcılarının denizlerde emniyetin sağlanmasında büyük katkısı bulunmaktadır. Karadeniz ve Akdeniz gibi dünyanın en işlek iç denizlerini birbirine bağlayan Türkiye, deniz ticaretinde jeopolitik ve jeostratejik konuma sahiptir. 8300 km.lik kıyı uzunluğu, Çanakkale ve İstanbul Boğazları'yla yoğun deniz ulaşımının merkezinde olan Türkiye'de deniz fenerleri kuruluşlarından itibaren seyir emniyetinde yer tutar.

Fenerler, geceleri denizde yol ve yön bulma, kıyılardaki tehlikeli sığlık ve kayalıklardan sakınma, kara ve deniz alanlarının belirlenmesi ve denizde coğrafi yer tespiti için kurulan ışık ve işaret kuleleridir. Deniz fenerleri denizcilere seyirde yardımcı olmak amacıyla, sığ sularda, kayalıklarda ya da kıyılardaki tepelerde inşaa edilir ve aydınlatma araçları ve sistemleriyle donatılırlar. Çeşitli mercek sistemleriyle ışığı yoğunlaştırır ve yönlendirirken, görünme mesafesi, ışıklarının rengi, düzeneği, çakış süresi ve çakış biçimiyle denizciler tarafından anlamlarıyla tanınırlar. Fenerlerin inşaa şekli, işaret amacıyla kullanılan malzemesi ve ışık kaynağının türü, fenerin bulunduğu coğrafi konum ve fenerden beklenen fonksiyonlar doğrultusunda belirlenir. Ayrıca fenerlerin yapımı ve kullanımı belirli bir maliyet yarattığından, şehrin deniz ticaretindeki önemini vurgulayan bir prestij unsuru olarak da kabul edilmektedir.

Bu çalışmada Osmanlı Devleti zamanında yapılan ve günümüze ulaşan deniz

fenerlerinin coğrafi konumları, özellikleri ve işletilmeleri hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmada Başbakanlık Devlet Arşivleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı Osmanlı Arşivi, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'na bağlı Deniz Müzesi Arşivi, Archives Nationales D'outre-Mer(Fransa Ulusal Yurtdışı Arşivleri) ve diğer arşivlerdeki belgelerden ve bu alanda hazırlanmış kaynaklardan yararlanılmıştır. Çok sayıda kaynak ve arşiv belgesi belirlenmiş olmasına rağmen, bunların tasnifsiz, farklı alanlarda yazılmış olması ve bilimsel olmaması gibi etkenler, bu belgelerden bilimsel ölçüde yararlanmayı sınırlandırmaktadır. Çalışmada amaç, Türkiye'de bulunan fenerlerin teknik özelliklerinin yanı sıra, idari yapılarının da belirlenerek tarihi gelişimlerinin açıklanması, sosyo-kültürel değerlerinin belirlenmesi ve denizcilik kültürüne katkıda bulunmalarının sağlanması üzerine yazılı kaynak oluşturmaktır.

2. Fenerlerin Tarihçesi

Fenerler, insanların deniz ulaşımına başlaması ve denizlere açılmasıyla tarihin en eski dönemlerinden itibaren kıyıya ulaşabilmek ve güvenle seyir yapabilmek için kullanılmışlardır. Latince "Pharus", Fransızca "Phare", İspanyolca ve İtalyanca "Faro", İngilizce "Lighthouse", Almanca "Leuchtturm", Yunanca "Faros/Fenar", Arapça "Manare" olarak kullanılan fener sözcüğünün, firavunlara ve İskenderiye Feneri'ne atıfla Eski Mısır dilindeki büyük, yüksek, sütun anlamına gelen "Pharao" sözcüğünden geldiği tahmin edilmektedir. Türkçe'ye ise Yunanca'dan geçmiştir. İlk fenerler, çok eski çağlarda gemilere geceleri yol göstermek amacıyla kıyılardaki yüksek tepelerde ve liman girişlerinde ateş yakılmasıyla oluşturulmuştur. Dünyadaki en eski deniz fenerinin Türkiye'de M.Ö. 11. yy.da Çanakkale/Sigeion'da, bugünkü adıyla Kumkale'de yapıldığı tahmin edilmektedir. Midillili (Lesbos) Lesches'in "Küçük İlyada" adlı eserinde M.Ö. 11. yy.da Sigeion'da

bir fenerden bahsettiği ve Homeros'un "İlyada" adlı eserinde 6. yy.da burada bulunan fenerden bahsettiği bilinmektedir [1]. M.Ö. 6. yy.a tarihlendirilen Antalya/Patara Feneri de Türkiye kıyılarındaki en eski fenerlerdendir [2]. Heraklia (Krdnz. Ereğli), Aigai (Mersin), Abydos (Çanakkale), Germanica (Bursa) ve Kelenderis (Mersin), Coracesium (Alanya) fener bulunan antik limanlardır. Yine İstanbul Boğazı'nda bugünkü Kız Kulesi'nin yerinde 4-5. yy.da bir fener bulunduğu bilinmektedir [3]. Kesin olarak varlığı bilinen ilk deniz feneri ise M.Ö. 3. yy.da yapılan Mısır'daki İskenderiye Feneri'dir. Dünyanın 7 harikasıdan biri olarak kabul edilen fenerin İskenderiye limanı girişinde yapıldığı ve 10. yy.da bir deprem sonucunda yıkıldığı bilinmektedir [4]. Roma İmparatorluğu döneminde Akdeniz'de çok sayıda fener inşaa edilmiştir. Ortaçağ'da ise Venedik ve Cenova kolonizasyonu sırasında fenerlerin sayısı artmış, özellikle İtalya ve Fransa kıyılarında yeni fenerler yapılmıştır.



Şekil 1. İskenderiye Feneri, Mecmal el-Tevarik, 12. yy. Universitätsbibliothek Heidelberg. MS.Cod. 118/0550, fol.273a.



Şekil 2. İskenderiye Feneri, Kitab-ı Bahriye, 16.yy. Baltimore Walters Art Galery, MS.W. 658, fol. 302a.

Bir navigasyon ögesi olarak fenerler çeşitli tür ve yapıda inşaa edilirken, zaman içinde deniz ticaretinin gelişiminde de rol oynamıştır. Fenerlerin yapı malzemelerine bakıldığında öncelikle deniz kenarında taş, denizden uzak yüksek alanlarda ise ahşap kaidelerin kullanıldığı görülmektedir. 18. yy.a kadar yapımda ahşap ve taş malzemenin birlikte kullanıldığı fenerlerde ışığın yansıtılması doğrudan olurken, bu tarihten itibaren fenerlerin yapım tekniği değişmiştir. Bu kapsamda İngiltere'de Plymouth açıklarında 1759 yılında yapılan Eddystone Feneri, taş örgü biçiminde açık denizde yapılan ilk modern deniz feneridir [5]. 19. yy. itibariyle buharlı gemilerin kullanılmasıyla artan deniz ticareti fenerlerin yapımını hızlandırdı, kıyılarda ve limanlarda yeni fenerlere ihtiyaç duyulmaya başladı ve sabit fenerlerin yerini çakarlı fenerler aldı. Önceleri taştan yapılan fenerler 20. yüzyılda yerini çelik ve betondan yapılanlara bıraktı. Bugün ise deniz fenerleri, radyo verici istasyonlarına benzer çelik yapılar halinde yapılmaktadır. Fenerlerin yapı ve kullanım özelliklerinin süreç içindeki değişimi ve gelişimi, bölgenin ekonomik, sosyal ve teknolojik gelişimini de gösteren önemli kanıtlardandır.

Fenerlerde ışık kaynağı olarak kullanılan malzemeler tarihsel süreç içinde değişmekle birlikte, geçmişte fenerin bulunduğu bölgenin hammadde kaynaklarına bağlı olarak çeşitlenmekteydi. Başlangıçta açıkta olan ışık kaynağı, zamanla kulenin üzerinde koruma altına alınırken, ışığın şiddetinin artırılması amacıyla çevresinde cam ya da aynayla desteklenmiştir. Önceleri ateşten sağlanan ışık, çeşitli maddelerin yakılmasından elde edilmekteydi. Fener kulesinde bir maltız veya ızgara içinde yakılan odun, katran ve kömürün yanı sıra; balina, domuz, kakao, kolza, zeytinyağı gibi sıvı yağlar yakılmaktaydı. Maliyeti ve temini bitkisel ve hayvansal yağlara göre daha ucuz ve kolay olan madensel yağlara geçiş, fenerlerin gelişmesinde önemli bir aşamadır. Odun, kömür ve yağların yanarken çıkardığı duman ve is sorunu, 18. yy. sonlarında dumansız yağ lambalarının bulunmasıyla çözüldü. 19. yüzyılda ise fenerlerde petrol ürünleri ışık kaynağı olarak kullanılmaya başladı. Yüksek ve sürekli ışık üretimi sağlayan hava gazı, yüksek basınç altında sıvılaştırılarak yakılan petrol gazı ve propan, alevinin yüksek parlaklığı ve gazın güvenli nakliyesi nedeniyle asetilen yaygın biçimde kullanılan hammaddelerdi. Optik bilimindeki gelişmelerin fenerlerde uygulanmasıyla ışığın yoğunluğu ve dolayısıyla görünme mesafesi arttı. William Hutchinson tarafından bulunan katoptrik sistemle, yani ışığın bir yansıtıcı yüzeyden yansmasıyla çalışan ilk fener 1763 yılında kurulan İngiltere'deki Leasowe Feneri'dir. Işıkların cam ortamdan geçerek optik kurallara göre kırılmasından oluşan dioptrik sistem ise, Augustin Jean Fresnel tarafından ilk kez 1823 yılında Fransa'daki Cordouan Feneri'nde uygulandı. Yine Fresnel tarafından 1827 yılında ışıkların cam ortama girdikten sonra, ortamı terk etmeden yansımaya uğramasıyla çalışan katadioptrik sistem ise, ilk kez 1843 yılında Fransa'daki Île Vierge Feneri'nde kullanıldı

[6]. Deniz fenerlerinde elektrikle çalışan lambaların kullanımı ise ilk kez 1871 yılında İngiltere'deki Souter Feneri'nde gerçekleşti. Günümüzde ise güneş enerjisi ile çalışan, enerji tüketimi az ve çevreci fenerlerin gün geçtikçe sayısı artmaktadır.

3. Türkiye'de Fenerler

Özellikle Çanakkale ve İstanbul Boğazları'nın coğrafi durum, akıntılar, hava şartları ve topoğrafya özellikleri nedeniyle gemi geçişlerinde güçlükler yaratması, bu bölgelerde fenerlerin yapılmasını zorunlu kılmaktaydı. Bu nedenle Bizans ve Osmanlı'nın ilk dönemlerinde dahi yüksek kuleler üzerinde ateşler yakılarak gemilere yön gösterildiği düşünülmektedir. Türkiye kıyılarındaki fenerlerle ilgili birçok tarihi haritada işaret ve lejant açıklamaları olmasına rağmen, Osmanlı kayıtlarında 16. yy.a kadar fenerlerden ayrıntılı olarak bahsedilmez. Araştırmada ulaşılan yazılı kayıt olarak en eski Osmanlı kaynağı TSMK No:112'de kayıtlı 1562 tarihli Kapı Ağası Yakup Ağa'nın Kadıköy Kelmiş Burnu'nda (Kalamış-Fenerbahçe) yaptıracağı fener için verilen izindir [7]. Buradan İstanbul/Fenerbahçe Feneri'nin 16. yy.da faal bir fener olduğu anlaşılmakla birlikte, Bizans döneminde de burada bir tapınağın ve fenerin bulunduğu düşünülmektedir. Eremya Çelebi Kömürcüyan 1650'li yıllarda Fenerbahçe Feneri'nin deniz içindeki bir temel üzerinde yüksek bir kule şeklinde yükseldiğinden bahsederken [8]; yine 1672 yılında İstanbul'a gelen Guillaume Joseph Grelot fenerin büyük bir fener olduğundan ve İstanbul'a gelen gemilere geceleri yön gösterdiğinden bahsetmiştir ve harita çiziminde göstermiştir [9]. Fener, 15-16. yy. ait İstanbul haritalarında Kitab-ı Bahriye nüshalarında [10], Cihannuma'da [11], Anapulus Bosphori Thracii'de [12] gösterilmiş ve ismiyle belirtilmiştir.

Bu tarihlerdeki ilk kayıtlardan biri de 6 nolu Mühimme Defteri'nde kayıtlı 1564 tarihli Karadeniz Boğazı'ndaki fenerin



Şekil 3. İstanbul Fenerbahçe ve Kız Kulesi Fenerleri, Guillaume Joseph Grelot (1680). *Relation Nouvelle D'un Voyage de Constantinople*. Paris: Damien Foucault, 74-75.

çevresinde yapılaşmanın engellenmesi hakkındaki emirdir [13]. Buradan anlaşıldığı üzere İstanbul/Rumeli Feneri'nde faal bir fener bulunmaktaydı ve Karadeniz çıkışında gemilerin işlem gördüğü "Kavaklar" denilen yerde yerleşmenin oluştuğu ve bu yerleşmelerin zamanla büyümesi fenerleri etkilemekteydi. Yine çeşitli kaynaklardan Anadolu ve Rumeli Fenerleri'nin de daha önceki yüzyıllarda kullanıldığı anlaşılmaktadır. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz çıkışında iki kıyısında "Kyneai" kayalıkları denilen bölgede bulunan yüksek kulelerde ateş yakıldığı kaynaklarda yer almaktadır. 1544 yılında İstanbul'a gelen Pierre Gilles, Karadeniz çıkışında iki kıyıda kayalıklar üzerinde fenerler bulunduğunu, Avrupa tarafındaki fenerin Yunanlar tarafından "Phanarion" olarak adlandırıldığını ve sekizgen bir kule şeklinde, her yönde camlı pencereleri olduğunu belirtmektedir [14]. 1555 yılında İstanbul'a gelen diplomat Ogier Ghislain de Busbecq ise "Faros" denilen üzerinde ateş yakılan büyük bir kuleden bahsetmektedir [15]. Ali Macar Reis'in hazırladığı 1567

tarihli atlasla yer alan Karadeniz haritasında ise Rumeli Feneri ismiyle belirtilmiştir [16]. Aynı dönemde İstanbul'da bulunan Fransız gezgin Jean de Thévenot bu fenerden Boğaz'dan geçen gemilere yardımcı olmak için Avrupa kıyısında büyük bir kule üzerinde ışık kaynağı olarak bahsetmiştir [17]. Yine Eremya Çelebi Kömürcüyan 1650'li yıllarda Rumeli Feneri'nin küçük pencereci, 120 basamaklı, sekizgen bir taş yapı olduğunu ve bakır çanak içinde 8 fitille yağ yakıldığını, bir fanusunun olduğunu, fenerde 7-8 fenercinin bulunduğunu belirtmektedir [18]. Evliya Çelebi ise 17. yy.da Rumeli Feneri için yüksek bir kulenin tepesinde büyük bir fener içinde yunus balığı yağının yakıldığından bahsetmektedir [19]. 1755 yılında İstanbul'a gelen Fransız mühendis Baron de Tott İstanbul Boğazı'nın Karadeniz çıkışında Anadolu ve Rumeli kıyısında iki büyük fener bulunduğunu, fenerin bekçilerinin maaşlarının ve yakılan yağın devlet tarafından sağlandığını belirtmektedir [20]. Yine 1814 yılında Karadeniz yoluyla İstanbul'a gelen Polonyalı Kont Edward Raczyński Boğaz'a girişte iki

kıyıda büyük fenerlerin bulunduğu bahsetmektedir [21]. Fenerlerin modern olarak inşasından önceki durumlarını gösteren bir belge ise Eugène Napoleon Flandin tarafından hazırlanan 1853 tarihli kitapta yer alan çizimleridir [22]. Bu çizimlerde Boğaz'ın Karadeniz girişinde iki kıyısında yer alan fenerler 3 katlı taş yapılar olarak, İstabul/Ahırkapı Feneri ise surların bir bölümü şeklinde yüksek kuleli taş yapı olarak gösterilmektedir. Ayrıca bu fenerler gözetleme ve savunma kuleleri olarak da kullanılmaktaydı ki, bu durum yapıların inşaa tarzına da yansımıştı.

Osmanlı kıyılarında modern deniz fenerlerine yönelik ilk çalışmalar 18. yy.ın sonlarında görülmektedir. Özellikle 18. yy.dan itibaren giderek büyüyen bir tehlike olarak Rusya Osmanlı topraklarının kuzey kıyılarını tehdit ederken, Boğazlar ve Karadeniz kıyılarında savunma ve güvenlik öne çıkmaya başladı. Sultan III. Osman'ın gece karaya oturan bir gemi nedeniyle 3 Muharrem 1170/M.28 Eylül 1756 tarihinde İstanbul/Ahırkapı'da bir fener inşası için Kaptan-ı Derya Karabaği Süleyman Paşa'ya emir verdiği bilinmektedir [23]. Yine 1785 tarihli kayıttan Benderkili'de (Krdnz. Ereğli) Bababurnu'ndaki fenerin onarımı hakkında verilen emirden [24] burada da faal bir fenerin olduğu anlaşılmaktadır. 1789 ve 1791 tarihli kayıtlarda ise İstanbul/Anadolu ve Rumeli Fenerleri'nin onarımdan geçtiği ve çevresinin savunma

alanı olarak düzenlendiği anlaşılmaktadır [25]. Özellikle Osmanlı Devleti'nin Romanya ve Bulgaristan topraklarından Tuna Nehri yoluyla yapılan deniz ticareti Karadeniz hattının yoğun kullanımına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak Osmanlı Devleti'nin Türkiye dışındaki topraklarında da fener yapımına önem verdiği görülmektedir. Örneğin Bahriye Defterleri'ndeki 1767 tarihli kayıтта Kaptan-ı Derya Mehmed Paşa'ya Midilli/Sığrı (Sigri) Limanı'na bir fener yaptırması için [26] ve 1768 tarihli kayıтта Varna/Şayla Köyü yakınında bir fener yapılması için ödeme emri geçmektedir [27].

Bu dönemde fenerlerde enerji kaynağı olarak genellikle zeytinyağı kullanıldığı, devletin fenerin çalıştırılması ve korunması için feneciler ve askerler görevlendirdiği görülmektedir. Fenerlerde kullanılan zeytinyağının temininde çeşitli vakıflardan ve tersaneden yararlanılmakta, zeytinyağı ve bakım bedelleri fenerlerin bulunduğu yakın gümrüklerden karşılanmaktaydı. 1786 tarihli kayıтта İstanbul/Fenerbahçe Feneri'nde kullanılan zeytinyağı yeterli gelmediğinden Üsküdar gelirlerinden yıllık 100 kuruş tahsis edilmesi ve Bostancıbaşı tarafından ödemenin takip edilmesi hakkında [28], 1774 ve 1783 tarihli kayıtlarda Çanakkale/Lapseki Bayram Deresi'nde Şeyh Mehmet Efendi tarafından yaptırılan fenerin onarımı ve zeytinyağı bedeli olan 60 kuruşun akçenin



Şekil 4-5. İstanbul Ahırkapı, Anadolu ve Rumeli fenerleri, Eugène Napoleon Flandin, (1853). *L'Orient*. Paris: Gide et Baudry, 3-27.

Gelibolu gümrüğünden verilmesi hakkında [29], 1774 ve 1778 tarihli kayıta Varna/Şayla Feneri'nde yetersiz gelen zeytinyağı ve fitillerin ücretine zam yapılması, bir fenercinin daha görevlendirilmesi ve fenerin 101,5 kuruşluk masrafının İstanbul gümrüğünden karşılanması hakkında [30], 1810 tarihli kayıta İstanbul/Ahırkapı Feneri'nin 1 aylık masrafı olan 65 kuruşun ödenmesi hakkında [31], 1844 tarihli kayıta Sakız Adası liman fenerinin zeytinyağı bedelinin Sakız gümrüğünden karşılanması ve Sakız Miralayı Emin Bey'e ödenmesi hakkında [32], 1847 tarihli kayıta Krdnz. Ereğli Feneri'nde kullanılan zeytinyağının Samsun Gümrüğü'nden karşılanması hakkında [33] ve İstanbul'un en önemli fenerlerinden biri olan Kız Kulesi'nde kullanılan zeytinyağı hakkında [34] bilgiler yer almaktadır. Bu kaynaklardan modern yapıların inşasından önce Türkiye fenerlerinde zeytinyağının birinci enerji ve ışık kaynağı olarak kullanıldığı anlaşılırken, fenerler için gereken zeytinyağının tersaneden ve Kanuni vakfından sağlandığı da bilinmektedir [35].

19. yy. başından itibaren İstanbul merkezli sanayi ve ticaret faaliyetlerinin artışı, Boğaz trafiğini ve limanın işleyişinde düzenlemelerin ve önlemlerin alınmasını zorunlu kıldı. Ayrıca Osmanlı Devleti'nin Avrupa devletleriyle yaptığı ticari anlaşmaların sonucunda ihracatın ve ithalatın artması, Karadeniz'in yabancı bayraklı gemilere açılması ve deniz ticaretinin kuzey-güney yönlü olarak yoğunlaşmasıyla fenerlerin inşası hız kazandı. 19. yy. başlarında Osmanlı sularının yabancı bayraklı gemilere açılmasıyla özellikle İngiliz ve Fransızlar'ın Türkiye kıyılarında emniyetli seyir için talepleri olmuştur. Ayrıca başta İstanbul'daki Rumeli, Anadolu, Ahırkapı, Kız Kulesi ve Fenerbahçe Fenerleri'nde olmak üzere Çanakkale Boğazı'ndaki fenerlerin onarıma ihtiyacı bulunuyordu

ve Türkiye kıyılarındaki fenerler artan deniz trafiğine yeterli gelmemekteydi. Öncelikle Bahriye'ye bağlı fenerlerin onarımı ve iyileştirilmesi için çalışmalar yapıldı. Dz.K.K. arşivlerindeki kayıtlardan 1838, 1845 ve 1848 tarihli kayıtlarda İstanbul, İzmir ve Çanakkale'deki fenerinin onarımı, ışık gücünün yükseltilmesi için fitillerinin sayısının arttırılması için emirler geçmektedir [36]. 1849 tarihli 3 kayıta ise İstanbul/Fenerbahçe Feneri'nin kulesinin değiştirilmesi ve yükseltilmesi istenmekteydi [37]. 1855 tarihli kayıta ise İstanbul/Rumeli Feneri'nin lamba bölümünün Londra'dan getirtilen döner ışık sistemiyle değiştirilmesi için yapılması gerekenler geçmektedir [38].

Osmanlı Devleti'nde 1839 yılındaki Tanzimat'ın ilanı sonrasında her alanda başlatılan modernleşme çabalarını denizcilik alanında da görmek mümkündür. Osmanlı Devleti karasularındaki gemi trafiğinde kaza riskinin artması üzerine yeni fenerler inşaa edilmeye başlandı. 1811, 1838 ve 1847 tarihli kayıtlarda Midilli (Lesbos) Adası'nda [39], Boğazlar'da ve Karadeniz'de [40], Selanik [41] ve İzmir'de [42] fenerler inşaa edildiği geçmektedir. Bu dönemde hazırlanmış olan önemli bir navigasyon yayını olan Coulier Atlası'nda 1839 yılında Karadeniz'de 5, İstanbul Boğazı'nda 5, Çanakkale Boğazı'nda 7, Ege Denizi'nde 7 ve Akdeniz kıyılarında 7 adet fener olduğu belirtilmektedir [43]. Ancak bu fenerler genelde ahşap kuleler halinde, kullanılan ışık kaynağı nedeniyle görünüş mesafesi kısa olan fenerlerdi. 1853-1856 yılları arasında Rusya ile yapılan Kırım Savaşı sırasında özellikle Boğazlar geçişinde fenerlerin yetersiz kalması Tersane-i Amire'yi fener yapımlarıyla ilgili çalışmalarını hızlandırmaya itti. Kırım Savaşı'nın ardından toplanan 1856 Paris Kongresi'nde Osmanlı limanlarının y a n a ş m a - y ü k l e m e - b o ş a l t m a d a k i yetersizliği ve kıyılardaki seyir emniyetinde fenerlerin eksikliği gündeme

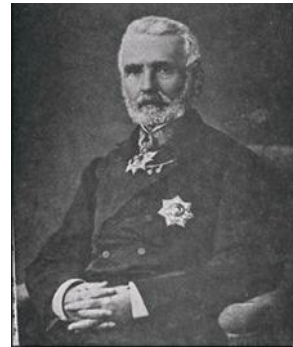
geldi. Bu durum Osmanlı Hükümetini limanların iyileştirilmesi, deniz trafiğini düzenleyici kanunların çıkarılması ve fenerlerin modernleştirilmesi gibi bazı önlemlerin alınmasına yönlendirdi.

Kırım Savaşı sırasında Fransız Mühendis Jean Marius Michel, Osmanlı Devleti'ne kıyılarda önemli yerlere deniz fenerleri inşaa edilmesi ve fener rüsumu (vergisi) alınmasını önermiştir. Osmanlı Devleti'nde fenerlerin yönetimiyle ilgili resmi bir kurumun oluşumu bu öneri ile başlamıştır. Michel'in bu önerisi değerlendirilmek üzere Ali Galip, Mehmet Fuat, Safvet, Ahmet Muhtar, İsmail Afif, Mustafa, Mehmet Salih ve Derviş Paşalar'dan oluşan komisyona hükümet tarafından havale edildi. Hazine-i Hassa'da yapılan görüşmeler sonunda fenerlerle ilgili bir yönetim kurulmasına karar verilerek fener rüsumu alınması kabul edildi. Yeni fenerlerin yapımı, var olanların yenilenmesi ve fenerlerin işletilmesini içeren sözleşmeyle fener imtiyazı 1855 yılında 10 yıllık bir süre için Michel'e verildi. H.19 Muharrem 1272/M.1 Ekim 1855 tarihli sözleşmeye göre; fenerlerin yer seçiminde ve denetiminde Osmanlı Devleti, İngiltere ve Fransa birer bahriye subayı görevlendirilecekti. Fenerlerin inşaaı sona erdikten sonra denetimi Osmanlı Bahriyesi'ne devredilecekti. Osmanlı Hükümeti ile sözleşme sahibi Michel arasında bir anlaşmazlık çıktığında

Türk-Fransız katımlı hakimlerden oluşacak kurulun kararına uyulacaktı. Sözleşme sonrasında Tersane-i Amire'nin yönetimi altında çalışmak üzere Michel aylık 12.500 kuruş maaşla Fenerler İdare-i Umumiyesi (Fenerler Genel Müdürlüğü) müdürü yapılmıştır [44]. 1859 yılından itibaren ise Bahriye'den Arif Paşa'nın da aylık 9500 kuruş maaşla Fenerler İdaresi'nde göreve başlaması sözleşme maddelerine göre gerçekleşti. İşletmenin çalışan kadrosunda müdür ve mühendisler Fransız; teknisyenler Osmanlı vatandaşı gayrimüslimler; fener bakıcıları ve memurlar ise Türkler'den oluşuyordu. Bu dönemde, bir fener rüsum tarifesi de hazırlanmıştır. Buna göre;

- Boğazlardan geçecek gemilerden her 100 tonilato için 25 kuruş,
- Akdeniz ve Karadeniz'den İstanbul'a gelen ve giden gemilerden her 100 tonilato için 10 kuruş
- Marmara Denizi iskeleleri ile İstanbul arasında işleyen gemilerden her 100 tonilato için 5 kuruş
- 100 tonilato ve altındaki gemilerden her tonilato için 1 kuruş
- Römorkörlerden ayda 1 kuruş, Boğaziçi ve Adalar ve Kadıköy iskelelerine işleyenlerden ayda 1 kuruş alınacaktı.

Bu imtiyaz sözleşmesi sonucu Fenerler İdare-i Umumiyesi adı altında fenerlerin düzenli bakımı ve sayılarının artırılması amacıyla fener hizmetleri sürdürülmeye



Şekil 6-7. Fenerler İdare-i Umumiyesi Binası ve Jean Marius Michel Paşa



Şekil 8. Avusturya Bayraklı PETKA gemisine ait Fenerler İdaresi tarafından düzenlenmiş 10 Mayıs 1878 tarihli Fener Makbuzu (Ruhi Duman Koleksiyonu'ndan)

başladı. Öncelikle 1856 yılında yapılacak fenerlerin fizibilitesi konusunda Fransız Garbeiron Fırkateyni kaptanlığınca bir rapor hazırlandı [45]. Bu rapor doğrultusunda Anadolu ve Rumeli kıyılarında 36 fener yapılmasına karar verildi [46]. Fenerlerin inşaatı için gereken 12 milyon franklık fon Fransa Kralı III. Napoleon tarafından sağlanırken, Fransız Deniz Fenerleri Komisyonu'nun da onayıyla özellikle önemli stratejik noktalara fener yapılmasına özen gösterildi. [47] Bu kapsamda Çanakkale'de 9, Marmara Denizi'nde 2, İstanbul'da 5, Karadeniz'de 4 fener olmak üzere Osmanlı kıyılarındaki ilk modern fenerler yapılmaya başladı, diğer fenerlerin de onarımları ve ışık değişimleri yapıldı [48]. 1856 yılında Fenerbahçe, Bebek, Rumeli, Anadolu, Gelibolu, Hellas (Mehmetçik), Kumkale, Karaburun; 1857 yılında Ahırkapı, Yeşilköy, Kepez, Çanakkale, Nağraburnu, Marmara Adası; 1858 yılında Karakova, Çardak, 1859 yılında Şile Fenerleri modern yöntemle inşaa edildi. Ayrıca uluslararası komisyonun tavsiyesiyle İstanbul Boğazı Karadeniz girişinde bir fener gemisi görevlendirildi. İstanbul/Kız Kulesi fenerinin bakımı ve yenilenmesi yapıldı [49].

Ödemelerle ilgili sorunlar nedeniyle ilk sözleşmenin süresinin dolması beklenmeden 2. sözleşme, H.8 Safer 1277/M.26 Ağustos 1860 tarihinde [50] 20 yıl süreli olarak yapıldı ve bu kez imtiyaz Marius Michel'in Bernard Camille Collas ile birlikte kurduğu Kolas Şirketi'nin (Société Collas et Michel) yan kuruluşu olarak kurulan ve İstanbul Maritimes des Messageries'nin müdürü Joseph Baudouy'un da ortak olduğu Osmanlı Fenerler Şirketi'ne (Société des Phares Ottomans) verildi [51]. Sözleşme Osmanlı Devleti adına sadrazam Ali Paşa ve Kaptan-ı Derya Mehmet Ali Paşa ile Fransa büyükelçisi Edouard Thouvenel ve Marius Michel arasında imzalanırken, Fenerler İdaresi'nin yönetim yapısı da geliştirildi. Yönetim, Osmanlı Hükümeti ve Bahriye Nazırlığı'nın atayacağı bir yetkilinin başkanlığında Osmanlı ve Avusturya, İspanya, İngiltere, Sardunya, Rusya, Yunanistan, Fransa delegelerinden kurulu bir komisyon tarafından yürütülecekti. İhaleyi alan Kolas Şirketi'nin Paris'teki bürosu aracılığıyla Fransız fener üreticisi Barbier Şirketi'yle (Société Barbier, Bénard&Turenne) bağlantıları bulunuyordu. Bu kapsamda

inşaa edilen fenerlerin malzemelerinin ve makinelerinin bu şirketten satın alındığı görülmektedir. 1861 yılında Polente (Bozcaada), Balyos (Erdek), Mrm. Ereğli, Hoşköy, Kepez, Eşekadası (Çanakkale), Seddülbahir, Burgaz, Mudanya, Kuruçeşme, Kandilli, Rumelihisarı, Kanlıca, Yeniköy, Kireçburnu, Umuryeri ve Anadolu Kavağı fenerleri hizmete girdi. Daha sonra bu fenerleri 1863 yılında Dilburnu, Kavaburnu, Tütünciftlik, Sivrice, Ayvalık, Uzunada, Çeşme, Amasra, Kırdz. Ereğli, İnceburun, Sinop, İnebolu, İzmir, Trabzon, Giresun, Samsun; 1864 yılında Karataş, Taşucu, Mersin, Kefaluka (Bodrum), Kuşadası, Kumburnu; 1866 yılında İğneada ve Kuzey Afrika, Ege Adaları ve Doğu Akdeniz’de yapılan fenerler izledi. Osmanlı denizlerine buharlı gemilerin girişiyle deniz fenerlerinin sayısında paralel bir artış söz konusudur. Özellikle İstanbul Boğazı’nda deniz ulaşımında buharlı gemilerin kullanılması ve Osmanlı limanlarına Avrupa’dan düzenli gemi seferlerinin başlamasıyla fenerlere duyulan ihtiyacı artmış, fener vergilerinden elde edilen gelir de önemli bir kalem oluşturmuştur. Bu kapsamda 1872 yılında İstanbul ve taşra fenerlerinden elde edilen gelirlerin %22’sinin Bahriye Nazırlığı hazinesine, %78’inin imtiyaz sahiplerine ödenmesi kararlaştırıldı [52]. 1875 yılında ise Fenerler İdaresi Osmanlı Hükümeti’nce resmi bir kurum olarak kabul edildi [53]. Bahriye Nazırlığı fenerler üzerinden önemli bir gelir elde etmekle birlikte [54], fenerlerin yapımında kullanılacak büyük miktarlara ulaşan fona da kaynak yaratmaya çalışıyordu.

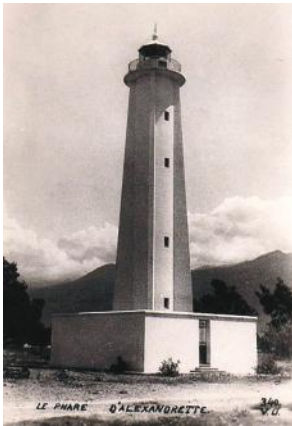
Fenerler İdaresi çok kısa sürede birçok fener inşaa etmiş, birçoğunu yenilemiş ve başarılı bir yönetim sergilemişti. Bu durum idarenin Osmanlı Hükümeti tarafından sürekli desteklenmesini sağlıyordu. Nitekim 1877 yılında Fenerler İdaresi sözleşmesinin uzatılması konusu Meclisi Mebusan’da görüşüldü [55], H.13 Recep 1296/M.3 Temmuz 1879 tarihinde [56]

geçmiş dönemde olduğu gibi sözleşme süresi bitmeden yeni bir sözleşme yapıldı [57]. Kaptan-ı Derya Hacı Mehmet Rasim Paşa ile Michel ve Collas arasında yapılan bu yeni sözleşmeyle Osmanlı kıyılarında 19 yeni fenerin yapılması kararlaştırıldı. Bu fenerlerin başında Girit, Dedeğaç, Alanya, Meis, Çeşme, Bodrum, Trablusgarp, Bingazi, Derne, Selanik fenerleri gelmektedir. Yeni sözleşmeyle İstanbul ve taşra fenerlerinden elde edilen gelirlerin %28’sinin Bahriye hazinesine ödenmesi, bina ve işletme masraflarının Osmanlı Hükümeti tarafından karşılanması kabul edildi [58]. Bu kapsamda 1887 yılında fenerlerin bir aylık gelirinden 79.063 kuruşun [59], 1892 yılında 387.763 kuruşun [60], 1896 yılında 454.800 kuruşun [61] Bahriye hazinesine ödenmesi kayıtlarda geçmektedir ki, Bahriye’ye ödenen payın sözleşmelere göre oran olarak arttırılması hazineye giren miktarı da yükseltmiştir.

Fenerler İdaresi’nde yapılan çalışmalardan memnun kalan Osmanlı Hükümeti, Marius Michel’e paşalık rütbesi vermiş ve yeni çalışmalar için ödüllendirmiştir. Michel’e Sultan I. Abdülmecid tarafından 1859 yılında Mecidiye Nişanı verilirken, 1879 yılında Sultan II. Abdülhamid tarafından deniz miralay ve sonrasında mirlivasi, 1895 yılında ise paşa ünvanı verilmişti. 1863 yılında ise Fransız Hükümeti tarafından Légion D’Honneur ünvanıyla ödüllendirildi [62]. Michel idarenin yönetimini sürdürürken İstanbul’da liman ve tersanelerin yenilenmesi çalışmalarını da yürütmüş; idarenin merkezini oluşturan binanın İstanbul’da yapılmasını sağlamıştır [63]. 1880 yılı sonrasında fener yapımları devam etmiştir. Karadeniz’de Trabzon [64], Ünye [65], Samsun [66], Bafra [67] ve Zonguldak’ta [68], Marmara ve Ege’de Bandırma [69], Ayvalık [70], Foça [71], İzmit [72], Kefken [73], Sakız [74], Çanakkale [75] ve İzmir’de [76], Akdeniz’de [77] fenerler yapılmıştır. Yine kayıtlardan 1888 yılında

Ayvalık'da yapılan fenere 600 Osmanlı lirası [78], İmroz (Gökçeada), Rodos, Kandeleros (Kandelioussa-Kos), Zoika (Sougia-Girit), Tikaya? Adaları'na yapılan 5 fenere 13.805 Osmanlı lirasının Bahriye hazinesinden ödendiği anlaşılmaktadır [79]. 1908 yılında İstanbul/Ahırkapı fenerinin yeri dolgu çalışmasıyla sağlamlaştırılmıştır [80]. 1902 yılında Haydarpaşa, 1910 yılında Ölüce, Fethiye, Bandırma, 1911 yılında Ünye fenerleri inşaa edildi. Süveyş Kanalı'nın açılışıyla yoğunlaşan Kızıldeniz ve Doğu Akdeniz hattında fenerlere duyulan ihtiyaçla bu bölgeye de ilgi gösterilmeye başlandı. Michel Paşa'nın önerisiyle Namık, Kamil, Ahmet, Celil, Refet, Rıza ve Cevat Paşalar'dan oluşan bir komisyon kuruldu. Yapılan görüşmeler ve incelemeler sonucunda 1882 yılında Kızıldeniz ve Basra Körfezi fenerler imtiyazı, 40 yıl süreyle yine Michel Paşa ve Collas'a verildi. Bu kapsamda İbn-Behir, Şab-ı Saba, Cidde, Cezire-i Küsra, Konfide, Hadide, Reis-ül Biyad, Reis-ül Cedir, Tiran Adası, Elektra, Jüpiter Adası, Ebulabil Adası, Hürmüz Boğazı'nda Koyun Adası, Reis-ül Had ve Şaron fenerleri yaptırıldı [81]. Bernard Camille Collas'ın yerine şirket yetkilisi olarak Louis Gabriel Collas'ın geçmesiyle R.9 Teşrinievvel 1310/M. 21 Ekim 1894 tarihinde Osmanlı hükümeti fenerler imtiyaz süresini 1899 yılından itibaren geçerli olmak üzere 25

yıllığına yeniden uzattı ve sözleşmede fener gelirlerinin %50'sinin Bahriye hazinesine ödenmesi kararlaştırıldı [82]. Bu durum fener ücretlerinin yükseltilmesine neden olduğu için Osmanlı limanlarını kullanan yabancı devletler arasında tartışmalara yol açtı. Ücretlerde uluslararası bir standart yoktu ve alınan vergi gemilerin tonajına bağlı olarak hesaplanmaktaydı. Uzun görüşmeler sonunda 1896 yılında fener ücretlerinde %15 indirimle gidildi. 1881 yılında fenerlerin inşaaesinde, işletilmesinde ve onarımında kullanılan malzemeler gümrükten muaf tutularak maliyetlerin düşürülmesi amaçlandı [83]. Fenerlerde yabancıların çalışıyor olması da güvenlik sorunu yaratmaktaydı. 1877-78 Osmanlı-Rus Savaşı'ndan sonra, 1883 yılında bir emirle Karadeniz fenerlerinde yabancı görevli çalıştırılmaması ve yabancı dil bilen deniz subaylarının fener hizmetlerinde görevlendirilmesi kararı alındı [84]. 1892 [85] ve 1894 [86] tarihli kayıtlarda ise elektrikli fenerlerin denendiği ve tüm fenerlerin elektrikli sisteme geçmesi yolunda adım atıldığı, Boğazlar'daki fenerlerde kullanılacak olan elektrikli fenerlerin tersanede yapıldığı, böylece ülke içinde fener mekanizmalarının üretilmeye başlandığı görülmektedir. Ayrıca bu dönemde fenerlerin çalıştırılması ile ilgili kurallar da çıkarılmıştır. 1894 yılında



Şekil 8. 20. yy. Başında İskenderun, Haydarpaşa ve Şile Fenerleri

fenelerin inşasında ve kullanımında uluslararası kuralların benimsendiği bir yönetmelik hazırlandı [87].

Fenerlerin işletilmesiyle ilgili en son sözleşme R. 4 Teşrinisani 1328/M.17 Kasım 1912 tarihinde imzalanmış olup, 500.000 liralık avansa karşılık 1913 yılından itibaren 25 yıl süre ile uzatılmıştır [88]. Ancak Fenerler İdaresi ile Osmanlı Hükümeti arasında I. Dünya Savaşı'nda ortaya çıkan anlaşmazlık nedeniyle yürütülemeyen protokol feshedilerek, R.11 Temmuz 1339/M.11 Temmuz 1923 yılında yeni bir protokol yapılmış ve bu protokol R.4 Mart 1341/M.4 Mart 1925 tarih ve 576 sayılı kanun ile onaylanmıştır [89]. 1939 yılı sonuna kadar görevine devam eden Fenerler İdaresi 3 Ocak 1938 tarih ve 3302 sayılı kanun ile satın alınarak ulusallaştırılmış [90] ve idare bu dönemde kurulan Denizbank'a devredilmiştir. Fenerler işletmesi 10 Ağustos 1951 tarihli 5842 sayılı kanunla [91] yeniden düzenlenen Denizcilik Bankası bünyesinde Kıyı Emniyeti İşletmesi Müdürlüğü adı altında hizmet vermeye başladı. Denizcilik Bankası 17 Haziran 1982 tarihli 2680 sayılı kanunla kurulmuş [92] ve fenerler bu kuruma bağlanmıştır. 13 Aralık 1983 tarihli 233 sayılı kanunla ise Türkiye Denizcilik İşletmeleri haline getirilen kurum bünyesinde, kıyı emniyeti hizmetleri olarak faaliyet göstermeye devam etmiştir [93]. Bakanlar Kurulu'nun 12 Mayıs 1997 tarih ve 97/9466 sayılı kararı ile Kıyı Emniyeti ve Gemi Kurtarma İşletmeleri Genel Müdürlüğü altında tüm seyir yardımcıları, kurtarma, yardım ve tahliye hizmetleri toplanarak faaliyetlerini sürdürmeye başladı. Yüksek Planlama Kurulu'nun 07 Şubat 2007 tarih ve 2007/T-3 sayılı kararı ile kurum Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü olarak değiştirilmiştir. Günümüzde Türkiye kıyılarında Kıyı Emniyeti genel Müdürlüğü'ne bağlı farklı özelliklerde toplam 432 fener bulunmaktadır [94].

4. Sonuçlar

Deniz fenerleri, denizcilik sektöründe seyir emniyetinin ve trafiğinin düzenlenmesinde öncelikli faaliyet gösteren yapılardır. Teknolojinin büyük bir ilerleme gösterdiği bugün bile deniz fenerleri en önemli seyir yardımcılarında biri olarak görev yapmaktadır. Fenerlerin gelişimi denizciliğin gelişimiyle paralel bir seyir izler ve tarihsel süreçte fenerlerin sayılarının artışı 19. yy. itibariyle modern denizciliğin yükselişiyle devam eder. Türkiye'de de modern deniz fenerlerinin kuruluşu bu dönemde başlar. 1856-1914 yılları arasında 58 yılda Osmanlı Devleti kıyılarında toplam 205 fener yapılmış, var olanların birçoğu onarılmış ve yenilenmiştir. Anadolu kıyıları dışında Midilli, Selanik, Rodos, Lazkiye, Beyrut, Hayfa, Girit, Trablusgarp, Bingazi ve Varna olmak üzere, Kızıldeniz, Basra Körfezi, Kuzey Afrika, Yunanistan, Bulgaristan ve Romanya kıyılarına 50'yi aşkın fener Osmanlı Fenerler İdaresi tarafından yaptırılmıştır. Fenerler İdaresi Türkiye'de denizciliğin gelişiminde rol oynayan bir kurumdur. Türkiye fenerlerinin içinde günümüze ulaşan çok sayıda tarihi fener bulunmaktadır. Deniz fenerleri, dünyanın birçok ülkesinde tarihi ve kültürel miras olarak kabul edilerek koruma altına alınmaktadır. Bu açıdan bakıldığında fenerler sadece denizleri değil, aynı zamanda denizcilik bilimi ve kent tarihi alanını da aydınlatan, korunması gereken yapılardır. Günümüze kadar ayakta kalmayı başarmış bu yapılar müze, sergi salonu, deniz kütüphanesi ya da turistik amaçlı sosyal paylaşım alanına dönüştürülmelidir. Ayrıca Türkiye fenerleriyle ilgili tarihi, sosyo-kültürel ve günümüz bilgileriniz de içeren, kapsamlı ve bilimsel bir yayın hazırlanmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Davenport, W.H. (1878). *The Story of Our Lighthouses and Lightships*. London: T. Nelson&Sons., Homer, (M.Ö. 8.yy.). *Iliad*. Cambridge: Cambridge University Press, Ed. Mark W. Edwards, 1991.
- [2] Işık, H.İ., Eck,W. and Engelmann, H. (2008). *Der Leuchtturm von Patara und Sex. Marcus Priscus als Statthalter der Provinz Lycia von Nero bis Vespasian*, *Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik*, 2008:164:91-121.
- [3] Nemlioğlu Koca, Y. (2015). *Khrysoopolis, Scutari, Eskidar, Usgüdar: Tarihi Haritalarda Üsküdar VIII. Üsküdar Sempozyumu Bildirileri*, İstanbul: Dörtbudak Yayınları, 47.
- [4] Stevenson, D. A. (2013). *The World's Lighthouses: From Ancient Times to 1820*. Courier Corporation, 12-19.
- [5] Stevenson, age., 50-52.
- [6] Boutry, G.A. (1948). *Augustin Fresnel: His Time, Life and Work*, *Science Progress*, 1948: 36(144):587-604.
- [7] TSMK. Def. No:112; H. 15 Receb 969/M. 21 Mart 1562.
- [8] Kömürçüyan, E.Ç. (1988). *İstanbul Tarihi: XVII. Asırda İstanbul*. İstanbul: Eren Yayıncılık, Çev. Hrand D. Andreasyan, 302.
- [9] Grelot, G.J. (1680). *Relation Nouvelle D'un Voyage de Constantinople*. Paris: Damien Foucault, 45-47.
- [10] İstanbul haritasında fenerin gösterildiği *Kitab-ı Bahriye Nüshaları: İstanbul Nuruosmaniye Kütüphanesi No:2997, 2990; İstanbul Deniz Müzesi Kütüphanesi No:990; Baltimore Walters Art Galery No:MS.W.658*.
- [11] İstanbul TSMK, Revan No:1624; Berlin Staatsbibliothek PQ 2858.
- [12] Paris Bibliothèque Nationale de France GE DD 2987.
- [13] BOA. A.DVNS.MHM.Def. No:6/Hük. No: 160; H. 18 Safer 972/M. 25 Eylül 1564.
- [14] Gilles, P. (1666). *Anapulus Bosphori Thracii*. İstanbul Boğazı. İstanbul: Eren Yayıncılık, Çev. Erendiz Özbayoğlu, 2000, 38, 165-166.
- [15] Busbecq, O.G. (1740). *Omnia Quæ Extant Opera*. Basel: Jo. Brandmüller, Ed. Rudolf Neck, Graz, 1968, 61.
- [16] Ali Macar Reis Atlası TSMK. Hazine No. 644.
- [17] Thévenot, J. (1664). *Relation D'un Voyage Fâit Au Levant*. Paris: Thomas Joly, 53-54. Thévenot Seyahatnamesi. İstanbul: Kitap Yayınevi, Ed.Stefanos Yerasimos, Çev. Ali Berktaş, 2009.
- [18] Kömürçüyan, age., 44-45.
- [19] Çelebi, E. (17.yy.). *Seyahatname*. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları, Ed.Yücel Dağlı, Seyit Ali Kahraman, 2003, I, 423.
- [20] Tott, B. (1784). *Mémoires Du Baron De Tott*, Amsterdam, 36.
- [21] Raczynski, E. (1821). *Dziennik Podrozy do Turcyi Odbytey W Roku MDCCCXIV Przez Edwarda Raczynskiego*, Wroclaw, 1814'de İstanbul ve Çanakkale'ye Seyahat. İstanbul: Kervan Kitapçılık, Çev: Kemal Turan, 1980, 20.
- [22] Flandin, E.N. (1853). *L'Orient*. Paris: Gide et J. Baudry, 3-27.
- [23] Sarıcaoğlu, F. III. Osman, *İslam Ansiklopedisi*, 33:459.
- [24] BOA. CT.BH. No:10038, H. 13 Safer 1200/M. 16 Aralık 1785.
- [25] BOA. CT.AS. No:5017, H. 26 Safer 1204/M. 15 Kasım 1789 ve BOA. CT.AS. No:7722, H. 2 Şevval 1205/M. 4 Haziran 1791
- [26] BOA. CT.BH. No:10989, H. 24 Muharrem 1181/M. 22 Haziran 1767.
- [27] BOA. CT.BH. No:10365, H. 7 Muharrem 1182/M. 24 Mayıs 1768.
- [28] BOA. CT.BH. No:11493, H. 15 Safer 1173/M. 8 Ekim 1759, BOA. CT.BH. No:11007, H. 6 Ramazan 1200/M. 3 Temmuz 1786.
- [29] BOA. CT.BH. No:11925, H. 7 Cemazeyilevvel 1188/M. 16 Temmuz 1774, BOA. CT.BH. No:11280, H. 15 Safer 1197/M. 20 Ocak 1783

- [30] BOA. CT.BH. No:8665, H. 18 Şaban 1192/M. 12 Eylül 1778, BOA. CT.BH. No:9210, H. 7 Receb 1188/M. 13 Eylül 1774.
- [31] BOA. CT.BH. No:12402, H. Zilhicce 1224/M. Şubat 1810.
- [32] BOA. CT.BH. No:8617, H. Şaban 1260/M. Eylül 1844.
- [33] BOA. CT.BH. No:9535, H. 7 Cemazeyilevvel 1263/M. 23 Nisan 1847.
- [34] BOA. CT.BH. No:12013, H. Rabiülahir 1216/M. Ağustos 1801, BOA. CT.BH. No:12786, H. 10 Receb 1220/M. 4 Ekim 1805, BOA. CT.BH. No:11290, H. 6 Zilkade 1220/M. 26 Ocak 1806.
- [35] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 1/58B-M. 9 Mayıs 1838, Def.No: 5/19-M. 28 Nisan 1849, Def.No: 11/36-M. 6 Nisan 1850.
- [36] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 1/67A-M. 27 Haziran 1838, Def.No: 3/23-M. 20 Mart 1845, Def.No: 4/193A-194A-M. 24 Eylül 1848.
- [37] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 5/58-M. 31 Temmuz 1849, Def.No: 9/96A-M. 24 Ekim 1849, Def.No: 4/76-M. 11 Kasım 1849.
- [38] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 26/1-40-M. 9 Mart 1855.
- [39] BOA. CT.BH. No:9995, H. 23 Zilkade 1226/M. 9 Aralık 1811.
- [40] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 140/4-5-M. 4 Mayıs 1838.
- [41] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 4/73A-M. 6 Ocak 1847.
- [42] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 4/83B-84A-M. 3 Nisan 1847.
- [43] Coulier, M. (1846). Atlas Général des Phares et Fanaux à L'usage des Navigateurs. Paris: Robiquet.
- [44] Camcı, B., Zafer, C. ve Yaman, Ş. (1994). Türk Deniz Ticareti ve Türkiye Denizcilik İşletmeleri Tarihçesi. İstanbul: Türkiye Denizcilik İşletmeleri Yayınları, 222.
- [45] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 29/70-M. 13 Haziran 1956.
- [46] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 29/1-M. 20 Şubat 1856, Def.No: 24/09B-91A-M. 6 Temmuz 1856, Def.No: 34/5A-M. 11 Ağustos 1859.
- [47] Marius Michel Pacha Construction et Administration des Phares de l'Empire Ottoman, (2001). Ed. François Pourcelet, Aix-en-Provence: Archives Nationales D'outre-Mer, 6.
- [48] Thobie, J. (2004). L'administration générale des phares de l'Empire ottoman et la société Collas et Michel, 1860-1960. Paris: L'Harmattan, 10-11.
- [49] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 29/84-M. 2 Şubat 1859.
- [50] 3 Ocak 1938 tarihli 3302 sayılı kanun, Resmi Gazete No:3805(11 Ocak 1938), 9212.
- [51] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 29/41-M. 4 Eylül 1860.
- [52] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 607/29-32-M. 23 Kasım 1872.
- [53] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 200/19-M. 21 Ekim 1875.
- [54] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 661/39-M. 27 Kasım 1875, Def.No: 237/27-52-M. 17 Mart 1876.
- [55] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 263/150-M. 4 Haziran 1877, Def.No: 122/49A-M. 14 Haziran 1877.
- [56] 3 Ocak 1938 tarihli 3302 sayılı kanun, Resmi Gazete No:3805(11 Ocak 1938), 9212.
- [57] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 317/1-M. 28 Temmuz 1879.
- [58] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 1027/93-M. 27 Ağustos 1887.
- [59] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 1009/52-M. 7 Şubat 1887.
- [60] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 1308/18-M. 21 Mayıs 1892, Def.No: 1319/23-M. 25 Ağustos 1892.
- [61] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 486/33A-M. 15 Şubat 1896.
- [62] Marius Michel Pacha..., age., 7.

- [63] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 222/210A-M. 11 Kasım 1884, Def.No: 887/55-M. 18 Şubat 1885.
- [64] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 496/99-M. 28 Şubat 1886, Def.No: 280/55A-M. 15 Eylül 1887.
- [65] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 600/23-M. 20 Mayıs 1889.
- [66] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 1026/110-M. 2 Mayıs 1896
- [67] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 295/89-M. 12 Eylül 1879.
- [68] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 1088/121-M. 27 Eylül 1897.
- [69] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 797/49-M. 23 Aralık 1889.
- [70] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 282/83A-M. 20 Ekim 1887.
- [71] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 488/41-M. 22 Aralık 1886.
- [72] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 773/80-90-M. 8 Eylül 1895.
- [73] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 295/53-M. 23 Ağustos 1879.
- [74] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 21/56-M. 5 Mayıs 1903.
- [75] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 1539/42-M. 10 Ekim 1896.
- [76] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 1051/54-M. 8 Mart 1898.
- [77] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 194/70-M. 14 Mart 1885.
- [78] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 1137/31-46-M. 19 Haziran 1888.
- [79] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 1134/20-15-M. 19 Haziran 1888.
- [80] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 762/106A-M. 12 Ocak 1908.
- [81] Ay, R. (2000). İstanbul Boğazı'ndaki Deniz Fenerleri ve Tahlisiye Yapılarının Koruma ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 15.
- [82] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 773/54-107-108-M. 21 Ekim 1894, Def.No: 428/54A-M. 26 Ekim 1894.
- [83] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 351/100-M. 16 Haziran 1881.
- [84] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 404/11-M. 16 Mayıs 1883.
- [85] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 754/65-M. 23 Kasım 1892.
- [86] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 765/54-M. 6 Mart 1894.
- [87] Dz.K.K. Arşivi Def.No: 916/28-M. 31 Aralık 1894.
- [88] 3 Ocak 1938 tarihli 3302 sayılı kanun, Resmi Gazete No:3805(11 Ocak 1938), 9212.
- [89] 4 Mart 1925 tarihli 576 sayılı kanun, Resmi Gazete No:87(4 Mart 1925), 9.
- [90] 3 Ocak 1938 tarihli 3302 sayılı kanun, Resmi Gazete No:3805(11 Ocak 1938), 9212.
- [91] 10 Ağustos 1951 tarihli 5842 sayılı kanun, Resmi Gazete No:7885(16 Ağustos 1951), 1810.
- [92] 17 Haziran 1982 tarihli 2680 sayılı kanun, Resmi Gazete No:17729(19 Haziran 1982), 43.
- [93] 13 Aralık 1983 tarihli 233 sayılı kanun, Resmi Gazete No:18435(18 Haziran 1984), 197.
- [94] Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü. (2014). Kurumsal Tarihçe. Erişim Tarihi: 02.02.2018, <http://www.coastalsafety.gov.tr>.

This Page Intentionally Left Blank



Evaluation of Critical Operational Faults of Marine Diesel Generator Engines by Using DEMATEL Method

Veysi BAŞHAN¹, Hakan DEMİREL²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye

²Bülent Ecevit Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Türkiye

vbashan@yildiz.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1070-1754>

hakademirel@beun.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7579-7064>

Abstract

All the electrical demand of ship are provided by diesel generators (DG). Failure of generators due to breakdown can lead to the blackout of the ship which may suddenly cause serious damage to ship's main and/or auxiliary engines, human health and marine environment or any structure at ship's route. Thus, the planned maintenance and repairs of the generators must be done properly without any deficiency or delay. And even then, since the generators run continuously failures may often occur. In this context, this paper provides a DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) method to evaluate the critical operational faults in marine DGs. The DEMATEL method enables to identify and analyze the important faults of marine DG within the respect to the cause-effect relationship diagram. The obtained results of the research will contribute to ship safety at sea and prevention of hazardous machinery effects.

Keywords: Marine Diesel Generator Engine, DEMATEL, Ship, Machinery Faults.

Gemi Dizel Jeneratörlerinde Kritik Operasyonel Arızaların DEMATEL Metoduyla Değerlendirilmesi

Öz

Geminin tüm elektriksel gereksinimleri dizel jeneratörler tarafından sağlanmaktadır. Jeneratörlerde meydana gelen arızalar geminin kararmasına (çökmesine) neden olabilir ve bu durum aniden gemi ana makinesi veya yardımcı makinelerinde, insan sağlığına, deniz çevresine veya geminin rotasındaki herhangi bir yapıya ciddi hasarlar verebilir. Bu yüzden, jeneratörlerin planlı bakım ve onarımları düzgün bir şekilde eksiksiz ve zamanında yapılmalıdır. Tüm bunlara rağmen, sürekli çalışan jeneratörlerde arızalar olabilmektedir. Bu kapsamda, bu makale gemi dizel jeneratörlerinde kritik operasyonel arızaları DEMATEL (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı) metoduyla sunmaktadır. DEMATEL metodu gemi dizel motorlarında meydana gelen önemli arızaları sebep-etki ilişkisi diyagramıyla tanımlanma ve analiz etmeye yaramaktadır. Elde edilen sonuçlar, denizde gemi emniyeti ve tehlikeli makine etkilerinin önlenmesine katkıda bulunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Gemi Dizel Motoru, DEMATEL, Gemi, Makine Arızaları.

To cite this article: Başhan, V. and 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.

To link to this article: <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2018.24865>

1. Introduction

In many parts of the ships, especially in the engine rooms, there are "SAFETY FIRST" signs. This means that the safety is the most important concept in ship operations since the consequences of any fault at ship engine(s) may cause irreversible damage to human life, engines as well as cargo aboard ship. International Maritime Organization (IMO) [1], known as the rule-making organization in the maritime sector, has issued many rules and conventions related to safety. The prominent ones are; The International Convention on Standard of Training Certification and Watchkeeping for Seafarer (STCW), The International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) and The Convention on the Prevention of Maritime Pollution (MARPOL). However, despite these rules, in the literature, many problems that harm both human health and the environment continue to arise as reported[2]–[5]. Many studies are conducted on the detection of these failures [6]–[10]. The DEMATEL method is also concluded in these studies[11], [12]. Emovon et al. [13] used an averaging technique to include indefinite information acquired from experts to apply solution methods for risk in marine engines. Xi et al. [14] investigated the real observed during the maritime operations on the shores of Shanghai and conducted case studies by Cognitive Reliability Error Analysis Method (CREAM) and DEMATEL method. In the thesis of Emovon [15] various techniques to develop tools for supporting the Reliability Centred Maintenance (RCM) methodology and enhance its efficacy in marine maintenance system applications are presented. Akyuz et al [16] carried out a quantitative ship's fire safety system deficiency analysis with Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Saatçioğlu et al [17] studied ship engine room casualty analysis by using decision tree method (DTM) to find the

frequent faults in engine room. Mullai and Paulsson [18] designed a conceptual model for analyzing marine accidents by using Structural Equation Modeling (SEM) approach. Nguyen [19] performed an application of analytic hierarchy process (AHP) for estimating risks in ship systems based on the data acquired from experts. Özdemir [20] investigated the causes of occupational accidents that took place in ports and the precautions to be taken by using DEMATEL and TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) methods. Even though the DEMATEL is well known and used in many areas like other methods, such approaches are not common in marine sector problems. Therefore, this study will close the gap of maritime literature. Apart from the prior studies, in this study it is aimed to determine the frequent occurrences of faults in the ship's diesel generator and the relationship among faults and effects by using DEMATEL method.

This paper is organized as follows: the research methodology is presented in section 2. Section 3 describes problems and application of the study by including subsections. The final conclusion of this work is given in section 4.

2. Research Methodology

The DEMATEL technique is presented to solve complex and comprehensive decision-making problems [21]. DEMATEL has been generally recognized as one of the practical tools to get the cause and effect relationship between the assessments criteria [22]. It is essentially based on the graph theory which allows investigating and explaining problems by visualization [23]. The method reveals the mutual relationship and the values of influential effect among all the criteria. The fundamental steps of DEMATEL method are briefly described as follows.

Step 1: First step is to build an initial

direct-relational matrix for pair-wise comparison of the factors. A group of decision-makers who have profound knowledge and experience about the problem is acquired. Then, they are required to assess the direct effect among each pair of fault factors. The linguistic assessments are converted to numerical values. Consequently, the direct-relation matrix is obtained. $A = [a_{ij}]$ where A is a $n \times n$ non-negative matrix, a_{ij} represents the direct effect of factor i on factor j ; and when $i = j$, the diagonal elements $a_{ij} = 0$.

Step 2: Secondly, the initial direct-relation matrix is normalized by comparing factors in the same way. The normalized direct-relation matrix $D = [d_{ij}]$, can be acquired through an equation (1). All elements in matrix D are complying with $0 \leq d_{ij} \leq 1$, and all principal diagonal elements are equal to zero.

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

Step 3: The total-relation matrix (T) is calculated by using the equation (2) where I denotes $n \times n$ identity matrix. The element t_{ij} shows the indirect effects that criterion i have on criterion j , so that the matrix T gives the total relationship among each pair of factors.

$$T = D(I - D)^{-1} \quad (2)$$

Step 4: The sum of rows and columns of matrix T is calculated. r_i and c_j are resolved according to the equations (3) and (4) respectively. In the formula, while r_i denotes all direct and indirect influence given by criterion i to all other factors, c_j denotes the degree of influenced effect.

$$r_i = \sum_{1 \leq j \leq n} t_{ij} \quad (3)$$

$$c_j = \sum_{1 \leq i \leq n} t_{ij} \quad (4)$$

When $i = j$, $r_i + c_j$ shows all effects are given and received by criterion i . That is to say, $r_i + c_j$ expresses both criteria i 's impact on the whole system and other system factors impact on factor i . So, the indicator $r_i + c_j$ may show the degree of significance that criterion i plays in the total system. Contrariwise, the difference of the two, $r_i - c_j$, presents the net effect that criterion i has on the system. Particularly, if the value of $r_i - c_j$ is positive, the factor i is a net cause, exposing net causal effect on the system. When $r_i - c_j$ is negative, the factor is a net result gathered into effect group [24], [25].

Step 5: In the latest step, a cause and effect relationship diagram is illustrated according to $r_i + c_j$ and $r_i - c_j$. Therefore, the complex interrelationship among factors is visualized through the diagram.

3. Evaluation of Critical Operational Failures of Marine Diesel Generator Engines

In this section, DEMATEL approach is applied to evaluate and understand the causes of faults in generators and the interactions of faults with each other. In this way, the relation of the systems to each other will be understood more clearly.

Due to limited knowledge and academic work related to the subject in the literature, relevant marine experts have been consulted. Increasing the number of experts is important for the results of the method to be more precise. In our study, only common problems are mentioned. The handling of all problems may be more useful for literature.

3.1. Problem Description

Considering ship DGs, some failures such as starting the generator for the first time, stopping, irregular operation, and problems in some cylinders, in lubrication oil, fresh water cooling cycle and in exhaust outlet are some of the troubles. The most common causes of these situations have been identified. In this context, Table 1 shows critical operational faults in marine DGs. In the Table 1, C denotes faults.

Table 1. Most Common Faults in DG Engine

Fault Code	Description
C1	Piston is seized.
C2	The bearings are tightened much above the nominal torque values.
C3	There are unknown objects in the cylinder.
C4	There is a fault in the starting system. The start air reservoirs are under low pressure or the air dryer is faulty and air moist or there is a problem with relay valve.
C5	There is a fault in electrical, electronic systems or starter motor.
C6	The crankshaft cannot rotate at a sufficient speed
C7	Lubrication oil temperature is too high.
C8	Fuel injection is not occurring. There is a problem with the injector(s).
C9	The fuel has poor quality.
C10	Insufficient amount of fuel goes to the cylinders.
C11	The exhaust cannot be thrown.
C12	Pistons or beds are suddenly seized
C13	Fuel filters are plugged.
C14	Combustion does not occur in at least one of the cylinders.
C15	The turbine is surging.
C16	The generator engine cannot be cooled sufficiently.
C17	The governor has advanced all the indexes to the end.
C18	Dense amount of fuel dribbled from the injector.
C19	Oil or fuel is mixed into the intake air.
C20	There is a problem with the cylinder's fuel pump.
C21	The cylinder's injection lance (pipe) is clogged.
C22	The tip of the cylinder injectors is covered with carbon.
C23	There are intense leaks in the valves.
C24	The pressure measuring manometer is defective in the relevant circuit. (for low pressure of cooling oil or water)
C25	The filter of the corresponding station is blocked. (for low pressure of cooling oil or water)
C26	There is a leak in the relevant circuit. (for low pressure of cooling oil or water)
C27	The thermocouple is defective.
C28	There is a problem with cylinder cooling.
C29	There is a problem with fuel advance.
C30	Fuel index and VIT have problems.
C31	The machine is overloaded and the load is fluctuating.
C32	The piston rings are completely worn.
C33	Fuel injection advance has problem.

3.2. Evaluation of Respondents

Because of the limited data in marine industry, experts' judgements are preferred commonly. On ships, there are chief engineers, second engineers and third engineers responsible from ships all engines and machineries. The chief engineer is responsible for all the work in the engine room, and the job is shared among the engineers. Under the supervision of chief engineer, most of the operations are carried out by the second engineer and the third engineer. The third engineer is responsible for the maintenance and repair of the DGs, one of the important auxiliary engines at the ship. Likewise, the compressors are the third engineer's responsibility. Because of the experience of the chief engineers, two of our experts were selected as chief engineers with at least 5 years of experience as chief engineer and one of them was selected as experienced third engineer which also have MSc degree. The problems encountered in the DG were asked to these 3 experts and the relationship between the probable causes and reasons and the effects of the causes on each other were examined.

It has been understood that the results

of evaluating the answers given by the experts give overlapping results with the DEMATEL method.

3.3. Application of Proposed Method

First of all, the critical operational faults in marine DG are presented to the marine experts in order to investigate the interaction among each pair of critical faults as provided in Table 1. In accordance with the consensus of experts, Table 2 shows the aggregation matrix. Accordingly, Table 3 demonstrates the normalized decision matrix. Thereafter, Table 4 illustrates total-relation matrix. In the light of above outcomes, the crisp values of $\tilde{r}_i, \tilde{c}_j, \tilde{r}_i + \tilde{c}_j, \tilde{r}_i - \tilde{c}_j$ can be obtained as illustrated in Table 5. In the last stage, cause and effect relationship diagram can be depicted based on the above outcomes.

3.4. Findings

In the light of calculation of the $r_i, c_j, r_i + c_j, r_i - c_j$, Figure 1 shows the cause-effect relation diagram. According to the diagram, it may be necessary to divide the findings into two groups as causes and effects.

Table 2. Aggregation Matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	...	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33
C1	0.00	0.33	2.33	0.00	0.00	...	0.00	4.00	1.67	2.00	1.67	4.00	2.00
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C3	2.67	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	1.00	0.00
C4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	...	0.00	1.33	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00
C5	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	...	0.00	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33
...
C27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	1.33	0.00	0.00	0.67	0.67	0.00
C28	1.00	2.00	1.33	0.00	0.67	...	2.67	0.00	1.33	1.33	3.33	2.67	0.67
C29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.00	0.00	3.67	2.00	0.00	4.00
C30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.67	1.67	0.00	3.00	1.00	3.33
C31	3.67	2.00	3.00	0.00	0.00	...	0.00	1.33	1.33	3.33	0.00	1.67	1.33
C32	3.67	0.00	3.00	0.00	0.00	...	0.00	2.67	1.33	1.33	2.33	0.00	1.00
C33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.00	3.67	3.67	3.33	1.33	0.00

Table 3. Normalized Decision Matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	...	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33
C1	0.00	0.01	0.05	0.00	0.00	...	0.00	0.09	0.04	0.04	0.04	0.09	0.04
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C3	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
C4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	...	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
C5	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	...	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
...
C27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
C28	0.02	0.04	0.03	0.00	0.01	...	0.06	0.00	0.03	0.03	0.07	0.06	0.01
C29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.00	0.00	0.08	0.04	0.00	0.09
C30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.01	0.04	0.00	0.07	0.02	0.07
C31	0.08	0.04	0.07	0.00	0.00	...	0.00	0.03	0.03	0.07	0.00	0.04	0.03
C32	0.08	0.00	0.07	0.00	0.00	...	0.00	0.06	0.03	0.03	0.05	0.00	0.02
C33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.00	0.08	0.08	0.07	0.03	0.00

Table 4. Total Relation Matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	...	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33
C1	0.07	0.05	0.12	0.01	0.01	...	0.03	0.15	0.09	0.12	0.12	0.16	0.11
C2	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	...	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
C3	0.08	0.02	0.03	0.01	0.00	...	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05	0.02
C4	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	...	0.01	0.04	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01
C5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	...	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
...
C27	0.01	0.01	0.01	0	0	...	0.01	0.04	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01
C28	0.09	0.08	0.1	0.02	0.02	...	0.08	0.06	0.08	0.1	0.15	0.12	0.07
C29	0.04	0.02	0.04	0.01	0.01	...	0.01	0.03	0.05	0.15	0.1	0.04	0.14
C30	0.06	0.03	0.07	0.02	0.02	...	0.01	0.06	0.1	0.09	0.14	0.08	0.14
C31	0.14	0.07	0.13	0.02	0.01	...	0.02	0.08	0.09	0.15	0.08	0.1	0.09
C32	0.15	0.04	0.14	0.02	0.01	...	0.03	0.12	0.08	0.1	0.13	0.07	0.08
C33	0.04	0.02	0.05	0.01	0.01	...	0.01	0.03	0.12	0.14	0.13	0.07	0.06

3.4.1. Cause Factors

In order to assess the critical and operational faults in the course of DG operation, it is necessary to focus on the cause factor of fault analysis which requires more attention. In the view of Figure 1, C14 (Combustion does not occur in at least one of the cylinders) has the highest r_i-c_j value among the all factors in cause group. This means that C14 has more impact on

the whole process. Afterwards, C17 (The governor has advanced all the indexes to the end) is the second most important causal factor since it ranks second place among the all factors. Consequently, it has huge impact on the entire DG operations. The third most important factor among the entire process is C7 (Lubrication oil temperature is too high) ranks third place among the process. Likewise, C10 (Insufficient amount of fuel

Table 5. Crisp Values of $r_i^-, c_j^-, r_i^+ + c_j^-, r_i^- - c_j^-$

	R_i	C_j	$R_i + C_j$	$R_i - C_j$		R_i	C_j	$R_i + C_j$	$R_i - C_j$
C1	2.49	1.79	4.28	0.70	C18	1.22	1.72	2.94	-0.51
C2	0.15	1.00	1.15	-0.85	C19	0.29	1.26	1.56	-0.97
C3	0.97	2.09	3.06	-1.12	C20	1.09	2.00	3.08	-0.91
C4	0.69	0.62	1.31	0.07	C21	1.09	1.43	2.52	-0.34
C5	0.37	0.41	0.79	-0.04	C22	1.62	1.46	3.09	0.16
C6	1.82	1.46	3.28	0.37	C23	0.86	0.96	1.82	-0.10
C7	3.00	1.77	4.77	1.23	C24	0.39	0.38	0.76	0.01
C8	1.75	1.81	3.56	-0.05	C25	0.84	2.34	3.18	-1.49
C9	0.88	2.69	3.56	-1.81	C26	1.14	1.67	2.82	-0.53
C10	2.41	1.37	3.78	1.03	C27	0.43	0.62	1.05	-0.18
C11	1.37	1.77	3.14	-0.39	C28	2.50	1.63	4.13	0.86
C12	2.65	2.42	5.08	0.23	C29	1.95	1.78	3.74	0.17
C13	1.00	1.79	2.78	-0.79	C30	2.61	2.43	5.04	0.18
C14	3.12	0.90	4.02	2.22	C31	2.47	2.33	4.80	0.14
C15	0.74	0.66	1.40	0.08	C32	2.47	1.98	4.45	0.49
C16	1.81	1.56	3.37	0.25	C33	1.90	2.02	3.92	-0.11
C17	3.39	1.39	4.78	2.01					

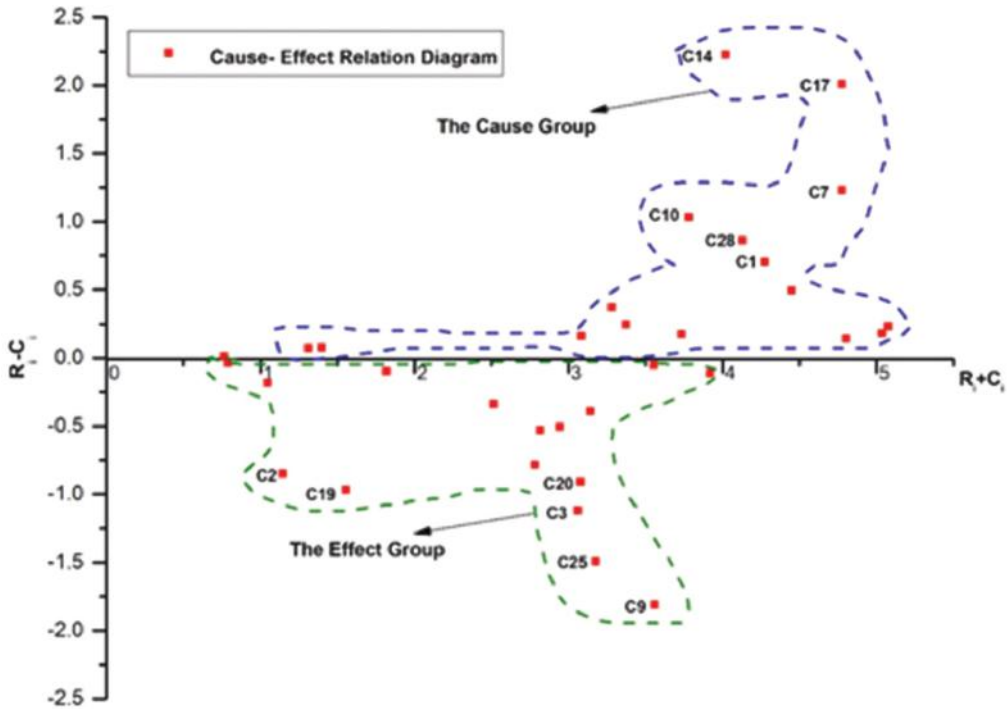


Figure 1. Cause-Effect Relation Diagram

goes to the cylinders) is another important factor among the whole process. This order of importance continues in the form of C28 (There is a problem with cylinder cooling), C1 (seizure of piston) and C32 (The piston rings are completely worn). Other fault codes have relatively moderate-low influence on the DG operations since their r_i-c_j value as well as r_i values in the operations are not high enough.

3.4.2. Effect Factors

Although the influence factors of failures in diesel generators are influenced by other factors, they need to be investigated with great care because these effects can have very serious consequences in a chained way. With the guidance of the cause-effect relation diagram, results show that C33 (Fuel injection advance has problem) has the highest r_i+c_j value (3.92) among all effect factors. Moreover, its degree of influential impact index (r_i) and influenced impact index (c_j) values (1.92; 2.02) are the quite high degree among the all process. The r_i-c_j value of C33 is close to the average value compared to other factors in the effect group, not very low. For this reason, it is understood that C33 has a significant effect on the other factors. Thereafter, C8 (Fuel injection is not occurring. There is a problem with the injectors) and C9 (The fuel has poor quality) have the second highest r_i+c_j values (3.56) among effect factors in the whole process. However, when C9's r_i-c_j value is investigated it can be seen that it is very low (-1.81) which means that it can easily be affected by the other factors. Also, when the cause-effect diagram data is examined, it is seen that C25 (The filter of the corresponding station is blocked for low pressure of cooling oil or water) comes in the third place (3.18) in terms of r_i+c_j values. As can be seen in the cause effect diagram, the rest of the factors have relatively moderate r_i+c_j values. Their r_i-c_j values are comparatively low which

indicates a powerful influenced degree.

4. Conclusion

Safety and security measures at sea must be practiced to protect the environment, machines, and especially human life. In marine engines, planned maintenance and repair are therefore very important. If planned maintenance-repair is not done, many faults can be encountered. Rarely, unexpected failures can occur despite scheduled maintenance. A breakdown can sometimes have multiple causes and a breakdown can trigger another. For this reason, it is essential to know the ship auxiliary engine systems and their relation to each other. In this study, some failures in DGs have been analyzed. The first start of the DG, stopping of DG, the fuel system, the lubrication and cooling systems, the faults in some physical equipment etc. have been investigated. In terms of results, it is understood that, when the causes and effects are examined in case of faults in the DG, the fuel system and the combustion, lubrication and cooling systems are relatively more important in terms of the reasons. From the point of effects, it is seen that the most important ones are fuel injection advance, fuel injection, fuel quality and filtration. This study will help marine engineers, especially oceangoing engineers to understand the causes of common problems in DGs and their relationship to each other. For future work, by understanding the relation between problems occurring in DGs, it may be possible to develop wonderful preventive systems such as the prediction of failures. The obtained results of the research will contribute to ship safety at sea and prevention of hazardous machinery effects.

References

- [1] "International Maritime Organization." [Online]. Available: <http://www.imo.org/en/Pages/Default.aspx>. [Accessed: 03-Jan-2018].
- [2] N. Akten, (2006). "Shipping accidents: a serious threat for marine environment," *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, vol. 12, no. 3.
- [3] J. U. Schröder-Hinrichs, M. Baldauf, and K. T. Ghirxi, (2011). "Accident investigation reporting deficiencies related to organizational factors in machinery space fires and explosions," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 43, no. 3, pp. 1187–1196.
- [4] Y. Papadopoulos et al., (2011). "Engineering failure analysis and design optimisation with HiP-HOPS," *Engineering Failure Analysis*, vol. 18, no. 2, pp. 590–608.
- [5] K. Cicek and M. Celik, (2013). "Application of failure modes and effects analysis to main engine crankcase explosion failure on-board ship," *Safety Science*, vol. 51, no. 1, pp. 6–10.
- [6] A. Jardine, P. Anderson, and D. Mann, (1987). "Application of the Weibull proportional hazards model to aircraft and marine engine failure data," *Quality and reliability engineering international*, vol. 3, no. 2, pp. 77–82.
- [7] A. Jardine, P. Ralston, N. Reid, and J. Stafford, (1989). "Proportional hazards analysis of diesel engine failure data," *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 5, no. 3, pp. 207–216.
- [8] M. Fonte, P. Duarte, V. Anes, M. Freitas, and L. Reis, (2015). "On the assessment of fatigue life of marine diesel engine crankshafts," *Engineering Failure Analysis*, vol. 56, pp. 51–57.
- [9] C. Cai, X. Weng, and C. Zhang, (2017). "A novel approach for marine diesel engine fault diagnosis," *Cluster Computing*, pp. 1–12.
- [10] O. A. Özsoysal, (2008). *Gemi dizel motorları arızalar ve nedenleri*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- [11] E. Akyuz and E. Celik, (2015). "A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during gas freeing process in crude oil tankers," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 38, pp. 243–253.
- [12] A. Mentesh, H. Akyildiz, M. Yetkin, and N. Turkoglu, (2015). "A FSA based fuzzy DEMATEL approach for risk assessment of cargo ships at coasts and open seas of Turkey," *Safety science*, vol. 79, pp. 1–10.
- [13] I. Emovon, R. A. Norman, A. Murphy J., and K. Pazouki, (2015). "An integrated multicriteria decision making methodology using compromise solution methods for prioritising risk of marine machinery systems," *Ocean Engineering*, vol. 105, pp. 92–103.
- [14] Y. T. Xi, Z. L. Yang, Q. G. Fang, W. J. Chen, and J. Wang, (2017). "A new hybrid approach to human error probability quantification–applications in maritime operations," *Ocean Engineering*, vol. 138, pp. 45–54.
- [15] Ikuobase Emovon, (2016). "Multi-Criteria Decision Making Support Tools For Maintenance of Marine Machinery Systems," Newcastle University, School of Marine Science and Technology. PhD Thesis.
- [16] E. Akyuz, I. Akgun, and M. Celik, (2016). "A fuzzy failure mode and effects approach to analyse concentrated inspection campaigns on board ships," *Maritime Policy & Management*, vol. 43, no. 7, pp. 887–908.
- [17] Ö. Y. Saatçioğlu, B. Göksu, O. Yüksel, and Y. Gülmez, (2017). "Ship Engine Room Casualty Analysis by Using Decision Tree Method," *Journal of ETA Maritime Science*, vol. 5, no. 1, pp. 59–68.

- [18] A. Mullai and U. Paulsson, (2011). "A grounded theory model for analysis of marine accidents," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 43, no. 4, pp. 1590–1603.
- [19] H. Nguyen, (2009). "The application of the ahp method in ship system risk estimation," *Polish Maritime Research*, vol. 16, no. 1.
- [20] Ü. Özdemir, (2016). "Investigation of occupational accidents occurred in ports by using fuzzy DEMATEL and fuzzy TOPSIS methods," *Journal of ETA Maritime Science*, vol. 4, no. 3, pp. 235–247.
- [21] A. Gabus and E. Fontela, (1972). "World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL," Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland.
- [22] C.-L. Lin and G.-H. Tzeng, (2009). "A value-created system of science (technology) park by using DEMATEL," *Expert systems with applications*, vol. 36, no. 6, pp. 9683–9697.
- [23] R.-J. Lin, (2013). "Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices," *Journal of Cleaner Production*, vol. 40, pp. 32–39.
- [24] Y.-P. O. Yang, H.-M. Shieh, J.-D. Leu, and G.-H. Tzeng, (2008). "A novel hybrid MCDM model combined with DEMATEL and ANP with applications," *International journal of operations research*, vol. 5, no. 3, pp. 160–168.
- [25] A. H. Lee, H.-Y. Kang, C.-F. Hsu, and H.-C. Hung, (2009). "A green supplier selection model for high-tech industry," *Expert systems with applications*, vol. 36, no. 4, pp. 7917–7927.



Efficiency Analysis of Mediterranean Container Ports

Veysel GÖKÇEK, Yunus Emre ŞENOL

İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Türkiye

gokcekv@itu.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4841-0338>

senolyunusemre@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7592-7247>

Abstract

The purpose of this paper is to evaluate the technical efficiency (productivity) of Mediterranean container ports by employing the data envelopment analysis (DEA) approach. In recent years, maritime transportation volume has been increasing with the trend of trade globalization. This tendency has positive effects on container cargo flows. Accordingly, container terminals have incessant expansions to meet this growing demand. However, before making an investment in the terminal area or handling equipment, efficiency evaluation is required to reveal optimal throughput with the present resources. As the Mediterranean Basin is an important region for container transportation, there should be studies on the efficiency of container terminals in this region. In this study, relative efficiency analysis is conducted for Mediterranean container ports which are on the list of world busiest container ports based on the year 2016 data. The findings show that subjected container terminals can increase their output by 1,47 times without expanding their inputs. Efficiency is slightly increasing from eastern through the western part of this region.

Keywords: Mediterranean Region, Container Ports, Port Efficiency, Data Envelopment Analysis.

Akdeniz Konteyner Limanlarının Verimlilik Analizi

Öz

Bu çalışmanın amacı, veri zarflama metodu kullanarak, Akdeniz konteyner limanlarının teknik verimliliklerini (üretkenlik) değerlendirmektir. Son yıllarda, ticaretin küreselleşme eğilimi ile birlikte deniz taşımacılığı hacmi artmaktadır. Bu eğilim konteyner kargo akışını da olumlu yönde etkilemektedir. Buna bağlı olarak büyüyen talebi karşılamak için konteyner terminalleri aralıksız genişlemektedir. Fakat terminal alanına veya elleçleme ekipmanına yatırım yapmadan önce, mevcut kaynaklarla optimum üretim miktarını ortaya çıkarmak için verimlilik analizi gereklidir. Akdeniz Körfezi konteyner taşımacılığı için önemli bir bölge olduğundan, bu bölge için konteyner terminallerinin etkinliği konusunda çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmada, 2016 yılı verilerine göre dünyanın en yoğun konteyner limanları listesinde bulunan Akdeniz konteyner limanları için göreceli verimlilik analizi yapılmıştır. Bulgular gösteriyor ki, çalışmaya dahil edilen konteyner terminalleri girdilerini genişletmeden çıktılarını 1,47 kat artırabilir. Ayrıca verimlilik bu bölgenin doğusundan batı bölümüne doğru biraz artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akdeniz Bölgesi, Konteyner Limanları, Liman Verimliliği, Veri Zarflama Analizi.

1. Introduction

Importance of maritime transportation has risen with the recent trend of trade globalization. There should be worldwide integrated transportation services to meet this global demand. In this point of view, shipping lines remain their position as the backbone of the global economy[1]. Besides, container transportation has increasingly come into prominence by courtesy of its various technical and economic advantages over conventional transportation modes[2]. Those benefits belong to its improved port production capabilities and the crucial interface between sea and inland transportation.

Accordingly, this global trend has also effect on Mediterranean region. Containerization has continuous growth in this region and contributes to socio-economic developments[3]. By 2021, the capacity of container terminals in Mediterranean region has a potential to increase by 63% via expansion of existing terminals and new projects[4]. On the other hand, there have been environmental and localized socio-economic imbalances and increasingly complex challenges to policy, opportunities, and risks in this region [3]. Port competition in the region can provide balances, improve performance, and stabilize challenges. To create a competitive environment, measurement of port efficiency is a potential management tool[5]. It also creates a critical response for enlightening port planning and operations for regional and national aspects[6].

Considering the productivity analyzes, the data envelopment analysis (DAE) and the stochastic frontier analysis (SFA) are the most used methods for container ports [7]. SFA performs parametric testing while DEA uses the non-parametric method. Referring to the researches in the literature, many researchers have preferred to use DEA because of its capacity for handling multiple inputs and outputs with independent

production function specification [8].

Port efficiency analysis covering the Mediterranean region can be found in the literature[9; 10]. However, they do not deal with container ports efficiencies based on terminals specifically. Besides, above-mentioned studies are conducted with data between 1998 and 2012. An in-house productivity analysis with recently available data for container terminals will support decision makers in terms of port efficiency oriented future investment plans. Hence, they can establish appropriate competitive strategies for sustainable global trade. There are 42 ports in the region with a total of 98 container terminals. The total annual Twenty-Foot Equivalent Unit (TEU) throughput of those terminals is around 60 million in 2016[11]. When we look at the Mediterranean container ports which are among the world's busiest container ports in 2016[12], total annual TEU amounts of those ports (approx. 38.5 million) constitute 64% of the total TEU throughput at all 42 ports in the region. In addition, these ports have a homogeneous distribution in this region.

Existing terminals in the South European part of the West Mediterranean hold a share of 52% of the total capacity and Levant countries are coming second with 33%[11]. Hence, container ports in the list of busiest ports are mostly in those mentioned areas[4]. In order to represent the Mediterranean region, an efficiency study is considered to be meaningful to be carried out on container ports listed in the world's top 100 container ports. Because selected busiest ports cover 74% of the total TEU throughput of those leading parts. In this context, an efficiency analysis has been conducted using DEA among 14 Mediterranean ports (28 container terminals) in the world's busiest container ports list[12].

The article is organized as follows. Section 2 is a literature review of previous

the studies on efficiency analysis of container ports. Section 3 outlines the methodology used in the analysis, Section 4 consists of definitions of input & output variables and Section 5 gives the results of the analysis. Final section remarks the implications and concludes the article.

2. Literature Review

The literature includes many studies which are related to container terminal efficiency analysis. These researches are mostly carried out on container ports in the same region such as Norway, United Kingdom, Italy, Spain, Portugal, Greece, Japan, Korea, Europe, United States, Asia-Pacific, Vietnam, Mexico, India, East Africa, Black Sea and etc. [7; 13]. Among these studies, there exist two significant studies dealing with container port efficient in Mediterranean region. One applies cross-sectional DEA approach by using 2008 data [10], the other one utilizes panel DEA approach with the data of 1998 - 2012 [9]. Both of above-mentioned studies analyze the efficiency of container ports without dealing with their terminals specifically. Additionally, some main studies for efficiency analysis are conducted to handle European [6] and Turkish [14] container ports including only a few Mediterranean Ports. Relative productivity analysis for only Mediterranean container terminals is considered to be useful for evaluating further investments to create a competitive environment.

Traditionally, the port efficiency has been assessed by measuring cargo handling productivity. One of them is a single factor based productivity [15] while another one is based on comparing tangible condition with optimum throughput over a certain time period [16]. Moreover, there exist methods originated from the estimation of a port cost function [17] and the computing of the total factor productivity [18]. Additionally, multiple regression analysis based port

performance and efficiency estimation models are applied in the literature [19]. However, methods based on calculations of relative efficiency with respect to productive activities are growing recently. Especially, there have been developments in non-parametric frontier methods for many fields including transportation services [20]. De Borger, 2002 [12] advocates that the frontier models are widely employed in the transportation sector, especially for productivity and efficiency analysis.

In the literature mainly two frontier methods, Data Envelopment Analysis (DEA) and Stochastic Frontier Analysis (SFA), are applied for the estimation of port productivity and performance analysis. Over the past few years, DEA becomes one of the most prominent methods to measure efficiency, with its several applications to the seaport industry [2; 5; 7; 21-25]. Furthermore, cross-sectional data seem to be more frequently used in comparison to panel data [7]. For this reason, this paper focuses on the application of DEA with cross-sectional data as a convenient systematic means to compute the relative efficiency of Mediterranean container terminals which are on the list of world's busiest container ports [12].

3. Methodology

DEA is known as a nonparametric method to estimate relative efficiency of a Decision-Making Unit (DMU) using various inputs and outputs of a system. A DMU is determined as efficient when any increase of an output induces any increase in at least one input or any reduction in at least one other output. Otherwise, any decrease of input causes any decrease in at least one output or any rise in at least one other input.

Formally, let s show the population of productive units DMU1, DMU2, ..., DMUs. Each unit produces k outputs while consuming l inputs. Let us write an input

matrix $X=(x_{mn}, m=1, 2, \dots, k, n=1, 2, \dots, s)$ and an output matrix $Y=(x_{ml}, m=1, 2, \dots, l, n=1, 2, \dots, s)$. The φ -th line (i.e. X_φ and Y_φ) of related matrixes hence indicates enumerated inputs and outputs of unit DMU $_\varphi$. Then the formula for expressing the efficiency rate of each unit may be identified as:

$$\frac{\text{weighted sum of outputs}}{\text{weighted sum of inputs}} = \frac{\sum_{m=1}^l u_m y_{mq}}{\sum_{n=1}^k v_n x_{nq}} \quad (1)$$

where:

$v_n, n=1, 2, \dots, k$, are weights assigned to n-th input

$u_m, m=1, 2, \dots, l$, are weights assigned to m-th output

Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR) [26] and Banker, Charnes, and Cooper (BCC) are leading approaches among other DEA models [27]. The DEA-CCR model is based on constant returns to scale approach so that this brings the advantage of proportional scale change among observed productivities. Conversely, DEA-BCC model can be shown in a piecewise linear convex frontier on the graph by courtesy of enabling variable returns to scale.

On the other hand, DEA models can be clustered as input oriented and output oriented. Depending on the strategic actions for each specific field, the proper oriented approach is needed to be selected and applied. Occasionally, container terminals encounter building a new terminal to increase their capacity. With the development of global trade, many container ports are needed to revise their production capacity to ensure sustainability of their competitive edges. In that respect, this study employs output-oriented model to provide a comprehensive benchmark for Mediterranean container ports.

In this study, as output-oriented DEA is applied, the model seeks to maximize proportions of outputs while inputs' proportions remain stationary. Linear programming techniques are utilized for output oriented models, which has diverse

constraints based on the employment of DEA-CCR or DEA-BCC. Cooper provides a mathematical explanation for various DAE models with input/output-oriented approach [20]. Scale efficiency for each DMUs is obtained from technical efficiencies, originated from the DEA-CCR and DEA-BCC and given by;

$$SE_i = U_{CCR,i} / U_{BCC,i} \quad (2)$$

where $U_{CCR,i}$ is the technical efficiency of th DMU obtained by CCR

where $U_{BCC,i}$ is the technical efficiency of th DMU obtained by BCC

When $SE_i=1$, the DMU is scale efficient and when $SE_i<1$, the DMU is scale inefficient [19]. Scale inefficient DMU can be identified as not only decreasing return to scale (DRS) but also increasing returns to scale (IRS). IRS or DRS is determined by sum of weights subject to the specification of CCR model. If this sum is less than one, DMU is observed as DRS. If this sum is greater than one, DMU is observed as IRS. Else sum of weights is equal to one, DMU is observed as a constant return to scale (CRS).

4. Definitions of Input & Output Variables and Data

Reflecting realistic aspects of container port production is crucial for identifying output and input variables. Port production of a container terminal essentially depends on the efficient use of land, equipment, and labor [5]. In this study, total quay length and the terminal area are considered to delegate land criteria where the number of quay gantry cranes, yard gantry cranes and straddle carriers substitute terminal equipment parameter. Due to the unavailable information on labor data, it is not included as an input variable to prevent its potential deviation effect on results. Initial test shows that there is a large correlation between yard gantry cranes and straddle carriers at 0.88; thus, the number

of straddle carriers is excluded as an input variable in the final analysis [28].

Besides, container throughput is widely accepted and definitely the most important index of port or terminal output [29]. While relatively assessing activity level, size or investment magnitude of container ports, throughput is treated as an output in almost all previous studies. Also, the production capacity of the container terminal is always presented by their annual throughout as it is suitable for analytic calculations. Final established model based on input and output variables are shown in Figure 1.

The sample comprises 14 Mediterranean container ports which are on Lloyd's

List One Hundred Container Ports[12]. Subjected container ports comprise many container terminals (e.g., ALTAŞ Ambarlı container port includes Marport, Kumport, Mardaş terminals). In that respect, the sample of research includes a total of 28 terminals. This sample size was determined according to recommendations on determining the minimum sample size to estimate parameters in the model being tested [30]. As a general rule used in the literature, number of DMUs should be at least two times the number of total inputs and outputs[31].

All input and output data are obtained by searching ports' official websites [32-59] and

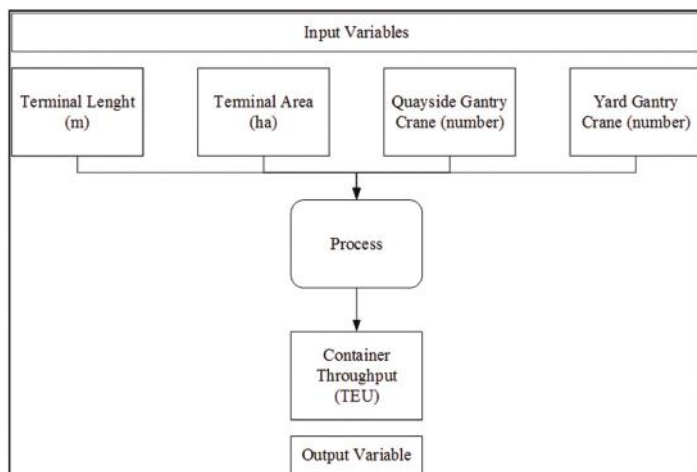


Figure 1. Diagram for Established DEA Model

Table 1. Summary Statistics for the Sample

Criteria	Output	Inputs			
	Container throughput (TEU)	Terminal length (m)	Terminal area (ha)	Quayside gantry cranes (number)	Yard gantry cranes (number)
Mean	1375422,3	1438,9	53,2	11,6	28,5
SD	953303,8	697,9	34,1	6,3	19,5
Minimum	70000,0	526,0	14,0	3,0	1
Maximum	3532986,0	3400,0	160,0	28,0	66

e-mailing ports' authorities. Besides, relevant output data (TEU) for each container port is cross-checked via 2017 edition of the Lloyd's List One Hundred Container Ports [12]. This edition of Lloyds' List top 100 container ports uses total handled TEU in 2016 to compare container ports with each other. Gathered data serves all kind of detailed information annually from subjected ports. All essential statistics for the whole sample are summarized in Table 1.

5. Results of Analysis

The software MaxDEA Basic [60] is utilized to solve the established model. CCR and BCC models are employed to evaluate the efficiency of container terminals as there exists no available information on the returns to scale of the port production function. Eq. 2 – which is presented in the previous section – is applied to calculate scale efficiency of each terminal.

As indicated in Table 2, DEA-BCC model estimates average efficiency higher than the DEA-CCR model. Average values derived from BCC equal to 0,78 while it is 0,68 by CCR. Also, the index value of 1,00 means perfect efficiency. Respectively, twelve DMUs are estimated as efficient according to DEA-BCC and there are five efficient DMUs according to DEA-CCR. The DEA-CCR model gives information purely based on technical and scale efficiency and assumes CRS. Thus, the scale of observed productivities can be proportionally up or down [61]. On the other hand, The DEA-BCC model assumes VRS to identify technical efficiency and present graphically a piecewise linear convex frontier [62]. So that DEA-BCC presented more efficient container terminal than DEA-CCR. The one-way analysis of variance (ANOVA) is employed to determine whether there exist any noticeable differences between efficiency values derived from DEA-BCC and DEA-CCR analyses. Results show that the efficiency rankings estimated by these

two different models are not significantly different from each other ($F = 1,8$) at the level of 0,05 (sig. level = 0,2).

Spearman's rank order correlation coefficient for efficiencies obtained from DEA-BCC and DEA-CCR is calculated as 0,83 at the significant level of 0,01. The positive and high Spearman's rank order correlation coefficient shows that those two analyses have similar efficiency rankings. A combination of ANOVA and Spearman's rank order correlation coefficient indicates that both models bring similar efficiency evaluations and the same pattern across DMUs.

The average efficiency of container terminals obtained by employing the DEA-CCR model is calculated as 0,68. As it is seen, the related terminals can averagely boost their outputs to 1,47 ($=1/0,68$) times more efficient when the inputs are same. Empirical results indicate that there exists a significant amount of lost in container production within this sample. However, this inference depends on the convenient production scale and approaches.

Table 2 also shows the returns to scale properties of port production for each subjected terminals. Returns to scale phenomenon can be increasing, decreasing or constant. For example, it is considered to be increasing when a proportional increase in all the inputs leads to a more proportional increase in at least one output. The proportional increase of inputs are symbolized by γ and a proportional increase of outputs are presented by σ . When σ value is greater than γ value, production functioning of the terminal is considered as increasing returns to scale (IRS) and if $\sigma < \gamma$, decreasing returns to scale (DRS). In case of equality ($\sigma = \gamma$), there exists a CRS. Among the 28 terminals, 5 of them exhibit CRS, 7 of them exhibit IRS, and 16 of them have DRS.

Container ports can be classified as large or small size, based on if the output is below or above of the average throughput.

According to this separation, large container terminals (classified as having annual container throughput of more than 1,4 million TEU), pretend as a combination of DRS (11) and CRS (5). On the other hand, small size terminals (classified as having annual container throughput of less than 1,4 million TEU) pretend as a combination of DRS (5) and IRS (7). This implies that large ports require heavy investments and advanced equipment to raise the technical efficiency while ports with lower throughput levels require a minimum scale of investments. Large ports encounter physical constraints and potential limits for further growth. Conversely, small ports do not encounter any difficulty against large ports in order to be capable of finding out capital resources for infrastructure investment.

In Figure 2, the relationship between efficiency rankings (between 0 to 1) and production scales (TEU) is plotted. It indicates that larger scale of production leads higher efficiency scores. Furthermore, the average technical efficiency of large ports based on both CRS and VRS models (0,85:0,91) are higher

than the average technical efficiency of small ports (0,45:0,60). One can infer from this tendency that production scale directly affects the efficiency of a terminal.

Figure 3 shows the average efficiency and total annual throughput of container terminals under study located in different regions of Mediterranean. While Malta is the most efficient based on CRS model, Morocco and Portugal have higher efficiency than the other countries based on VRS model. Besides, Israel is the lowest one based on both CRS and VRS models. Also, one can infer from the figure that productivity scores are noticeably increasing while moving from eastern part through the western part of Mediterranean. There should be an important caution to overview this result that all container terminals were not included in the sample due to the concept of research and data inaccessibility. Thus our sample size may lead to small negative or positive deviation on the results. However, this finding is fascinating that regional characteristics would influence the level of efficiency and comparative competency.

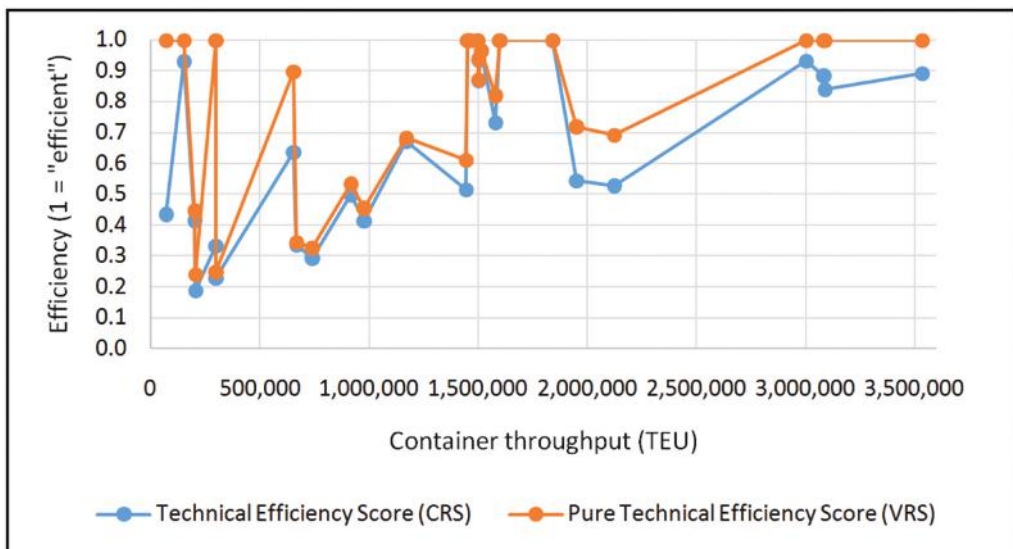


Figure 2. The Relationship between Efficiency Score and Production Scale (TEU)

Table 2. DEA-CCR and DEA-BCC Models Based Terminal Efficiencies

Country	Port	Terminal	DEA-CCR	DEA-BCC	Scale efficiency	Returns to scale
Egypt	Port Said	AQCT ^a	0,50	0,53	0,94	Decreasing
		Suez Canal Container Terminal	0,53	0,69	0,76	Decreasing
	Alexandria	ACCHT ^b	0,41	0,45	0,91	Decreasing
		AICT ^c	0,64	0,90	0,71	Increasing
Greece	Piraeus	Piraeus Container Terminal (PCT)	0,89	1,00	0,89	Decreasing
		Piraeus Port Authority (PPA)	0,19	0,24	0,78	Increasing
Israel	Ashdod	Ashdod Port Company Ltd	0,52	0,61	0,84	Decreasing
Italy	Genova	Genoa Port Terminal (Spinelli Group)	0,93	1,00	0,93	Increasing
		Messina Terminal	0,41	0,45	0,93	Increasing
		PSA Voltri-Prà	0,73	0,82	0,90	Decreasing
		Southern European Container Hub	0,33	1,00	0,33	Increasing
		Terminal San Giorgio (Gavio group)	0,43	1,00	0,43	Increasing
	GioiaTauro	MCT ^d	0,84	1,00	0,84	Decreasing
Malta	Marsaxlokk	Marsaxlokk Container Terminals	0,88	1,00	0,88	Decreasing
Morocco	Tanger Med	APM Terminals Tangier	0,94	0,94	1,00	Decreasing
		EurogateTanger	1,00	1,00	1,00	Constant
Portugal	Sines	Terminal XXI	0,97	0,97	1,00	Decreasing
Spain	Algeciras	Algeciras APM Terminals	0,93	1,00	0,93	Decreasing
		Total Terminal International Algeciras	0,87	0,87	1,00	Decreasing
	Barcelona	APM Terminals Barcelona	0,29	0,33	0,89	Decreasing
		BEST ^e	1,00	1,00	1,00	Constant
	Valencia	APM Terminals Valencia	0,67	0,68	0,98	Decreasing
		MSC Terminal Valencia	1,00	1,00	1,00	Constant
		Noatum Container Terminal Valencia	0,55	0,72	0,76	Decreasing
Turkey	Ambarlı	Mardaş	0,23	0,25	0,92	Increasing
		Marport	1,00	1,00	1,00	Constant
		Kumport	0,34	0,35	0,97	Decreasing
	Mersin	Mersin International Port	1,00	1,00	1,00	Constant

^aAbbas Quay Container Terminal (Port Said Container & Cargo Handling),
^bAlexandria Container and Cargo Handling Company,
^cAlexandria International Container Terminals,
^dMedcenter Container Terminal (Contship Italia Group),
^eBarcelona Europe South Terminal (Hutchison Port Holdings)

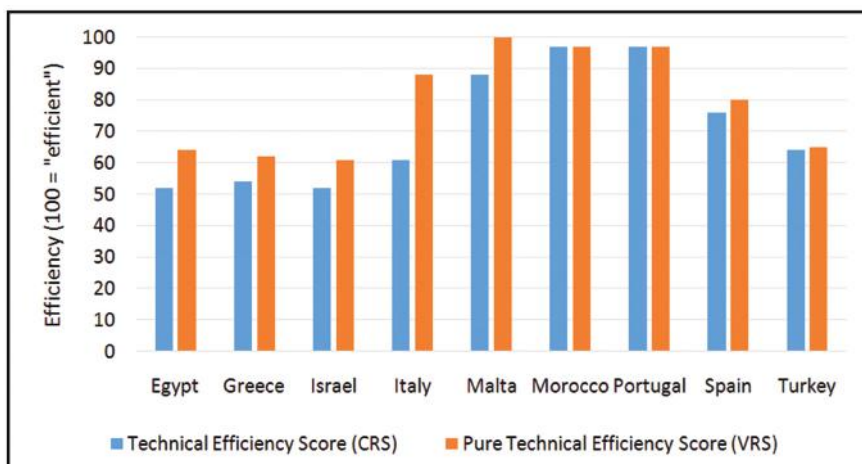


Figure 3. Productivity Comparison Based on Average Efficiency Scores of Countries' Container Terminals

6. Conclusion

In this paper, DEA analysis is employed to estimate the relative efficiency of Mediterranean's leading container ports which are on the list of the world's top 100 busiest container ports. For this purpose, basics of DEA were explained and input and output variables are defined through the container terminal production characteristics. Data based on 2016 statistics are collected from 28 leading container terminals across 9 Mediterranean countries to calculate individual efficiency scores for each terminal.

The average efficiency of those container terminals is calculated as 0,68 (assuming constant returns to scale) and 0,78 (assuming variable returns to scale). Generally, there is significant inefficiency in Mediterranean basin. In other words, these results show that terminals in this region can improve the level of their output by up to 1,47 times while using the same inputs.

It has been also found that majority of the mentioned container terminals incline to DRS, while some container terminals display CRS and IRS characteristic. Also, most of the container terminals with larger production scales are in conjunction with higher efficiency values. These results indicate that decision-makers who have

attendency to make an investment on large container ports in Mediterranean region should be careful and aware of terminals' resistance to enhancing their production scale. On the other hand, terminals which have small throughput encounter fewer difficulties, have more potential to grow and produce fewer risks than large ports.

Furthermore, it has been found in this research that container terminals in the western part of Mediterranean have higher efficiency than eastern ones. From east to west, productivity scores are slightly increasing. These findings are interesting that regional characteristics and geographical position would influence the level of efficiency and comparative competency. But there should be more detailed research to test these findings due to aforementioned reasons.

References

- [1] UNCTAD. (2013). Recent developments and trends in international maritime transport affecting trade of developing countries. Paper presented at the United Nations Conference on Trade and Development, Geneva.
- [2] Chang, S. M., Wang, J. S., Yu, M. M., Shang, K. C., Lin, S. H., & Hsiao, B. (2015). An application of centralized

- data envelopment analysis in resource allocation in container terminal operations. *Maritime Policy & Management*, 42(8), 776-788. doi:10.1080/03088839.2015.1037373
- [3] Medda, F., & Carbonaro, G. (2007). Growth of container seaborne traffic in the Mediterranean basin: Outlook and policy implications for port development. *Transport Reviews*, 27(5), 573-587. doi:10.1080/01441640701322677
- [4] Dynamar, B. V. (2013). Container Throughput & Terminal Capacity in the Mediterranean. Retrieved from
- [5] Tongzon, J. (2001). Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 35(2), 107-122. doi:10.1016/S0965-8564(99)00049-X
- [6] Cullinane, K. P., & Wang, T.-F. (2006). The efficiency of European container ports: A cross-sectional data envelopment analysis. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 9(1), 19-31.
- [7] Schøyen, H., & Odeck, J. (2013). The technical efficiency of Norwegian container ports: A comparison to some Nordic and UK container ports using Data Envelopment Analysis (DEA). *Maritime Economics & Logistics*, 15(2), 197-221.
- [8] De Oliveira, G. F., & Cariou, P. (2011). A DEA study of the efficiency of 122 iron ore and coal ports and of 15/17 countries in 2005. *Maritime Policy & Management*, 38(7), 727-743.
- [9] Elsayeh, M.-E. (2015). The Impact of Port Technical Efficiency on Mediterranean Container Port Competitiveness. University of Huddersfield,
- [10] Polyzos, S., & Niavis, S. (2013). Evaluating port efficiency in the Mediterranean. *International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies* 7, 5(1), 84-100.
- [11] TheWorldBankGroup. (2017). Container port traffic (TEU: 20 foot equivalent units). Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/IS.SHP.GOOD.TU>, Access Year 2017.
- [12] LLOYD'sLIST. (2017). Top 100 Container Ports 2017. Retrieved from <https://maritimeintelligence.informa.com/content/top-100-ports>
- [13] ATEŞ, A., ESMER, S., ÇAKIR, E., & BALCI, K. (2013). Karadeniz konteyner terminallerinin göreceli etkinlik analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 5(1).
- [14] Ateş, A., & Esmer, S. (2014). Farklı Yöntemler ile Türk Konteyner Limanlarının Verimliliği. *Verimlilik Dergisi*, 1, 61-76.
- [15] De Monie, G. (1987). Measuring and evaluating port performance and productivity. UNCTAD Monograph on Port Management. Retrieved from
- [16] Talley, W. K. (1988). Optimum throughput and performance evaluation of marine terminals. *Maritime Policy & Management*, 15(4), 327-331.
- [17] Neufville, R. D., & Tsunokawa, K. (1981). Productivity and returns to scale of container ports. *Maritime Policy and Management*, 8(2), 121-129.
- [18] Kim, M., & Sachish, A. (1986). The structure of production, technical change and productivity in a port. *The Journal of Industrial Economics*, 209-223.
- [19] Tongzon, J. L. (1995). Determinants of port performance and efficiency. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 29(3), 245-252.

- [20] Holvad, T. (2001). An Analysis of Efficiency Patterns for A Sample of Norwegian Bus Companies. Retrieved from
- [21] Barros, C. P. (2006). A benchmark analysis of Italian seaports using data envelopment analysis. *Maritime Economics & Logistics*, 8(4), 347-365.
- [22] Rios, L. R., & Maçada, A. C. G. (2006). Analysing the relative efficiency of container terminals of Mercosur using DEA. *Maritime Economics & Logistics*, 8(4), 331-346.
- [23] Tongzon, J., & Heng, W. (2005). Port privatization, efficiency and competitiveness: Some empirical evidence from container ports (terminals). *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(5), 405-424.
- [24] Turner, H., Windle, R., & Dresner, M. (2004). North American containerport productivity: 1984–1997. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(4), 339-356.
- [25] Cullinane, K., & Wang, T. (2010). The efficiency analysis of container port production using DEA panel data approaches. *OR spectrum*, 32(3), 717-738.
- [26] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- [27] Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.
- [28] Jenkins, L., & Anderson, M. (2003). A multivariate statistical approach to reducing the number of variables in data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 147(1), 51-61.
- [29] Brooks, M. R., & Cullinane, K. (2006). Devolution, port governance and port performance (Vol. 17): Elsevier.
- [30] Zhang, Y., & Bartels, R. (1998). The effect of sample size on the mean efficiency in DEA with an application to electricity distribution in Australia, Sweden and New Zealand. *Journal of productivity analysis*, 9(3), 187-204.
- [31] Lin, L., & Tseng, C. (2007). Operational performance evaluation of major container ports in the Asia-Pacific region. *Maritime Policy & Management*, 34(6), 535-551.
- [32] Suez Canal Container Terminal. Retrieved from <https://scct.com.eg/>, Access Year 2016.
- [33] Alexandria Container and Cargo Handling Company. Retrieved from <http://www.alexcont.com/>, Access Year 2016.
- [34] Alexandria International Container Terminals. Retrieved from <http://www.aict.com.eg/>, Access Year 2016.
- [35] Port Said Container & Cargo Handling. Retrieved from <http://www.pscchc.com/>, Access Year 2016.
- [36] Piraeus Container Terminal. Retrieved from <http://www.pct.com.gr/>, Access Year 2016.
- [37] Piraeus Port Authority. Retrieved from <http://www.olp.gr/en>, Access Year 2016.
- [38] Ashdod Port Company. Retrieved from <https://www.ashdodport.co.il/english/pages/homepage.aspx>, Access Year 2016.
- [39] Genoa Port Terminal. Retrieved from <http://www.gruppospinelli.com/index.php/en/>, Access Year 2016.
- [40] Messina Terminal. Retrieved from http://www.imterminal.it/index_en.html, Access Year 2016.
- [41] PSA Voltri-Prà. Retrieved from <https://www.portsofgenoa.com/en>, Access Year 2016.

- [42] Southern European Container Hub. Retrieved from <https://www.portsofgenoa.com/en>, Access Year 2016.
- [43] Terminal San Giorgio. Retrieved from <http://www.grupposcerni.it/>, Access Year 2016.
- [44] Medcenter Container Terminal. Retrieved from <https://www.contshipitalia.com/en/subsidiaries/medcenter-container-terminal>, Access Year 2016.
- [45] Marsaxlokk Container Terminals. Retrieved from <http://www.maltafreeport.gov.mt/index.html>, Access Year 2016.
- [46] Tangier APM Terminals. Retrieved from <http://www.tmpa.ma/en/>, Access Year 2016.
- [47] Eurogate Tanger. Retrieved from <http://www.eurogate-tanger.com/About-us/EUROGATE-Tanger>, Access Year 2016.
- [48] Sines Container Terminal. Retrieved from <http://www.portodesines.pt/en/>, Access Year 2016.
- [49] Algeciras APM Terminals. Retrieved from <http://www.apba.es/en/containers>, Access Year 2016.
- [50] Total Terminal International Algeciras. Retrieved from <http://www.apba.es/en/containers>, Access Year 2016.
- [51] Terminals, B. A. Retrieved from https://www.tcbcn.com/web/tcb/inicio_e.htm, Access Year 2016.
- [52] Barcelona Europe South Terminal. Retrieved from <http://www.best.com.es/>, Access Year 2016.
- [53] Valencia APM Terminals. Retrieved from <http://www.tcv.es/>, Access Year 2016.
- [54] MSC Terminal Valencia. Retrieved from <https://www.msctv.es/>, Access Year 2016.
- [55] Noatum Container Terminal Valencia. Retrieved from <http://www.noatum.com/en/noatum-ports/valencia/>, Access Year 2016.
- [56] Mardaş. Retrieved from <http://www.mardas.com.tr>, Access Year 2016.
- [57] Marport. Retrieved from <http://www.marport.com.tr/anasayfa.html>, Access Year 2016.
- [58] Kumport. Retrieved from <http://www.kumport.com.tr/>, Access Year 2016.
- [59] Mersin International Port. Retrieved from <https://en.mersinport.com.tr/>, Access Year 2016.
- [60] RealworldSoft. (2017). Retrieved from <http://maxdea.com/MaxDEA.htm>,
- [61] Wang, T., & Cullinane, K. (2015). The Efficiency of European Container Terminals and Implications for Supply Chain Management. In *Port Management* (pp. 253-272): Springer.
- [62] Cullinane, K., Wang, T.-F., Song, D.-W., & Ji, P. (2006). The technical efficiency of container ports: comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(4), 354-374.



Tersanelerde Yaşanan Mesleki Risklerin Analizi için Bulanık Papyon Model Önerisi

Selçuk ÇEBİ, Esra İLBAHAR

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Türkiye
 scebi@yildiz.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9318-1135>
 eilbahar@yildiz.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4917-0022>

Öz

Tersanelerde yapılan üretim ağır sanayi üretimi olarak değerlendirilmektedir ve gemi üretiminin büyük bir bölümü, hâlihazırda proje tipi üretim olarak devam etmektedir. Çalışma ortamında yürütülen iş aktiviteleri ve çalışma ortam koşulları dikkate alındığında tersaneler en riskli sektörlerin arasında yer almaktadır. Tersanelerde yaşanan iş kazaları ve bu kazaların sonucunda ödenen maddi ve fiziki bedeller dikkate alındığında, tersanelerin hemen önlem alınması gereken riskli iş kollarından biri olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmamızda, tersanelerde meydana gelen iş kazalarının ve meslek hastalıklarının analizi ve ilgili risklerin azaltılması için bulanık küme, kural tabanlı çıkarım mekanizması, analitik hiyerarşi süreci ve papyon tekniklerini içeren entegre bir risk değerlendirme yöntemi önerilmiştir. Papyon yöntemi iş kazalarına neden olan mesleki risklerin analizi için literatürde kullanımı yaygın olarak tercih edilen bir tekniktir. Metot, riskin ortaya çıkmasına neden olan temel faktörlerin ve risk gerçekleştiğinde yol açacağı sonuçların analiz edilmesi için kullanılmaktadır. Çalışmamızda literatürden farklı olarak, papyon tekniği bulanık çıkarım mekanizmasıyla birleştirilmiştir. Bir kaza gerçekleştiğinde birbirinden farklı çeşitli olumsuz durumun ortaya çıkma ihtimali vardır ve bu ihtimallerden yalnızca biri gerçekleşir. Ancak, mevcut yöntemlerde risk derecesi belirlenirken yalnızca en olası sonucun şiddeti dikkate alınır. Önerilen yöntemde ise mevcut yöntemlerden farklı olarak, şiddet tüm olumsuz sonuçların gerçekleşme ihtimallerinin bir bileşkesi olarak dikkate alınarak risk derecesi belirlenir. Böylece, geliştirilen yöntem yardımıyla tanımlanan mesleki riskler tüm olası sonuçlar dikkate alınarak derecelendirilir. Önerilen yöntemin uygulaması bir tersanede yürütülen gemi inşa faaliyetlerine uygulanmış, üretim sürecindeki iş aktivitelerinin riskleri değerlendirilmiş, faaliyetlere ilişkin risk dereceleri belirlenerek sıralanmış ve risk azaltma için alınması gereken önlem tedbirleri tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Risk Analizi, Papyon Tekniği, Bulanık Mantık, Bulanık Çıkarım Mekanizması.

Proposing Fuzzy Bow-Tie Method for Assessment of Occupational Risks at Shipyards

Abstract

Production in the shipyards is considered as heavy industrial production, and majority of ship production is still performed in the form of project type production. Ship building is one of the riskiest regarding its activities and working conditions. The numbers of the occupational accidents and the results of the occupational injuries prove that urgent precautions should be taken for ship building industry. In this paper, an integrated risk assessment method including fuzzy sets, rule based inference system, analytic hierarchy process, and Bow-tie technique has been proposed to literature in order to consider and reduce

To cite this article: Çebi, S. ve İlbarhar, E. (2018). Tersanelerde Yaşanan Mesleki Risklerin Analizi için Bulanık Papyon Model Önerisi. *Journal of ETA Maritime Science*, 6(2), 141-157.

To link to this article: <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2018.30932>

occupational risks at shipyards. Bow-tie technique is widely preferred to use in analysis of occupational risks at workplace. This method is used in analyzing both the key factors that cause a risk to occur and the consequences of a risk. In the scope of this study, unlike the literature, the bow tie technique has been combined with the fuzzy inference system. When an accident takes place, there are likely to be various different outcomes, and it results in only one of these outcomes. However, the current risk assessment methods only consider the severity of the most likely outcome to predict risk magnitude. In this paper, as different from the currently used methods, the magnitudes of occupational risks are obtained by considering all the possible outcomes of a potential accident. The proposed approach has been applied for ship building process to rank risky activities, and preventive measures have been proposed to reduce risk levels.

Keywords: Risk Analysis, Bow-tie Technique, Fuzzy Logic, Fuzzy Inference System.

1. Giriş

Ülkemizde çeşitli sanayi kollarında gerçekleşen iş kazaları ve ortaya çıkan meslek hastalıklarının önlenmesine yönelik yürütülen çalışma ve araştırmaların sayısı her geçen gün artmakta ve çeşitli uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Organizasyonların emniyet kavramı ekseninde yürüttükleri faaliyetler, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası ile birlikte denetim ve kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Bu noktada, yönetmelik gereksinimlerinin iş sahalarına doğru ve etkin adaptasyonu, sürdürülebilir üretim açısından büyük önem arz etmektedir. Yasayla birlikte, endüstriyel organizasyonlar tarafından güvenilir risk analizlerinin sürekli olarak yapılması ve kaza önleyici dinamik tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu konuda yürütülecek ilgili çalışmaların tümünün sistematik bir şekilde yürütülmesine destek sağlayacak uygulanabilir bir yöntem ihtiyacı ortaya çıkmaktadır [1].

Dünya genelinde, tersanelerde yaşanan kazaların endüstrinin diğer kollarında rapor edilen kazalarla kıyaslandığında sayıca fazla olduğu çeşitli çalışmalarla rapor edilmiştir [2]. Türkiye’de yaşanan iş kazalarına ve meslek hastalıklarına ait istatistikleri irdelendiğinde, tersanelerde yaşanan kazaların sayısının azımsanmayacak oranda yüksek olduğu ve bu kazalarda ödenen maddi manevi (can kaybı, uzuv kaybı, iş görmezlik, tazminat

gibi) bedellerin de oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu kazaların hem işletmeye ve hem de ülkeye maddi ve manevi zararı oldukça yüksektir. Bu noktada, çalışma ortamında gerçekleşmesi muhtemel iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesi için işletmelerin risk analizlerini proaktif bir yaklaşım olarak etkin bir şekilde gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Böylece, çalışma ortamındaki muhtemel risklerin kontrol altında tutulması ve iş kazaları oluşmadan önlenmesi hedeflenmektedir. Tersane ortamında gerçekleşebilecek riskler oldukça ciddi olmasına rağmen, tersanelerde yaşanan iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesine yönelik literatürde yayımlanan hem uygulama hem de kavramsal çalışmaların sayısı sınırlıdır [1]. Bu nedenle, önerilen çalışmayla birlikte, hem literatürdeki bu boşluğun doldurulması hem de tersanelerde meydana gelen iş kazalarının ve meslek hastalıklarının analizi için entegre bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Kuramsal açıdan bakıldığında, literatürde risk değerlendirme için çeşitli teknikler mevcuttur ve bu teknikler, olayın meydana gelme olasılığının ve olay meydana geldiğinde yarattığı etkiye ilişkin şiddetin tahmini üzerine temellendirilmiştir. Öte yandan, işletmelerde yaşanan ve uzun süreli istirahat, uzuv kaybı ve ölüm gibi sonuçlara neden olan kazaların dışındaki diğer kazalara ilişkin kayıtlar sağlıklı olarak tutulamamaktadır. Ramak kala ve istirahat

gerektirmeyen yaralanmalarla sonuçlanan iş kazalarının kayıt altına alınmaması ve şiddeti ölçen somut bir değer birimi ya da doğrudan ölçüm yöntemi olmadığından çalışma ortamında gerçekleşen olayların olasılıkları ve şiddetleri kesin olarak tanımlanması zordur [1-4]. TÜİK kaynaklarına göre, 2016 yılında gemi yapımı ya da bakımı sırasında 2304 kişinin kısa süreli (en az bir gün) ve 61 kişinin de sürekli iş görmez raporu almasına neden olan iş kazası meydana gelmiştir [37]. Ramak kala ve istirahat gerektirmeyen kazaların sağlıklı bir şekilde kayıt altına alınmadığı düşünüldüğünde tersanelerde meydana gelen iş kazası potansiyelini ya da kazanın gerçekleşme ihtimalini öngörmek zordur. Risk değerlendirmesi sırasında üstesinden gelinmesi gereken bir diğer mesele ise olası bir kazanın sonucunun daha doğrusu şiddet boyutunun tahmin edilmesi gerekmektedir. Bazı kazaların sonucunda yaralanmalardan ölüme kadar varan çeşitli sonuçların ortaya çıkması muhtemeldir. Bu sonuçlardan hangisinin daha olası olabileceği yine uzman yargılarına göre değişmektedir. Bu nedenle, ilk kez bu çalışma kapsamında, işletmelerde meydana gelebilecek bir kazanın kök nedenlerini ve olası sonuçlarını analiz eden, olasılık ve şiddet tanımlarında esneklik sağlayan bulanık mantık temelli bir risk analizi yöntemi önerilmektedir. Önerilen yöntem papyon (Bow-Tie), bulanık analitik hiyerarşik süreci (Fuzzy/Bulanık AHP) ve bulanık çıkarım mekanizması (Fuzzy Inference System-FIS) tekniklerini kapsamaktadır.

İş kazaları konusunda yıllardır kronik problemler yaşayan tersaneler, çalışmanın uygulama alanı olarak belirlenmiştir. Önerilen yöntemi örneklendirmek amacıyla genel olarak bir tersanede yaşanan kazaların nedenleri ve olası kazanın sonuçları papyon analiz tekniği ile incelenecektir. Ardından, işletmede gerçekleşecek herhangi bir kazanın olası kök nedenlerinin gerçekleşme potansiyelleri ve kaza gerçekleştiğinde

ortaya çıkacak olası sonuçların analizi Bulanık AHP tekniğiyle yapılacaktır. Olası sonuç analizinde genel olarak benzer kazalar dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmaktadır. Son olarak ise kazanın ortaya çıkma potansiyeli ve kaza gerçekleştiğinde ortaya çıkacak olası sonuca bağlı olarak risk değeri FIS kullanılarak hesaplanacaktır.

Çalışmanın devamı şu şekilde organize edilmiştir; İkinci Bölümde konuyla ilgili literatürde yapılmış çalışmalar incelenirken Üçüncü Bölümde önerilen yöntem detaylarıyla sunulmuştur. Önerilen yöntemin tersaneler üzerine yapılan uygulaması Dördüncü Bölümde verilmiştir. Son olarak çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler Beşinci Bölümde anlatılmıştır.

2. Literatür Araştırması

Literatür incelendiğinde, iş sağlığı ve güvenliği kavramı çerçevesinde yer alan çalışmaların giderek yaygınlaştığı ve özellikle risk değerlendirme sürecinde yöntem esaslı çözüm arayışlarının sürdüğü görülmektedir. Buna rağmen, iş kazaları ve risk değerlendirme süreçleriyle ilgili olarak gemi inşaatı sektörüne dönük olarak literatürde kısıtlı sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar ve ele aldıkları konular şu şekilde özetlenebilir; Çebi ve diğ. [3] çalışmalarında, tersanelerde iş sağlığı ve güvenliği üzerine yapılacak risk analizlerinde, iş sağlığı güvenliği uzmanlarına karar desteği sunmak amacıyla web tabanlı bir karar destek sistemi (WBDSS) geliştirilmiştir. Kurt ve diğ. [5] çalışmalarında, gemi geri dönüşüm tesislerindeki gürültü kaynaklarını incelemiş, gürültü kaynaklarının iş sağlığı ve güvenliği açısından potansiyel etkilerini ölçmüş ve iyileştirme önerileri sunmuştur. Acuner ve Çebi [1] çalışmalarında, olasılık ve şiddet tanımlamaları konusundaki belirsizliklerin üstesinden gelmek amacıyla iş sağlığı ve güvenliği açısından risk değerlendirmesi için bulanık küme teorisine dayanan bir yöntem önermişlerdir.

Çalışmada ayrıca risk şiddeti, literatürden farklı olarak, çalışana, çevreye ve donanımına verilen zararın bir bileşkesi olarak değerlendirilmektedir. Önerilen modelin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla, Marmara Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir tersanede uygulama yapılmıştır. Schoyen ve diğ. [6] ve Hiremath ve diğ. [7] çalışmalarında, gemi geri dönüşüm tesislerinde gerçekleştirilen işlemlerin niteliğini, iş sağlığı ve güvenliğini ve çevresel etkilerini dikkate alarak geri dönüşümüne ilişkin standart bir planın nasıl hazırlanması gerektiğine ilişkin önerilerde bulunmuştur. Tsoukalas ve Fragiadakis [8] tersanelerde gerçekleşen iş kazalarının verilerini kullanarak, çalışma koşullarının mesleki yaralanma üzerine etkisini incelemek amacıyla Çok Değişkenli doğrusal regresyon ve genetik algoritma yöntemlerine dayanan bir model geliştirmişlerdir. Garmer ve diğ. [9] çalışmalarında gemi geri dönüşüm süreçlerinde gerçekleşen mesleki risklerin belirlenmesinde ve minimize edilmesinde üç aşamalı bir risk değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Özkök [10] tersane çalışmaları esnasında yaralanmalara ve ölümlere neden olan hataları ele almış ve hata türü ve etki analizi (FMEA) tekniğini kullanarak risk derecelerini belirlemiştir. Böylece, gemi üretim sürecinde gerçekleşen en riskli aktiviteleri ve iş istasyonlarını tanımlamıştır. Yun ve Park [11] tersanelerdeki forklift operasyonlarının risklerini ortadan kaldırmak ya da azaltmak amacıyla RFID/USN teknolojisi kullanarak endüstri güvenlik yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Mora ve diğ. [2] 2000-2010 yılları arasında yaşanan iş kazası kayıtlarını inceleyerek tersanelerde yaşanan kazaların şiddetini ortaya koymuş ve tersane iş süreçlerine yönelik önlem tedbirleri sunmuştur. Barlas [12] ise, 2000 ile 2010 yılları arasında tersanelerde meydana gelen ölümlü kazalar ele almış ve kazaların kök nedenlerini istatistiksel olarak analiz etmiştir. Barlas [13] yaptığı

bir diğer çalışmada ise, tersanelerde yaşanan ölümcül iş kazalarını AHP tekniğinden faydalanarak analiz etmiş ve sınıflamıştır. Jeong vd. [14] çalışmalarında, Kore'de faaliyet gösteren bir tersanenin 1992-2005 tarihleri arasındaki kayıtlarını ele almış ve üretim ve ofis ortamlarında çalışanların kansere yakalanma risklerini incelemiştir. Jacinto ve Silva [15] papyon analiz tekniğini kullanarak tersanelerdeki mesleki riskleri analiz etmişlerdir. Çelebi ve diğ. [16] tersanelerdeki iş sağlığı ve güvenliği risklerini araştırmak amacıyla İstanbul Tuzla bölgesinde faaliyet gösteren tersane süreçlerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Cherniack ve diğ. [17] çalışmalarında, tersanelerde el kol titreşimine maruz kalan çalışanların duyuşal sinir iletim hızlarını inceleyerek çalışanların mesleki risklerini analiz etmiştir. Mattorano ve diğ. [18], tersanelerdeki çalışanların maruz kaldıkları mesleki riskleri değerlendirerek tersanelerde uygulanması gereken iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerine ilişkin önerilerde bulunmuşlardır.

Tersanelere yürütülen faaliyetlere yönelik mesleki riskleri konu alan çalışmalar incelendiğinde, literatürde yayımlanan akademik çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Söz konusu çalışmalarda genellikle tersanelerde meydana gelen kazaların analiz edildiği ve bu kazaların nedenlerinin ya da türlerinin irdelendiği görülmektedir. Dolayısıyla yürütülen çalışmaların birçoğunun reaktif çalışma olduğu ve kazayı önlemeye yönelik proaktif çalışmaların sayısının oldukça az olduğu görülmektedir. Literatürde yer alan bazı çalışmaları özetlemek gerekirse, risk değerlendirmelerinin yapıldığı [1, 3, 10, 13], kazalar istatistiksel olarak analiz edildiği [2, 12, 14], kaza kök neden analizlerinin yapıldığı [11, 19, 20] çalışmalarının daha fazla yürütüldüğü görülmektedir. Çalışmalarda kullanılan yöntemler incelendiğinde ise daha çok kaza kayıtlarının

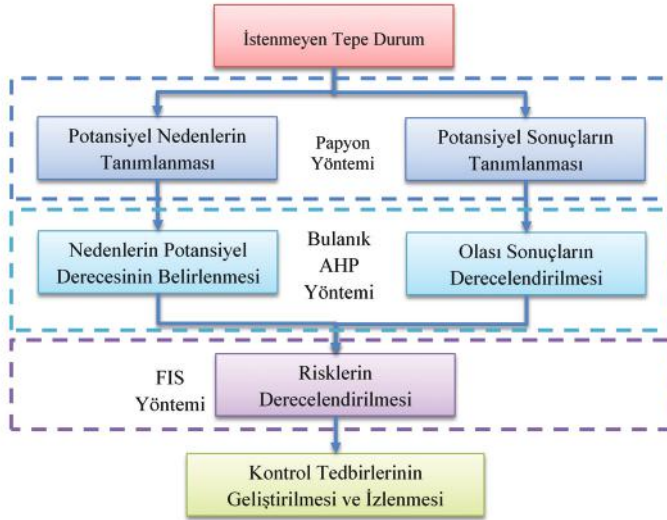
istatistiksel analiz edildiği ya da mevcut durum gözlemlerine dayanan çalışmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmaların bazılarında ise risk analizlerindeki belirsizliklerin değerlendirilmesi için bulanık küme teoreminden faydalandığı görülmektedir [1, 3, 36]. Bulanık küme teorisi belirsizlik içeren durumların analizi için literatüre önerilmiş ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [21]. Ayrıca literatür incelendiğinde, bulanık mantığın kaza analizinde ve farklı alanlardaki risklerin değerlendirilmesinde de başarıyla kullanıldığı çeşitli uygulamaların olduğu görülmektedir [22-28].

Risk değerlendirmesi üzerine literatüre önerilen teknikler incelendiğinde birçoğunun uzman yargılarına dayandığı ve olayın gerçekleşme ihtimali ile olayın sonucunda ortaya çıkan şiddetin büyüklüğünü dikkate alan teknikler olduğu görülmektedir [1]. Oysa, uzman yargılarına bağlı olarak risk derecesini sıklar çarpımla üreten tekniklerde risk derecelerinin dağılımlarının tutarsız bir değişkenlik gösterdiği bilinmektedir [29]. Bu nedenle, uzman yargılarına bağlı olarak risk dereceleri

hesaplanırken bulanık küme teorisinden faydalanmak daha tutarlı sonuçlar üretir. Risk derecelerinin hesaplanmasında literatürde değinilmeyen bir diğer nokta ise birçok kazanın sonucunda ortaya çıkan şiddetin değişkenliğidir. Örneğin, yüksekten düşme nedeniyle yaralanma gibi sonuçlar olabildiği gibi ölümle neticelenen sonuçlar da olabilmektedir. Burada şiddet tamamen uzman algısına ve yargısına göre değişmektedir. Bu nedenle, çalışmamızda risk dereceleri belirlenirken hem bulanık küme teorisinden faydalanan hem de olası kazanın sonucunda ortaya çıkabilecek farklı risk şiddetlerini değerlendirebilecek bir yöntem önerilmektedir.

3. Önerilen Yöntem

Çalışma kapsamında kaza analizi ve risk derecelerinin belirlenmesi için Papyon analizi, Bulanık AHP ve FIS yöntemlerini içeren bütünleşik bir model önerilmektedir. Papyon Yöntemi olası bir kazanın kök nedenlerini ve tetikleyeceği sonuçları analiz etmek amacıyla kullanılacaktır. Bulanık AHP yönteminden ise ilgili kazaya neden olabilecek kök nedenlerin kazaya neden olabilirlilik derecesini ortaya



Şekil 1. Önerilen Yöntemin Şematik Gösterimi

koymak ve kaza gerçekleştiğinde meydana gelebilecek olası sonuçların ağırlıklarını tanımlamak amacıyla faydalanılacaktır. FIS yöntemi ise kazaya sebebiyet verme potansiyele sahip kök nedenin kazaya sebebiyet verme durumu ve olası sonucuna bağlı olarak ilgili risk için risk derecesinin belirlenmesinde kullanılacaktır. Böylece belirlenen risk derecelerine göre riskler en önemliden önemsizye doğru sıralanarak kontrol tedbirlerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen yöntemin şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir.

Adım 1. İstenmeyen Tepe Durumun Belirlenmesi: Analizin ilk adımı tehlikeli durumun tespitiyle başlar. Sistemde aynı anda ya da farklı zaman dilimlerinde farklı tehlikeli durumlar söz konusu olabilir. Bu durumda, analizin sistemde yer alan her bir tehlikeli durum için ayrı ayrı yapılması gerekir.

Adım 2. Potansiyel Nedenlerin Belirlenmesi: İlk adımda tanımlanan her bir tehlikeli durum için tehlikenin ne olduğu, nerede ve ne zaman gerçekleşebileceği tanımlanır. Tehlikenin ortaya çıkmasına neden olabilecek kök nedenler “neden”, “nasıl”, “olursa ne olur” soru kalıplarıyla tahmin edilmeye çalışılır. Böylece tehlikeli durumun ortaya çıkmasına neden olabilecek kök nedenler hiyerarşik olarak tanımlanır.

Adım 3. Potansiyel Sonuçların Belirlenmesi: Analizin devamında, tehlikeli olayın gerçekleşmesiyle birlikte ortaya çıkabilecek ardışık olumsuz olaylar tanımlanır. Olumsuzluk zincirini başlatacak ardışık olayların tanımlanmasında “olursa ne olur” sorusu sorularak analiz gerçekleştirilir.

Adım 4. Potansiyel Nedenlerin Derecelendirilmesi: Adım 2’de belirlenen potansiyel nedenler Bulanık AHP yöntemi kullanılarak hangi nedenin daha olası olduğu belirlenir. Bu işlem sırasında kullanılan bulanık AHP yönteminin adımları şu şekildedir [30-32]; İkili karşılaştırmaları

gösteren matris C_k olsun.

$$\tilde{C}_k = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{c}_{12} & \dots & \tilde{c}_{1n} \\ \tilde{c}_{21} & 1 & \dots & \tilde{c}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{c}_{n1} & \tilde{c}_{n2} & \dots & \tilde{c}_{nn} \end{bmatrix}, k=1, 2, 3, \dots, K \text{ ve } i=1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

Burada \tilde{C}_k k’inci uzmana ait ilgili kök nedenlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisidir. Matriste \tilde{C}_{ij} ile gösterilen değer i’inci kök nedenin j’inci kök nedene oranla tepe olaya neden olma kuvvetinin dilsel ifadesini göstermektedir ve sayısal değeri aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$c_{ij} = \begin{cases} i > j, & (1,1,3), (1,3,5), (3,5,7), (5,7,9), (7,9,9) \\ i = j & (1,1,1) \\ i < j, & (1,1,3)^{-1}, (1,3,5)^{-1}, (3,5,7)^{-1}, (5,7,9)^{-1}, (7,9,9)^{-1} \end{cases} \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitlikte verilen bulanık sayılara ait dilsel ölçek Tablo 1’de açıklanmıştır [32].

Tablo 1. İkili Karşılaştırma için Kullanılan Dilsel Ölçek [32]

Dilsel İfade	Kısaltma	Bulanık Değer
Eşit önemli	(Eq)	(1,1,3)
Zayıf önemli	(Wk)	(1,3,5)
Önemli	(Es)	(3,5,7)
Oldukça Önemli	(Vs)	(5,7,9)
Kesinlikle önemli	(Ab)	(7,9,9)

Bulanık ağırlıklar aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{c}_{i1} \otimes \tilde{c}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{c}_{in})^{1/n} \quad (3)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1} \quad (4)$$

Denklemden \tilde{r}_i i’nci kök nedenin diğer kök nedenlere kıyasla hesaplanan geometrik ortalama değeri ve \tilde{w}_i ise i’nci kök nedenden kaynaklı istenmeyen tepe durumunun gerçekleşme derecesini göstermektedir. Denklem (3) ve (4), tanımlanan her bir kök neden için tekrarlanır ve ilişki matrisi oluşturulur. Eğer değerlendirme sürecinde

birden fazla uzman varsa ve uzman yargıları konsensüs sağlanarak toplanamıyorsa her bir uzmana ait ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Ardından geometrik ortalama alınmak kaydıyla ortak karar karşılaştırma matrisi elde edilir. Ardından 3 ve 4 numaralı denklemler uygulanarak kök nedenlere ait dereceler belirlenir.

Adım 5. Potansiyel Sonuçların Derecelendirilmesi: Bir tehlikeli durum gerçekleştiğinde, tehlikeli duruma bağlı olarak farklı sonuçların ortaya çıkması olasıdır. Örneğin yüksekte düşme sonucu uzun süreli iş görmezlik, uzuv kaybı/sakatlık ya da ölüm gibi olumsuz durumlar gerçekleşebilir. Burada gerçekleşecek sonucun şiddet derecesi, çevresel (zeminde yumuşak bir malzemenin bulunup bulunmaması, zeminin toprak ya da beton olması, çevrede delici ya da kesici aletin olup olmaması gibi) faktörlere, çalışanın kilosuna, düşme yüksekliğine ve şans faktörüne bağlı olarak değişmektedir. Göze çapak kaçma gibi bazı kazalarda ise hafif sıyrık ya da kısa süreli iş görmezlik ya da görme yetisinde kalıcı hasar (uzuv kaybı) gibi durumlarla sonuçlanabilir ve burada ölümlerle sonuçlanma ihtimali yoktur. Her iki örnek için analist ilgili kazaları değerlendirirken ilgili sonuçlardan hangisinin daha olası olduğunu o anki koşullarda değerlendirerek belirler. Böylece analist diğer olası sonuçları ihmal ederek bir değerlendirme yapmış olur. Bu adımda ilgili olası sonuçlardan hangisinin daha olası olacağını belirlemek amacıyla olası kazada ortaya çıkacak olası sonuçlar derecelendirilecektir. Derecelendirme işlemi için Adım 4'te verilen Bulanık AHP yöntemine ait eşitlikler kullanılacaktır.

Adım 6. Risklerin Derecelendirilmesi: Risklerin derecelendirme işlemi için Bulanık çıkarım sistemi (FIS) ile Adım 4 ve Adım 5'te elde edilen sonuçlar kullanılacaktır. Bulanık çıkarım mekanizması olarak daha basit ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle literatürde

daha çok tercih edilen Mamdani [33, 34] çıkarım modeli kullanılacaktır. Model kural tabanlı bir sistemi karakterize eder ve modelde kullanılan kural tabanının genel yapısı aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$EĞER x_1 Z_{i1} VE x_2 Z_{i2} VE x_3 Z_{i3} VE \dots x_n Z_{in} İSE y P_i \text{ dir. } i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (5)$$

Denklemde x_n ($n=1,2,3,\dots,m$) giriş veri setini, Z_i ve P_i üyelik fonksiyonlarıyla tanımlı dilsel ifadeyi, y çıktı değerini ve k ise kural tabanında yer alan kural sayısını ifade etmektedir. Sistemde mevcut olan birden çok ayrık kuralın aynı anda etkinleşmesi durumunda genellikle MAKS-MİN operatörü kullanılarak sonuç elde edilir. MAKS-MİN operatörü aşağıdaki eşitlikte verilmiştir [28].

$$\mu_{pk}(y) = maks[\min[\mu_{z1k}(x_1), \mu_{z2k}(x_2)]] \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

Eşitlikte verilen μ_{pk} , μ_{z1k} , μ_{z2k} sırasıyla y çıkış değerinin, x_1 ve x_2 girdilerinin üyelik dereceleridir.

Modelden bulanık bir değer olarak elde edilen çıktı değerinin durulaştırılması gerekmektedir. Durulaştırma işlemi için çalışma kapsamında, uygulamada yaygın olarak tercih edilen ağırlık merkezi yöntemi (centroid of area veya center of gravity - COA) kullanılacaktır. Yönteme ilişkin eşitlik şu şekildedir [35];

$$Z_{COZ}^* = \frac{\int_z \mu_x(x) x dx}{\int_z \mu_z(x) dx} \quad (7)$$

$$Z_{COZ}^* = \frac{\sum_i \mu_z(x_i) x_i}{\sum_i \mu_A(x_i)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, q \quad (8)$$

Eşitlikte verilen Z_{COZ}^* sistemden elde edilen kesin değeri göstermektedir.

Adım 7. Kontrol Önlemlerinin Belirlenmesi ve İzlenmesi: Risk derecelerinin belirlenmesinin ardından en riskli olaydan başlanarak kontrol tedbirleri

geliştirilir. Tedbirlerin geliştirilmesinde kök nedenin ortaya çıkmasını önleyici tedbirler tanımlanır. Ayrıca bu adımda, alınan tedbir rağmen olumsuz olayın gerçekleşmesi durumunda ardışık olumsuz olayların ortaya çıkmasını önleyecek ya da etkisini azaltacak tedbirler de planlanır.

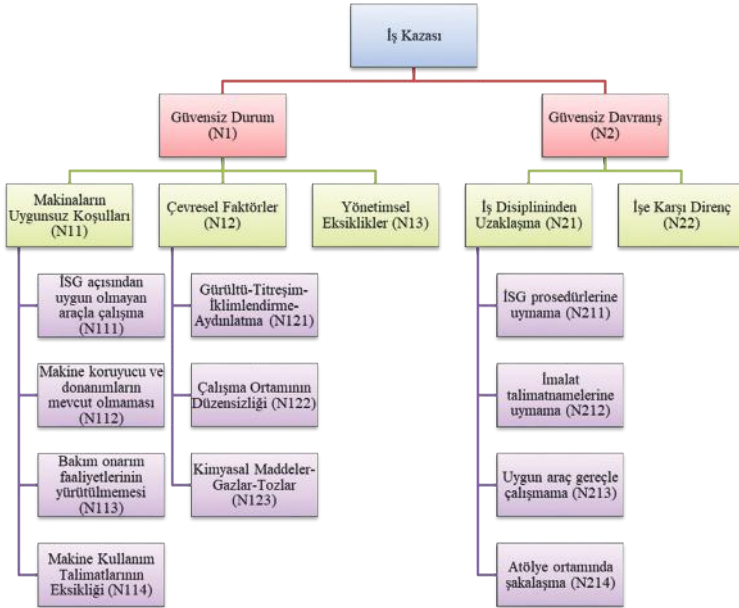
4. Uygulama

Çalışma kapsamında önerilen yöntemin uygulaması bir tersanede gerçekleştirilmiştir. Tersaneler yeni inşa, dönüşüm, havuzlama, bakım-onarım gibi karmaşık üretim süreçlerinin yürütüldüğü işletmelerdir. Tersanelerdeki üretim süreçleri çoğunlukla yüksek teknolojik makinelerden ziyade iş gücüne dayalıdır. İş gücünün yoğun olduğu çalışma ortamlarında gerekli önlemlerin alınmaması durumunda iş kazaları kaçınılmazdır. Bu nedenle çalışma kapsamında, önerilen yöntem yardımıyla, tersanelerde meydana gelen kazaların kök nedenlerinin belirlenmesi ve üretim sürecindeki temel risklerin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Uygulama adımları şu şekildedir;

Adım 1. İstenmeyen tepe durumun belirlenmesi: Çalışma kapsamında belirlenen istenmeyen tepe durum çalışmamızda yeni gemi inşa sırasında oluşan tersane iş kazası olarak belirlenmiştir.

Adım 2. Potansiyel nedenlerin belirlenmesi: Bu adımda, uygulama yapılacak tersanenin iş güvenliği uzmanlarıyla bir araya gelinerek tersanede meydana gelen kazaların kök nedenleri gruplandırılmıştır. Çalışmamızda çeşitli yıllarda uzmanlık derecelerine sahip A ve B sınıfı iş güvenliği belgelerine sahip üç uzmana ait görüşler ve değerlendirmeler toplanmıştır. Verilerin alındığı tersanelerde meydana gelen kazaların genel nedenleri hiyerarşik yapıda Şekil 2’de verilmiştir.

Adım 3. Potansiyel Sonuçların Belirlenmesi: Tersanelerde meydana gelen iş kazalarının olası sonuçları iş günü kayıpsız kaza, iş günü kayıplı kaza, uzuv kaybı ve ölüm olarak dört ana gruba ayrılmıştır. Gruplandırma Şekil 3’te verilmiştir ve uygulama yapılan tersane çalışma ortamında gerçekleşebilecek herhangi bir kazanın olası sonuçlarını göstermektedir.

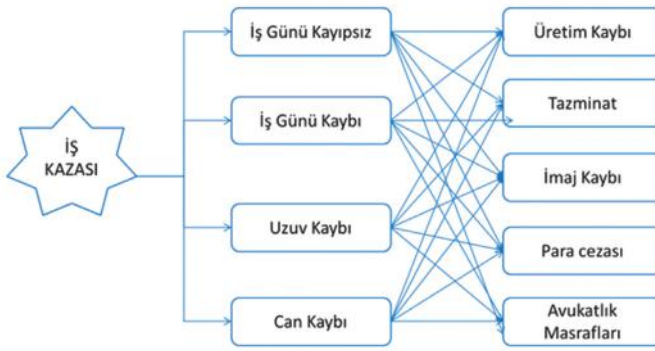


Şekil 2. Yeni Gemi İnşa Sırasında Meydana Gelen İş Kazalarının Potansiyel Nedenleri

Burada karar vericiler olası sonuçları iş günü kayıpsız kaza, kısa süreli iş günü kaybı, uzun süreli iş günü kaybı, uzuv kaybı, ölüm, toplu ölüm gibi de sınıflandırabilir. Buradaki sınıflandırma tamamen işletmenin İSG politikası kapsamında ve işletmeye özgü yapılmaktadır.

Adım 4. Potansiyel Nedenlerin Derecelendirilmesi: Bulanık AHP yöntemi kullanılarak ve uygulamanın yapıldığı işletme dikkate alınarak, Adım 2’de belirlenen potansiyel nedenlerden hangisinin ilgili işletme için daha olası olduğu belirlenir. İkili karşılaştırma işlemi için Tablo 1’de verilen dilsel ölçek

kullanılmıştır. Uzmanlardan toplanan değer yargılarının dilsel olmaları nedeniyle ve dilsel verilere matematiksel işlemler uygulanmadığından yine Tablo 1’de verilen üçgensel bulanık sayılar kullanılarak uzman yargıları sayısal değerlere dönüştürülür. Sayısal değerler Ekler Bölümünde Ek Tablo 1’de verilmiştir. Ekte verilen tablolar üç uzmana ait değer yargılarıdır ve ortak yargının elde edilmesi için AHP yönteminde kullanılan geometrik ortalamadan faydalanılır. Geometrik ortalama sonucu elde edilen ortak karar matrisi Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 3. Tersanede Meydana Gelebilecek Bir Kazanın Olası Sonuçları

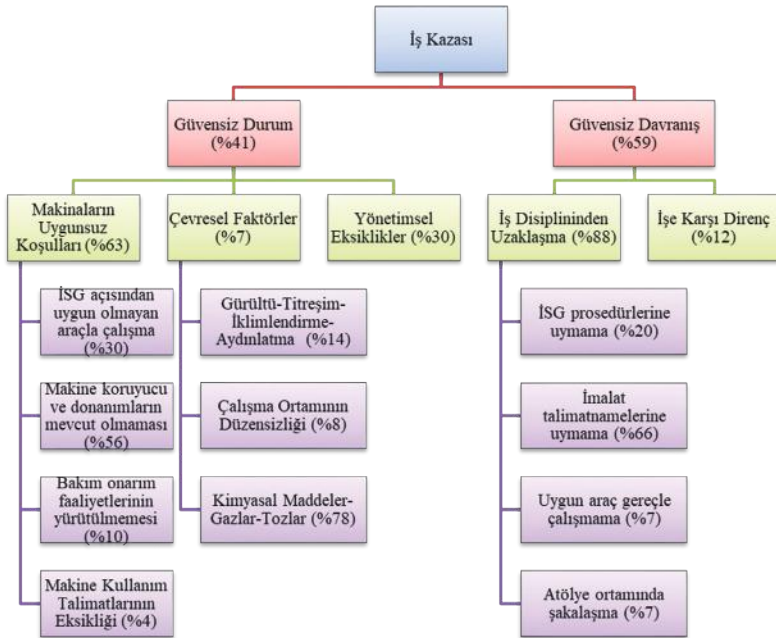
Tablo 2. Potansiyel Nedenlere İlişkin Ortak Karar Matrisi

	N1	N2		N211	N212	N213	N214	
N1	(1;1;1)	(0,48;0,52;1,22)		N211	(1;1;1)	(1,41;1,91;2,53)	(0,89;1,12;2,08)	(0,13;0,16;0,25)
N2	(0,82;1,91;2,08)	(1;1;1)		N212	(0,4;0,52;0,71)	(1;1;1)	(1;1,75;2,47)	(0,15;0,19;0,36)
				N213	(0,48;0,89;1,12)	(0,41;0,57;1)	(1;1;1)	(0,13;0,18;0,28)
				N214	(3,98;6,08;7,61)	(2,76;5,13;6,8)	(3,56;5,59;7,61)	(1;1;1)
	N21	N22		N111	N112	N113	N114	
N21	(1;1;1)	(5,59;7,61;9)		N111	(1;1;1)	(0,25;0,31;0,58)	(3,56;5,59;7,61)	(4,22;6,26;8,28)
N22	(0,11;0,13;0,18)	(1;1;1)		N112	(1,71;3,27;3,98)	(1;1;1)	(5;7;9)	(5,59;7,61;9)
				N113	(0,13;0,18;0,28)	(0,11;0,14;0,2)	(1;1;1)	(4,72;6,8;8,28)
				N114	(0,12;0,16;0,24)	(0,11;0,13;0,18)	(0,12;0,15;0,21)	(1;1;1)
	N11	N12	N13		N121	N122	N123	
N11	(1;1;1)	(6,26;8,28;9)	(1,71;2,54;4,33)		N121	(1;1;1)	(1,53;2,14;3)	(0,11;0,13;0,18)
N12	(0,11;0,12;0,16)	(1;1;1)	(0,13;0,18;0,28)		N122	(0,33;0,47;0,65)	(1;1;1)	(0,11;0,12;0,16)
N13	(0,23;0,39;0,58)	(3,56;5,59;7,61)	(1;1;1)		N123	(5,59;7,61;9)	(6,26;8,28;9)	(1;1;1)

Tablo 2'deki verilere Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'te verilen formüller uygulanarak gerekli işlemler yapıldığında gerçekleşen kazaların olası nedenlerine ait ağırlıklar elde edilir. Elde edilen ağırlıklar Şekil 4'te verilmektedir. Yapılan analize göre, iş kazalarının %41'i güvensiz durumdan kaynaklanırken %59'u güvensiz davranışlardan kaynaklanmaktadır. Güvensiz durumların %63'ü makinaların uygunsuz koşullarından kaynaklanırken %30'u yönetsel eksikliklerden kaynaklanmaktadır. Makinaların uygunsuz koşullarının %56'sı makine koruyucu ve donanımların olmaması ve % 30'u ise İSG açısından uygun olmayan araçla çalışmadan kaynaklanmaktadır. Çevresel faktörlerden kaynaklanan kazaların büyük bir bölümünü ise kimyasal maddeler, gazlar ve tozlar oluşturmaktadır. Düzensiz davranışlardan kaynaklanan kazaların %88'i iş disiplininden uzaklaşma, %12'si ise işe karşı dirençten kaynaklanmaktadır.

İş disiplininden uzaklaşmadan kaynaklanan kazaların %66'sı imalat talimatnamelerine uymamadan ve %20'si ise İSG prosedürlerine uymamadan kaynaklanmaktadır.

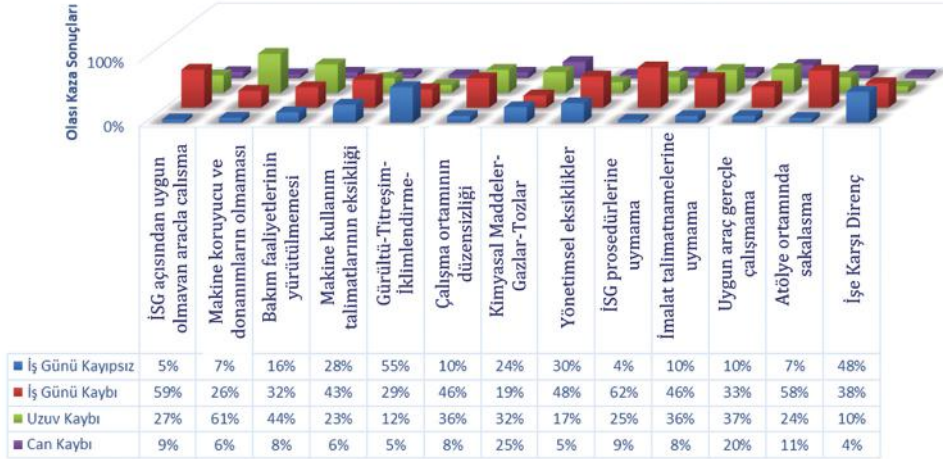
Adım 5. Potansiyel Sonuçların Derecelendirilmesi: Bu adımda farklı tehlike kaynaklarına bağlı olarak gerçekleşebilecek olası sonuçlar AHP tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir. Uzman yargılarına ait değerlendirme tabloları Ek Tablo 2'de verilmiştir. Ek Tablo 2'deki verilere Eşitlik 2-3 uygulandığında gerçekleşen kazaların olası sonuçlarına ilişkin elde edilen ağırlıklar Şekil 5'te verilmiştir. Olası kaza sonucu can kaybı ağırlığının en fazla yaşandığı durumlar için Kimyasal Maddeler-Gazlar ve Tozlar ve Uygun araç gereç çalışmama durumlarından kaynaklandığı gözükmektedir. Ancak burada ilgili faktör altındaki ağırlıkların %20-30 aralığında çıkması aslında ilgili durumdan kaynaklanabilecek kazanın



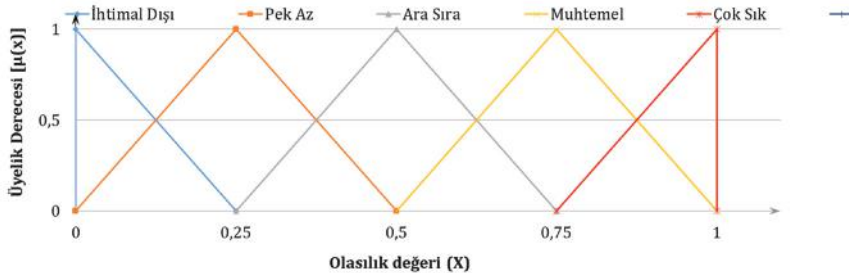
Şekil 4. Tersanelerde Yaşanan İş Kazalarının Nedenlerine İlişkin Ağırlıklar

her türlü muhtemel sonucunun eşit olası olduğunu göstermektedir. “İSG açısından uygun olmayan araçla çalışma”, “Makine kullanım talimatlarının eksikliği”, “Çalışma ortamının düzensizliği”, “Atölye ortamında şakalaşma”, “İSG prosedürlerine uymama”, “İmalat talimatnamelerine uymama” gibi durumlarda meydana gelebilecek kazanın yaygınlıkla iş günü kaybına neden olduğu anlaşılmaktadır. “Makine koruyucu ve donanımların eksik olması ya da donanımın hiç bulunmaması” ve “Bakım faaliyetlerinin yürütülmemesi” durumlarında meydana gelebilecek olası kaza genellikle uzun kayıpla sonuçlanmaktadır.

Adım 6. Risklerin Derecelendirilmesi: Bu adımda Mamdani çıkarım mekanizması yöntemi ile her bir nedenden kaynaklı oluşabilecek kaza riski hesaplanacaktır. Adım 4’te elde edilen ağırlıklara karşılık gelen üyelik dereceleri ile kazanın gerçekleşmesiyle meydana gelecek olası sonuçların ağırlıkları kullanılarak ilgili faktöre ait riskin derecesi hesaplanacaktır. Olasılık değerine karşılık gelecek üyelik dereceleri için Şekil 6’da tanımlanan dilsel ifadeler kullanılacaktır. Örneğin N112 için bulanık ağırlık değeri (0,34;0,57;0,89) olup bu değerlere ait bulanık küme Şekil 6 üzerinde çizildiğinde ilgili değerlere ilişkin üyelik dereceleri $N112 = \{(Pek\ az; 0,33), (Ara$



Şekil 5. Oluşan Kaza Nedenlerine İlişkin Olası Kaza Sonuçları



Şekil 6. Riskin Gerçekleşme Olasılığına Ait Üyelik Fonksiyonları

Sıra;0,58),(Muhtemel;0,69)} şeklinde elde edilir.

Olasılıklara ilişkin üyelik dereceleri elde edildikten sonra ilgili faktöre ait şiddet değerleriyle birlikte risk büyüklüğü hesaplanır. Riske ait büyüklük hesaplanırken Tablo 3'te verilen kural tabanı ve Eşitlik 5-6 kullanılır. Böylece, ilgili faktör için risk derecesine ait üyelik dereceleri hesaplanır. Risk, Tablo 3'te verilen dörtlü dilsel ifadeyle (Kabul edilebilir, Minör, Majör, Felaket) tanımlanır. Risk derecesinin Felaket sınıfında çıkması durumu, işletmede tüm çalışmaların durdurulması ve bir an evvel eylemin planlanması gerektiği durumdur. Majör Risk ise çalışmaya ara verilmeden acil olarak kontrol tedbirlerinin alınmasını gerektirir. Minör Risk grubunda ise risk azaltma maliyetleri riskin ortaya çıkması durumundaki etkilerinden daha düşükse önlemler alınarak risk azaltılır. Aksi durumda ise, yani risk azaltma maliyeti riskin ortaya çıkması durumunda yarattığı

etkiden daha pahalıysa risk izlenmesi ve riskin büyümesi durumunda önlem alınması gereken durumu gösterir. Son olarak ise Kabul Edilebilir Risk, olasılık ve şiddet değerleri dikkate alındığında ihmal edilebilir boyuttaki riski göstermektedir. Risk büyüklüğüne ilişkin kullanılan dilsel veriler ve dilsel verilere karşılık gelen bulanık üyelik fonksiyonları Şekil 7'de verilmiştir [28].

Tablo 4'te elde edilen risk dereceleri Şekil 7'de yerine yazıldığında kazaya neden olan faktörlerin işletme için oluşturduğu riskin sınıfı tanımlanmış olur. Buna göre, N111, N112, N123, N211, N212, N213 ve N214 majör risk kategorisindedir. N113, N114, N121, N122, N13 ve N22 ise minör risk kategorinde yer alan faktörlerdir.

Adım 7. Kontrol Önlemlerinin Belirlenmesi ve İzlenmesi: Bu adımda risk azaltma tedbirleri uygulanır ve alınan tedbirlerin geçerliliği izlenir. Yapılan analiz sonucunda atölyede ortaya çıkan

Tablo 3. Olasılık Değerleri ile Şiddete Risk Derecesine İlişkin Kural Tabanı

Risk		ŞİDDET			
		İş günü kayıpsız	İş günü kaybı	Uzuv Kaybı	Ölüm
OLASILIK	İhtimal Dışı	Kabul Edilebilir	Minör	Minör	Minör
	Pek Az	Kabul Edilebilir	Minör	Minör	Majör
	Ara sıra	Kabul Edilebilir	Minör	Majör	Felaket
	Muhtemel	Minör	Majör	Felaket	Felaket
	Çok Sık	Minör	Majör	Felaket	Felaket



Şekil 7. Risk Büyüklüğüne İlişkin Dilsel İfadeler ve Bulanık Üyelik Fonksiyonları

Tablo 4. Tersanelerde Yaşanan Kazalara İlişkin Risk Dereceleri

Yaşanan iş kazalarına ilişkin nedenler	Bulanık Olasılık Değerleri	Olasılık Değerine Ait Üyelik Dereceleri					Risk Büyüklüğüne Ait Üyelik Dereceleri				Risk Derecesi
		İhtimal Dışı	Pek Az	Ara sıra	Muhtemel	Çok Sık	Kabul Edilebilir Risk	Minör Risk	Majör Risk	Felaket	
N111	(0,18;0,29;0,52)	0,21	0,90	0,60			0,05	0,59	0,90	0,60	6,87
N112	(0,34;0,57;0,89)		0,33	0,85	0,69		0,07	0,33	0,61	0,61	7,26
N113	(0,07;0,1;0,17)	0,53	0,64				0,16	0,44	0,08	0,00	3,65
N114	(0,03;0,04;0,07)	0,85	0,22				0,28	0,43	0,06	0,00	3,14
N121	(0,1;0,13;0,2)	0,53	0,62				0,55	0,29	0,05	0,00	2,31
N122	(0,06;0,08;0,11)	0,72	0,39				0,10	0,46	0,08	0,00	3,91
N123	(0,58;0,79;1,04)			0,36	0,93	0,57	0,24	0,32	0,32	0,32	5,80
N13	(0,17;0,3;0,49)	0,20	0,87	0,54			0,30	0,48	0,17	0,05	3,91
N211	(0,12;0,2;0,34)	0,38	0,86	0,23			0,04	0,62	0,23	0,09	5,13
N212	(0,36;0,65;1,17)		0,26	0,76	0,86	0,60	0,10	0,46	0,46	0,36	6,35
N213	(0,05;0,07;0,12)	0,74	0,41				0,10	0,37	0,37	0,37	6,50
N214	(0,04;0,07;0,12)	0,74	0,41				0,07	0,58	0,58	0,24	6,02
N22	(0,1;0,12;0,16)	0,56	0,54				0,48	0,48	0,38	0,10	4,21

en yüksek risk derecesi “Makine koruyucu ve donanımların mevcut olmaması” kök nedeninden kaynaklanmaktadır. İlgili riskin ortadan kaldırılması için makinelerin ilk satın alındığı koşullarda korunması için uygun kullanım ve bakım prosedürlerinin hazırlanması ve prosedüre uyulduğunun sıkı denetlenmesi gerekmektedir. Majör risk boyutundaki bir diğer risk ise “İSG açısından uygun olmayan araçla çalışma” ve “Uygun araç gereçle çalışmama” kök nedenlerinden kaynaklanan risklerdir. Burada hem uygun araçla çalışmadığı hem de kullanılan araçların güvenlik açısından özelliklerini kaybettiği anlaşılmaktadır. Buradaki risklerin ortadan kaldırılması için çalışanlara, operasyon esnasında uygun araç-gereç kullanımı konusunda eğitim verilmeli ve atölye ortamında 5S uygulanmalıdır. 5S yönteminin temel bileşenlerinden olan düzenleme ve sınıflandırma adımlarıyla çalışma ortamı düzenlenmelidir. Böylece çalışanlar ihtiyaç duyacakları araç gereci aradıklarında zaman kaybetmeden bulabilecekler ve çalışmalarını uygun şartlardaki araçlarla sürdürebileceklerdir. Riskin ortaya çıkmasına neden olan en büyük kök nedenlerden bir diğeri de “İmalat

talimatnamelerine uymama” faktöründen kaynaklanmaktadır. Bu faktör çalışanların önemsiz gördüğü bazı adımları bypass yapmasıyla birlikte ortaya çıkan risklerdir. Bu kök nedenin ortadan kaldırılması için yine 5S adımlarından disiplin adımının uygulanmasıyla ortadan kaldırılabilir.

5. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında literatüre yeni bir risk değerlendirme yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem, literatürde bilinen papyon yöntemi, bulanık AHP ve bulanık çıkarım mekanizması yöntemleri kullanılarak geliştirilmiştir. Yöntem, ilk olarak kazaya sebebiyet veren kök nedenlerin tespit edilmesini sağlamakta ve ardından tespit edilen kök nedenlerden ortaya çıkabilecek riskleri derecelendirmektedir. Risklerin derecelendirmesi esasında ilk olarak tanımlanan kök nedenlerden hangisinin çalışma ortamında daha yoğun olarak karşılaşıldığı ikili karşılaştırma yöntemiyle belirlenir. Ardından ilgili kök nedenden kaynaklanan riskin şiddetine ilişkin ikili karşılaştırma yapılır. Çalışma ortamında gerçekleşen olumsuz bir durum sonucunda iş günü kayıpsız bir kaza, iş günü kayıplı bir kaza, uzuv kaybı ve ölüm gibi çeşitli

olumsuz sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu sonuçlar farklı olasılıklarla da olsa her kaza sonucunda ortaya çıkabilecek durumlardır. Risk analiz uzmanları bu noktada en olası durumu dikkate alarak ve diğer durumları ihmal ederek risk derecesini belirler. Oysa düşük olasılıklı durumların da gerçekleşmesi olasıdır ve risk derecesinin belirlenmesinde dikkate alınması gerekir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında her bir sonucun gerçekleşme ihtimali de dikkate alınarak risk derecesi hesaplanır. Bunun için, önerilen yöntemde hem ilgili kök nedenden dolayı ortaya çıkabilecek riskin olasılığı hem de ilgili risk sonucu ortaya çıkabilecek muhtemel şiddetlerin bulanık çıkarım tekniğiyle değerlendirilmesiyle birlikte risk derecesi elde edilir. Çalışma kapsamında literatüre önerilen yöntem bir tersanede yürütülen faaliyetlerde yaşanan kazaların kök nedenlerine ilişkin risklerin derecelendirilmesinde uygulanmıştır. Önerilen yöntem herhangi bir kök nedenden ortaya çıkabilecek olası tüm sonuçları dikkate aldığı için risk derecesi mevcut yöntemlere nazaran daha duyarlı olarak hesaplanabilmektedir.

Önerilen yöntem, yeni inşa, dönüşüm, havuzlama, bakım-onarım gibi karmaşık üretim süreçlerinin yürütüldüğü ve yüksek teknolojik makinelerden ziyade iş gücüne dayalı çalışmanın yapıldığı bir tersanede uygulanmıştır. Uygulamanın yapıldığı tersanede elde edilen sonuçlara göre felaket derecesinde bir risk bulunmazken majör derecede ortaya çıkan riskler ise şunlardır; *İSG Açısından uygun olmayan araçla çalışma, Makine koruyucu ve donanımın mevcut olmaması, Kimyasal maddeler gazlar tozlar, İSG Prosedürlerine uymama, İmalat talimatnamelerine uymama, Uygun araç gereçle çalışmama, Atölye ortamında sakalaşma.*

Çalışma ortamında yürütülen her bir faaliyet bir sonraki ve bir önceki faaliyetle ilişkilidir. Dolayısıyla risk derecesi belirlenirken faaliyetlerin öncül ve ardıl

durumları da dikkate alınabilir. Daha sonraki çalışmalarda, çalışma ortamında yürütülen faaliyetlerin birbiri üzerine olan etkilerini de dikkate alarak risklerin gerçekleşme olasılıkları belirlenerek risk dereceleri hesaplanabilir.

Kaynaklar

- [1] Acuner, O., Çebi, S. (2016). An Effective Risk-Preventive Model Proposal for Occupational Accidents at Shipyards, *Brodogradnja/Shipbuilding*, 67(1): 67-84.
- [2] Mora, E., Barbina, P., Bovenzi, M., Larese F. F. (2012). "Work-related injuries in monfalcone shipyard (2000-2010), *Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia*, 34(3): 762-765.
- [3] Çebi, S., Akyuz, E., Sahin, Y. (2017). Developing Web Based Decision Support System For Evaluation Occupational Risks at Shipyards, *Brodogradnja/Shipbuilding*, 68(1): 17-30.
- [4] Çebi, S. ve İlbar, E. (2017). Tersanelerde Yaşanan Mesleki Risklerin Analizi İçin Bulanık Papyon Model Önerisi, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi (YAEM 2017)*, 5-7 Temmuz 2017.
- [5] Kurt R. E., McKenna S. A., Gunbeyaz S.A., Turan O. (2017). Investigation of occupational noise exposure in a ship recycling yard, *Ocean Engineering*, 137(1): 440-449.
- [6] Schøyen, H., Burki, U., Kurian, S. (2017). Ship-owners' stance to environmental and safety conditions in ship recycling. A case study among Norwegian shipping managers, *Case Studies on Transport Policy*, 5(3): 499-508.
- [7] Hiremath, A. M., Pandey, S.K., Asolekar, S.R. (2016). Development of ship-specific recycling plan to improve health safety and environment in ship recycling yards, *Journal of Cleaner Production*, 116: 279-298.

- [8] Tsoukalas V.D., Fragiadakis N.G. (2016). Prediction of occupational risk in the shipbuilding industry using multivariable linear regression and genetic algorithm analysis, *Safety Science*, 83: 12-22.
- [9] Garmer, K., Sjöström, H., Hiremath, A.M., Tilwankar, A.K. Kinigalakis, G., Asolekar, S.R. (2015). Development and validation of three-step risk assessment method for ship recycling sector, *Safety Science*, 76: 175-189.
- [10] Özkök, M. (2014). Risk Assessment in Ship Hull Structure Production Using FMEA", *Journal of Marine Science and Technology*, *Journal of Marine Science and Technology*, DOI: 10.6119/JMST-013-0222-1.
- [11] Yun, J. M. ve Park, P., (2012). Development of Industrial Safety Management System for Shipbuilding Industry using RFID/USN, 9th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing and 9th International Conference on Autonomic & Trusted Computing (UIC/ATC), September, Fukuoka, JAPAN.
- [12] Barlas, B. (2012). Shipyard Fatalities in Turkey, *Safety Science*, 50(5): 1247-1252.
- [13] Barlas, B. (2012). Occupational Fatalities in Shipyards: an Analysis in Turkey, *Brodogradnja*, 63(1): 35-41.
- [14] Jeong, K.S., Kim, Y., Kim, M.C. ve Yoo, C.I. (2011). Comparison of Cancer Incidence Between Production and Office Workers at a Shipyard in Korea: A Retrospective Cohort Study From 1992 to 2005, *American Journal of Industrial Medicine*, 54(9): 719-725.
- [15] Jacinto, C., Silva, C. (2010). A Semi-Quantitative Assessment of Occupational Risks using Bow-Tie Representation, *Safety Science*, 48(8): 973-979.
- [16] Celebi, U.B., Ekinci, S., Alarcin, F. ve Unsalan, D. (2010). The Risk of Occupational Safety and Health in Shipbuilding Industry in Turkey, *Advances in Maritime and Naval Science and Engineering*, 178-185.
- [17] Cherniack M. Brammer, A.J., Lundstrom, R., Morse, T. F., Neely G., Nilsson, T., Peterson, D., Toppila, E., Warren, N., Diva, U., Croteau, M., Dussetschleger J. (2008). The Effect of Different Warming Methods on Sensory Nerve Conduction Velocity in Shipyard Workers Occupationally Exposed to Hand-Arm Vibration, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 81(8): 1045-1058.
- [18] Mattorano D., Harney J., Cook C., Roegner K. (2001). Metal Exposure During Ship Repair and Shipbreaking Procedures, *Occupational and Environmental Hygiene*, 16(3): 339-349.
- [19] Tamrin, S.B. M., Jamalohdin, M.N., NG, Y.G., Maeda, S., Ali N.A.M. (2012). The Characteristics of Vibrotactile Perception Threshold among Shipyard Workers in a Tropical Environment, *Industrial Health*, 50(2): 156-163.
- [20] Castner, H.R. (1997). Status report on proposed changes to permissible airborne emission exposure limits for U.S. shipyard workers, *Journal of Ship Production*, 13(3): 153-170.
- [21] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, 8(1): 338-353.
- [22] Beriha G. S., Patnaik B., Mahapatra S. S., Padhee S. (2012). Assessment of Safety Performance in Indian Industries Using Fuzzy Approach, *Expert Systems with Applications*, 39(3): 3311-3323.

- [23] Tadic D., Djapan, M., Misita M., Stefanovic M., Milanovic D. D. (2012). A Fuzzy Model for Assessing Risk of Occupational Safety in the Processing Industry, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18(2): 115-126.
- [24] Çebi, S. (2011). Developing a Fuzzy Based Decision Making Model for Risk Analysis in Construction Project, *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 17: 387-405
- [25] Pinto A., Nunes I.L. ve Ribeiro R.A. (2011). Occupational Risk Assessment in Construction Industry - Overview and Reflection, *Safety Science*, 49(5): 616-624.
- [26] Bragatto, P. A., Agnello, P., Gnoni, M. G., Lettera, G., Sciancalepore, F.A. (2010). The Impact of the Occupational Safety Control Programs on the Overall Safety Level in an Industrial Cluster, *Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications*, 1-3, 745-752.
- [27] Çelik M., Çebi S. (2009). Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents, *Accident Analysis and Prevention*, 41(1): 66-75.
- [28] Zeng, J., An, M., Smith, N.J. (2007). Application of a Fuzzy Basen Decision Making Methodology to Construction Project Risk Assessment, *International Journal of Project Management*, 25: 589-600.
- [29] Pluess, D.N., Groso, A., Meyer, T. (2013). Expert judgements in risk analysis: A strategy to overcome uncertainties, *Chemical Engineering Transactions*, 31: 307-312
- [30] Buckley, J. J. (1985). Ranking alternatives using fuzzy numbers, *Fuzzy Sets Systems*, 15 (1): 21-31.
- [31] Chen, S., J. ve Hwang, C., L. (1992). *Fuzzy Multi Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, New York.
- [32] Hsieh, T., Y., Lu, S., T. and Tzeng, G., H. (2004). Fuzzy MCDM Approach for Planning and Design Tenders Selection in Public Office Buildings, *International Journal of Project Management*, 22(7): 573-584.
- [33] Mamdani, E. H. (1977). Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis, *IEEE Transactions on Computers* 26(12): 1182-1191.
- [34] Mamdani, E. H., Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *International Journal of Man-machine Studies* 7: 1-13.
- [35] Ross, T., J. (2004). *Fuzzy Logic Engineering Applications*, John Wiley & Sons, Ltd, USA.
- [36] İlbahar E., Karaşan A., Çebi S., Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system, *Safety Science*, 103: 124-136.
- [37] Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr

Ek Tablo 1. Potansiyel Nedenlere Ait Dilsel İfadelerin Bulanık Sayı Karşılıkları

E1	N111	N112	N113	N114		N121	N122	N123	E1	N211	N212	N213	N214	E1	N11	N12	N13	E1	N21	N22	N1	N2	
N111	(1,1,1)	1/(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	N121	(1,1,1)	1/(3,5,7)	1/(5,7,9)	N211	(1,1,1)	1/(5,7,9)	(5,7,9)	1/(3,5,7)	N11	(1,1,1)	(7,9,9)	1/(1,3,5)	N21	(1,1,1)	(7,9,9)	N1	(1,1,1)	1/(5,7,9)
N112		(1,1,1)	(5,7,9)	(5,7,9)	N122		(1,1,1)	1/(5,7,9)	N212		(1,1,1)	(7,9,9)	1/(1,3,5)	N12		(1,1,1)	1/(5,7,9)	N22		(1,1,1)	N2		(1,1,1)
N113			(1,1,1)	(3,5,7)	N123			(1,1,1)	N213			(1,1,1)	1/(3,5,7)	N13			(1,1,1)						
N114				(1,1,1)					N214				(1,1,1)										
E2	N111	N112	N113	N114		N121	N122	N123	E2	N211	N212	N213	N214	E2	N11	N12	N13	E2	N21	N22	N1	N2	
N111	(1,1,1)	(1,1,3)	(5,7,9)	(5,7,9)	N121	(1,1,1)	(5,7,9)	1/(7,9,9)	N211	(1,1,1)	(5,7,9)	1/(3,5,7)	1/(3,5,7)	N11	(1,1,1)	(7,9,9)	(5,7,9)	N21	(1,1,1)	(5,7,9)	N1	(1,1,1)	1/(1,3)
N112		(1,1,1)	(5,7,9)	(7,9,9)	N122		(1,1,1)	1/(7,9,9)	N212		(1,1,1)	1/(3,5,7)	1/(3,5,7)	N12		(1,1,1)	1/(3,5,7)	N22		(1,1,1)	N2		(1,1,1)
N113			(1,1,1)	(7,9,9)	N123			(1,1,1)	N213			(1,1,1)	1/(3,5,7)	N13			(1,1,1)						
N114				(1,1,1)					N214				(1,1,1)										
E3	N111	N112	N113	N114		N121	N122	N123	E3	N211	N212	N213	N214	E3	N11	N12	N13	E3	N21	N22	N1	N2	
N111	(1,1,1)	1/(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	N121	(1,1,1)	(5,7,9)	1/(5,7,9)	N211	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,1,3)	1/(7,9,9)	N11	(1,1,1)	(7,9,9)	(5,7,9)	N21	(1,1,1)	(5,7,9)	N1	(1,1,1)	1/(1,3)
N112		(1,1,1)	(5,7,9)	(5,7,9)	N122		(1,1,1)	1/(7,9,9)	N212		(1,1,1)	(1,3,5)	1/(7,9,9)	N12		(1,1,1)	1/(3,5,7)	N22		(1,1,1)	N2		(1,1,1)
N113			(1,1,1)	(5,7,9)	N123			(1,1,1)	N213			(1,1,1)	1/(5,7,9)	N13			(1,1,1)						
N114				(1,1,1)					N214				(1,1,1)										

Ek Tablo 2. Potansiyel Sonuçlara Ait Dilsel İfadelerin Bulanık Sayı Karşılıkları

N111	S1	S2	S3	S4	N211	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1,1)	(0,13,0,18;0,28)	(0,12,0,16;0,24)	(0,14,0,2;0,33)	S1	(1,1,1)	(0,12,0,16;0,24)	(0,13,0,18;0,28)	(0,13,0,18;0,28)
S2	(3,56;5,59;7,61)	(1,1;1)	(3,56;5,59;7,61)	(4,22;6,26;8,28)	S2	(4,22;6,26;8,28)	(1,1;1)	(4,22;6,26;8,28)	(5,7;9)
S3	(4,22;6,26;8,28)	(0,13,0,18;0,28)	(1,1;1)	(5,59;7,61;9)	S3	(3,56;5,59;7,61)	(0,12,0,16;0,24)	(1,1;1)	(5,59;7,61;9)
S4	(3,5;7)	(0,12,0,16;0,24)	(0,11,0,13;0,18)	(1,1;1)	S4	(3,56;5,59;7,61)	(0,11,0,14;0,2)	(0,11,0,13;0,18)	(1,1;1)
N112	S1	S2	S3	S4	N212	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1,1)	(0,13,0,16;0,25)	(0,13,0,18;0,28)	(0,75,1,44;2,27)	S1	(1,1,1)	(0,25,0,31;0,58)	(0,16,0,24;0,48)	(0,31,0,58;1,19)
S2	(3,98;6,08;7,61)	(1,1;1)	(0,13,0,18;0,28)	(5,7;9)	S2	(1,71;3,27;3,98)	(1,1;1)	(1,53;2,14;3)	(5,7;9)
S3	(3,56;5,59;7,61)	(3,56;5,59;7,61)	(1,1;1)	(5,59;7,61;9)	S3	(2,08;4,22;6,26)	(0,33,0,47;0,65)	(1,1;1)	(6,26;8,28;9)
S4	(0,44;0,69;1,33)	(0,11,0,14;0,2)	(0,11,0,13;0,18)	(1,1;1)	S4	(0,84;1,71;3,27)	(0,11,0,14;0,2)	(0,11,0,12;0,16)	(1,1;1)
N113	S1	S2	S3	S4	N213	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1,1)	(0,36;0,52;0,78)	(0,25,0,44;0,69)	(0,52,1,22;2,03)	S1	(1,1,1)	(0,27,0,34;0,69)	(0,16,0,24;0,48)	(0,16,0,24;0,48)
S2	(1,29;1,91;2,76)	(1,1;1)	(0,47,0,65;1)	(4,22;6,26;8,28)	S2	(1,44;2,92;3,66)	(1,1;1)	(1,19;1,71;2,33)	(1,19;1,71;2,33)
S3	(1,44;2,27;3,98)	(1,1,53;2,14)	(1,1;1)	(5,59;7,61;9)	S3	(2,08;4,22;6,26)	(0,43,0,58;0,84)	(1,1;1)	(2,92;3,66;6,24)
S4	(0,49;0,82;1,91)	(0,12,0,16;0,24)	(0,12,0,13;0,18)	(1,1;1)	S4	(2,08;4,22;6,26)	(0,43,0,58;0,84)	(0,16,0,27;0,34)	(1,1;1)
N114	S1	S2	S3	S4	N214	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1,1)	(0,27,0,49;0,82)	(0,89;1,61;2,47)	(1,71;3,98;6,08)	S1	(1,1,1)	(0,25,0,31;0,58)	(0,15,0,21;0,41)	(0,15,0,21;0,41)
S2	(1,22;2,03;3,66)	(1,1;1)	(1,53;2,14;3)	(5,7;9)	S2	(1,71;3,27;3,98)	(1,1;1)	(3,98;6,08;7,61)	(5,59;7,61;9)
S3	(0,41,0,62;1,12)	(0,33,0,47;0,65)	(1,1;1)	(4,72;6,8;8,28)	S3	(2,47;4,72;6,8)	(0,13,0,16;0,25)	(1,1;1)	(3,27;3,98;6,24)
S4	(0,16,0,25;0,58)	(0,11,0,14;0,2)	(0,12,0,15;0,21)	(1,1;1)	S4	(2,47;4,72;6,8)	(0,11,0,13;0,18)	(0,16,0,25;0,31)	(1,1;1)
N121	S1	S2	S3	S4	N13	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1,1)	(2,47;4,72;6,8)	(2,76;5,13;6,8)	(2,76;5,13;6,8)	S1	(1,1,1)	(0,41,0,69;1,44)	(0,84;1,71;3,27)	(1,71;3,98;6,08)
S2	(0,15,0,21;0,41)	(1,1;1)	(4,22;6,26;8,28)	(5,7;9)	S2	(0,69;1,44;2,47)	(1,1;1)	(4,72;6,8;8,28)	(5,59;7,61;9)
S3	(0,15,0,19;0,36)	(0,12,0,16;0,24)	(1,1;1)	(5,7;9)	S3	(0,31,0,58;1,19)	(0,12,0,15;0,21)	(1,1;1)	(5,59;7,61;9)
S4	(0,15,0,19;0,36)	(0,11,0,14;0,2)	(0,11,0,14;0,2)	(1,1;1)	S4	(0,16,0,25;0,58)	(0,11,0,13;0,18)	(0,11,0,13;0,18)	(1,1;1)
N122	S1	S2	S3	S4	N22	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1,1)	(0,25,0,31;0,58)	(0,16,0,24;0,48)	(0,31,0,58;1,19)	S1	(1,1,1)	(1,09;1,71;2,54)	(4,22;6,26;8,28)	(4,22;6,26;8,28)
S2	(1,71;3,27;3,98)	(1,1;1)	(1,53;2,14;3)	(5,7;9)	S2	(0,39,0,58;0,92)	(1,1;1)	(5,7;9)	(5,7;9)
S3	(2,08;4,22;6,26)	(0,33,0,47;0,65)	(1,1;1)	(6,26;8,28;9)	S3	(0,12,0,16;0,24)	(0,11,0,14;0,2)	(1,1;1)	(2,92;5,28;7,4)
S4	(0,84;1,71;3,27)	(0,11,0,14;0,2)	(0,11,0,12;0,16)	(1,1;1)	S4	(0,12,0,16;0,24)	(0,11,0,14;0,2)	(0,14,0,19;0,34)	(1,1;1)
N123	S1	S2	S3	S4					
S1	(1,1,1)	(5,7;9)	(0,16,0,25;0,58)	(0,16,0,25;0,58)					
S2	(0,11,0,14;0,2)	(1,1;1)	(1,44;2,27;3,98)	(1,44;2,27;3,98)					
S3	(1,71;3,98;6,08)	(0,25,0,44;0,69)	(1,1;1)	(1,19;2,76;3,56)					
S4	(1,71;3,98;6,08)	(0,25,0,44;0,69)	(0,28,0,36;0,84)	(1,1;1)					

This Page Intentionally Left Blank



Kritik Gemi Operasyonlarına Yönelik Risk Kontrol Esaslı Bir Karar Verme Yaklaşımı

Kadir ÇİÇEK¹, Yusuf İlker TOPCU²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Türkiye

cicekk@itu.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9732-3361>

ilker.topcu@itu.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9717-7854>

Öz

Deniz taşımacılığının sürekliliğinde odak unsur olan gemi filolarının emniyet ve performans parametrelerinin hassas bir şekilde takip edilmesi gerekmektedir. Bunun beraberinde, denizcilikte çevre, emniyet ve insan sağlığı ile ilgili konularda uluslararası kural yaptırımları da giderek yoğunlaşmaktadır. Bu konudaki en güncel uluslararası kurallardan biriside Uluslararası Emniyet Yönetimi Kodu içerisinde ifade edilen, kritik gemi operasyonlarına yönelik risk değerlendirmesi yapılması zorunluluğudur. Dolayısı ile gemi işletmeciliği firmalarının emniyetli yönetim sistemlerini gemi, personel ve çevre esaslı risk değerlendirmesi yapabilecek bir model ile desteklemeleri gerekmektedir. Yapılan bu çalışma ile gemi filo yönetiminde operasyonel ve yönetsel süreçlere yönelik risk kontrol esaslı bir karar verme modeli önerilmektedir. Önerilen model içerisinde hata ağacı analizi ile kanıtsal sonuçlama yaklaşımının bir arada kullanıldığı bütünlük bir yapıya sahiptir. Ayrıca, operasyonel ve yönetsel süreçlere ait bilgi eksikliği ve belirsizliğini ortadan kaldırmak amacı ile model bulanık mantık ile geliştirilmiştir. Çalışmada önerilen model, kritik gemi operasyonlarından biri olan yağ-yakıt alım operasyonuna uygulanmıştır. Uygulama sonuçları modelin özellikle gemi operasyonel risklerine karşı duyarlı ve etkin çözüm üretebilen bir model olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Gemi Filo Yönetimi, Risk Tabanlı Karar Verme, Kritik Gemi Operasyonları, Kanıtsal Sonuç Yaklaşımı, Hata Ağacı Analizi.

A Risk Based Decision Making Approach for Critical Ship Operations

Abstract

The safety and performance parameters of merchant vessels, which are the focus elements in the sustainable maritime transportation, need to be followed precisely. Parallel to this, enforcements of international rules on the environment, safety and human health on maritime transportation are increasingly concentrated nowadays. One of the most up-to-date rules in this concept is compulsory risk assessment on ships which is made mandatory by means of a reference in International Safety Management Code. Therefore, it is necessary for ship management companies to support their safety management systems with a risk assessment methodology capable on assessing ship, personnel and environment based risks. At this insight, this study proposes a risk-based decision making approach for operational and managerial processes in ship fleet management. The proposed approach has an integrated structure in which fault tree analysis and the evidential reasoning approach are used

To cite this article: Çiçek, K. ve Topcu, Y. İ. (2018). Kritik Gemi Operasyonlarına Yönelik Risk Kontrol Esaslı Bir Karar Verme Yaklaşımı. *Journal of ETA Maritime Science*, 6(2), 159-177.

To link to this article: <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2018.28199>

together. It is also supported with fuzzy logic to remove the lack of information and uncertainty of operational and managerial processes. The model is applied to one of the critical shipboard operations; bunkering operation. The application results show that the model can produce a sensitive and efficient solution to ship operational risks.

Keywords: Ship Fleet Management, Risk Based Decision Making, Critical Ship Operations, Evidential Reasoning Approach, Fault Tree Analysis.

1. Giriş

Sürdürülebilir deniz taşımacılığı olgusunun sağlanabilmesi için kalite, emniyet, çevre ve verimlilik gibi kritik ölçütlerdeki beklentilerin en üst düzeyde karşılanması gerekmektedir. Deniz taşımacılığı gibi açık, karmaşık ve dinamik karakteristiklere sahip bir taşımacılık modunda ilgili ölçütlerdeki beklentilerin en üst düzeyde karşılanabilmesi için denizcilik paydaşları sürekli gelişim faaliyetlerine büyük önem göstermelidirler. Denizcilik paydaşlarının sürekli bir gelişim içerisinde olabilmeleri için yönetim anlayışları ve organizasyon yapılarını ilgili hedefler doğrultusunda güncellenmesi ve uygun yönetim araçları ile destekleyerek iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu durum, deniz taşımacılığının sahip olduğu karakteristik özelliklere anlık olarak değişiklik gösterebilen ortam koşulları içerisinde karmaşık bir problem haline dönüşmektedir. Bu karmaşık problem yapısı içerisinde, paydaşların organizasyon ve yönetim süreçlerinde gerçekleştirecekleri iyileştirme ve geliştirmeler, denizyolu taşımacılığına mükemmeliyeti getirecektir.

Gemi işletmeciliği, Celik ve Karayigit [1] tarafından "uluslararası denetimler kontrolünde yürütülen, rekabet şartlarının üst düzeyde gerçekleştiği, emniyet, güvenlik, insan faktörü ve çevresel konulardaki beklentilerin teknolojik gelişmelere paralel olarak arttığı bir yönetim süreci" olarak tanımlanmaktadır. Bu doğrultuda, gemi işletmeciliği firmalarından özellikle güncel ulusal ve uluslararası kural beklentilerini ve rekabet şartlarında belirginleşen anahtar performans göstergeleri ile ilgili beklentileri en üst düzeyde karşılaması beklenmektedir. Bu durum ilgili organizasyonlarının

süreç yönetimlerini anahtar performans gösterge beklentilerini en iyileşecek şekilde tasarlamalarını, etkin bir uygulama gerçekleştirmelerini, sistem çıktılarını izlemelerini ve değerlendirmelerini gerektirmektedir. Süreç yönetimlerinin tasarımında Celik ve Karayigit'in [1] gemi işletmeciliği ile ilgili tanımı doğrultusunda, uluslararası denizcilik kuralları, rekabet, risk, emniyet, kalite, çevre, teknoloji ve insan faktörü unsurlarının dikkate alınması son derece önemlidir. Bunun beraberinde süreç yönetimi içerisinde karşılaşılan problemler, teknolojik gelişmeler ve inovasyon yaklaşımları [2] ile desteklenmiş analitik tabanlı sistematik çözümlerin üretilmesini gerektirmektedir [3, 4, 5, 6]. Bu anlayış, gemi işletmeciliği süreçlerinin kritik ölçütler çerçevesinde kontrol ve izlenmesine olanak sağlayacak uygulanabilir ileri yaklaşımlar geliştirilmesi ile desteklenebilir. Geliştirilecek yaklaşımlar ilgili ölçütlerin izlenmesi ve değerlendirilmesi ile beraber yönetim süreçlerinin iyileştirilmesini sağlayacak bilgiler sunabilme özelliğine de sahip olmalıdır.

Bu düşünce ile şekillenen çalışma kapsamında kritik gemi operasyonlarına yönelik analitik tabanlı bir risk değerlendirme modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin kritik gemi operasyonlarını derinlemesine bir bakış açısı ile inceleyebilecek, uluslararası kural gereksinimlerini karşılayan, gemi ve kara yönetim personeli tarafından kolay kullanılabilir bir sistematığe sahip olması hedeflenmiştir. Önerilen model içerisinde hata ağacı analizi ile kanıtsal sonuçlama yaklaşım bütünleştirilerek bulanık tabanlı olarak geliştirilmiştir. Model, hata ağacı analizinin derinlemesine ve bütünsel bakış

özelliğinden yararlanarak kritik gemi operasyonlarının kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak sağlamaktadır. Hata ağacı analizi yaklaşımının kanıtsal sonuçlama yaklaşımı ile bütünleştirilmesi ile beraber hata ağacı analizi ile tespit edilen olası hataların hem tekil hem de bütünsel olarak değerlendirilmesini imkân vermektedir. Gerek hataların tekil olarak gerekse de operasyonun genel olarak değerlendirilebilmesi gemi ve kara yönetim personeli için son derece kıymetli bilgiler sunmaktadır. Kritik gemi operasyonlarına yönelik risk değerlendirmesindeki bilgi eksikliği ve belirsizliklerin ortadan kaldırılabilmesi için model bulanık mantık ile desteklenmiştir. Önerilen modelin yazın araştırması içerisindeki önemi, yeri ve modele duyulan ihtiyacı ortaya koyabilmek için ikinci bölümde kapsamlı bir yazın araştırması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen yazın araştırması neticesinde tespit edilen bulgular ışığında, üçüncü bölümde önerilen yöntemsel yaklaşımın yapısı detaylı olarak ifade edilmiştir. Önerilen yöntemsel yaklaşımın kritik bir gemi operasyonu olan “yağ/yakıt alım operasyonuna” uygulaması dördüncü bölümde yapılmıştır. Uygulama neticesinde elde edilen sonuçlar ve önerilen yaklaşımın sağladığı katkılar son bölümde sunulmuştur.

2. Yazın Araştırması

Günümüz dünyasında gittikçe artan belirsizlikler, karmaşıklık ve karışıklık derecesi artan sistem ve süreçler risk değerlendirme anlayışını her geçen gün daha da önemli bir hale getirmektedir. Öyle ki, scopus (www.scopus.com) ve web of science (webofknowledge.com) veritabanları üzerinden yapılan yazın araştırmaları risk değerlendirmesi üzerine yapılan çalışmaların sayı ve uygulama alanı çeşitliliğinin önemli seviyelere ulaştığını göstermektedir. 2000-2017 yılları arasında risk değerlendirmesi üzerine

yapılan çalışmalar incelendiğinde sağlık alanında yaklaşık 450.000 makale, genetik ve moleküler biyoloji alanında yaklaşık 66.000 makale, çevre bilimi alanında yaklaşık 61.000 makale ve mühendislik alanında yaklaşık 60.000 makalenin olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmaları denizcilik alanında özelleştirdiğimizde denizcilikte ilk risk değerlendirmesi çalışmasının 1979 yılında Leslie [7] tarafından köprü üstü tasarımının çatışma riskini minimize edilecek şekilde geliştirilmesini konu alan bir çalışma ile başlamaktadır. Devam eden yıllarda denizcilik alanındaki risk değerlendirme çalışmaları çeşitlenerek devam etmiştir ve bu çalışmalarının yaklaşık olarak %10'unu gemi operasyonel süreç iyileştirmesi ile ilgili çalışmalar oluşturmaktadır. İlgili çalışmalar içerisinde öne çıkan çalışmalardan başlıcaları; Gül ve diğerleri [8] tarafından 2017 yılında yapılan balast tanklarının bakım tutumları ile ilgili risk tabanlı bir yaklaşım önerisi çalışmasıdır. Beraberinde, Roshamida ve diğerleri tarafından [9] kuru yük gemilerindeki operasyonlara yönelik bir risk değerlendirme çalışması ortaya koymuştur. Rokseth ve diğerleri [10] deniz operasyonları için sistem tabanlı bir yaklaşım önerisinde bulunmuştur. Akyıldız ve Menteş [11] kargo gemilerinde emniyet için belirsizlik analizi tabanlı bütünelşik risk ölçümleme çalışması sunmuşlardır. Mohana ve Menon [12] gemilerde kapalı mahallere giriş ile ilgili risk ölçümleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Akyüz [13] bulanıklaştırılmış Hata Türü ve Etkileri Analizi modeli ile deniz ulaştırma mühendisliğine yönelik bir risk analizi modeli önerisinde bulunmuştur. Wang ve Lv [14] Ro-Ro gemileri için karmaşık sistemlerde risk tanımlama modeli önerisinde bulunmuşlardır. Stavrou ve Ventikos [15] 2016 yılında yapmış oldukları çalışmalarında gemiden gemiye kargo transfer sürecine yönelik

risk değerlendirmesini Süreç Hata Türü ve Etkileri Analizi modeli ile gerçekleştirmişlerdir. Zhang ve diğerleri [16] iç suyolları taşıma sistemlerine yönelik bulanık tabanlı kanıtsal sonuçlama yaklaşımı modeli ile seyir risk ölçümlemesi gerçekleştirmiştir. 2015 yılında Mentş ve diğerleri [17] biçimsel emniyet değerlendirmesi tabanlı bulanık DEMATEL yaklaşımı ile Türkiye kıyılarında ve açık denizlerde ki kargo gemileri için risk ölçümleme modeli önermişlerdir. Elsayed ve diğerleri [18] bulanık TOPSIS yöntemi ile LNG gemilerine yönelik bir risk ölçümleme çalışması ortaya koymuşlardır. Ung [19] bulanık kural tabanlı denizcilik risk ölçümleme modeli önerisinde bulunmuştur. Povel ve diğerleri [20] 2013 yılında yolcu gemileri için, Zhan ve diğerleri [21] ise konteyner gemileri için bir risk ölçümleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Gasparotti [22], Hong ve diğ. [23], Kirby ve Law [24] yapmış oldukları çalışmalarda gemi kaza kaynaklı yakıt taşıtlarına yönelik risk değerlendirme modeli önerisi gerçekleştirmişlerdir. Çelik ve diğerleri [25] risk tabanlı bir gemi kaza analizi modeli önermişlerdir. Yu ve Cheng [26] yapmış oldukları gri teori analizi önerisi ile gemi pilotajı esnasında ortaya çıkabilecek riskleri tespit edebilmeyi hedeflemişlerdir. Bao ve diğerleri [27] geri beslemeli yapay sinir ağı yöntemi ile gemiler için risk değerlendirme sistem önerisi yapmışlardır. Nielsen ve diğerleri [28] gemi operasyonlarına yönelik risk tabanlı karar destek sistemi tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Wang [29], Merrick ve Van Dorp [30] yaptıkları çalışmalarda denizcilik endüstrisinde risk değerlendirmesi anlayışını o günün şartları içerisinde kapsamlı olarak ele almışlardır. Kum [31] tarafından yapılan *“gemi teknik işletmeciliğinde risk değerlendirmesi anlayışı üzerine geliştirilmiş olan petrol tankerlerinde risk değerlendirmesi”* başlıklı

yüksek lisans tezinde petrol tankerleri için bir risk değerlendirme sistemi önerisi gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar dışında İstanbul Boğazı gemi trafiği üzerine yapılan risk değerlendirmesi [32], dar kanal seyirleri için risk değerlendirmesi [33], LNG gemilerindeki kritik operasyonlara yönelik risk değerlendirmesi [34, 35, 36] çalışmaları da yazında karşılaşılan önemli çalışmalar arasında yer almaktadır.

Yazın araştırması neticesinde kritik gemi operasyonlarına yönelik risk değerlendirme çalışmalarının sınırlı bir düzeyde kaldığı tespit edilmiştir. Bunun beraberinde yazın araştırması yapılan çalışmaların teorik anlamda başarılı sonuçlar sunarken uygulama safhasında yetersiz kaldığı, sektör ihtiyaçlarının göz ardı edilmiş olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu çalışmalar içerisinde özellikle makine dairesi operasyonlarına yönelik çalışmaların yok denecek kadar az seviyede olduğu görülmüştür. Denizcilik endüstrisine yönelik problemlerin genelinde mevcut olan veri eksikliği, yetersiz bilgi düzeyi ve mevcut bilgilerin güvenilirlik seviyesinin net olarak bilinmemesi gibi sorunlar nedeniyle bulanık tabanlı risk değerlendirme yöntemlerin mevcut çalışmalar içerisinde tercih edilirliğinin son derece yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile yazın araştırmasında tespit edilen problemlere çözüm sağlayabilecek özelliklere sahip bir model ortaya konulmuştur. Önerilen model, kritik gemi operasyonlarına yönelik derinlemesine ve kapsamlı bir risk analizi yapabilme özelliğine sahiptir. Bu özellik ile birlikte yazın içerisindeki mevcut çalışmalara göre sağladığı önemli bir katkı olarak ifade edilebilir. Devamında, önerilen model risk analizi sonuçlarını hem tekil olarak değerlendirilmesini sağlamakta hem de bir bütün olarak değerlendirilmesini sağlayacak şekilde sentezleyebilmektedir. Yazın araştırması

içerisinde benzer özelliklere sahip bir model ile karşılaşılmamış olması önerilen modelin yazında sağlayacağı önemli bir iyileştirmedir. Bunun beraberinde uygulanabilirliği yüksek, şirket ve gemi personelinin karar verme süreçlerini iyileştirebilecek niteliklere sahip bir risk tabanlı karar verme sistemi olması ile yazındaki mevcut çalışmalardan ayrılmaktadır. Ancak modelin yoğun bir matematiksel yapıya sahip olması, çalışmanın önemli bir eksikliğidir. Bu eksikliği giderebilmek için modelin bir yazılım ile desteklenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Modelin yazın araştırması neticesinde tespit edilen üstün ve zayıf yönleri, çalışmanın ortaya konulmasında önemli birer yol gösterici olmuştur.

3. Yöntemsel Yaklaşım

Bu çalışma kapsamında önerilmiş olan yöntemsel yaklaşım, Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından önerilmiş olan biçimsel emniyet değerlendirmesinin [37] genel kural ve adımları doğrultusunda veri eksikliği, yetersiz bilgi düzeyi ve belirsizliklerini minimize edebilecek, birden çok sayıdaki hatanın operasyonlar üzerindeki etkilerinin incelenebilmesine olanak sağlayacak yapıya sahiptir. 1994 yılında Liu ve diğerleri [38] tarafından mühendislik sistemleri emniyet analizi ve sentezini üzerine yapılan bir çalışmada kullanılmış olan bulanık kural tabanlı kanıtsal sonuçlama yaklaşımı (KSY) önerilen yöntemsel yaklaşımın temel yapısını oluşturmaktadır. KSY 1995, 1996 yılında Wang ve diğerleri [39, 40] tarafından emniyet analizi ve sentezi üzerine yürütülmüş olan çalışmalar ile bir adım daha ileri götürülmüştür. İlgili yöntemin denizcilik alanında ki ilk uygulaması Jin Wang [41] tarafından 2000 yılında biçimsel emniyet değerlendirmesi ile bütünleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Son olarak 2012 yılında Nwaoha ve diğerleri [42]

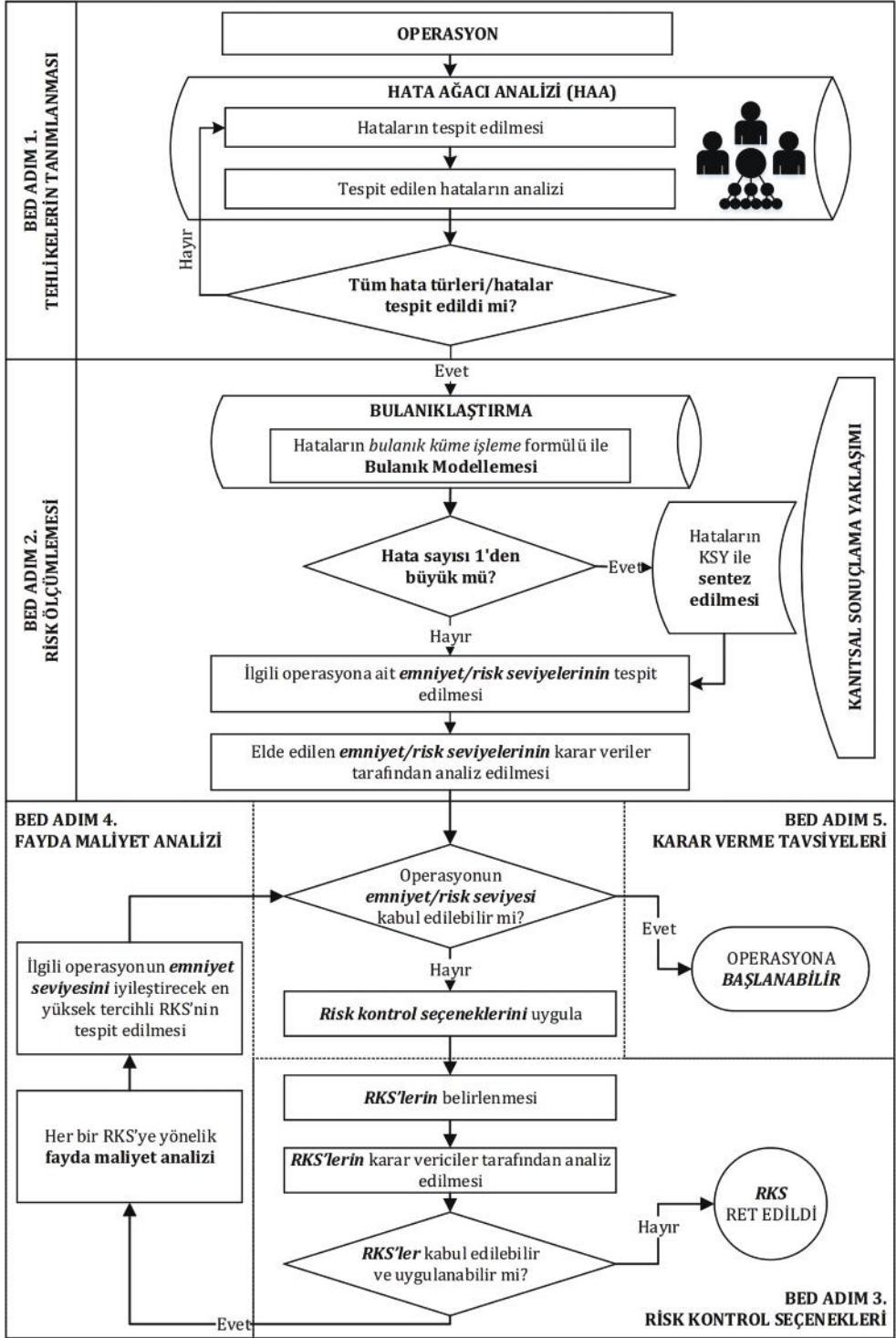
tarafından yöntem LNG gemilerinin LNG gaz depolama sistemlerine yönelik gerçekleştirilen sistem emniyet analizi çalışmasında kullanılmıştır. İlgili çalışmalar içerisindeki yöntemsel esaslar çerçevesinde, bu çalışmada kritik gemi operasyonlarına yönelik risk kontrol esaslı bir karar verme yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım ile beraber i) gemi operasyonlarının doğasından kaynaklanan veri eksikliği, yetersiz bilgi düzeyi ve belirsizliklerini bulanık küme teorisi yardımı ile ortadan kaldırılması, ii) bugüne kadar sadece hata esaslı değerlendirilme yapılabilirken bu yaklaşım ile operasyon genel emniyet/risk seviyesi tespit edilmesi, iii) risk kontrol seçeneklerinin önceliklendirilmesi sağlanarak faydalanıcılara karar verme aşamasında destek sağlanması hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda ortaya konulan risk kontrol esaslı karar verme yaklaşımına ait yöntemsel akış şeması Şekil 1'de görsel olarak sunulmuştur.

Önerilen karar verme yaklaşımına matematiksel model adımları sırası ile şu şekildedir [37, 42, 43];

Adım 1. Hataların tespit edilmesi: Operasyona ait hataların Hata Ağacı Analizi (HAA) yöntemi aracılığı ile tespit edilmesi ile başlamaktadır.

Adım 2. Hata etki değerlerinin tespit edilmesi: HAA incelenerek her bir hataya yönelik hata etki değerleri belirlenir; $w_i, i=1,2,3, \dots, n$.

Adım 3. Hataların bulanık modellenmesi: Tespit edilen her bir hatanın gerek personel, gerek gemi ve kargo ve gerekse de çevre için hata olasılığı, hata sonuç olasılığı ve hata sonuç şiddeti sırası ile Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te ifade edilmiş dilsel ifadeler kullanılarak belirlenir.



Şekil 1. Yöntemsel Akış Diyagramı

Tablo 1. Hata Olasılığı (L) [42]

μ_l 'ye ait dilsel ifadeler	Kategoriler						
	1	2	3	4	5	6	7
Çok sık	0	0	0	0	0	0.75	1
Oldukça sık	0	0	0	0	0	1	0.25
Sık	0	0	0	0.75	1	0.25	0
Orta sıklıkta	0	0	0.5	1	0.5	0	0
Düşük sıklıkta	0	0.25	1	0.75	0	0	0
Oldukça düşük sıklıkta	0.25	1	0.75	0	0	0	0
Çok düşük sıklıkta	1	0.75	0	0	0	0	0

Tablo 2. Hata Sonuç Olasılığı (E) [42]

μ_e 'ye ait dilsel ifadeler	Kategoriler						
	1	2	3	4	5	6	7
Şüphesiz	0	0	0	0	0	0.75	1
Kuvvetle muhtemel	0	0	0	0	0	1	0.25
Sık	0	0	0	0.75	1	0.25	0
Muhtemel	0	0	0.5	1	0.5	0	0
Beklenmedik	0	0.25	1	0.75	0	0	0
Oldukça beklenmedik	0.25	1	0.75	0	0	0	0
Kuvvetle beklenilmedi	1	0.75	0	0	0	0	0

Tablo 3. Sonuç Şiddeti (C) [42]

μ_c 'ye ait dilsel ifadeler	Kategoriler						
	1	2	3	4	5	6	7
Yıkıcı	0	0	0	0	0	0.75	1
Kritik	0	0	0	0.5	1	0.25	0
Marjinal	0	0.25	1	0.5	0	0	0
İhmal edilebilir	1	0.75	0	0	0	0	0

Adım 4. Parametrik sentezlenme: Tespit edilen her bir hata türüne yönelik olarak hata olasılığı, hata sonuç şiddeti ve hata sonuç olasılığı parametreleri tespit edilerek risk/emniyet değerinin hesaplanabilmesi için sentezlenmesi gerekmektedir. Parametrelerin sentezlenmesi için denklem (4)'te sunulan bulanık küme manipülasyon formülü kullanılacaktır.

$$S_i = C_i \circ E_i \times L_i \quad (4)$$

Bu ifade denklem (5)'te verilen üyelik fonksiyonu ile ifade edilecek olur ise,

$$\mu_{S_i} = \mu_{C_i \circ E_i \times L_i} = (\mu_{S_i}^1, \dots, \mu_{S_i}^j) \quad (5)$$

şeklinde gösterilir.

İlgili fonksiyonda ki, S_i risk/emniyet değerini, C_i i.ci hata türüne ait sonuç şiddetinin bulanık kümesini, (\circ) bileşim operatörünü, (\times) kartezyen çarpım operatörünü, E_i i.ci hata türüne ait hata

sonuç olasılığının bulanık kümesini, L_i i.ci hata türüne ait hata olasılığının bulanık kümesini, μ_{S_i} S_i 'nin i.ci tanımlanmış bulanık ayrık kategorisindeki üyelik derecesine göre ($\mu_{S_i}^j$ ($j=1,2,3,\dots,7$)) tanımlama fonksiyonunu, μ_{E_i} E_i 'nin i.ci tanımlanmış bulanık ayrık kategorisindeki üyelik derecesine göre ($\mu_{E_i}^j$ ($j=1,2,3,\dots,7$)) tanımlama fonksiyonunu, μ_{L_i} L_i 'nin i.ci tanımlanmış bulanık ayrık kategorisindeki üyelik derecesine göre ($\mu_{L_i}^j$ ($j=1,2,3,\dots,7$)) tanımlama fonksiyonunu ifade etmektedir.

Adım 5. Hata bazlı risk/emniyet değerlerinin belirlenmesi: Her bir hatanın personel, gemi/kargo ve çevre için risk/emniyet değerlerinin (S_i) elde edilmesinden sonra her bir değer Tablo 4'teki referans emniyet değerlerine ne derece yakın veya uzak olduğu tespit edilir.

Bu doğrultuda, denklem (6), (7), (8), ve (9)'da ifade edilen en uygun konum algoritması formülleri kullanılarak tespit edilen emniyet değerleri ile referans emniyet değerleri arasındaki mesafeler saptanır.

$$d_{i1}(S_i, zayıf) = \left[\sum_{j=1}^7 (\mu_{S_i}^j - \mu_{zayıf}^j)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$d_{i2}(S_i, orta) = \left[\sum_{j=1}^7 (\mu_{S_i}^j - \mu_{orta}^j)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$d_{i3}(S_i, iyi) = \left[\sum_{j=1}^7 (\mu_{S_i}^j - \mu_{iyi}^j)^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

$$d_{i4}(S_i, mükemmel) = \left[\sum_{j=1}^7 (\mu_{S_i}^j - \mu_{mükemmel}^j)^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

Emniyet mesafeleri hesaplandıktan sonra en küçük mesafe değeri d_{ij} , α_{ij} parametresini hesaplamak için seçilir.

Devamında S_i değerinin ve emniyet terimlerinin arasında i göreceli mesafenin tersi (α_{ij}) normalize edilerek yeni β_{ij} indeksi elde edilir.

$$\alpha_{ij} = 1 / d_{ij} / d_{ij} \quad j = 1,2,3,4 \quad (10)$$

Eğer d_{ij} değeri sıfır ise β_{ij} değeri 1'e eşittir ve diğer değerler sıfırdır. Diğer durumlarda β_{ij} şu şekilde hesaplanır,

$$\beta_{ij} = \alpha_{ij} / \sum_{m=1}^4 \alpha_{im} \quad j = 1,2,3,4 \quad (11)$$

β_{ij} ($j=1,2,3,4$) değerleri S_i değerinin j .ci emniyet terimine aitlik derecesini ifade etmektedir. Bu doğrultuda i . hataya ait risk/emniyet değeri,

$$S(S_i) = \{(\beta_{i1}, zayıf), (\beta_{i2}, orta), (\beta_{i3}, iyi), (\beta_{i4}, mükemmel)\} \quad (12)$$

ifadesi ile yazılabilir.

Adım 6. Global risk/emniyet değerlerinin belirlenmesi: Analizi yapılan operasyona yönelik gerçekleştirilen risk/emniyet değerlendirmesinde birden fazla hata tespit edilir ise KSY kullanılarak global risk/emniyet değeri hesaplanır. Öncelikli olarak, S_{11} (1.hata) ve S_{12} (2.hata) risk/emniyet değerleri aşağıda gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

$$S(S_{11}) = \{(\beta_{S_{11}}^1, zayıf), (\beta_{S_{11}}^2, orta), (\beta_{S_{11}}^3, iyi), (\beta_{S_{11}}^4, mükemmel)\}$$

$$S(S_{12}) = \{(\beta_{S_{12}}^1, zayıf), (\beta_{S_{12}}^2, orta), (\beta_{S_{12}}^3, iyi), (\beta_{S_{12}}^4, mükemmel)\}$$

$S(S_{11})$ ve $S(S_{12})$ 'ye ait adım 2'de tespit edilen hata etki değerleri sırası ile w_1 ve w_2 'dir.

Tablo 4. Referans Emniyet Değerleri (S) [42]

μ_s 'ye ait dilsel ifadeler	Kategoriler						
	1	2	3	4	5	6	7
Zayıf	0	0	0	0	0	0.75	1
Orta	0	0	0	0.5	1	0.25	0
İyi	0	0.25	1	0.5	0	0	0
Mükemmel	1	0.75	0	0	0	0	0

$S(S_{i1})$ ve $S(S_{i2})$ 'e ait temel risk/emniyet yoğunluk fonksiyonu,

$$S_{i1m} = w_1 \beta_{S_{i1}}^m \quad m = 1,2,3,4 \quad (13)$$

$$S_{i2m} = w_2 \beta_{S_{i2}}^m \quad m = 1,2,3,4 \quad (14)$$

formülleri ile belirlenir. Bununla beraber,

$$\overline{S_{i1H}} = 1 - w_2 = w_1 \quad (15)$$

$$\overline{S_{i2H}} = 1 - w_1 = w_2 \quad (16)$$

formülleri aracılığı ile diğer hataların değerlendirme içerisinde önem değerini gösteren $\overline{S_{i1H}}$ ve $\overline{S_{i2H}}$ tespit edilmektedir.

$$\widetilde{S_{i1H}} = w_1 (1 - \sum_{j=1}^4 \beta_{S_{i1}}^j) \quad (17)$$

$$\widetilde{S_{i2H}} = w_1 (1 - \sum_{j=1}^4 \beta_{S_{i2}}^j) \quad (18)$$

formülleri ile hesaplanan $\widetilde{S_{i1H}}$ ve $\widetilde{S_{i2H}}$ değerleri, $S(S_{i1})$ ve $S(S_{i2})$ değerlendirilmesinde atanmamış bağımsız arta kalan inanç değerlerini ifade etmektedir.

$$S_{i1H} = \overline{S_{i1H}} + \widetilde{S_{i1H}} \quad (19)$$

$$S_{i2H} = \overline{S_{i2H}} + \widetilde{S_{i2H}} \quad (20)$$

formülleri ile hesaplanan S_{i1H} ve S_{i2H} , $S(S_{i1})$ ve $S(S_{i2})$ alt kümesinin olası eksikliklerini temsil etmektedir. Global (birleştirilmiş) risk/emniyet yoğunluk fonksiyonları S_{im} ve S_{iH} temel risk/emniyet yoğunluk fonksiyonları S_{i1m} ve S_{i2m} ve S_{i1H} ve S_{i2H} kullanılarak,

$$S_{im} = K(S_{i1m}S_{i2m} + S_{i1m}S_{i2H} + S_{i2m}S_{i1H}), m = 1,2,3,4 \quad (21)$$

$$S_{iH} = K(S_{i1H}S_{i2H}) \quad (22)$$

$$K = \left[1 - \sum_{T=1}^4 \sum_{R \neq T} S_{i1T}S_{i2R} \right]^{-1} \quad (23)$$

formülleri ile hesaplanır. Global risk/emniyet değeri ise

$$\beta_i^m = \frac{S_{im}}{1 - S_{iH}}, m = 1,2,3,4 \quad (24)$$

formülü ile hesaplanır.

Adım 7. Risk/emniyet değerlerinin durulaştırılması: Gerek adım 5'te tespit edilen hata bazlı risk/emniyet değerlerinin gerekse de adım 6'da tespit edilen global risk/emniyet değerinin durulaştırılmasında denklem (25)'te sunulan öncelik değer

formülü kullanılarak bulanık risk/emniyet değerlerinin kesin risk/emniyet değerlerine dönüştürülmesi (durulaştırma) sağlanmaktadır.

$$Q_i = \sum_{m=1}^4 \beta_i^m \times V_m \quad (25)$$

İlgili formülde V_1, V_2, V_3, V_4 değerleri,

$$V_1 = \frac{V'_4}{V'_1}, V_2 = \frac{V'_3}{V'_1}, V_3 = \frac{V'_2}{V'_1}, V_4 = 1$$

olacak şekilde ifade edilir. V'_1, V'_2, V'_3 ve V'_4 değerleri sırası ile Tablo 4' teki emniyet ifadesinin dilsel terimleri olan zayıf, orta, iyi ve mükemmel' in ölçeksiz değerlerini temsil etmekte olup V'_1, V'_2, V'_3 ve V'_4 değerleri şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$V'_1 = [0,75/(0,75 + 1)] \times 6 + [1/(0,75 + 1)] \times 7 = 6,571$$

$$V'_2 = [0,5/(0,5 + 1 + 0,25)] \times 4 + [1/(0,75 + 1 + 0,25)] \times 5 + [0,25/(0,5 + 1 + 0,25)] \times 6 = 4,854$$

$$V'_3 = [0,25/(0,25 + 1 + 0,5)] \times 2 + [1/(0,25 + 1 + 0,5)] \times 3 + [0,5/(0,25 + 1 + 0,5)] \times 4 = 3,141$$

$$V'_4 = [1/(1 + 0,75)] \times 1 + [0,75/(1 + 0,75)] \times 2 = 1,428$$

Hesaplanan V'_1, V'_2, V'_3 ve V'_4 değerleri aracılığı ile hesaplanan V_1, V_2, V_3 ve V_4 değerleri yerine koyulduğunda öncelik değer formülü denklem (26)'daki,

$$Q_i = 0,217 \times \beta_i^1 + 0,478 \times \beta_i^2 + 0,739 \times \beta_i^3 + 1 \times \beta_i^4 \quad (26)$$

halini alır. Q_i ($i = 1, 2, 3 \dots n$) i. hatanın risk/emniyet derecesini ifade etmektedir. Düşük riskli hatalar yüksek öncelik değerine sahip olmaktadır.

Adım 8. Risk/emniyet değerlerinin incelenmesi: Hesaplanan hata bazlı risk/emniyet değerlerinin ilgili referans emniyet değerlerine aitlik dereceleri doğrultusunda Tablo 5'te sunulan risk ölçeğine bağlı olarak risk kontrol seçeneği uygulanıp uygulanmayacağına karar verilmektedir.

Hataların referans emniyet değeri "zayıf"a aitlik derecesi 0.25'ten büyük veya referans emniyet değeri "orta"ya aitlik derecesi 0.35'ten büyük ise ilgili hataya yönelik bir riskin kabul edilemez olduğu görülmektedir. Bunun beraberinde referans emniyet değeri "zayıf"a aitlik derecesi 0.25'ten küçük veya referans emniyet değeri "orta"ya aitlik derecesi 0.35'ten küçük ise risklerin tolere edilebilir seviyede

Tablo 7. Maliyet Ölçek Değerleri [43]

Maliyet	Etki değeri	Maliyet açıklamaları
Çok düşük	1	Doküman bazlı güncellemeler
Düşük	3	İlave işgücü gereksinimi
Orta	5	Eğitim programı, önleyici/uyarıcı donanım gereksinimi
Yüksek	7	Operasyonel kısıtlar
Çok yüksek	9	Tasarım/inşa odaklı güncellemeler

seviyeye indirilmesi sağlanır. Devamında ilgili RKSlerin uygulanması ile riskin kabul edilebilir seviyeye indirilmesi ile beraber operasyona başlama kararı verilir.

4. Uygulama: Yağ/Yakıt Alım Operasyonu

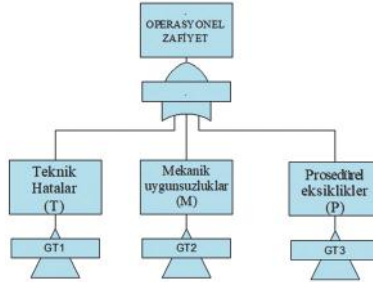
Önerilen yöntemsel yaklaşımın uygulaması kritik bir gemi operasyonu olan yağ/yakıt alım operasyonu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Uygulama için yağ/yakıt alım operasyonunun seçilmesindeki en temel neden gemi türünden bağımsız olarak tüm gemilerde aynı prensip ve adımlar çerçevesinde yürütülüyor olmasıdır. 4 farklı gemi türünde; konteyner gemisi, tanker gemisi, kimyasal gemisi ve dökme yük gemisi; yürütülmekte olan yağ/yakıt alım operasyonunu inceleyebilmek için 4 farklı denizcilik firmasından ilgili operasyonel veriler toplanmıştır. Operasyonel veriler dâhilinde ramak kala raporları, risk değerlendirme raporları ve kaza raporları incelenerek tespit önerilen yöntemsel yaklaşım çerçevesinde analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen uygulama çalışması adımları ile açıklanacak olur ise;

Adım 1. Hataların tespit edilmesi;

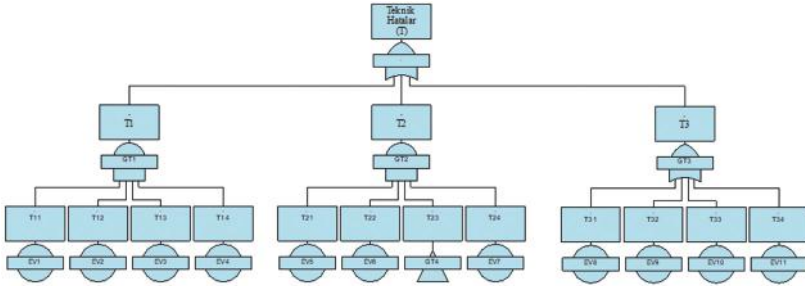
Öncelikle Uygulama için seçilmiş olan yağ/yakıt alım operasyonuna ait ramak kala raporları, risk değerlendirme raporları ve kaza raporları kapsamlı olarak incelenmiştir. Yapılan incelemelerde ramak kala raporlarından 75'in üzerinde ramak kala, risk değerlendirme raporlarından 100'ün üzerinde hata ve kaza raporlarından ise 15 hata tespit edilmiştir. Elde edilen ramak kalalar ve hatalar teknik hatalar,

mekanik uygunsuzluklar ve prosedürel eksiklikler ana başlıkları altında sınıflara ayrılmıştır. 3 ayrı sınıfa ayrılan hatalar öncelikle raporlar içerisindeki yaşanma sıklıklarına bağlı olarak önceliklendirilerek sıklıkla görülen hatalar üzerinde yoğunlaşmıştır. Devamında ilgili hataların birbirleri ile olan ilişkileri, etkileşimleri ve etkileri dikkate alınarak her bir sınıfa ait hata ağacı diyagramları oluşturulmuştur. İlgili değerlendirme çerçevesinde elde edilen hata ağacı diyagramları Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da görsel olarak sunulmuştur.

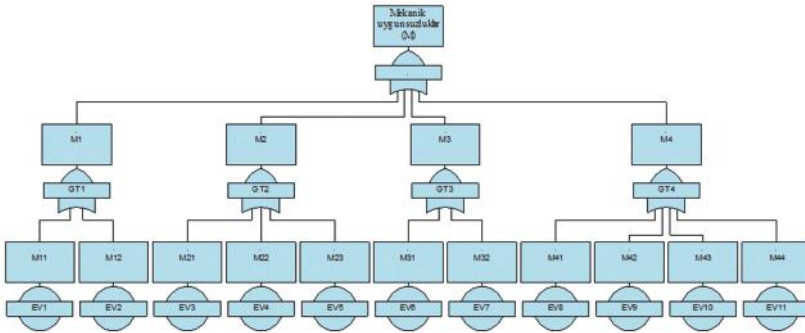
Hata ağaçlarında kodları verilen hatalar şu şekildedir; Teknik hatalar (T); transfer planlama hatası (T1), yakıt miktarı hesaplama hatası (T11), tank sırasının hatalı yapılması (T12), iskandil kayıtlarının yanlış tutulması (T13), gemi trim kayıtlarının hatalı olması (T14), yönetsel planlama süreci hatası (T2), personelin sorumluluklarını bilmemesi (T21), kontrol listesinin eksik gözden geçirilmesi (T22), emniyet tedbirlerinin yetersiz olması (T23), barcın gemiye emniyetli olarak bağlanmaması (T231), gemi ve barç arası geçiş düzeninin emniyetli olmaması (T232), statik elektrik yalıtımının yapılmaması (T233), yakıt alım istasyonunda aydınlatma düzeyinin yetersiz olması (T234), ikaz levhalarının görünür bir yerde olmaması (T235), yakıt alım hortumlarının iyi kondisyonda olmaması (T236), numune alma flenç ve kabının gerektiği gibi bağlanmamış olması (T237), personelin çalışma saatlerine riayet edilmemesi (T24), genel iletişim hataları



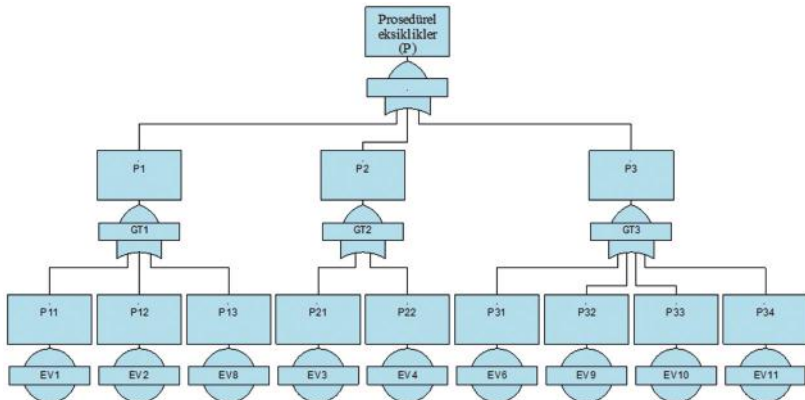
Şekil 3. Yağ/Yakıt Alım Operasyonu Hata Ağacı Diyagramı (1.Seviyesi)



Şekil 4. Yağ/Yakıt Alım Operasyonu Hata Ağacı Diyagramı (2.Seviyesi)



Şekil 5. Yağ/Yakıt Alım Operasyonu Hata Ağacı Diyagramı (4.Seviyesi)



Şekil 6. Yağ/Yakıt Alım Operasyonu Hata Ağacı Diyagramı (5.Seviyesi)

(T3), iletişim ekipmanlarının yetersizliği (T31), barç ve gemi arası koordinasyon eksikliği (T32), sorumlu personeller arası iletişim eksikliği (T33), acil durul iletişim işaretlerinin bilinmemesidir (T34). Mekanik uygunsuzluklar (M), seviye kontrol sistemi arızası (M1), sistem kalibrasyon ve gösterge hatası (M11), devrede oluşan hava ve basınç dalgalanmaları (M12), uzaktan kumanda sistemi arızası (M2), kumanda ünitesi arızası (M21), kumanda anahtarı arızası (M22), enerji kaynağı arızası (M23), uyarı/ikaz sistemi arızası da (M3), kablo arızası (M31), seviye/derece ikaz sensörü arızası (M32), yakıt devresi valf ve bağlantı grubu arızaları (M4), aşınmış valf yuvaları (M41), valf sapı kırılması (M42), sızdırmazlık elemanı arızası (M43), gevşek sıkılmış cıvata ve somunlar (M44). Prosedürel eksiklikler (P), emniyet toplantılarının verimsiz geçmesi (P1), eksik katılımın olması (P11), sorumlu personel listesinin oluşturulmamış olması (P12), sorumluluklar ile ilgili bilgi güncellemelerinin yapılmamış olması (P13), rutin kontrol eksiklikleri (P2), yakıt alım planına uymamak (P21), kötü hava ve deniz koşullarında yetersiz süreç raporlama (P22), acil durum eylem planı eksiklikleri (P3), liman iletişim bilgilerinin eksik olması (P31), acil durum kapama prosedürlerinin önemsenmemesi (P32), kişisel korunma ekipmanları kullanma yetersizliği (P33).

Adım 2. Hata etki değerlerinin tespit edilmesi; HAA ile tespit edilmiş olan olası hataların bulanık olarak modellenmesine başlamadan önce her bir hatanın HAA yardımı ile operasyonel zafiyetin oluşumunda ki etki değerleri tespit edilmiştir. Hata etki değerleri tespit edilirken; hata ağacının tepesinde yer alan tepe olayın değeri "1.00" olarak kabul edilir. VE kapısı ile tepe olaydan ara olaylara inilirse, tepe olaya VE kapısı ile bağlanan ara olay sayısı "1.00" değerine bölünerek her bir ara olayın etki değeri elde edilir.

Bu hesaplama ara olaylara VE kapısı ile bağlanan temel olayların etki değerlerinin hesaplanmasında da geçerlidir. VEYA kapısı ile tepe olaydan ara olaylara inilirse, tepe olayın değeri herhangi bir matematiksel işleme tabi tutulmaksızın ara olayların etki değeri olarak kabul edilir. Bu kabul ara olaylara VEYA kapısı ile bağlanan temel olayların etki değerlerinin belirlenmesi içinde geçerlidir. İlgili prensipler çerçevesinde her bir hata türü için tespit edilen hata etki değerleri sırası ile T11 (0,009), T12 (0,009), T13 (0,009), T14 (0,009), T21 (0,009), T22 (0,009), T231 (0,009), T232 (0,009), T233 (0,009), T234 (0,009), T235 (0,009), T236 (0,009), T237 (0,009), T24 (0,009), T31 (0,036), T32 (0,036), T33 (0,036), T34 (0,036), M11 (0,036), M12 (0,036), M21 (0,036), M22 (0,036), M23 (0,036), M31 (0,036), M32 (0,036), M41 (0,036), M42 (0,036), M43 (0,036), M44 (0,036), P11 (0,036), P12 (0,036), P13 (0,036), P21 (0,036), P22 (0,036), P31 (0,036), P32 (0,036), P33 (0,036), P34 (0,036)'dir.

Adım 3. Hataların bulanık modellemesi; Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te ifade edilmiş dilsel ifadeler kullanılarak her bir hatanın olasılığı, hata sonuç olasılığı ve sonuç şiddeti personel, gemi (kargo dahil) ve çevre için ayrı ayrı belirlenir.

Adım 4. Parametrik sentezleme: Her bir hata için personel, gemi (kargo dahil) ve çevre için belirlenen hata olasılıkları, hata sonuç olasılıkları ve sonuç şiddetleri denklem (4)'te ifade edilmiş olan bulanık manipülasyon formülü kullanılarak her bir hata için Si değerleri bulunmuştur. Örnek olarak, T11 kodlu hata için ilgili hesaplama detaylı olarak ifade edilmiştir;

$L_{T11}=\{1/0, 2/0,25, 3/1, 4/0,75, 5/0, 6/0, 7/0\}$, $E_{T11}=\{1/0,25, 2/1, 3/0,75, 4/0, 5/0, 6/0, 7/0\}$, $C_{T11}=\{1/0, 2/0,25, 3/1, 4/0,5, 5/0, 6/0, 7/0\}$ olup bu dilsel ifadeler

doğrultusunda yapılan hesaplar neticesinde $S_{T11} = \{1/0, 2/0,25, 3/0,75, 4/0,75, 5/0, 6/0, 7/0\}$ olarak bulunmuştur.

Adım 5. Hata bazlı risk/emniyet değerlerinin belirlenmesi: Her bir hata için S_i risk/emniyet değeri hesaplandıktan sonra denklem (6), (7), (8) ve (9)'da ifa edilmiş olan en uygun konum algoritması yardımı ile bulunan değerlerin bulanık emniyet değerlerine olan uzaklıkları tespit edilmiştir. Emniyet mesafeleri hesaplandıktan sonra sırası ile denklem (10), (11) ve (12) kullanılarak risk/emniyet değerleri hesaplanmıştır. T_{11} kodlu hata için sonuçlar $S(S_{T11}) = \{(0.125, \text{zayıf}), (0.156, \text{orta}), (0.585, \text{iyi}), (0.134, \text{mükemmel})\}$ şeklinde hesaplanmıştır. Aynı şekilde adım 1'de tespit edilen diğer tüm hatalar içinde risk/emniyet değerleri hesaplanmıştır.

Adım 6. Global risk/emniyet değerinin belirlenmesi: Adım 5'te tespit edilen hata bazlı risk/emniyet değerleri kullanılarak denklem (13) - (24) arasındaki tüm denklemler sırası ile kullanılarak yapılan işlemler neticesinde yağ/yakıt alım operasyonuna ait global risk/emniyet değeri hesaplanmıştır. Elde edilen global risk/emniyet değeri;

$S(S_{Y/Y}) = \{(0.1860, \text{zayıf}), (0.2726, \text{orta}), (0.3283, \text{iyi}), (0.2131, \text{mükemmel})\}$ olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde tespit edilen diğer tüm hata türleri içinde aynı hesaplama gerçekleştirilmiştir.

Adım 7. Risk/emniyet değerlerinin durulaştırılması: Gerek adım 5 tespit edilen hata bazlı risk değerleri ve gerekse de adım 6'da tespit edilen global risk değerleri denklem (26) kullanılarak durulaştırılmış ve her bir hatanın öncelik derecesi tespit edilmiştir. Yüksek öncelik derecesine sahip hataların risk seviyeleri daha düşüktür. Yapılan hesaplama neticesinde;

$$Q_{T11} = 0.217 \times 0.125 + 0.478 \times 0.1560 + 0.739 \times 0.5850 + 1 \times 0.134$$

$Q_{T11} = 0.6680$ olarak bulunmuştur. Aynı matematiksel işlemler diğer hatalar içinde yapılmış olup; her bir hata türüne için hesaplama sonuçları sırası ile; $Q_{T12} = 0.6085$, $Q_{T13} = 0.6085$, $Q_{T14} = 0.6670$, $Q_{T21} = 0.6852$, $Q_{T22} = 0.5459$, $Q_{T231} = 0.6085$, $Q_{T232} = 0.6085$, $Q_{T233} = 0.6085$, $Q_{T234} = 0.6085$, $Q_{T235} = 0.6085$, $Q_{T236} = 0.6085$, $Q_{T237} = 0.8330$, $Q_{T24} = 0.6680$, $Q_{T31} = 0.6503$, $Q_{T32} = 0.8330$, $Q_{T33} = 0.6680$, $Q_{T34} = 0.6503$, $Q_{M11} = 0.5490$, $Q_{M12} = 0.6085$, $Q_{M21} = 0.6085$, $Q_{M22} = 0.6085$, $Q_{M23} = 0.6852$, $Q_{M31} = 0.5459$, $Q_{M32} = 0.6852$, $Q_{M41} = 0.6085$, $Q_{M42} = 0.6085$, $Q_{M43} = 0.6085$, $Q_{M44} = 0.6085$, $Q_{P11} = 0.6711$, $Q_{P12} = 0.6085$, $Q_{P13} = 0.6085$, $Q_{P21} = 0.5500$, $Q_{P22} = 0.6085$, $Q_{P31} = 0.5459$, $Q_{P32} = 0.6085$, $Q_{P34} = 0.6085$ olup operasyon geneline yönelik emniyet değeri; $S(S_{Y/Y}) = \{(0.1860, \text{zayıf}), (0.2726, \text{orta}), (0.3283, \text{iyi}), (0.2131, \text{mükemmel})\}$ ve $Q_{Y/Y} = 0.6264$ şeklinde tespit edilmiştir.

Adım 8. Risk/emniyet değerlerinin incelenmesi: Elde edilen risk değerleri üzerinde yapılan incelemeler doğrultusunda T_{22} , M_{11} , M_{31} , P_{21} ve P_{31} numaralı hataların risk değerlerinin kabul edilebilir seviyeler içerisinde olmadığı tespit edilmiş ve ilgili hatalara yönelik olarak risk kontrol tedbirleri uygulama kararı alınmıştır.

Adım 9. Risk kontrol seçenekleri havuzunun oluşturulması: Yapılan incelemeler neticesinde kabul edilebilir değerler üzerinde olduğu görülen hataların risk seviyelerini makul değerler içerisine çekebilmek amacı ile RKSlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, yağ/yakıt alım operasyonuna yönelik oluşturulabilecek RKS havuzu için 15 adet RKS belirlenmiştir. Belirlenmiş olan RKSler sırası ile; RKS₁: Gemi yakıt sistemine yönelik proaktif bakım geliştirilmesi, RKS₂: Gemi personeline yönelik tehlike farkındalığı eğitimi verilmesi, RKS₃: Yağ/

Yakıt alım operasyonuna yönelik gemi talimleri geliştirmek ve uygulamak, RKS₄: Yağ/Yakıt alım operasyonu için bir kontrol zabiti atanması, RKS₅: Yakıt alım istasyonu bağlantısı üzerine akış hız ölçüm sensörü yerleştirmek, RKS₆: Gemi ve barç geçişlerinde emniyet kemeri takılması, RKS₇: Liman bilgi talep formu geliştirilmesi ve operasyon öncesi işleme konulması, RKS₈: Kaptan ve baş mühendis için liderlik ve kriz yönetimi ile ilgili uzmanlık eğitimi verilmesi, RKS₉: Mürettebata emniyet kültürü, çevre hassasiyetleri ve cezai yaptırımlar hususunda uygulamalı eğitim verilmesi, RKS₁₀: Emniyet toplantısı düzenleme ve planlama kılavuzu hazırlamak, RKS₁₁: Uygunsuzluk ve tehlikeli oluşum tespitlerinin tekrarını önlemeye yönelik önleyici faaliyetler geliştirmek, RKS₁₂: İş ve işgücü planlama sistemi geliştirmek, RKS₁₃: Hava ve deniz koşullarının tahmin ve sürekli takibini sağlayan bir takip sistemi oluşturmak, RKS₁₄: Acil durum ekipmanlarının operasyon öncesi testlerinin yapılması, RKS₁₅: Doğru tedarikçi ve yakıt alım limanının tespit edilmesidir.

Adım 10. Fayda maliyet analizi: Adım 9'da belirlenmiş olan RKS'lere yönelik fayda/maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen fayda/maliyet analizi neticesinde RKS₁₀ (1) 0.14 puanla en yüksek tercih edilirlilik değerine sahiptir. RKS₁₀'u 0.09 puanla RKS₄ (2) takip etmektedir. Devamında ise, RKS₁₄ (3), RKS₁₂ (4), RKS₉ (5), RKS₇ (6), RKS₈ (7), RKS₂ (8), RKS₁₁ (9), RKS₃ (10), RKS₁₅ (11), RKS₁ (12), RKS₆ (13), RKS₅ (14), RKS₁₃ (15) şeklinde tercih edilebilirlik sırası ile sıralanmaktadır.

Adım 11. RKSlerin uygulanması: Adım 10'da gerçekleştirilen fayda maliyet analizi neticesinde tespit edilen RKS öncelik sıraları dikkate alınarak, risk değeri yüksek çıkan T22, M11, M31, P21 ve P31 numaralı hataların olası etkilerini azaltacak

RKS belirlenmiştir. Belirlenen RKS uygulanarak ilgili hataların risk değerleri kabul edilebilir seviyelere indirilmiştir. T22, P21 ve P31 numaralı hatalar için en etkin RKS'nin RKS₁₀, M11 ve M31 için en etkin RKS'nin RKS₁ olduğu tespit edilmiş ve ilgili RKSler uygulanmıştır. Uygulanan RKSler doğrultusunda gerçekleşen iyileşmeler paralelinde operasyonun genel emniyet değeri $S(S_{Y/Y}) = \{(0.1860, \text{zayıf}), (0.2726, \text{orta}), (0.3283, \text{iyi}), (0.2131, \text{mükemmel})\}$ ve $Q_{Y/Y} = 0.6264$ değerlerinden $S(S_{Y/Y}) = \{(0.1721, \text{zayıf}), (0.2767, \text{orta}), (0.3593, \text{iyi}), (0.6375, \text{mükemmel})\}$ ve $Q_{Y/Y} = 0.6264$ değerlerine yükselmiştir.

Çalışma kapsamında önerilen yöntemin yağ yakıt alım operasyonuna uygulanması neticesinde elde edilen sonuçlar ilgili operasyonun emniyet seviyesi hakkında son derece değerli bilgiler sunmaktadır. Öyle ki; tespit edilen hatalara ait risk/emniyet değerleri operasyonun emniyet seviyesini tehdit eden noktalar/hatalar somut olarak ortaya konulmuştur.

5. Sonuçlar

Bu çalışma ile kritik öneme sahip gemi operasyonlarına yönelik bir risk değerlendirme modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model kritik gemi operasyonlarından biri olan yağ/yakıt alım operasyonuna uygulanmıştır. Yapılan uygulama çalışmasında kontrol listesinin eksik gözden geçirilmesi, kablo arızası, sistem kalibrasyon ve gösterge hatası, yakıt alım planına uymamak ve liman iletişim bilgilerinin eksik olması hataları risk seviyesi kabul edilebilir seviyede olmayan hatalar olarak tespit edilmiştir. İlgili hatalar göstermektedir ki gemi personelindeki farkındalık eksikliği yağ/yakıt alım operasyonunu emniyetli bölgeden riskli bölgeye taşıyabilecek kritik hataların tetikleyici olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun beraberinde düzenli kalibrasyon ve gösterge doğruluğu en az

dikkat edilen noktalardan birisi olmasına rağmen yağ/yakıt alım operasyonu için risk seviyesi en yüksek hatalardan biri olarak tespit edilmiştir. Dolayısı ile gerek gemi gerekse de kara yönetim personelinin durumsal farkındalığının en üst seviyeye çıkarılması kritik operasyonların emniyetli bölge içerisinde yürütülebilmesi için son derece önem arz ettiği görülmüştür. Yapılan uygulama çalışmasında elde edilen sonuçlar doğru bir şekilde yorumlandığında gemi üzerindeki emniyet seviyesinin iyileştirilmesinde önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Yapılan uygulama çalışması ile beraber modelin sağlayacağı olası faydalar somutlaştırılmaya çalışılmıştır. Modelin, uluslararası emniyet yönetim kod gereksinimlerini karşılayabilecek, biçimsel emniyet değerlendirme sistemi ile bütünleşik, farklı operasyonel ve yönetsel süreç analizlerinde de kullanılabilir bir yapıya sahip olması uygulanabilirliğini en üst seviyeye çıkaran önemli avantajlarının başında gelmektedir. Bunun beraberinde önerilen yaklaşım; emniyet yönetim sistemi kapsamında 2010 yılından itibaren gemilerde zorunlu hale gelen risk değerlendirme sistematığı geliştirme çalışmalarını destekler niteliklere sahiptir. Operasyonların risk değerlendirmesini gerçekleştirmenin yanı sıra ilgili operasyonların risk karakteristiklerini de ortaya koyarak operasyonların emniyet derecesini en iyileştirebilecek kararların alınmasına olanak sağlamaktadır. Bugüne kadar yeteri düzeyde önem verilmemiş olan ancak yapısı gereği pek çok tehlikeyi bünyesinde barındıran gemi makineleri operasyonlarına yönelik bir risk değerlendirme sistemi ortaya koymaktadır. Mali değeri bilinmeyen veya hesaplanamayan RSKlere yönelik fayda/maliyet analizi gerçekleştirebilecek bir yapıya sahiptir. Sahip olduğu yapısı itibarı ile bilgi eksikliği ve belirsizliği içeren problemlerin çözümünde kullanılabilir

yapıdadır. Sonuç olarak, bu çalışma ile beraber denizcilik endüstri paydaşları arasında kritik öneme sahip gemi işletmeciliği firmalarının işletmeciliği altındaki gemilerde yürütülen kritik operasyonlar için gerekli olan risk değerlendirme sistematığına yönelik uygulanabilirliği yüksek bir yöntemsel yaklaşım ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın sağlayacağı ivme ile beraber ileriye yönelik planlanan önemli araştırma hedeflerinin ilki önerilen modelin gemi üzerindeki diğer operasyonlara uygulamasının gerçekleştirilmesidir. Devamında ikinci ve en önemli araştırma hedefi modelin gemi üzerindeki tüm kritik operasyonlara uygulanması ile edile edilecek sonuçlar doğrultusunda kritik risk operasyonlara ait hata havuzunun oluşturulmasıdır. Üçüncü önemli araştırma hedefi ise oluşturulan hata havuzu içerisindeki her bir hatanın hata olasılığı, hata sonuç olasılığı ve sonuç şiddeti verilerini içeren hata veri havuzu oluşturularak bilgi eksikliği ve belirsizliğinden kaynaklanan bulanık model gereksinimi ortadan kaldırmak olacaktır. Ayrıca çevresel faktörlerinin etkisinin modele entegrasyonu ve modelin bir yazılım ile desteklenerek ticarileştirilmesi diğer önemli araştırma hedefleridir.

6. Açıklama

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Doktora Programı'nda Prof. Dr. Yusuf İlker TOPÇU danışmanlığında Kadir ÇİÇEK tarafından tamamlanan **"Gemi filo yönetiminde risk kontrol esaslı bir karar verme yaklaşımı"** (Cicek, 2013) isimli doktora tezinden üretilmiştir.

Bu çalışmanın yayınlanma sürecinde çalışmayı değerlendirmek için harcadıkları zaman ve yapıcı eleştirileri için makalemizin hakemlerine teşekkür ederiz.

Kaynakça

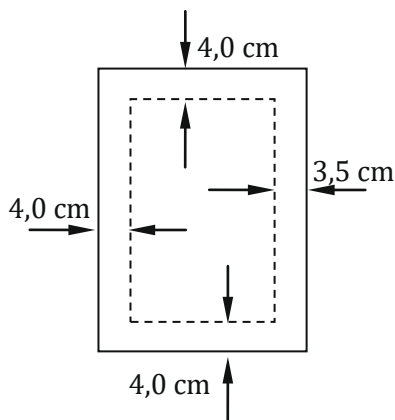
- [1] Celik M., ve Karayigit, B. (2007). Gemi işletmeciliği firmalarının teknik yönetim karar süreçlerinin modellenmesine yönelik karar destek sistemi önerisi. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi YA/EM 2007, Temmuz 2-4, 2007 İzmir, Türkiye, s.887-892.
- [2] Jenssen, J.I., ve Randoy, T. (2006). The performance effect of innovation in shipping companies. *Maritime Policy & Management*, 33(4):327-343.
- [3] Panayides, P.M. (2003). Competitive strategies and organizational performance in ship management. *Maritime Policy & Management*, 30(2):123-140.
- [4] Hork J. (2004). An analysis of decision making process in multi-cultural maritime scenarios. *Maritime Policy & Management*, 31(1):15-29.
- [5] Panayides, P.M. (2006). Maritime policy, management, and research: role and potential. *Maritime Policy & Management*, 33(2):95-105.
- [6] Roe, M. (2007). Shipping, Policy and Multi-Level Governance. *Maritime Economics & Logistics*, 9(1):84-104.
- [7] Leslie, J. A. (1979). Ships and Bridges, 3rd International Conference on Application of Statistics and probability in Soil and Structural Engineering, Sydney, Australia.
- [8] Gul, M., Celik, E., Akyuz, E. (2017). A hybrid risk-based approach for maritime applications: The case of ballast tank maintenance. *Human and Ecological Risk Assessment*, 23(6):1389-1403.
- [9] Roshamida, A.J., Amir, M.A.U., Zulkify, M.R. (2017). Risk assessment of dry bulk cargo operations using Analytic Hierarchy Process (AHP) method, ICICTM 2016 - Proceedings of the 1st International Conference on Information and Communication Technology, s.146-159.
- [10] Rokseth, Bø., Utne, I.B., Vinnem, J.E. (2017). A systems approach to risk analysis of maritime operations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 231(1):53-68.
- [11] Akyildiz, H., Menten, A. (2017). An integrated risk assessment based on uncertainty analysis for cargo vessel safety. *Safety Science*, 92:34-43.
- [12] Mohana Krishnan, G., Menon, M. (2017). Risk assessment for entering enclosed spaces on board ships. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(4):1092-1097.
- [13] Akyuz, E. (2017). Application of fuzzy FMEA to perform an extensive risk analysis in maritime transportation engineering. *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects Part A: International Journal of Maritime Engineering*, 159:99-105.
- [14] Wang, D.L., Lv, X. (2017). Research on operation risk identification model of ro-ro passenger ship based on brittleness theory of complex system. *Conference Proceedings of the 5th International Symposium on Project Management, ISPM 2017*, s.311-316.
- [15] Stavrou, D.I., Ventikos, N.P. (2016). A novel approach in risk evaluation for ship-to-ship (STS) transfer of cargo using process failure mode and effects analysis (PFMEA). *Journal of Risk Research*, 19(7):913-933.
- [16] Zhang, D., Yan, X., Zhang, J., Yang, Z., Wang, J. (2016). Use of fuzzy rule-based evidential reasoning approach in the navigational risk assessment of inland waterway transportation systems. *Safety Science*, 82:352-360.
- [17] Menten, A., Akyildiz, H., Yetkin, M., Turkoglu, N. (2015). A FSA based fuzzy DEMATEL approach for risk assessment of cargo ships at coasts and open seas of Turkey. *Safety Science*, 79:1-10.

- [18] Elsayed, T., Marghany, K., Abdulkader, S. (2014). Risk assessment of liquefied natural gas carriers using fuzzy TOPSIS. *Ships and Offshore Structures*, 9(4):355-364.
- [19] Ung, S.T. (2014). A novel maritime risk assessment model incorporating a fuzzy rule-based approach. *Expert Systems*, 31(5):398-408.
- [20] Povel, D., Ullrich, A., Ott, A. (2013). Risk assessment for passenger ships. RINA, Royal Institution of Naval Architects - Design and Operation of Passenger Ships, s.21-24
- [21] Zhan, Y., Hao, Y., Yu, Y., Wu, D. (2012). HAZOP analysis-based method on the risk assessment of the main engine of the 10000TEU container ship. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, 115(2):257-264.
- [22] Gasparotti, C. (2010). Risk assessment of marine oil spills. *Environmental Engineering and Management Journal*, 9(4):527-534.
- [23] Hong, X., Chen, W., ve Zhang, L. (2010). A probabilistic Risk Forecast of Accidental Oil Spills from Vessels in Luoyuan Bay, Fujian Province, PRC. *Procedia Environmental Sciences*, 2:49-56.
- [24] Kirby, M.F., ve Law, R.J. (2010). Accidental spills at sea – Risk, impact, mitigation and the need for co-ordinated post-incident monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 60(6):797-803.
- [25] Celik, M., Lavasani, S.M., ve Wang, J. (2010). A risk-based modelling approach to enhance shipping accident investigation. *Safety Science*, 48(1):18-27.
- [26] Yu, L., ve Cheng, F. (2010). Grey assessment model of risks in ship pilotage. 2010 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology (ICMIT), Singapore, 2-5 Haziran, s.1099-1102.
- [27] Bao, J., Liu, Z., ve Huang, T. (2010). Ship risk assessment model. *Journal of Dalian Maritime University*, 36(4):11-13.
- [28] Nielsen, U.D., Friis-Hansen, P., ve Jensen, J.J. (2009). A step towards risk-based decision support for ships - Evaluation of limit states using parallel system analysis. *Marine Structures*, 22(2):209-224.
- [29] Wang, J. (2006). Maritime Risk Assessment and its Current Status. *Quality and Reliability Engineering International Special Issue: Maritime Risk Modelling and Decision Making*, 22(1):3-19.
- [30] Merrick, J.R.W., ve Van Dorp, J.R. (2006). Speaking the Truth in Maritime Risk Assessment. *Risk Analysis*, 26(1):223-237.
- [31] Kum, S. (2005). Petrol tankerlerinde risk değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] Ulusçu, O.S., Ozbaş, B., Altiok, T., ve Or, I. (2009). Risk analysis of the vessel traffic in the strait of Istanbul. *Risk Analysis*, 29(10):1454-72.
- [33] Chin, H.C., ve Debnath, A.K. (2009). Modeling perceived collision risk in port water navigation. *Safety Science*, 47(10):1410-1416.
- [34] Elsayed, T., Lehetab, H., ve Shehadeha, M. (2009). Multi-attribute risk assessment of LNG carriers during loading/offloading at terminals. *Ships and Offshore Structures* 4(2):127-131.
- [35] Bubbico, R., Di Cave, S., ve Mazzarotta, B. (2009). Preliminary risk analysis for LNG tankers approaching a maritime terminal. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(5):634-638.
- [36] Vanem, E., Antão, P., Østvik, I., ve Del Castillo de Comas F. (2008). Analysing the risk of LNG carrier operations. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(9):1328-1344.

- [37] International Maritime Organization, (2002). Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process.
- [38] Liu, L., Yang, J.B., Wang, J., ve Sii, H.S. (1994). Engineering system safety analysis and synthesis using the fuzzy rule-based evidential reasoning approach. *Quality and Reliability Engineering International*, 21:387-411.
- [39] Wang, J., Yang, J.B., ve Sen, P. (1995). Safety analysis and synthesis using fuzzy set modelling and evidential reasoning. *Reliability Engineering and System Safety*, 47(3):10-118.
- [40] Wang, J., Yang, J.B., ve Sen, P. (1996). Multi-person and multi-attribute design evaluations using evidential reasoning based on subjective safety and cost analyses. *Reliability Engineering and System Safety*, 52(2):113-129.
- [41] Wang, J. (2000). A subjective modelling tool applied to formal ship safety assessment. *Ocean Engineering*, 27(10):1019-1035.
- [42] Nwaoha, T.C., Yang, Z., Wang, J., ve Bonsall, S. (2012). A new fuzzy evidential reasoning method for risk analysis and control of a liquefied natural gas carrier system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 225:206-225.
- [43] Celik, M., ve Kandakoglu, A. (2012). Maritime policy development against ship flagging out dilemma using a fuzzy quantified SWOT analysis. *Maritime Policy & Management*, 39(4):401-421.
- [44] Cicek, K. (2013). Gemi filo yönetiminde risk kontrol esaslı bir karar verme yaklaşımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

This Page Intentionally Left Blank

1. JEMS publishes studies conducted in English and Turkish.
2. Text are to be prepared with justified alignment , without indentation in the paragraph beginning, in “cambria” format with 10 point font size and with 1,0 line- spacing. There must be initially 6nk and then 3nk line-spacing between new launching paragraph and previous paragraph. Full text should not exceed 12 pages.
3. Worksheets must be on A4 paper size and margins should be 4 cm from top, 4 cm from bottom, 4 cm from left and 3,5 cm from right.



4. The text of abstract should be written fully justified, in italics and 10 pt. The section should be also no more than 150 words. The number of keywords should be between 3-5.
5. Studies must be submitted online from the journal’s web address (<http://www.jemsjournal.org>). Articles printed or within CD, articles submitted by mail, fax etc. is not acceptable.
6. The main title of article must be written in Turkish and English respectively for Turkish studies, in English for English studies and should be set centered in 12 point-size. Initially 6nk and after 6nk space should be left before the main title.
7. The first letter of the primary headings in the article should be capital letter, and all headings and sub-headings should be designed 10 pt, bold and located to the left with numbering, and also navy blue color should be used for sub-headings.
 1. OrcaFlex Program
 - 1.1. Axis Team
8. The table heading should be placed above the table and the figure heading should be placed below the figure. 2 nk spaces should be added before the table heading and figure heading and also 3 nk space should be added after. The “table” and the “figure” should be written as bold and left aligned. First letters of table, figure and equation headings should be written with capital letters. The heading and the content should be written with “cambria” font and 10 point size. If tables, figures and equations in the study are cited, their references should be stated. 2 nk spaces should be added before references and 3 nk spaces should be added after. If tables and figures don’t fit into a single column, they should be designed to include two columns. Tables and figures which include two columns should be stated at the top or bottom of the page. Total number of figures and tables should not exceed 10.

Table 1. Sample Table

Turkish Male Seafarers (n = 131.152)	BMI < 25,0	BMI 25 - 30	BMI ≥ 30	Number of Participants
16-24 Ages Group	74,1%	22,5%	3,4%	34.421
25-44 Ages Group	44,1%	43,3%	12,6%	68.038
45-66 Ages Group	25,6%	51,1%	23,4%	28.693
All Turkish Male Seafarers	47,9 %	39,6 %	12,5%	131.152
Turkish Male Population*1	47,3 %	39,0 %	13,7 %	-

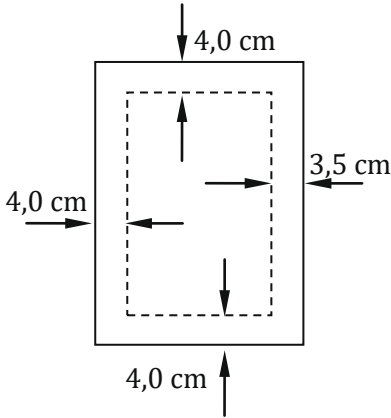
9. In the article, decimal fractions should be separated with comma and numbers should be separated with dots.

Average age: 28,624

Number of participants: 1.044 people

10. Page numbers, headers and footers should not be added to the study. These adjustments will be made by the journal administration.
11. Authors are deemed to have accepted that they have transferred the copyright of their studies to the journal by submitting their studies to our journal. Submitting a study to two different journals simultaneously is not suitable within the frame of academic ethics.
12. It is required that the studies are original and have not been published elsewhere before. If conference and symposium papers were published in a booklet, in this case they shall be published by JEMS on the condition that the copyright has not been transferred to the first publishing place. Information must be given to the journal editorship about the place where these kinds of papers were published before.
13. Citations in the study should be designed in brackets by numbering [1]. References also should be numbered in brackets as well. References should be prepared according to the APA format.

1. JEMS Türkçe ve İngilizce çalışmalar yayımlamaktadır.
2. Hazırlanan metinler; iki yana yaslanmış, paragraf başlarında girinti yapmadan, "cambria" formatında, 10 punto büyüklüğünde ve 1,0 satır aralıklı yazılmalıdır. Yeni başlanan paragraflar ile bir önceki paragraf arasında önce 6nk sonra 3nk satır aralığı olmalıdır. Tam metin toplam sayfa sayısı 12 sayfayı geçmemelidir.
3. Çalışma sayfaları A4 kağıt boyutunda ve üst 4 cm, alt 4 cm, sol 4 cm, sağ 3,5 cm olacak şekilde kenar boşlukları bırakılmalıdır.
6. Makalenin ana başlığı, Türkçe çalışmalarda sırasıyla Türkçe ve İngilizce, İngilizce yazılmış makalelerde ise İngilizce olarak yazılmalı ve 12 punto büyüklüğünde ortalanmış olarak ayarlanmalıdır. Ana başlıktan önce 6nk sonra 6nk boşluk bırakılmalıdır.
7. Makalede yer alan birincil başlıkların ilk harfleri büyük olacak şekilde sola dayalı ve numara verilerek 10 punto ile kalın yazılmalıdır. Alt başlıklar ise aynı şekilde 10 punto ile kalın yazılmalıdır. Bütün başlıklarda ve alt başlıklarda lacivert renk kullanılmalıdır.



4. Öz bölümünde çalışma ile ilgili kısa bilgilere ve temel bulgulara yer verilmelidir. Bu bölüm iki tarafa dayalı, italik ve 10 pt ile yazılmalı ve ayrıca 150 kelimeyi geçmemelidir. Bunun yanında anahtar kelimelerin sayısı ise 3-5 arasında olmalıdır.
5. Çalışmalar derginin web adresinden (<http://www.jemsjournal.org>) online olarak gönderilmelidir. Basılı ya da CD içerisinde veya posta, faks vb. yollarla gönderilen yazılar kabul edilmemektedir.
1. OrcaFlex Program
1.1. Axis Team
8. Tablo başlığı tablonun üstünde şekil başlığı şeklin altında yer almalıdır. Tablo başlığı ve şekil başlığından önce 2 nk sonra 3 nk boşluk bırakılmalı ve sola dayalı olarak sadece "tablo" ve "şekil" yazısı kalın olacak şekilde yazılmalıdır. Tablo, şekil ve denklem başlıklarındaki kelimelerin ilk harfleri büyük yazılmalıdır. Başlık ve içerik "cambria" formatında, 9 punto büyüklüğünde yazılmalıdır. Çalışma içinde yer alan tablo, şekil ve denklemler alıntı yapılmış ise kaynakları belirtilmelidir. Kaynaklardan önce 2 nk sonra 3 nk boşluk bırakılmalıdır. Tablo ve şekiller tek sütuna (burada ki sütun ifadesi makale yazımındaki ifade etmektedir) sığmayacak büyüklükte ise iki sütunu da kapsayacak şekilde verilmelidir. İki sütunu da kapsayan şekil ve tablolara sayfanın en üstünde veya en altında verilmelidir. Toplam şekil ve tablo sayısı 10 adeti geçmemelidir

Tablo 1. Örnek Tablo

Turkish Male Seafarers (n = 131.152)	BMI < 25,0	BMI 25 - 30	BMI ≥ 30	Number of Participants
16-24 Ages Group	74,1%	22,5%	3,4%	34.421
25-44 Ages Group	44,1%	43,3%	12,6%	68.038
45-66 Ages Group	25,6%	51,1%	23,4%	28.693
All Turkish Male Seafarers	47,9 %	39,6 %	12,5%	131.152
Turkish Male Population*1	47,3 %	39,0 %	13,7 %	-

9. Makale içerisinde ondalık kesirler virgöl ile sayılar ise nokta ile ayrılmalıdır.

Örnek:

Ortalama yaş: 28,624

Katılımcı sayısı: 1.044 kişi

10. Çalışmaya sayfa numaraları, alt bilgi ve üst bilgi eklenmemelidir. Bu düzenlemeler dergi yönetimi tarafından yapılacaktır.
11. Yazarlar çalışmalarını dergimize göndererek çalışmalarına ait telif hakkını dergiye devrettiklerini kabul etmiş sayılırlar. Bir çalışmanın aynı anda iki yere birden değerlendirme amaçlı gönderilmesi akademik etik çerçevesinde uygun değildir.
12. Çalışmaların orijinal olması, daha önce başka bir yerde yayımlanmamış olması gerekmektedir. Kongre ve sempozyum bildirimleri bir kitapçıkta yayınlanmış ise, bu durumda, telif hakkı ilk yayınlanan yere devredilmemiş olması kaydı ile, JEMS tarafından yayınlanır. Bu tip bildirimlerin daha önce yayınlandığı yer ile ilgili dergi editörlüğüne bilgi verilmelidir.
13. Çalışma içinde yer alan atıflar parantez içinde numara verilerek yapılmalıdır [1]. Atıflarda olduğu gibi kaynaklar da parantez içinde numaralandırılmalıdır. Kaynaklar APA formatında gösterilmelidir.

Journal of ETA Maritime Science is an independent publication with regards to scientific research and the editor decide its publication policy. The statement signifies the ethical behavior of the publisher, the editor, the reviewers and the authors. The ethics statement for JEMS is based on COPE Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors and COPE Best Practice Guidelines for Journal Editors available at www.publicationethics.org.

A. DUTIES OF PUBLISHER:

Editorial Autonomy

JEMS is committed to ensure the autonomy of editorial decisions without influence from anyone or commercial partners.

Intellectual Property and Copyright

JEMS protects property and copyright of the articles published in the Journal and maintains each article's published version of record. JEMS provides the integrity and transparency of each published articles.

Scientific Misconduct

JEMS always takes all appropriate measures in respect to fraudulent publication or plagiarism the publisher.

B. DUTIES OF EDITORS:

Decision on Publication and Responsibility

The editor of JEMS keeps under control everything in the journal and strives to meet the needs of readers and authors. The editor also is responsible for deciding which articles submitted to journal ought to be published in the journal, and may be guided by the policies subjected to legal requirements regarding libel, copyright infringement and plagiarism. The editor might discuss with reviewers while making publication decision. Editor is responsible

for the contents and overall quality of the publication. Editor ought to provide a fair and appropriate peer-review process.

Objectivity

Articles that submitted to journal are always evaluated without any prejudice.

Confidentiality

Any information about a submitted article must not be disclosed by editor to anyone other than editorial staff, reviewers, and publisher.

Conflicts of Interest and Disclosure

The Editor of JEMS does not allow any conflicts of interest between the parties such as authors, reviewers and editors. Unpublished materials in a submitted article must not be used by anyone without the express written assent of the author.

C. DUTIES OF REVIEWERS:

Evaluation

Reviewers evaluate manuscripts without origin, gender, sexual orientation or political philosophy of the authors. Reviewers also ensure a fair blind peer review of the submitted manuscripts for evaluation.

Confidentiality

All the information relative to submitted articles is kept confidential. The reviewers must not be discussed with others except if authorized by the editor.

Disclosure and Conflict of Interest

The reviewers have no conflict of interest with regard to parties such as authors, funders, editors and etc.

Contribution to editor

Reviewers give helps the editor in making decisions and may also assist the author in improving the manuscript.

Objectivity

The objective judgment evaluation is always done by them. The reviewers express their views clearly with appropriate supporting arguments.

Acknowledgement of Sources

Reviewers ought to identify relevant published study that has not been cited by the authors. Reviewers also call to the editor's attention any substantial similarity or overlap between the manuscript and any other published paper of which they have personal knowledge.

D. DUTIES OF AUTHORS:

Reporting Standards

A submitted manuscript should be original and the authors ensure that the manuscript has never been published previously in any journal. Data of the research ought to be represented literally in the article. A manuscript ought to include adequate detail and references to allow others to replicate the study.

Originality

The authors who want to submit their study to the journal must ensure that their study entirely original and the words and sentences getting from literature should be appropriately cited.

Multiple Publications

Authors should not submit the same study for publishing any other journals. Simultaneous submission of the same study to more than one journal is unacceptable and constitutes unethical behavior.

Acknowledgment of Sources

Convenient acknowledgment of the study of others has to be given. Authors

ought to cite publications that have been efficient in determining the study. All of the sources that used process of the study should be remarked.

Authorship of a Paper

Authorship of a paper ought to be limited to those who have made a noteworthy contribution to study. If there are others who have participated process of the research, they should be listed as contributors. Authorship also includes a corresponding author who is in communication with editor of a journal. The corresponding author should ensure that all appropriate co-authors are included on a paper.

Disclosure and Conflict of Interest

All sources of financial support should be disclosed. All authors ought to disclose a meaningful conflict of interest in the process of forming their study.

Fundamental Errors in Published Works

If authors find out a remarkable error in their submitted study, they have to instantly inform it. Authors have a liability to cooperate with editor to provide corrections of errors.

ETA Denizcilik Bilimi Dergisi, bilimsel araştırma ile ilgili olarak yayımlanan bağımsız bir yayındır ve yayın politikasını editör belirlemektedir. Bu bildirge dergi imtiyaz sahibi, editör, hakemler ve yazarların etik davranışlarını içermektedir. JEMS'in etik beyanı, COPE Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors ve COPE Best Practice Guidelines for Journal Editors esaslarına dayanmaktadır ve bu kaynaklar www.publicationethics.org web adresinde ücretsiz olarak paylaşılmaktadır.

A. DERGİ İMTİYAZ SAHİBİNİN SORUMLULUKLARI:

Editorial Bağımsızlık

JEMS, herhangi bir kimse veya ticari ortaklarının etkisi olmadan editorial kararların bağımsızlığının sağlanmasını taahhüt etmektedir.

Fikri Mülkiyet ve Telif Hakkı

JEMS, dergide yayımlanan makalelerin mülkiyet ve telif haklarını korur ve her makalenin yayımlanmış versiyonunun kaydını sağlamaktadır. JEMS, yayımlanmış her makalenin bütünlüğünü ve şeffaflığını sağlamaktadır.

Bilimsel Suiistimal

JEMS, hileli yayın veya yayıncı intihali ile ilgili olarak daima uygun tedbirleri almaktadır.

B. EDITÖRÜN SORUMLULUKLARI:

Yayın ve Sorumluluk Kararı

JEMS editörü, dergideki her şeyi kontrol altında tutmaktadır ve okuyucuların ile yazarların ihtiyaçlarına cevap vermek için çaba göstermektedir. Editör ayrıca,

dergiye gönderilen makalelerden hangilerinin dergide yayınlanacağını ve

hangilerinin onur kırıcı yayın, telif hakkı ihlali ve intihal ile ilgili yasal gerekliliklere tabi politikalarla karar verilmesinden sorumludur. Editör, yayın kararı verilirken hakemler ile müzakere edebilir. Editör, içerik ve genel olarak yayın kalitesinden sorumludur. Editör adil ve uygun bir hakem süreci sağlamalıdır.

Tarafsızlık

Dergiye gönderilen makaleler daima, herhangi bir önyargı olmaksızın değerlendirilmektedir.

Gizlilik

Dergiye gönderilen bir makale ile ilgili herhangi bir bilgi, editör tarafından yayın kurulu, hakemler ve dergi sahibi dışında herhangi bir kimseye ifşa edilmemelidir.

Çıkar Çatışmaları ve İfşa Etme

JEMS editörü yazarlar, hakemler ve editörler gibi taraflar arasındaki herhangi çıkar çatışmalarına izin vermez. Dergiye gönderilen bir makededeki yayınlanmamış materyaller, yazarın sarıh bir yazılı onayı olmadan herhangi biri tarafından kullanılmamalıdır.

C. HAKEMLERİN SORUMLULUKLARI:

Değerlendirme

Hakemler yazarların kökeni, cinsiyeti, cinsel eğilimi veya siyasal felsefesine bakılmaksızın eserleri değerlendirmektedirler. Hakemler ayrıca, dergiye gönderilen metinlerin değerlendirilmesi için adil bir kör hakemlik süreci sağlamaktadırlar.

Gizlilik

Dergiye gönderilen makalelere ilişkin tüm bilgiler gizli tutulmaktadır. Hakemler, editör tarafından yetkilendirilmiş olanlar dışında başkaları müzakere etmemelidir.

İfşa Etme ve Çıkar Çatışması

Hakemlerin; yazarlar, fon sağlayıcılar, editörler vb. gibi taraflar ile menfaat çatışması bulunmamaktadır.

Editöre Destek

Hakemler, karar verme aşamasında editörlere yardım ederler ve ayrıca metinlerin iyileştirilmesinde yazarlara yardımcı olabilmektedirler.

Tarafsızlık

Objektif bir karar değerlendirmesi, daima hakemler tarafından yapılmaktadır. Hakemler, uygun destekleyici iddialarla, açık bir şekilde görüşlerini ifade etmektedirler.

Kaynakların Referansı

Hakemler ayrıca, kendi bilgileri dahilindeki yayınlanmış diğer herhangi bir makale ile dergiye gönderilen metin arasında herhangi önemli bir benzerlik veya örtüşme ile ilgili olarak editörü bilgilendirmelidir.

D. YAZARLARIN SORUMLULUKLARI:

Bildirme Standartları

Dergiye gönderilen bir metin özgün olmalıdır ve yazarlar, metnin daha önce herhangi bir dergide yayınlanmamış olmasını sağlamalıdır. Araştırmanın verileri, makalede tam olarak belirtilmelidir. Dergiye gönderilen bir metin, başkalarının çalışmayı türetmesine izin vermek üzere yeterli detay ve referansları içermelidir.

Özgünlük

Çalışmalarını dergiye göndermek isteyen yazarlar, çalışmalarının tamamen özgün olmasını sağlamalıdır ve literatürden elde edilen kelimeler ile cümleler uygun bir şekilde alıntılanmalıdır.

Birden Fazla Yerde Yayın

Yazarlar, aynı çalışmayı herhangi bir başka dergide yayınlanmak üzere

göndermemelidirler. Aynı çalışmanın birden fazla dergiye eş zamanlı gönderilmesi etik olmayan bir davranış teşkil etmektedir ve kabul edilemez.

Kaynakların Referansı

Başkalarının çalışmalarıyla ilgili olarak uygun referanslar verilmelidir. Yazarlar, çalışmalarının belirlenmesinde etkili olmuş yayınlara referans vermelidirler. Çalışma sürecinde kullanılan kaynakların tümü belirtilmelidir.

Makale Yazarlığı

Makale yazarlığı, çalışmaya kayda değer katkıda bulunan kişilerle sınırlı olmalıdır. Araştırma sürecine katılan başkaları var ise, bu kişiler katkıda bulunanlar olanlar listelenmelidir. Yazarlık ayrıca, derginin editörü ile iletişim halinde olan yazışmadan sorumlu olan bir yazar içermelidir. Yazışmadan sorumlu yazar, tüm yardımcı yazarların makaleye dahil olmasını sağlamalıdır.

İfşa Etme ve Çıkar Çatışması

Finansal destek ile ilgili tüm kaynaklar açıklanmalıdır. Tüm yazarlar, çalışmalarının oluşturulması sürecinde yer alan çıkar çatışmasını ortaya koymalıdır.

Yayınlanmış Çalışmalardaki Temel Hatalar

Yazarlar göndermiş oldukları çalışmalarında dikkat çekici bir hata bulduklarında, bu hata ile ilgili olarak derhal dergiyi bilgilendirmek zorundadırlar. Yazarların, hataların düzeltilmesini sağlamak üzere editör ile birlikte çalışma yükümlülükleri vardır.



Reviewer List of Volume 6 Issue 2 (2018)

Barış BARLAS	İstanbul Technical University	Turkey
Özcan ARSLAN	İstanbul Technical University	Turkey
Alpaslan ATEŞ	İskenderun Technical University	Turkey
Soner ESMER	Dokuz Eylül University	Turkey
Ikuobase EMOVON	Newcastle University	UK
Rosemary A. NORMAN	Newcastle University	UK
Ayhan MENTEŞ	İstanbul Technical University	Turkey
Muhsin KADIOĞLU	İstanbul Technical University	Turkey
Murat KORALTÜRK	Marmara University	Turkey
Eda TURAN	Yıldız Technical University	Turkey
Hakan DEMİREL	Bülent Ecevit University	Turkey
Alper KILIÇ	Bandırma Onyediy Eylül University	Turkey
Görkem KÖKKÜLÜNK	Yıldız Technical University	Turkey
Pelin BOLAT	İstanbul Technical University	Turkey
Fatma NOYAN TEKELİ	Yıldız Technical University	Turkey
Hülya KARAKUŞ CİHAN	Yüksel Proje	Turkey
Ali DOĞRUL	Yıldız Technical University	Turkey
Emre PEŞMAN	Karadeniz Technical University	Turkey
Gamze ARABELEN	Dokuz Eylül University	Turkey
Selçuk ÇEBİ	Yıldız Technical University	Turkey
İsmail Bilge ÇETİN	Dokuz Eylül University	Turkey
İsmail SEVİM	Yıldız Technical University	Turkey
Vildan ÖZKIR	Yıldız Technical University	Turkey
Ercan YÜKSEKYILDIZ	Ordu University	Turkey
Ünal ÖZDEMİR	Mersin Üniversitesi	Turkey
Metin ÇELİK	İstanbul Technical University	Turkey



Journal of ETA Maritime Science

JEMS
JOURNAL

Volume 6 Issue 2 (2018) is indexed in

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

OAJI Open Academic
.net Journals Index



INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL



INFOBASE INDEX



CiteFactor
Academic Scientific Journals



Scientific Indexing Services

This Page Intentionally Left Blank

Contents

- (ED) **Editorial** 83
Selçuk NAS
- (AR) **Experimental Performance Analysis of a Partially Loaded Natural Gas Fuelled Research Engine.** 85
Mehmet ÇAKIR
- (AR) **Modeling of Manufacturing Time and Processes of Karadeniz Type Fishing Boat with Simulating Technique.** 93
Murat ÖZKÖK, Dursun SARAL
- (RE) **Lighteners of Seas: Establishment and Development of Lighthouses in Turkey.** 103
Yasemin NEMLİOĞLU KOCA
- (AR) **Evaluation of Critical Operational Faults of Marine Diesel Generator Engines by Using DEMATEL Method.** 119
Veysi BAŞHAN, Hakan DEMİREL
- (AR) **Efficiency Analysis of Mediterranean Container Ports.** 129
Veysel GÖKÇEK, Yunus Emre ŞENOL
- (AR) **Proposing Fuzzy Bow-Tie Method for Assessment of Occupational Risks at Shipyards.** 141
Selçuk ÇEBİ, Esra İLBAHAR
- (AR) **A Risk Based Decision Making Approach for Critical Ship Operations.** 159
Kadir ÇİÇEK, Yusuf İlker TOPCU

