

UCTEA - The Chamber of Marine Engineers



JEMS

JOURNAL OF ETA MARITIME SCIENCE



BAŞBÖYÜK, Ö (2016) Tug Fleet of Mersin International Port (MIP) Turkey



ISSN:2147-2955

Volume : 5
Issue : 4
Year : 2017

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	: Selçuk NAS
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 / 15.12.2017

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 FİŞKİN

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

Ceyhun Can YILDIZ

Dr. Berna GÜRYAY

Dokuz Eylül University, Buca Faculty of Education

Dr. Özlem KÖPRÜLÜ

Dokuz Eylül University, School of Foreign Languages

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

Assoc. Prof. Dr. Serdar KUM

İstanbul Technical University, Maritime Faculty

Res. Asst. Remzi FİŞKİN

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

Asst. 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 Editor

Assoc. Prof. Dr. Soner ESMER

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Asst. Prof. Dr. Çimen KARATAŞ ÇETİN

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Coastal and Port Engineering Section Editor

Assoc. Prof. Dr. Kubilay CİHAN

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.

CONTENTS

(ED)	Editorial	312
	<i>Selçuk NAS</i>	
(AR)	Investigation of the Effects of Piston Geometry and Combustion Process Parameters on Engine Performance of Methane Fuelled Compression Ignition Engines with Kriging Method.	314
	<i>Halil SARAÇOĞLU, Oğuz Salim SÖÇÜT</i>	
(AR)	A Static Output Feedback Controller Design for Reducing Vertical Acceleration of a Passenger Ship.	322
	<i>Hakan YAZICI, Ferdi ÇAKICI</i>	
(AR)	Investigation of Burnout Level of Turkish Seafarers: An Application on Fishing Vessel Seafarers.	334
	<i>Müge BÜBER, Ali Cemal TÖZ</i>	
(AR)	Effect of Different Form Parameters on the Estimation of Submarine Resistance.	348
	<i>Abdi KÜKNER, Metin Kemal GÖKÇE, Ömer Kemal KINACI</i>	
(AR)	A Simulation Aided Methodology Suggestion for Managing Emergency Evacuation Operation Under Engine Room Sourced Fire Conditions.	362
	<i>Peiman Alipour SARVARI, Emre ÇEVİKCAN, Metin ÇELİK, Alp ÜSTÜNDAĞ</i>	
(AR)	Calculation of Ship Wave Bending Moment in Irregular Seas.	386
	<i>Ertekin BAYRAKTARKATAL</i>	
(AR)	A Study on Safety and Risk Assessment of Dangerous Cargo Operations in Oil/Chemical Tankers.	396
	<i>Cenk ŞAKAR, Yusuf ZORBA</i>	
(AR)	Comparative Analysis of Dangerous Liquid Cargoes Transportation: A Study on Bulk Chemicals and Tank Containers.	414
	<i>Ozan BAYAZİT, Yusuf ZORBA</i>	
	Guide for Authors	I
	JEMS Ethics Statement	V
	Reviewer List of Volume 5 Issue 4 (2017)	IX
	Indexing	X

İÇİNDEKİLER

(ED)	Editörden	313
	<i>Selçuk NAS</i>	
(AR)	Metan Yakıtlı Sıkıştırılmalı Ateşlemeli Motorlarda Piston Geometrisi ve Yanma Süreci Parametrelerinin Motor Performansına Etkilerinin Kriging Yöntemiyle İncelenmesi.	314
	<i>Halil SARAÇOĞLU, Oğuz Salim SÖĞÜT</i>	
(AR)	Bir Yolcu Gemisinin Düşey İvmelerinin Azaltılması için Statik Çıkış Beslemeli Kontrolör Tasarımı.	322
	<i>Hakan YAZICI, Ferdi ÇAKICI</i>	
(AR)	Türk Gemiadamlarının Tükenmişlik Düzeylerinin İncelenmesi: Balıkçı Sınıfı Gemiadamları Üzerine Bir Uygulama.	334
	<i>Müge BÜBER, Ali Cemal TÖZ</i>	
(AR)	Denizaltı Direnç Hesabında Farklı Form Parametrelerinin Etkisi.	348
	<i>Abdi KÜKNER, Metin Kemal GÖKÇE, Ömer Kemal KINACI</i>	
(AR)	Hızlı Feribotlarda Makine Dairesi Kaynaklı Yangın Koşullarında Tahliye Operasyonunun Yönetimine Yönelik Benzetim Destekli Metodoloji Önerisi.	362
	<i>Peiman Alipour SARVARI, Emre ÇEVİKCAN, Metin ÇELİK, Alp ÜSTÜNDAĞ</i>	
(AR)	Karışık Denizlerde Gemilerin Dalga Eğilme Momenti Hesabı.	386
	<i>Ertekin BAYRAKTARKATAL</i>	
(AR)	Petrol/Kimyasal Tankerlerde Tehlikeli Yük Operasyonlarında Emniyet ve Risk Değerlendirmesine Yönelik Bir Çalışma.	396
	<i>Cenk ŞAKAR, Yusuf ZORBA</i>	
(AR)	Tehlikeli Sıvı Dökme Yük Taşımacılığının Karşılaştırmalı Analizi: Kimyasal Tankerler ve Tank Konteynerler Üzerine Bir Çalışma.	414
	<i>Ozan BAYAZİT, Yusuf ZORBA</i>	
	Yazarlara Açıklama	III
	JEMS Etik Beyanı	VII
	Cilt 5 Sayı 4 (2017) Hakem Listesi	IX
	Dizinleme Bilgisi	X

**Editorial (ED)**

We are together with you again with the fourth issue of the fifth publishing year of JEMS. This issue consists of “engine performance”, “ship design”, “burnout level of seafarers”, “submarine resistance”, “emergency evacuation operation”, “ship wave bending moment”, “ dangerous cargo operations” and “liquid cargoes transportation” subjects along with seventeen precious researches. Our efforts to increase the national and international recognition of our Journal still continue. JEMS has been evaluated by Index Copernicus, which is internationally recognized index, for three years. I am pleased to mention that JEMS has gradually increased its score within this period (46.94 (2014), 68.39 (2015), 93.00 (2016)).

We are expecting you to refer to articles of JEMS in researches which will submit to national and international journals to comply with the condition precedent of reference for our international recognition.

I hereby present our gratitude to our writers who provide their valuable researches, our reviewers, section editors, foreign language editors and layout editors who strictly follow our publishing policies and ensure that we publish qualified issues and our sponsors for their valuable contribution in publishing and distribution of this issue.

I wish for a peaceful year for 2018.

Editor
Prof. Dr. Selçuk NAS



Editörden (ED)

JEMS'in beşinci yayın yılının dördüncü sayısında tekrar birlikteyiz. Bu sayı on yedi değerli araştırmacı tarafından yapılan "motor performansı", "gemi dizaynı", "gemiadamlarının tükenmişlik düzeyi", denizaltı direnci", "acil tahliye operasyonu", "gemilerin dalga eğilme momenti", "tehlikeli yük operasyonları" ve "sıvı yük taşımacılığı" konularını içermektedir. Dergimizin ulusal ve uluslararası tanınırlığını arttırma çabalarımız halen devam etmektedir. JEMS, uluslararası geçerliliği olan Index Copernicus tarafından üç yıl boyunca değerlendirildi. JEMS'in bu dönemdeki skorunu kademeli olarak arttırdığını belirtmekten memnuniyet duyuyorum (46.94 (2014), 68.39 (2015), 93.00 (2016)).

Uluslararası tanınmamız için ulusal ve uluslararası dergilere gönderilecek çalışmalarda JEMS'in makalelerine başvurmanızı bekliyoruz.

Bu sayının yayınlanması ve dağıtımında yayın politikalarımıza sıkı sıkıya uyan ve nitelikli konuların yayınlanmasını sağlayan değerli araştırmalar yapan yazarlarımıza, hakemlerimize, bölüm editörlerimize, yabancı dil editörlerimize, mizanpaj editörlerimize ve derginin basımı ve dağıtımındaki değerli katkılarından ötürü sponsorlarımıza şükranlarımı sunuyorum.

Huzur dolu bir 2018 yılı diliyorum.

Editör
Prof. Dr. Selçuk NAS



Metan Yakıtlı Sıkıştırılmalı Ateşlemeli Motorlarda Piston Geometrisi ve Yanma Süreci Parametrelerinin Motor Performansına Etkilerinin Kriging Yöntemiyle İncelenmesi

Halil SARAÇOĞLU, Oğuz Salim SÖĞÜT

İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Türkiye
 saracogluha@itu.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0001-9155-9085
 sogut@itu.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0002-1369-3366

Öz

Yapılan çalışmada, metan yakıtlı çift yakıtlı bir motorda piston geometrisi ve yanma süreci parametrelerinin motor performansına etkileri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği temelli motor modellemesi, Deney Tasarımı metodu ve Kriging metamodelleme ile birleştirildi. Sıkıştırılmalı ateşlemeli motorunun modellenmesinde AVL Fire HAD yazılımı kullanılmıştır. Deney Tasarımı metodu olan Latin Hiperküp Örneklemesi vasıtasıyla 6 boyutlu parametre uzayında verimli örneklem noktaları belirlendi. Kriging yöntemiyle, piston geometrisi ve yanma süreci parametrelerinin motor performansına etkisini açıklayan yeterli tahmin bilgileri elde edildi. Önerilen vekil modelin literatürde diğer yaklaşımlarla uyumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmanın sonuçlarının, performansın artırılmasıyla ilgili metan yakıtlı sıkıştırılmalı ateşlemeli motor çalışmalarına katkısı olacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Metan, Sıkıştırılmalı Ateşlemeli Motor, Latin Hiperküp Örneklemesi, Kriging Metamodel, Motor Performansı.

Investigation of the Effects of Piston Geometry and Combustion Process Parameters on Engine Performance of Methane Fuelled Compression Ignition Engines with Kriging Method

Abstract

In this study, the effects of piston geometry and combustion process parameters on the performance of methane burned dual fuel engines were investigated. For this purpose, three-dimensional computational fluid dynamics-based simulation modelling is combined with method of Design of Experiments (DOE) and Kriging metamodeling. AVL Fire 3-D CFD software was used in the modelling of dual fuel engine. Through the DOE method of Latin Hypercube Sampling efficient sampling points were determined in 6 dimensional parameter space. By Kriging metamodel, sufficient prediction results were obtained about the effect of piston geometry and combustion process parameters on engine performance. It has been found out that the proposed surrogate model is consistent with other approaches in the literature. Furthermore, it has been speculated that the results of this study will contribute to methane fuelled compression ignition engine studies related to performance enhancement.

Keywords: Methane, Compression Ignition Engine, Latin Hypercube Sampling, Kriging Metamodel, Engine Performance.

To cite this article: Saraçoğlu, H. and 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.

To link to this article: <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2017.52824>

1. Giriş

Metanın ana yakıt olarak kullanıldığı sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda dizayn parametrelerinin performans etkilerinin belirlenmesi zor ve karmaşık bir durumdur. Karmaşıklığı sebepleri, artan parametre sayısı, parametrelerinin etkilerinin aynı anda ölçme zorluğu ve yeterli veriye ulaşmak için daha fazla deney yapılma zorunluluğudur. Parametrelerin etkilerini daha basit ve sade açıklayabilmek için deney tasarımı ve istatistiksel yöntemleri birlikte kullanılmaktadır. İstatistiksel yöntemlerde tahmin için, deneylerden ve CFD sayısal modellemelerden elde edilen verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ham verilerden vekil model oluşturularak birden fazla parametrenin etkileri incelenebilir. Bu çalışmada, sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda 6 dizayn parametresini etkilerini incelemek için deney tasarımı metodunun uygulandığı HAD verilerine, Kriging istatistiksel yöntemi kuruldu.

Geoistatistik alanında yaygın olarak kullanılan Kriging yöntemi, var olan değerlerin yardımıyla oluşturulan vekil model yardımı ile bilinmeyen değerlerin en doğru bir şekilde tahmin etme yöntemidir [1].

Bu yöntemin tekniğinin en önemli özelliği, tam interpolasyon sağlamasıdır. Son araştırma sonuçları, Kriging'in diğer polinom regresyon metamodellerine göre daha doğru tahminde bulunabileceğini göstermektedir [2]. Ayrıca tahmin yeteneği yüksek olan bu yöntem, simülasyon optimizasyonunda veya model tabanlı mühendislik tasarım yaklaşımları için tercih edilmektedir.

Kriging modelinin avantajı, var olan noktalardaki verilerin, lineer bileşimi ile bilinmeyen noktalardaki değerleri kestiren bir interpolasyon yöntemi olmasıdır [3]. Bu modelin diğer avantajları, tahmin sapmasının minimum olması, tahminlerinin yansız (unbiased) olması ve tahminler için bir hata değeri belirlemesidir. Bu

avantajları; Kriging algoritmasını En İyi Doğrusal Yansız Tahminleyici (Best Linear Unbiased Estimator- BLUE) yöntemi haline getirmiştir [4].

Literatürde, içten yanmalı motorlarda Kriging yönteminin kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir. Yapılan bir çalışmada kullanılan Kriging yöntemi ile metan yakılan sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda en az emisyon oluşturabilecek yanma odası geometrisi tasarlanmıştır [5]. Bu çalışmanın bir amacı da, fakir yanma sonucunda CO ve HC emisyonlarının artışı yanma odasının geometrisini optimize ederek azaltmaktır. Diğer bir çalışmada, Kriging yöntemi kullanılarak, metan ana yakıt yakılan ve dizel pilot yakıt kullanılan doğalgaz motorlarının yakıt püskürtme sistemleri dizayn edilmiştir. Gaz püskürtme sistemlerine ait bir bileşenin tasarımı için farklı yakıt püskürtme stratejilerinin karşılaştırıldığı analitik bir çalışmadır [6].

Kriging yöntemi ve genetik algoritmanın birlikte kullanıldığı bir çalışmada, dizel motoru modellenerek dizayn parametrelerinin motor karakteristiklerine ve NO_x emisyonu oluşumuna etkilerine dair bilgiler elde edilmiştir [7]. Yapılan diğer bir çalışmada, bir dizel motorunun yanma odası geometrisinin tasarımı için Kriging yöntemi kullanılmıştır. Giriş parametreleri olarak piston geometrisi ve yakıt püskürtme açısı kullanılmıştır. Çıkış parametreleri için PM, CO ve NO emisyonları ile motor performans parametresi olarak efektif ısı verim tercih edilmiştir [8]. Kriging yönteminin kullanıldığı benzin motorlarıyla ilgili bir çalışmada, farklı fiziksel ve kimyasal yapıdaki benzin türevlerinin performans, verimlilik ve emisyonlara etkisi değerlendirilmiştir [9].

Yapılan bu çalışmanın amacı, metan yakılan sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda, piston geometrisi ve yanma sürecine ait parametrelerin, motor gücüne etkilerini analiz etmektir. İlk aşamada, belli aralıklardaki giriş parametreleri

ve bu parametrelerin etkilediği motor performansına ait çıkış parametreleri belirlenmiştir.

İkinci aşamada, giriş parametrelerinden verimli örneklemeler elde etmek için, deney tasarımı araçlarından Latin Hiperküp Örneklemeye uygulanmıştır. Elde edilen parametre verimli örneklem noktalarından, AVL Fire yanma analizi programı kullanılarak HAD temelli veri seti elde edilmiştir.

Üçüncü aşamada HAD deney verilerinden indike güce ait sonuçlara Kriging modeli kurulmuştur. Ayrıca kurulan Kriging İndike güç modeli; LHÖ'de rastgele oluşturulan örneklem noktalarına ait deney test verileri ile doğrulanmıştır.

Son aşamada, dizayn parametrelerinin Kriging indike güç modeline ait iyi sonuçları incelenmiştir. Elde edilen tahmin bilgileri, literatürdeki bilgilerle karşılaştırılarak genel trende uyumluluğu test edilmiştir.

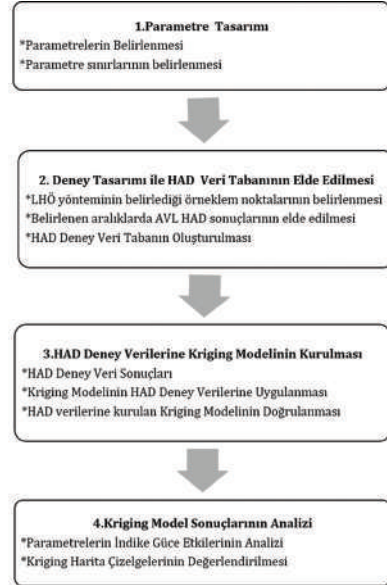
2. İstatiksel Modelinin Kurulması

Bu çalışmada, tahmin yeteneği yüksek olan Kriging yöntemi, metan yakılan sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda, piston geometrisi ve yanma sürecine ait parametrelerin performansa etkilerini analiz etmek için kurulmuştur.

İstatiksel modellemede kullanılan deney verileri, AVL Fire programından sıkıştırılmalı ateşlemeli motor simülasyonlarından elde edilen HAD test sonuçlarıdır. Metan yakılan sıkıştırılmalı ateşlemeli motorun Kriging İndike güç modeli, AVL Fire programının HAD verilerinin üzerine kurulmuştur. Bu sonuçlardan, deney tasarım metodlarından olan LHÖ'nün belirlediği rastgele bir sıraya göre ve yeterli sayıda oluşturulan örneklemelere göre yapılmıştır. Kriging yöntemin nasıl uygulandığını gösteren akış diyagramı Şekil 1'de belirtilmiştir.

2.1. Dizayn Parametrelerinin Belirlenmesi

Deney tasarımında dizayn parametrelerinin belirlenmesinde,



Şekil 1. Kriging Modelinin Uygulanması için Oluşturulan Akış Diyagramı

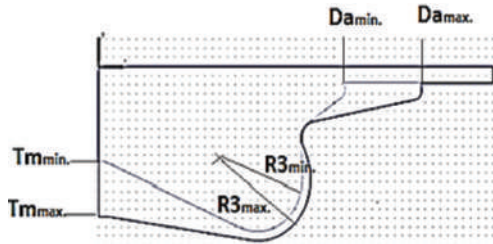
birbirinden etkilenmeyen bağımsız parametreler tercih edilmiştir. Etkileri incelenecek parametreler; piston geometrisine ve yanma sürecine ait dizayn parametreleridir.

Piston geometrisinin seçimi için AVL Fire piston örnekleri incelenmiştir. Seçilen piston geometrisi, sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda sık kullanılan iç bükey (çanak) şeklinde olmasıdır. Seçilen bu geometriye ait parametreler; piston çanağı dış çapı (D_a), piston çanağı girintisinin yarıçapı (R_3) ve piston çanağı merkez derinliğinden (T_m) oluşmakta olup Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan Piston Geometrisi Parametreleri

Piston geometrisi parametreleri	Kısaltma
Piston çanağının dış çapı	Da
Piston çanağının yarıçapı	R3
Piston çanağının merkez derinliği	Tm

Piston geometrisinin parametre aralıklarının seçiminde, AVL Fire programında düzgün ağ yapısı oluşturan sınırlar belirlenmiştir. Parametre sınırları, piston çanağını daraltmakta ve genişletmektedir. Piston çanağındaki bu fiziksel değişimin indike güce etkileri incelenmiştir. Modellenen piston geometrisi ve parametrelerin minimum ve maksimum durumlarındaki değişim, Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Modellenen Piston Geometrisi ve Parametreler

Yanma süreci ile ilgili parametreler; pilot yakıt püskürtme zamanı, pilot yakıt püskürtme açısı ve yakıt fazlalık oranı seçilmiş ve Tablo 2'de belirtilmiştir. Bağımlı parametre olarak da İndike güç seçilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan Yanma Süreci Parametreleri

Yanma süreci parametreleri	Kısaltma
Yakıt fazlalık oranı	EqRat
Pilot yakıt püskürtme zamanı	SOI
Yakıt püskürtme açısı	SpAng

Pilot yakıt püskürtme zamanı, erken ve geç püskürtmenin etkilerini görmek için ÜÖN (720 KMA) ile ÜÖN'dan 40 KMA aralıkları arasında incelenmiştir. Yakıt püskürtme açısına ait aralıklar, piston

çanağının merkezine (120°) ve çanağın dış bölgesine (170°) yapılan püskürtmenin, yanma sürecine etkilerini belirlemek için seçilmiştir. Yakıt fazlalık oranı sınırları, fakir ve zengin metan-hava karışımının yanma sürecine etkilerine ait bilgileri elde etmek için belirlenmiştir. Belirlenen dizayn parametrelerine ait aralıklar Tablo 3'te belirtilmiştir.

2.2. Latin Hiperküp Örnekleme Uygulanması

Deney tasarımı yöntemlerinden olan Latin Hiperküp Örnekleme, N boyutlu uzayda deney verilerini verimli bir şekilde dağılmasını belirlemektedir [10]. Bu çalışmada, piston dizaynı ve yanma parametrelerinin oluşturduğu HAD sonuç verilerine Latin Hiperküp Örnekleme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin kullanılmasının amacı; 6 boyutlu parametre uzayında en iyi şekilde örnekleme (temsil etme) noktaları elde ederek sonuçlara ait veri kalitesini artırmaktır.

6 boyutlu parametre uzayı için Latin Hiper Küp yöntemi ile 25 adet örneklem noktasından ortak 25 adet HAD sonuçlarına ait veri tabanı elde edilmiştir. Ayrıca kullanılan istatistiksel modelin doğrulanması için LHÖ'in ürettiği örneklem noktalarına ait 10 adet HAD veri tabanı ile test edilmiştir. Kriging İndike güç modeli toplamda 35 adet HAD deney sonucunun oluşturduğu veri setine kurulmuştur.

2.3. HAD ile Veri Üretimi

Bu çalışmada, vekil model için gerekli olan veri üretimi, HAD temelli AVL Fire yanma yazılımı kullanarak sıkıştırılmalı ateşlemeli motor modellenmiştir. Modellenen motorun özelliği, metan yakıtının emme

Tablo 3. Belirlenen Giriş Parametrelerine Ait Aralıklar

Sınırlar	Da (mm)	R3 (mm)	Tm (mm)	SOI (KMA)	SpAng	EqRat
Minimum	0,065	0,0059	0,009	680	120°	0.45
Maximum	0,085	0,0069	0,015	720	170°	0.85

manifolduna püskürtülerek pilot dizel yakıtıyla ateşlemenin gerçekleştiği sıkıştırılmalı ateşlemeli yanmadır. LHÖ'nün belirlediği 35 adet ait örneklem noktaları için 35 adet indike güç HAD verisi elde edilmiştir. Modellenen bu motora ait ortak özellikler Tablo 4'te belirtilmiştir.

Tablo 4. Metan Yakıtlı Sıkıştırılmalı Ateşlemeli Motorun Özellikleri

Özellikler	Değerler
Piston/ Strok	104mm/115mm
Motor devri	1500 rpm
Ana yakıt	Metan
Pilot yakıt	Diesel-D1
EGR kütle fraksiyonu	0
Püskürtülen pilot yakıt miktarı	12.954 mg
Püskürtme süresi	1.444 ms
Emme valfinin kapanması	586 KMA
Egzoz valfinin açılması	850 KMA

3. Kriging Yöntemi

Kriging yöntemi, 6 boyutlu parametre uzayında AVL programında oluşturulan HAD veri seti için kurularak bu verilerden vekil model oluşturulmuştur. Kurulan bu modelin oluşturulmasında önemli rol oynayan farklı bir baz fonksiyonu kullanılmıştır. Baz fonksiyonu, bir veri setinin konumsal sürekliliğinin veya değişiminin sayısal bir ölçüsünü ifade eder ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\hat{f}(x) = w^T \psi = \sum_{i=1}^n W_i \psi(\|x^j - c^{(i)}\|) \quad j=1, \dots, n \quad (1)$$

$$\psi^j = \exp\left(-\sum_{j=1}^k Q_j |x_j^{(i)} - x_j^{(j)}|^{p_j}\right) \quad (2)$$

$\hat{f}(x)$ = Tahmin modeline ait fonksiyon

x = dizayn parametreleri

W = parametre tahmin setine ait verileri

k = dizayn parametre sayısı

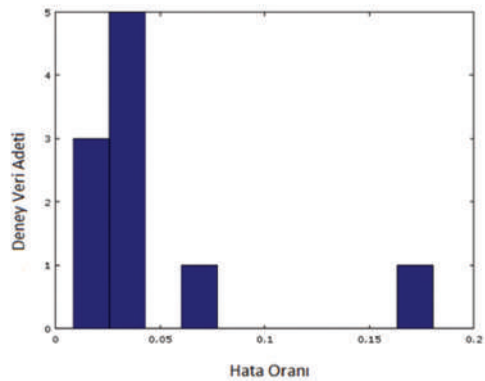
θ ve p = belirlenen katsayılar

Polinom regresyonundan farklı olarak ψ fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyon, veri

noktalarıyla tanımlı baz fonksiyonları olarak tanımlanır. Tahmin edilecek değerler, analiz verilerine uzaklığına bağlı olarak bulunur. W_i katsayıları hatayı minimize edecek şekilde bulunur. Bu baz fonksiyonunun oluşturduğu eğri; lineer, çeşitli mertebeden polinomlar, üstel fonksiyon, Gauss fonksiyonu, kuvvet serileri, vb. gibi çeşitli model fonksiyonlardan oluşabilir. Kriging yöntemiyle ilgili detaylı bilgiler; Forrester ve arkadaşlarının yazdığı Engineering Design via Surrogate Modelling A Practical Guide kitabında detaylı bilgi bulunmaktadır [11]. Ayrıca Kriging yöntemine ait hesaplamalar için 'MATLAB Kriging Toolbox-DACE' yazılımı kullanılmıştır.

3.1. Kriging Modelinin Doğrulanması

Bu çalışmada, Kriging yönteminin seçilmesinin en önemli sebebi, doğru tahmin yeteneğine sahip olmasıdır. Kurulan Kriging modelinin tutarlılığını ve doğru tahmin gücünü test etmek için doğrulanması gerekmektedir. Kriging yönteminin bir avantajı da, rastgele belirlenen verilerle kendi kendini test edebilme yeteneğine sahip olmasıdır. Bunun için LHÖ'nin oluşturduğu 10 örneklem noktası, Kriging İndike Güç modelinin doğrulanması için kullanılmıştır. Kurulan Kriging İndike Güç modelinin standart hata histogramları incelendiğinde,



Şekil 3. Kriging İndike Güç Modeline Ait Standart Hata Histogramu

8 veriye ait hata oranının % 5'in altında kaldığı Şekil 3'te görülmektedir. Bu durum, Kriging modelinin doğru kurulduğunu ve elde edilen tahmin bilgilerinin güvenilir olduğunu göstermektedir.

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Dizayn parametrelerinin oluşturduğu HAD verilerine, motor performansına ait Kriging İndike Güç modeli kurulmuştur. Kurulan Kriging modeli, piston geometrisi ve yanma süreci parametrelerinin motor performansına etkileri hakkında tahmin bilgileri vermiştir. Bu çalışmada, Kriging modellerinden indike güce ait harita konturlarının incelenmesiyle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

4.1. Dizayn Parametrelerinin Kriging İndike Güç Modelinin İyi Sonuçlarına Etkileri

Piston geometrisi ve yanma parametrelerinin etkilerini belirlemek için Kriging İndike güç modeline ait iyi sonuçları incelenmiştir. Sonuçlar, Kriging modelinde kullanılan piston geometrisi ve yanma parametrelerine ait belirlenen sınırlar için incelenmiştir. Tablo 5'te belirtildiği üzere, piston geometrisi parametrelerinden Da'daki azalma durumunun indike gücü artırıcı etkisi olduğu saptanmıştır. Tm ve R3'deki geometrilerinde azalma, İndike gücü artıran yönde etkilemektedir. Sonuç olarak, piston çanağına ait üç parametredeki azalmanın, indike gücü artırdığı tahmin edilmiştir.

Tablo 5. Piston Geometrisi Parametrelerinin Kriging Ni Modelinin İyi Sonuçlarına Etkileri

Parametrenin durumu	İndike güçte artma
Da'da azalma	% 100
Tm'de azalma	% 60
R3'de azalma	% 50

Yanma süreci parametrelerinin, Kriging İndike gücün iyi sonuçlarına etkisi, Tablo 6'da belirtilmiştir. Pilot yakıtın geç

püskürtmenin, indike gücü artırıcı etkisi olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Ayrıca yakıt püskürtmenin, piston çanağının merkezine doğru yapılması, İndike gücü pozitif yönde etkilemektedir. Yakıt fazlalık oranına ait Kriging modelinde belirtilen sınırlarda, İndike güce etkilerini açıklayabilecek anlamlı bilgiye ulaşılamamıştır.

Tablo 6. Yanma Süreci Parametrelerinin Kriging Ni Modelinin İyi Sonuçlarına Etkileri

Parametrenin durumu	İndike güçte artma
SOL'da gecikme	% 65
SpAng'da azaltma	% 50
EqRat'daki değişim	Belirsiz

4.2. Kriging Modeline Ait Sonuçların Literatürdeki Sonuçlarla Karşılaştırılması

Metan yakılan sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda piston geometrisi ve yanma süreci parametrelerinin indike güce etkisiyle ilgili literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalara ait genel bilgiler, Kriging İndike Güç modelinden elde edilen tahmin bilgileri ile karşılaştırılmıştır.

Metan yakıtlı sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda piston geometrisinin performansa etkileriyle ilgili bazı çalışmalarda; piston çanağının dar olan geometrilerinde, çanak içinde daha iyi dağılımlı gaz karışımının oluşması motor performansını iyileştirdiği vurgulanmıştır [12, 13, 14]. Ayrıca, bu çalışmalarda dar çanak geometrilerde metan hava karışımlarında zengin, daha geniş çanak geometrilerinde ise fakir karışım olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Diğer bir çalışmada çok değişkenli genetik algoritma kullanılarak, pistonun geometrik şekline bağlı olarak motor performansı optimize edilmiştir. Dar piston çanağı geometrilerinde zengin karışım, daha geniş piston çanağı geometrilerinde ise fakir karışım olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dar piston çanağı geometrilerinde, motor performansı ile ilgili daha olumlu sonuçlar

elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, pilot yakıt püskürtme açısının indike güce etkisi incelenmiştir. Elde edilen bilgi; yakıt huzmesinin piston çanağının merkezine doğru püskürtülmesinin ısı verimi artırmaktadır. [15]. Yakıt püskürtme açısıyla ilgili diğer çalışmada da benzer sonuç bulunmuştur. Bu çalışmada; pilot yakıt püskürtme açısının daraltılarak piston çanağı merkezine yapılan püskürtmeyle yanma veriminin arttığı belirtilmiştir [16].

Yakıt püskürtme zamanının etkisiyle ilgili bir çalışmada, pilot yakıtın erken püskürtülmesinin, motor çıkış torku ve ısı verimi düşürmektedir. Fakat maksimum basınç ve basınç artış hızını artırdığı bilgisi elde edilmiştir. Sonuç olarak yakıt püskürtme zamanının geciktirilmesiyle indike gücün arttığı belirtilmiştir [17]. Benzer bir çalışmada da erken püskürtme ile özgül yakıt tüketiminin arttığı, fakat indike gücün azaldığı, ayrıca egzoz çıkış sıcaklıklarının yükseldiğini belirtmişlerdir [18].

Kriging yöntemiyle ilgili yapılan bu çalışmada piston çanağı dış çapının, merkez çapının ve derinliğinin azalmasının, daha geniş çaplı ve daha derin piston çanağı geometrilerine göre daha iyi motor performansı sonuçları ortaya çıkmıştır. Ayrıca elde edilen tahmin sonuçlarından yakıt püskürtmenin geciktirilmesinin motor performansı değerlerini iyileştiren bir trend olduğunu ortaya çıkmıştır. Kriging İndike Güç modelinden, yakıt püskürtme açısının piston çanağının merkezine doğru gönderilmesinin yanma verimini pozitif etkilediği bilgisine ulaşılmıştır.

5. Genel Sonuçlar

Bu çalışma, Kriging yönteminin Deney Dizaynı ile birleştirilerek metan yakıtlı sıkıştırılmalı motorlarda dizayn parametrelerinin motor performansına etkileri incelenmiştir. Deney Dizaynı araçlarından olan Latin Hiperküp Örneklem ile verimli örneklem noktaları

elde edilmiştir. 6 boyutlu parametre uzayı için HAD sonuç verileri oluşturulmuştur. Bu verilerden, Kriging İndike Güç vekil modeli oluşturulmuştur. Kriging İndike güç modelinin doğrulanmasıyla, bu yöntemin tutarlı ve doğru kurulduğu sonucuna ulaşılmıştır. Doğrulanana modele ait Kriging harita çizelgeleri incelenerek dizayn parametrelerinin indike güce etkileri değerlendirilmiştir.

Bu çalışmadan, Kriging modelinden elde edilen tahmin bilgilerinin, literatürdeki genel trend bilgileriyle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmanın metan yakıtlı sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda performansının artırılmasıyla ilgili çalışmalara katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

6. Kısaltmalar

KMA: Krank mil açısı; HAD: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği; Da: Piston çanağı dış çapı; R3: Piston çanağı yarıçapı; Tm: Piston çanağı merkez derinliği; SpAng: Yakıt püskürtme açısı; SOI: Yakıt püskürtme başlangıcı; LHÖ: Latin Hiperküp Örnekleme; ÜÖN: Üst ölü nokta; Ni: İndike güç.

Kaynaklar

- [1] Deutsch, C. V. ve Journel, A. G. (1992). Geostatistical Software Library and User's Guide. New York, Oxford University Press.
- [2] Papalambros, P. Y. ve Wilde, D. J. (2000). Principles of Optimal Design. Cambridge University Press.
- [3] Journel, A. G. ve Huijbregts CH. J. (1981). Mining Geostatistics. Academic Press.
- [4] Boogaart, K. G. van den ve Schaeben, H. (2002). Kriging of Regionalized Directions, Axes, and Orientations I. Directions and Axes. Mathematical Geology, 2002:34(5):479 -503.
- [5] Wang, B., Li, T., Ge, L. L. ve Ogawa, H. (2016). Optimization of combustion chamber geometry for natural

- gas engines with diesel micro-pilot-induced ignition. *Energy Conversion and Management*, 2016:122:552-563 DOI: 10.1016/j.enconman.2016.06.027
- [6] Dellino, G., Lino, P., Meloni, C., ve Rizzo, A. (2009). Kriging metamodel management in the design optimization of a CNG injection system. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2009:79(8):2345-2360 DOI: 10.1016/j.matcom.2009.01.013
- [7] Brahmi E. H., Denis-Vidal, L., Cherfi, Z. ve Boudaoud, N. (2009). Statistical modeling and optimization for diesel engine calibration. *Industrial Electronics*, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE. DOI: 10.1109/IECON.2009.5414811.
- [8] Jeong, S., Minemura, Y. ve Obayashi, S. (2006). Optimization of Combustion Chamber for Diesel Engine Using Kriging Model. *Journal of Fluid Science and Technology*, 2006:1(2):138-146. DOI:10.1299/jfst.1.138.
- [9] de Carvalho, R. N., Machado, G. B., ve Colaço, M. J. (2017). Estimating gasoline performance in internal combustion engines with simulation metamodels. *Fuel*, 2017:193:230-240.
- [10] McKay M. D., Conover W. J. ve Beckman, R. J. (1979). A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code. *Technometrics*, 1979:21(2).
- [11] Forrester, A. I. J., Sóbester, A. ve Keane A. (2008). *Engineering Design via Surrogate Modelling A Practical Guide*.
- [12] Yadollahi, B. ve Boroomand, M. (2013). The effect of combustion chamber geometry on injection and mixture preparation in a CNG direct injection SI engine. *Fuel*, 2013:107: 52-62. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.01.004
- [13] Olsson, K. ve Johansson, B. (1995). *Combustion Chambers for Natural Gas SI Engines Part 2: Combustion and Emissions*. SAE Technical Paper 950517. DOI:10.4271/950517.
- [14] Sahoo, B. B., Sahoo, N. ve Saha, U. K. (2009). Effect of engine parameters and type of gaseous fuel on the performance of dual-fuel gas diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009:13(6-7): 1151-1184.
- [15] de Risi, A., Donateo, T. ve Laforgia, D. (2003). Optimization of the Combustion Chamber of Direct Injection Diesel Engines. SAE Technical Paper 2003-01-1064, 2003. DOI:10.4271/2003-01-1064.
- [16] Kim, M. Y. ve Lee, C. S. (2007). Effect of a narrow fuel spray angle and a dual injection configuration on the improvement of exhaust emissions in a HCCI diesel engine. *Fuel*, 2007:86(17-18):2871-2880. DOI: 10.1016/j.fuel.2007.03.016.
- [17] Selim M. Y. E. (2013). Sensitivity of Dual fuel engine combustion and knocking limits to gaseous limits to gaseous fuel composition. *Energy Conversion and Management*, 2013:45(3):411-425. DOI: 10.1016/S0196-8904(03)00150-X.
- [18] Nwafor O. M. I. (2000). Effect of choice of pilot fuel on the performance of natural gas in diesel engines. *Renewable Energy*, 2000:21(3-4):495-504. DOI:10.1016/S0960-1481(99)00132-9.



Bir Yolcu Gemisinin Düşey İvmelerinin Azaltılması için Statik Çıkış Geri Beslemeli Kontrolör Tasarımı

Hakan YAZICI¹, Ferdi ÇAKICI²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye

hyazici@yildiz.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0001-6859-9548

fcakici@yildiz.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0001-9752-1125

Öz

Karışık deniz durumlarında bir gemi formunun düşey ivmelenmelerin kontrol edilebilmesi denizcilik açısından önemli ve güncel bir konudur. Bu çalışmada, seçilen bir yolcu gemisinin baş kısmında bulunan yolcular için, baştan gelen düzenli dalgalar senaryosu incelenmiş ve hesaplanan düşey ivme değerlerinin belirli bir üst limitin altında kalmasını garanti edecek bir kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Karışık deniz için gemi hareketleri hesaplamaları Lineer Süperpozisyon tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerinin birleşik olarak düşünüldüğü iki serbestlik dereceli lineer bir matematiksel model kullanılmıştır. Operasyon anında, geminin tüm durum değişkenlerinin ölçülmesi pratikte uygun olmadığından, bu çalışmada, kolayca ölçüm alınabilen durum değişkenlerinin kullanıldığı statik çıkış geri-beslemeli kontrolör bozucu dalga etkisinde modellenen geminin düşey ivmelerinin azaltılması için tasarlanmıştır. Çalışmanın sonunda, önerilen kontrol yaklaşımının etkinliğinin gösterilmesi için nümerik benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gemi Hareketleri, Statik Çıkış Geri-Beslemeli Kontrolör, Lineer Matris Eşitsizlikleri, Deniz Tutması.

A Static Output Feedback Controller Design for Reducing Vertical Acceleration of a Passenger Ship

Abstract

Being able to control vertical accelerations of a ship form in irregular seas is an important and current issue in terms of maritime. In this study, head waves scenario has been investigated for the passengers sitting at the bow part of the ship and a controller design has been implemented to guarantee that the calculated vertical acceleration values are below an upper limit. Ship motion calculations in irregular seas have been examined by using the Linear Superposition Principle. A linear mathematical model has been used to simulate 2-DOF coupled heave and pitch motions. In this study, considering that state variables for a ship in operation are not measurement available in practice, a static output feedback controller which uses easily measurable state variables are designed to mitigate the vertical accelerations of modeled disturbance waves induced ship. Finally, numerical simulation studies have been done to illustrate the effectiveness of the proposed control approach.

Keywords: Ship Motions, Static Output-Feedback Controller, Linear Matrix Inequalities, Sea Sickness.

To cite this article: Yazıcı, H. and Çakıcı, F. (2017). Bir yolcu gemisinin düşey ivmelerinin azaltılması için statik çıkış geri beslemeli kontrolör tasarımı. *Journal of ETA Maritime Science*, 5(4), 322-332.

To link to this article: <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2017.18209>

1. Giriş

Düzenli veya karışık deniz ortamında altı serbestlik dereceli gemi hareketlerinin hesaplanması denizcilik disiplinleri arasında en zor olanlarından [1]. Bunun nedeni, akışın türbülanslı olması, serbestlik derecesinin fazlalığı, hareketlerin birbirlerini etkilemeleri ve dalga etkileşimleridir. Fakat, viskoz etkilerin ihmal edilebileceği ve serbestlik derecesinin ikiye düşürülebileceği gemi düşey hareketleri (dalıp çıkma ve baş kış vurma) için hesaplama yükleri göreceli olarak daha azdır. Elde edilen hareket denklemlerinde yer alan bilinmeyen katsayılar, serbest su yüzeyinde salınım yapan bir kesitin hidrodinamik davranışlarının çeşitli yöntemlerle hesaplanması ve dilim teorisi [2] yardımı ile bütün gemi boyunca entegre edilerek toplanması ile elde edilir. Dilim teorisi, viskoz etkiler tamamen ihmal edildiği için ve akışın rotasyonel olmaması sebebi ile potansiyel bir teoridir. Bu teorinin geçerli olabilmesi için yapılan en büyük kabul geminin boy/en oranının göreceli olarak yüksek olması ve gemi hızının düşük olmasıdır.

Bir geminin denizcilik performansının belirlenebilmesi için geminin tipi ve görev tanımı doğru belirlenmelidir. Bir yolcu gemisi için taşıyabildiği yolcu sayısının yanında, sahip olduğu hız da çok önemli bir parametredir. Fakat dalga temelli hareketler yüksek gemi hızlarında rahatsız edici boyuta ulaştığı için denizde konfor parametresinin de hesaba katılması gerekmektedir. Bir geminin şiddetli bir deniz durumunda hareketlerinin azaltılması için yapılan eylem, genellikle gemi kaptanın hız kesmesi ve geminin hareketlerini yumuşatmasıdır. Gemi hareketlerin azaltılamaması yolcularda yorgunluğa ve deniz tutması olarak adlandırılan olaya sebep vermektedir. Bu sebeple, yolcuları olumsuz etkileyecek düşey ivmelerin belirli bir eşik değerine kadar azaltılması için kontrol tabanlı bir model sunulabilir.

probleme çözüm bulunabilir.

Gemi düşey hareketlerinin insan üzerindeki etkilerini keşfetmek amacı ile yapılan ilk çalışmalar O'Hanlon ve McCauley'in deneysel çalışmasıdır [3]. Bu çalışma ABD ordusu desteği ile kalabalık bir grup gönüllü öğrencinin katılımı ile yapılmıştır. Maruz kalınan hareketin frekansları, şiddetleri ve süreleri göz önünde bulundurularak bazı grafikler elde edilmiştir. Düşey ivme kriter değerinin yolculuk süresi ile ters orantılı olarak değişirken rahatsız edici frekansın 0.17 Hz civarında olduğu gözlemlenmiştir. Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO) bu grafikleri lineer hale getirerek Tablo 1'de verilen seyahat sürelerine karşılık gelen düşey ivmelenme üst limit değerlerini elde etmiştir [4, 5].

Tablo 1. Seçilen İvmelenme Seviyeleri

Yolculuk Süresi	RMS Düşey İvmelenme Kriter Değeri [m/s ²]
4 saat	0.315
2 saat	0.500
1 saat	0.707
30 dakika	1.00

Yapılan bu çalışmaların ardından dalga bozucusu etkisiyle oluşan gemi düşey hareketlerinin aktif kontrolü için çok sayıda kontrolör tasarımı içeren çalışma literatüre kazandırılmıştır. Esteban ve diğerleri (2000) yapmış oldukları çalışmada yüksek hızlı bir feribot formu için dalıp-çıkma ve baş-kış vurma ivmelenmelerinin azaltılması amacı ile PID (Proportional-Integral-Derivative) tabanlı kontrolcü tasarlamışlardır. Çalışmalarında önerdikleri eyleyicilerle (Aktif kanat ve T-foil) ivmelenmeleri ortalama % 26.5 oranında azaltmışlardır [6]. Lopez ve diğerleri (2002) yaptıkları çalışmada hızlı bir gemi formunun bulanık modeline dayanarak tasarladıkları bulanık kontrol sistemi ile deniz tutmasının ana sebebi olan düşey ivmeleri başarılı bir şekilde azaltmışlardır [7]. Bu çalışmanın

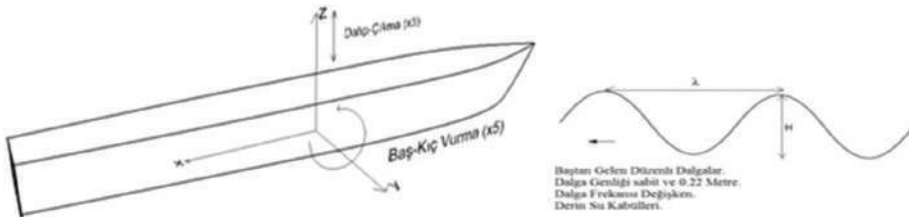
sonunda literatürde var olan temel modellere göre gemi kaptanlarına, gemi tasarlayıcılarına ve eyleyici mühendislerine bazı kriter değerler sunmuşlardır. Esteban ve diğerleri (2005) çalışmalarında 120 metre boyunda derin V formunda ve üç su jeti ile sevk eden alüminyum bir teknenin farklı hızlarda farklı deniz durumlarında ve farklı karşılaşma rotalarında denizcilik deneylerini yapmışlardır. Elde ettikleri deneysel verilere dayanarak kontrolcü tasarlamışlardır [8]. Giron-Sierra ve diğerleri (2005) İspanya'daki armatörlerin de desteği ile deniz tutması tahmini, navigasyon, deneysel modellemesi kontrol tasarımı ve deneysel gerçekleştirme gibi kavramlar üzerinde bir makale yayınlamışlardır [9]. Giron-Sierra ve Esteban (2008) yapmış oldukları çalışmada yüksek hızlı bir tekne formu için frekans düzlemindeki düzenli dalgalar içindeki hareketlerinden yola çıkarak eyleyici doyumlu ve limitsiz durumdaki kontrol kuvvetlerini hesaplamışlardır [10]. Bir başka çalışmalarında Esteban ve diğerleri (2004) optimal kontrol yaklaşımı ile bozucu dalga etkisindeki gemi hareketlerini sönmülemeyi başarmışlardır [11].

Bu çalışmanın amacı, incelenecek yolcu gemisinin baştan gelen karışık dalgalarda Deniz Durumu 3 (DD3) için hesaplanan ve $1,30 \text{ m/s}^2$ olan RMS (Kareler Ortalaması Karekökü) düşey ivme değerinin 1 m/s^2 civarına indirip yolcular için konforlu bir yolculuğu sağlayacak bir kontrolör tasarlamaktır. Tablo 1'de gösterildiği gibi 1 m/s^2 RMS düşey ivme değeri otuz dakikalık bir gemi yolculuğu için deniz tutması açısından üst limittir. Çalışmada

dalga etkisinde modellenen geminin düşey ivmelerinin azaltılması için tüm durum değişkenlerinin ölçülmesi yerine, sadece pratikte ölçülmesi daha kolay durum değişkenlerinin kullanıldığı statik durum geri beslemeli kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen kontrolörün tasarımında, dışbükey optimizasyon temelinde Lineer Matris Eşitsizlikleri (LME) yaklaşımı kullanılmıştır. Tasarımda ilk olarak lineer zamanla değişmeyen sistemin kararlılığı uygun Lyapunov aday fonksiyonu seçimi ile LME formunda elde edilmiştir. Daha sonra kontrolörün performansı kapalı çevrim sistemin bozucu girişlerinden performans çıkışlarına olan transfer fonksiyonları matrisinin L_2 kazancını minimize edecek şekilde tasarıma eklenmesi ile statik çıkış geri-beslemeli kontrolörün sentez denklemleri elde edilmiştir. Yapılan benzetim çalışmaları ile önerilen çıkış geri-beslemeli kontrolörün tatmin edici bir bozucu bastırma performansına sahip olduğu gösterilmiştir.

2. Matematiksel Model

Çalışmada kullanılan yolcu gemisi 42.5 metre boy, 4.80 metre genişlik ve 200 ton kütle sahiptir. Ayrıca, geminin baş kıç vurma kütle atalet momenti 22380 tonm^2 olup seyir hızı 20 knots'dır. Hareketi incelenen konum, yolcuların baş tarafta bulunduğu kabulü ile, gemi orta eksen üzerinde ve gemi ağırlık merkezinden baş tarafa doğru 15 metre mesafededir. Şekil 1'de, genliği sabit, frekansı değişken, baştan gelen düzenli dalgalar ile zorlanan gemi global koordinat sisteminde gösterilmiştir.



Şekil 1. Fiziksel Modelin Tanıtılması

Çalışmada, x_3 notasyonu dalıp çıkma hareketini, x_5 notasyonu ise baş-kıç vurma hareketini göstermektedir.

2.1. Düzenli Dalgalar İçindeki Gemi Hareketleri

Bu çalışmada sadece düşey hareketler dikkate alındığı için Denklem (1) ve (2)'de yer alan düşey hareket denklemleri kullanılmıştır.

$$(M + A_{33})\ddot{x}_3(t) + B_{33}\dot{x}_3(t) + C_{33}x_3(t) + A_{35}\ddot{x}_5(t) + B_{35}\dot{x}_5(t) + C_{35}x_5(t) = F_3 \cos(\omega_e t + \beta_3) \quad (1)$$

$$(I_5 + A_{55})\ddot{x}_5(t) + B_{55}\dot{x}_5(t) + C_{55}x_5(t) + A_{53}\ddot{x}_3(t) + B_{53}\dot{x}_3(t) + C_{53}x_3(t) = F_5 \cos(\omega_e t + \beta_5) \quad (2)$$

Burada, \ddot{x}_3 dalıp çıkma hareketin ivmesini, \dot{x}_3 dalıp çıkma hareketin hızını, x_3 dalıp çıkma hareketini, \ddot{x}_5 baş kıç vurma hareketin ivmesini, \dot{x}_5 baş kıç vurma hareketin hızını, x_5 baş kıç vurma hareketini, F_3 dalga kaynaklı dalıp çıkma kuvvetin büyüklüğünü, F_5 dalga kaynaklı baş kıç vurma momentinin büyüklüğünü, β_3 dalıp çıkma kuvveti faz farkını, β_5 baş kıç vurma momenti faz farkını, M geminin kütesini, I_5 geminin baş kıç vurma hareketi atalet momentini, C_{33} dalıp çıkma doğrultma katsayısını, C_{55} baş kıç vurma doğrultma katsayısını ifade etmektedir. Dalıp çıkma hareketi için elde edilen ek kütle ve sönüm katsayıları Denklem (3)'te yer verildiği gibi

$$A_{33} = \int_{-L/2}^{L/2} a_{33} dx - \frac{V}{\omega^2} b_{33}^A, \quad B_{33} = \int_{-L/2}^{L/2} b_{33} dx + Va_{33}^A \quad (3)$$

dilim teorisi ile hesaplanabilir [2].

Burada, A_{33} üç boyutlu gemi formu için dalıp çıkma ek kütesini, L gemi boyunu, a_{33} geminin enine kesitleri için dalıp çıkma ek kütesini, v geminin ilerleme hızını, ω gemi enine kesitinin salınım frekansını, b_{33}^A geminin en kıç tarafındaki kesitin dalıp çıkma sönümünü, B_{33} üç boyutlu gemi formu için dalıp çıkma sönümünü, b_{33} geminin enine kesitleri için dalıp çıkma

sönümünü ve son olarak a_{33}^A geminin en kıç tarafındaki kesitin dalıp çıkma ek kütesini ifade etmektedir. Denklem (3)'te yer alan a_{33} ve b_{33} katsayıları Fortran dili ile yazılmış bir denizcilik kodu yardımı ile bulunmuştur. Denklem (1) ve Denklem (2)'de yer alan diğer katsayıların ifadesi Salvesen ve diğerlerinin (1970) makalesinde bulunabilir [2]. Enerjileri göreceli olarak yüksek olan karşılaşma frekansları için Denklem (1) ve Denklem (2)'de yer alan katsayılar Tablo 2'de verilmiştir. Dilim teorisi ile hesaplanan dalga yükleri, 1 metre genlikli düzenli dalga içindir. DD3'te RMS dalga genliği 0.22 metre olduğu için, birim metre cinsinden hesaplanan dalga kuvvet ve momentleri bu bilgi göz önüne alınarak güncellenmiştir.

Tablo 2. Düşey Hareket Denklemlerinde Kullanılan Katsayılar

	$\omega_e = 2,09$ (rad/s)	$\omega_e = 2,21$ (rad/s)	$\omega_e = 2,347$ (rad/s)	$\omega_e = 2,51$ (rad/s)	$\omega_e = 2,702$ (rad/s)
M (ton)	203,00	203,00	203,00	203,00	203,00
A_{33} (ton)	146,37	145,35	145,432	146,85	149,86
B_{33} (ton/s)	315,25	299,28	280,29	257,95	232,00
C_{33} (ton/s ²)	1567,56	1567,56	1567,56	1567,56	1567,56
A_{35} (tonm)	-271,63	-158,60	-47,87	59,86	163,73
B_{35} (tonm/s)	2007,45	1958,81	1914,32	1875,43	1843,98
C_{35} (tonm/s ²)	1173,99	1173,99	1173,99	1173,99	1173,99
A_{53} (tonm)	1217,80	1104,76	999,04	902,53	817,47

./..

Tablo 2. Düşey Hareket Denklemlerinde Kullanılan Katsayılar (Cont')

	$\omega_e = 2,09$ (rad/s)	$\omega_e = 2,21$ (rad/s)	$\omega_e = 2,347$ (rad/s)	$\omega_e = 2,51$ (rad/s)	$\omega_e = 2,702$ (rad/s)
B_{53} (tonm/s)	947,46	-975,00	-1021,20	-1089,38	-1182,69
C_{53} (tonm/s ²)	1173,99	1173,99	1173,99	1173,99	1173,99
I_5 (tonm ²)	22380,00	22380,00	22380,00	22380,00	22380,00
A_{55} (tonm/m ²)	17923,40	17358,90	16936,40	16676,80	16602,25
B_{55} (tonm/s)	39180,90	36556,40	33678,00	30517,40	27056,33
C_{55} (tonm ² /s ²)	172215,00	172215,00	172215,00	172215,00	172215,00
F_{3R} (kN)	126,98	107,62	85,81	61,71	35,97
F_{3I} (kN)	25,88	22,09	17,81	13,15	8,32
F_{3A} (kN)	129,59	109,86	87,64	63,10	36,93
β_3 (rad.)	0,201	0,202	0,205	0,210	0,227
F_{5R} (kNm)	287,62	306,23	317,84	320,08	310,96
F_{5I} (kNm)	-1989,39	-1937,34	-1843,31	-1691,06	-1461,19
F_{5A} (kNm)	2010,09	1961,40	1870,51	1721,09	1493,92
β_5 (rad.)	-1,427	-1,414	-1,405	-1,383	-1,361

Denklem (1) ve Denklem (2), durum-uzay formunda,

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + B_w w(t) + B_u u(t) \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, $x(t) \in R^n$ sistemin durum vektörünü, $w(t) \in R^{m^w}$ bozucu giriş vektörünü, $u(t) \in R^{m^u}$ kontrol giriş vektörünü göstermektedir. A , B_w , B_u matrisleri ise sistemin bilinen uygun boyutlu durum-uzay matrisleridir. Durum -uzay vektör ve matrisleri,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ xh_1/P_1 & xh_2/P_1 & xh_3/P_1 & xh_4/P_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ xp_1/P_2 & xp_2/P_2 & xp_3/P_2 & xp_4/P_2 \end{bmatrix}, B_w = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1/P_1 & H/P_1 \\ 0 & 0 \\ P/P_2 & 1/P_2 \end{bmatrix}, B_u = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/P_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, w(t) = \begin{bmatrix} F_{3A} \\ F_{5A} \end{bmatrix},$$

$$u(t) = [U_3], x(t) = [z_1 \ z_2 \ z_3 \ z_4]^T$$

olarak yazılabilir. Burada,

$$P_1 = (M + A_{33}) - (A_{35} A_{53}) / (I_{yy} + A_{55}), \quad P_2 = (I_{yy} + A_{55}) - (A_{53} A_{35}) / (M + A_{33}), \quad xh_1 = -C_{33} + (A_{35} C_{53}) / (I_{yy} + A_{55}),$$

$$xh_2 = -B_{35} + (A_{35} B_{53}) / (I_{yy} + A_{55}), \quad xh_3 = -C_{35} + (A_{35} C_{55}) / (I_{yy} + A_{55}),$$

$$xh_4 = -B_{35} + (A_{35} B_{55}) / (I_{yy} + A_{55}), \quad xp_1 = -C_{53} + (A_{53} C_{33}) / (M + A_{33}), \quad xp_2 = -B_{53} + (A_{53} B_{33}) / (M + A_{33}),$$

$$xp_3 = -C_{55} + (A_{53} C_{35}) / (M + A_{33}), \quad xp_4 = -B_{55} + (A_{53} B_{35}) / (M + A_{33}), \quad H = -A_{15} / (I_{yy} + A_{55}), \quad P = -A_{33} / (M + A_{33})$$

şeklinde ifade edilmiştir. Sistemin durum vektörü olan $x(t)$ 'de, z_1 dalıp çıkma hareketini, z_2 dalıp çıkma hızını, z_3 baş

kıç vurma hareketini, z_4 ise baş kıç vurma hızını tanımlamaktadır. Sistemin kontrol giriş vektörü $u(t)$ 'deki U_3 ise, sisteme uygulanacak olan aktif kontrol kuvvetini ifade etmektedir.

2.2. Karışık Deniz Durumundaki Gemi Hareketleri

İncelenen gemi formunun karışık deniz ortamındaki hareketlerinin tahmini için Pierson ve Moskowitz tarafından önerilen lineer süperpozisyon ilkesi kullanılmıştır [12].

DD3'e ait olan ve Şekil 2'de verilen Pierson-Moskowitz dalga spektrumu ile ifade edilen deniz sahası geminin düşey

ivme Response Amplitude Operator (RAO) grafiği (Transfer fonksiyonu) ile Denklem (5)'te yer alan ifade ile süperpoze edilmiştir.

$$S_{av}(\omega_e) = S_{\zeta}(\omega_e) \times |RAO_{av}(\omega_e)|^2 \quad (5)$$

Burada, S_{av} , DD3 için hesaplanan düşey ivme spektral enerjisini, S_{ζ} dalga spektrumu enerjisini ve RAO_{av} düşey ivmelenme transfer fonksiyonunu ifade etmektedir. Elde edilen $\omega_e - S_{av}$ eğrisi altında kalan alanın karekökü RMS değerini vermektedir. İncelenen deniz durumu Tablo 3'te, S_{ζ} formasyonu ise Denklem (6)'da verilmiştir.

$$S_{\zeta}(\omega) = A\omega^{-5} \exp\left(-\frac{B}{\omega^4}\right) \quad (6)$$

$$\text{Burada, } A = 0.0081 \times g^2, \quad B = \frac{0.032 \times g^2}{H_{1/3}^2}$$

olarak ifade edilmektedir. Burada verilen $H_{1/3}$ karakteristik dalga yüksekliğini, g ise yerçekimini ifade etmektedir. Süperpozisyonda kullanılacak olan bütün frekanslar geminin dalgalarla karşılaşma frekansıdır ve baştan gelen dalgalar için Denklem (7) kullanılarak elde edilmektedir.

$$\omega_e = \omega + \left(\frac{\omega^2 V}{g}\right) \quad (7)$$

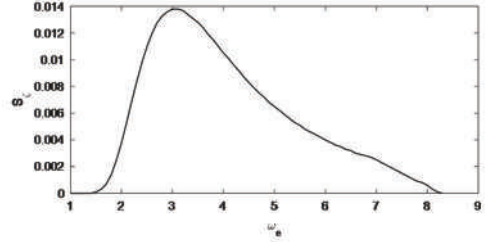
$$\omega^2 = (gk), \quad k = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \quad (8)$$

Burada V gemi ilerleme hızını ifade etmektedir. Denklem (8)'de yer alan denklem derin su için dispersiyon denklemidir ve burada k dalga sayısını gösterir. λ ise dalga boyudur. Gemi V hızına sahipken baştan gelen dalgalar için dalga spektrumu enerjisi Denklem (9)'daki gibi yazılabilir.

$$S_{\zeta}(\omega_e) = \frac{S_{\zeta}(\omega)}{1 + \frac{2\omega V}{g}} \quad (9)$$

Tablo 3. İncelenen Deniz Durumu

Deniz Durumu	Karakteristik Dalga Yüksekliği $H_{1/3}$ (m.)
DD3	0.88



Şekil 2. Pierson-Moskowitz Dalga Spektrumu

Denklem (5)'te yer alan süperpozisyon ifadesine göre transfer fonksiyonu, karesi ile orantılı olarak karışık deniz durumundaki cevabı etkilemektedir. Bu nedenle transfer fonksiyonunda rezonans bölgesindeki azalma karışık deniz ortamındaki cevabı ciddi biçimde azaltacaktır. Geminin baştan gelen düzenli dalgalarda ve 20 knots hıza sahipken elde edilen dalıp çıkma RAO , baş kış vurma RAO , düşey ivme RAO ve düşey ivme cevap fonksiyonu grafiği kontrollü ve kontrolsüz olarak sayısal benzetim çalışmaları kısmında verilmiştir.

3. Statik Çıkış Geri-Beslemeli Optimal Kontrolör Tasarımı

Bu bölümde, karışık deniz durumunda bir geminin baştan gelen düzenli dalga bozucusu etkisi ile oluşan düşey ivmelerinin azaltılması için statik çıkış geri-beslemeli optimal kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımın en önemli aracı dışbükey optimizasyon temelindeki LME olmuştur.

Bilindiği gibi bozucu azaltma problemlerinde durum geri-beslemeli kontrolör tasarımları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tip kontrolörleri çalışması, sistemin tüm durumlarının ölçülebilmesine bağlıdır ve kontrol kanunu tüm durum değişkenlerinin geri-beslenmesi ile hesaplanır. Bozucu azaltma problemlerinde geri-besleme bilgisi için ivme ölçerlerin kullanılmasıyla hız sinyallerinin hesaplanması yaygın olsa da, deplasman yanıtlarını aynı hassasiyetle elde edilemeyeceği bilinmektedir [13].

Bu nedenle tüm durum değişkenlerinin geri-beslemeli kontrolör tasarımları pratikte uygulanabilirlik açısından yeterince elverişli değildir. Dinamik çıkış geri-beslemeli kontrolörler kullanılarak tüm durum değişkenleri yerine sadece ölçülebilir sinyalleri geri-besleyen kontrolör tasarımı ile probleme çözüm getirmek mümkündür. Fakat dinamik çıkış geri-beslemeli kontrolörler ile yüksek bozucu bastırma performansı elde etmek için sistemin bozucu girişleri ile performans çıkışları için filtre tasarımı işlemi gerçekleştirilir. Bu da kapalı çevrim sistemin mertebesini arttırarak tasarlanan kontrolörün uygulanabilirliğini azaltır. Yine, dinamik çıkış geri-beslemeli kontrolörlerin yüksek maliyetleri tasarım açısından bir diğer problemidir. Fakat, statik çıkış geri-beslemeli kontrolörlerin, kolayca ölçülebilen sinyalleri geri-besleyebilme özellikleri ile pratikte uygulanabilirlikleri yüksektir. Bununla birlikte dinamik çıkış geri-beslemeli kontrolörlere göre daha ucuz maliyetleri ile bozucu bastırma problemleri için büyük bir potansiyele sahiptirler [14, 15]. Bu nedenle, bu çalışmada, bozucu dalga etkisindeki bir geminin düşey ivmelerinin azaltılması için LME tabanlı statik çıkış geri beslemeli kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Ele alınan kontrol probleminin açık çevrim durum-uzay formu,

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + B_w w(t) + B_u u(t) \\ z(t) &= C_z x(t) \\ y(t) &= C_y x(t) \end{aligned} \quad (10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, $x(t) \in \mathbb{R}^n$ durum vektörünü, $z(t) \in \mathbb{R}^m$ performans çıkış vektörünü, $y(t) \in \mathbb{R}^p$ ölçüm vektörünü, $w(t) \in \mathbb{R}^{m_w}$ bozucu giriş vektörünü, $u(t) \in \mathbb{R}^{m_u}$

kontrol giriş vektörünü göstermektedir. A , B_w , B_u , C_z , C_y matrisleri ise sistemin bilinen uygun boyutlu durum-uzay matrisleridir.

Sistemin kontrol girişinin $u(t) = Ky(t) = KC_y x(t)$ gibi ölçülen çıkışların bir fonksiyonu olduğu kabulünden yola çıkarak kapalı çevrim sistem

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= (A + B_u KC_y) x(t) + B_w w(t) \\ z(t) &= C_z x(t) \end{aligned} \quad (11)$$

şeklinde elde edilir. Burada, K statik çıkış geri beslemeli kontrol kazancını, C_y ise sistemin geri-beslenen (ölçülen) durum değişkenlerini göstermektedir. Önerilen kontrolörün sentez denklemlerinin elde edilebilmesi için ilk olarak, yeterli kararlılık kısıtlarının elde edilmesinde kullanılacak olan Lyapunov fonksiyonu $P = P^T > 0$ kısıtı altında,

$$V(x(t)) = x(t)^T P x(t) \quad (12)$$

olarak tanımlanır [16]. Lyapunov fonksiyonun türevinin Denklem (11) ile birleştirilmesi ile,

$$\begin{aligned} \dot{V}(x(t)) &= \dot{x}(t)^T P x(t) + x(t)^T P \dot{x}(t) \\ &= [(A + B_u KC_y) x(t) + B_w w(t)]^T P x(t) \\ &\quad + x(t)^T P [(A + B_u KC_y) x(t) + B_w w(t)] \end{aligned} \quad (13)$$

elde edilir. Buradan,

$$\begin{aligned} \dot{V}(x(t)) &\leq x(t)^T (A^T P + PA + C_y^T K^T B_u^T P + PB_u KC_y) x(t) \\ &\quad + w(t)^T B_w^T P x(t) + x(t)^T P B_w w(t) \\ &= x(t)^T \Pi x(t) + w(t)^T B_w^T P x(t) + x(t)^T P B_w w(t) \end{aligned} \quad (14)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $\pi = (A^T P + PA + C_y^T K^T B_u^T P + PB_u KC_y)$ dir. Kararlılık koşullarına, performans indeksi, $\gamma > 0$ olmak üzere $z^T(t)z(t) - \gamma^2 w^T(t)w(t)$ şeklinde eklenmesi ile kapalı çevrim sistemin kararlılık ve performans kısıtları

$$\begin{aligned} \dot{V}(x(t)) + z^T(t)z(t) - \gamma^2 w^T(t)w(t) &\leq \begin{bmatrix} x(t)^T & w(t)^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Pi + C_y^T C_y & PB_w \\ B_w^T P & -\gamma^2 I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ w(t) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} x(t)^T & w(t)^T \end{bmatrix} \Psi \begin{bmatrix} x(t) \\ w(t) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (15)$$

şeklinde elde edilir. (15) Eşitsizliğinden, eğer $\Psi < 0$ ise, $\dot{V}(x(t)) + z^T(t)z(t) - \gamma^2 w^T(t)w(t) < 0$ olur ve sistemin bozucu girişlerinden performans çıkışlarına olan L_2 kazancı, $x(0)=0$ başlangıç koşulu için, $\|T_{zw}\|_\infty < \gamma$ olur. Burada, bozucu dalga girişi $w=0$ olursa Eşitsizlik (15)'ten eğer $\Psi < 0$ ise o halde $\dot{V}(x(t)) < 0$ olur ve kapalı-çevrim sistem $u(t)=K C_y x(t)$ kontrol işareti ile kararlı olur. Ψ 'nın $\text{diag}(P^{-1}, I)$ ile sağından, $(\text{diag}(P^{-1}, I))^T$ ile ise solundan çarpılması ve $Q=P^{-1}$ ve $Y=KQ$ tanımlamaları ile $\Psi < 0$ kısıtı,

$$\begin{bmatrix} \Omega & B_w \\ B_w^T & -\gamma^2 I \end{bmatrix} < 0 \quad (16)$$

matris eşitsizliği şeklinde elde edilir. Burada, $\Omega = QA^T + AQ + QC_y^T K^T B_u^T + B_u K C_y Q + QC_y^T C_y Q$ dır. Elde edilen matris eşitsizliğinin lineer olmayan terimlerinin ortadan kaldırılması için $WC_y = C_y Q$ ve $Y=KW$ kabulleri altında (16) matris eşitsizliği yeniden düzenlenirse,

$$\begin{bmatrix} \Theta & B_w \\ B_w^T & -\gamma^2 I \end{bmatrix} < 0 \quad (17)$$

matris eşitsizliği elde edilir.

Burada $\Theta = QA^T + AQ + C_y^T Y^T B_u^T + B_u Y C_y + QC_y^T C_y Q$ 'dır. Schur tümleyen [17] ile matris eşitsizliği (17),

$$\begin{bmatrix} QA^T + AQ + C_y^T Y^T B_u^T + B_u Y C_y & B_w & QC_y^T \\ B_w^T & -\gamma^2 I & 0 \\ C_y Q & 0 & -I \end{bmatrix} < 0 \quad (18)$$

lineer matris eşitsizliği şeklinde elde edilir. Burada, önerilen kontrolörün nümerik çözümünde yaşanabilecek varlık probleminin giderilmesi için, $WC_y = C_y Q$ eşitliği,

$$\text{iz} [(WC_y - C_y Q)^T (WC_y - C_y Q)] = 0 \quad (19)$$

şeklinde yazılabilir. Tanımlanan koşul, $[(WC_y - C_y Q)^T (WC_y - C_y Q)] \leq \mu I$ şeklinde düzenlenmesi ve burada $\mu > 0$ bir skaler

olmak üzere Schur tümleyen ile,

$$\begin{bmatrix} -\mu I & (WC_y - C_y Q)^T \\ (WC_y - C_y Q) & -I \end{bmatrix} \leq 0 \quad (20)$$

LME şeklinde elde edilebilir [18, 14]. (20) Eşitsizliğindeki μ , 10^{-7} gibi çok küçük skaler bir pozitif sayı olduğu kabulü ile statik çıkış geri beslemeli kontrolör kazancı,

$$\begin{aligned} \min \gamma^2 \\ \text{koşul LME (18), (20)} \\ Q > 0, W, Y \end{aligned} \quad (21)$$

minimizasyon probleminin yarı tanımlı programlama çözücüsü yardımıyla (18) ve (19) LME'ni birlikte çözen uygun boyutlu $Q > 0$, W ve Y matrislerinin bulunması ile $K=YW^{-1}$ olarak hesaplanır.

4. Sayısal Benzetim Çalışmaları

Bu bölümde, mevcut yolcu gemisinin 20 knots sabit hızda baştan gelen karışık dalgalandaki düşey ivme cevaplarının azaltılması için yapılan benzetim çalışmalarının sonuçları grafikler yardımı ile ortaya konulmuştur. Bilindiği gibi, Denklem 1 ve Denklem 2'nin sağ tarafında yer alan zorlayıcı kuvvet/momentler gerçek ve sanal kısımdan oluşmaktadır. Bu sebeple zorlayıcı dalga kuvveti ve momenti, hesaplanan faz açısı göz önüne alınarak Matlab- Simulink ortamına dahil edilerek, başlangıç konum ve hızlarının sıfır olarak alınması ile çözümlene gerçekleştirilir. Çözücü olarak ODE 45 (Ordinary Differential Equation 45) kullanılmış olup zaman adımı 0.01 saniye olarak seçilmiştir. Kontrolsüz ve kontrollü cevapların gösterimi için Şekil 5'te verildiği gibi en yüksek enerjiyi içeren ω_e , karşılaşma frekansı=2,21 rad/s olarak seçilmiştir. Çalışmada tasarlanan kontrolörün performans çıkış vektörü $z(t)=C_z x(t)$ şeklindedir ve burada C_z matrisi $C_z = \alpha [I_{4 \times 4}]$ olarak belirlenmiştir. Kontrolör tasarımında α , 0,014 olarak seçilmiştir.

Çalışmada tasarlanan statik çıkış geri-

beslemeli kontrolör kazancı, (21) ile verilen optimizasyon probleminin çözümünden,

$$K = [-159,6115]$$

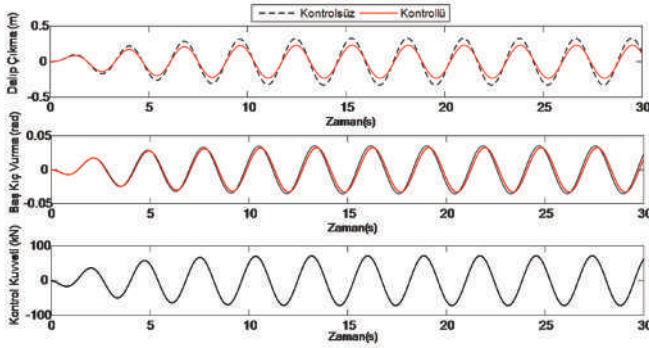
olarak hesaplanmıştır. Söz konusu LME'nin çözümünde MATLAB paket programı altında YALMIP ayrıştırıcısı ve SEDUMI çözücüsü kullanılmıştır [19, 20].

Şekil 3'te analiz edilen 2,21 rad/s frekansı için dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerinin kontrolsüz ve kontrollü cevapları ve bu zorlayıcı frekans için hesaplanan kontrol kuvveti gösterilmiştir. Şekil 3'ten görüldüğü gibi çalışmada tasarlanan kontrolör ile dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketleri için tatmin edici bir

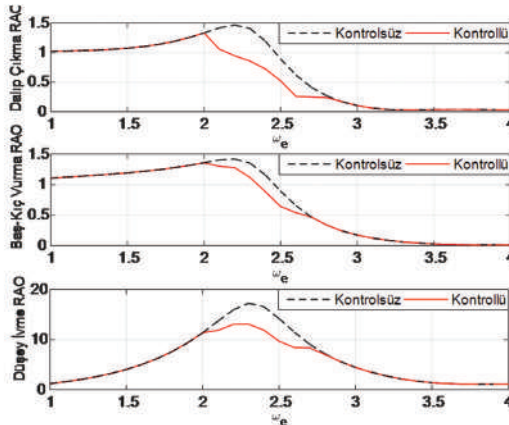
bozucu azaltma elde edilmiştir.

Frekans cevapları incelendiğinde ise Şekil 4 kontrollü ve kontrolsüz durumdaki dalıp çıkma transfer fonksiyonunu, baş kış vurma transfer fonksiyonunu ve gemi baş kısmındaki düşey ivme transfer fonksiyonunu göstermektedir.

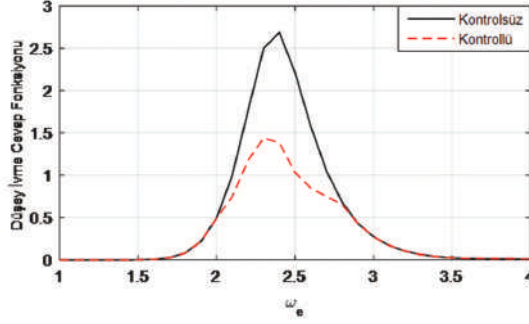
Şekil 5'te ise lineer süperpozisyon ilkesi ile elde edilen düşey ivme cevap fonksiyonu kontrollü ve kontrolsüz olarak verilmiştir. Bu grafiğin kontrollü yanıtının varyans değerinden yola çıkılarak hesaplanan RMS değerinin, tasarlanan kontrolör ile geminin baş kısmında seyahat eden yolcular için düşey ivme değerinin azaltılarak RMS 1 m/s² üst limitinin altına indirildiğini göstermiştir.



Şekil 3. $\omega_e=2,21$ rad/s için Dalıp Çıkma Hareketi, Baş Kış Vurma Hareketi (Kontrolsüz/Kontrollü) ve Kontrol Kuvveti Grafiği



Şekil 4. Kontrollü ve Kontrolsüz Elde Edilen Transfer Fonksiyonları



Şekil 5. Kontrollü ve Kontrolsüz Elde Edilen Düsey İvme Cevap Fonksiyonu

Yapılan benzetim çalışmalarından, önerilen kontrolörün sistemin kapalı çevrim kararlılığını garanti ederek arzu edilen kontrol performansını sağladığı gözlemlenmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, seçilen gemi formunun DD3 için 20 knots sabit ilerleme hızında ve dalgaları baştan aldığı senaryoda denizcilik analizleri yapılmış; transfer ve cevap fonksiyonları elde edilmiştir. Daha sonra statik çıkış geri beslemeli kontrolör tasarımı ile karışık deniz durumunda mutlak düşey ivmelenmelerin azaltılması hedeflenmiştir. Tasarlanan kontrolcü sayesinde düşey ivme cevap fonksiyonu altındaki alan ortalama % 35 oranında azaltılmıştır. Böylelikle 30 dakikalık gemi yolculuğu için ISO'nun tavsiye ettiği üst limit olan 1 m/s^2 RMS ivme değeri aşılmayarak deniz tutması açısından güvenli bölgede kalınmıştır. Bu sonuçlar önerilen statik çıkış geri beslemeli kontrolörün, gemi gibi operasyon anında üzerinden ölçüm alınması zor olan sistemlerin dalga bozucusu etkisindeki hareketlerinin kontrolünde önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Makalede ele alınan problem gemi modelindeki belirsizliklerin ve eyleyici dinamiğinin kapalı çevrim sisteme eklenmesi ile dayanıklı kontrolör tasarımı çalışmaları ile genişletilebilir. Bir başka

husus ise, gemi ilerleme hızı değiştiğinde düşey hareket denklemlerinde yer alan katsayılar da değişecektir. Bu nedenle, gemi ilerleme hızına bağlı değişen katsayıları da sisteme dahil edebilecek bir kontrolcü tasarlanabilir.

Teşekkür

Bu çalışmanın ikinci yazarı ASELSAN doktora bursuyla desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Peşman, E. (2016). Influence of Variable Acceleration on Parametric Roll Motion of a Container Ship. *Journal of ETA Maritime Science*, 2016:4(3):205-214.
- [2] Salvesen, N., Tuck, O. ve Faltinsen, O. (1970). *Ship Motions and Sea Loads*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1970:78:250-287.
- [3] O'Hanlon, J. F. ve McCauley, M. E. (1974). Motion Sickness Incidence as a function of acceleration of vertical sinusoidal motion. *Aerospace Medicine*, 1974:45:366-369.
- [4] ISO. (1985). *Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration-Part 3: Evaluation of Whole-body z-axis. Vertical Vibration in the Frequency Range 0.1 to 0.63 Hz*.
- [5] ISO. (1997). *Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure*

- to Whole Body Vibration-Part 1: General Requirements.
- [6] Esteban, S., Cruz, J. M., Giron Sierra, J. M., Andres, B., Martinez, J. M. D. ve Almansa, J. A. (2000). Fast Ferry Vertical Accelerations Reduction With active Flaps and T-foil. Proceedings from 5th IFAC Conference Aalborg, Denmark.
- [7] Lopez, R., Santos M., Polo, O. ve Esteban, S. (2002). Experimenting a fuzzy controller on a fast ferry. Control Applications, Proceedings of the 2002 International Conference on, Volume:2.
- [8] Esteban, S., Giron Sierra, J. M, Piorno, J.R. ve Cruz J. M (2005). Frequency-Domain Analysis for Prediction of Seasickness on Ships. Marine technology, 2005:42(4):192-198.
- [9] Giron Sierra, J.M, Esteban, S., Piorno, J.R. ve Velasco, F. (2005). Overview of a research on actuators control for better seakeeping in fast ships. Proceedings of the 16th Ifac World Congress. Elsevier Science.
- [10] Giron Sierra, J. M. ve Esteban S. (2008). Frequency Domain Study of Longitudinal Motion Attenuation of a Fast Ferry Using a T-Foil. Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea.
- [11] Esteban S., Giron-Sierra, J. M., Toro, B. A. ve Cruz, J. M. (2004). Development of a Control-Oriented Model of the Vertical Motions of a Fast Ferry. Journal of Ship Research. 2004:48(3).
- [12] Denis, M. ve Pierson, W. (1957). On the motions of ships in confused seas. Trans .Soc. Nav. Archit.Mar.Eng. 1957:61:280-354.
- [13] Abdelaziz, T. H. S. ve Valasek, M. (2005). State Derivative Feedback by LQR for Linear Time Invariant Systems. IFAC Proceedings Volumes, 2005:38(1):435-440.
- [14] Du, H., Li, W. ve Zhang, N. (2012). Integrated Seat and Suspension Control for a Quarter Car With Driver Model. IEEE Trans. Veh. Technol. 2012:61(9):3893-3908.
- [15] Yazici, H. ve Sever, M. (2016). Observer Based Optimal Vibration Control of a Full Aircraft System Having Active Landing Gears and Biodynamic Pilot Model. Shock and Vibration ,1-20.
- [16] Dullerud, G-E. ve Paganini, F. (2005). A course in robust control theory: a convex approach, Springer-Verlag, 1. Baskı.
- [17] Boyd, S., El Ghaoui, L., Feron, E. ve Balakrishan, V. (1994). Linear matrix inequalities in system and control theory. Society for Industrial and applied mathematics, 1. Baskı.
- [18] Ho, D. W. C. ve Niu, Y. (2007). Robust fuzzy design for nonlinear uncertain stochastic systems via sliding-mode control. IEEE Trans. Fuzzy Syst. 2007:15(3):350-358.
- [19] Löfberg, J. (2004). YALMIP: A toolbox for modelling and optimization in MATLAB. IEEE International Symposium on Computer Aided Control System Design, Taipei-Taiwan, 2-4.
- [20] Strum, J-F. (1999). Using SeDuMi 1.02, a MATLAB toolbox for optimization over symmetric cones. Optimization Methods and Softwares, 1999:11(4):625-653.

This Page Intentionally Left Blank

1. Giriş

Yoğun rekabet ortamı ve küreselleşme ile birlikte çalışma koşulları, bireylerin etkinlik ve verimlilik odaklı yoğun çalışma saatlerini beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda çalışma koşullarının yoğun tempoda ve çalışma saatlerin belirsiz olduğu ortamlarda işgörenlerin sergiledikleri tutum ve davranışlar önem arz etmektedir [1]. Artan rekabet koşulları, hızlı değişen iş koşulları ve iş yükünün ağır olduğu düşünüldüğünde çalışanlar tam olarak iş ve yaşam dengesini kuramamaktadır. Bu dengenin bozulması ile birlikte çalışanlarda fiziksel, ruhsal ve psikolojik olarak birçok belirtiler ortaya çıkmakta ve bu negatif etki tükenmişlik gibi bir sorunu da ortaya çıkarmaktadır. Tükenmişlik aniden gelişen bir durum olmamakla beraber belirtileri yavaş yavaş kendini gösteren, bireylerde fiziksel, psikolojik ve davranışsal belirtileri olan bir sendromdur [2]. Özellikle insanlarla birebir hizmet merkezli sektörlerde tükenmişliğin olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. İş hayatında harcanan enerji, bireylerin zihinsel ve bedensel olarak yorgunluk, bitkinlik, tükenmişlik gibi olumsuz durumlara da neden olmaktadır. Zaman içinde ağırlaşan çalışma koşulları tükenmişliği, modern iş yaşamını önemli bir problemi haline getirmiştir [1].

Bhonde ve diğer araştırmacıların (2013) araştırmasına göre, balıkçıların işsizlik, düşük ücret, tehlikeli çalışma koşulları, ruhsal denge bozuklukları, kötü hava koşulları, özsaygı yetersizliği, stresli iş ortamı gibi faktörler ele alındığında tükenmişlik düzeylerinin yüksek olduğu sonuçlarına varılmış ve tükenmişlik düzeylerinin iş ve yaşam doyumlarına olumsuz etkisi olduğu saptanmıştır [3]. Monnereau ve Pollnac (2012) çalışmasında ise, balıkçılık mesleğinin çalışma koşullarının zorluklarına değinilmiş ve balıkçıların kazançlarının yetersiz olduğu, yapılan işin zorluklarından kaynaklı sosyal yaşantılarının olumsuz etkilendiği, geleceğe

umutsuzlukla baktıkları, işlerinden zevk almadıkları, çalışma arkadaşları ile sürekli çatışma yaşadıkları sonucuna varılmıştır[4].

Türkiye, sahip olduğu balıkçılık potansiyeli bakımından Akdeniz ülkeleri arasında çok önemli bir yere sahiptir. Bu potansiyeli korumak için başarılı bir balıkçılık yönetimine ihtiyaç vardır. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) tarafından yapılan resmi açıklamaya göre, her geçen gün daha kötüye giden meslek koşullarının iyileştirilmesi için gerekli politikaların izlenmesi önem arz etmektedir [5, 6]. Bu araştırma ile birlikte, balıkçılık sektöründeki paydaş kurum ve kuruluşlar için bir ön çalışma oluşturması amaçlanmıştır.

Araştırma amacının gerçekleştirilmesi için, veri toplama aracı olarak balıkçı sınıfı gemiadamlarına uyarlanan bir anket formu oluşturulmuştur. Tükenmişlik ölçeğine ait anket formu Maslach ve Jackson (1981) tarafından geliştirilmiştir [5]. Bu bölümde yer alan 22 ifade 5'li likert ölçeği ile cevaplanmıştır. Tükenmişlik ölçeği üç alt boyuttan oluşmaktadır. Duygusal tükenme boyutu 9 madde (1, 2, 3, 6, 8, 13, 14, 16, 20. sorular), duyarsızlaşma alt boyutu 5 madde (5, 10, 11, 15, 22. sorular), kişisel başarı boyutu 8 maddeden (4, 7, 9, 12, 17, 18, 19, 21.sorular) oluşmaktadır [7]. Alt boyutlar puanlanırken balıkçıların her bir yargıya verdikleri cevaplar sıklık durumuna göre 1: Hiçbir zaman 5: Her zaman şeklinde belirtilmiştir.

2. Literatür Taraması

Son zamanların önemli bir gündem maddesi olan tükenmişlik (Burnout) kavramı, ilk olarak 1961 yılında Grenau'nun "Bir Tükenmişlik Olayı" adlı romanında dikkatleri üzerine çekmiştir. Yazar bu yapıtında duygusal boşluğu olan bir mimarın Afrika ormanlarına sığınmasını konu almıştır. Daha sonralarında ise bu terim çalışan bireylerde "meslek bunalımı" ifade etmek için kullanılmıştır [8]. 1970'lerde ise

klirik çalışmalarını sürdüren Freudenberger (1974) tarafından “mesleki tehlike” olarak ifade edilmiş, insanı durumdan kurtarılması zor bir çıkmaza sürükleyen, başarısızlık, yorgunluk ve bitkinlik hissiyatını barındıran bir durum olarak tanımlanmıştır [9]. Tükenmişlik araştırmalarının kavramsal olarak ne şekilde farklılaştığını göstermek adına, yazındaki tükenmişlik çalışmalarına ait tanımlar ve çalışma alanlarında seçtikleri örneklem grupları Tablo 1’de özetlenmiştir.

Çalışma yaşamının farklı evrelerinde ortaya çıkan tükenmişlik kavramı, çalışanların stres koşullarında enerjilerinin azalmasını ifade etmekle birlikte [10], “piskomatik hastalığı, uykusuzluğu, iş ve müşteriye karşı negatif tutumu, işe gelmemeyi, alkol ya da ilaç kullanımını, suçluluğu, kötümserliği, ilgisizliği ve depresyonu içeren karmaşık bir sendrom” olarak da tanımlanmıştır [11, 12]. Belirtilerin ileri boyutlarda kendini göstermesi ve mücadele edilemez boyutlara kadar gelmesi, tükenmenin baş edilmesini zorunlu kılacaktır [13].

Araştırmalarda farklı meslek gruplarında farklı düzeylerde tükenmişlik yaşanıyor olması, bu konuyu daha da önemli konuma getirmiştir. Tükenmişlik araştırmalarının 1970’lerde araştırılmaya başlamasıyla beraber yapılan ilk çalışmalar tanımlayıcı ve açıklayıcı nitelikte olmuştur. 1980’lerden sonra tükenmişlik araştırmaları daha deneysel ve sistematik hale gelmiştir. Bu safhadaki araştırmalar anketlerden, nicel araştırma yöntemlerinden ve büyük popülasyonu örneklem araştırmalarından veriler toplanarak gerçeleştirilmiştir [9]. Önceden sadece hizmete dayalı meslek gruplarıyla incelenen tükenmişlik bu safhada hizmet dışı mesleklerle de incelenmiştir [1]. Bu meslekler hizmet sektörü çalışanları, doktorlar, hemşireler, hastabakıcılar, avukatlar, öğretmenler, akademisyenler, polisler, bankacılar, sosyal hizmet görevlileri, çocuk bakıcıları, müşteri hizmetleri temsilcileri ve herhangi bir

alandaki yönetici kademesinde çalışanlar olarak sıralanabilir [7].

1990’larda deneysel araştırmalar sosyal hizmet servisleri ve öğretmenlerle sınırlı kalmayıp yöneticiler, sekreterler, askerler gibi meslek gruplarıyla genişletilmiştir [7]. Sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda farklı meslek grupları da dâhil edilerek örneklem genişletilmiştir.

Yapılan çalışmalarda karşımıza çıkan en önemli nokta tükenmişliğin, insanlarla etkileşim içinde olan meslek gruplarında yüksek düzeylerde yaşanıyor olmasıdır [13]. Yazında karşımıza çıkan bir diğer önemli nokta ise, bireylerin kariyer basamaklarında ilerlerken tükenmişlikten daha az etkilendikleridir. Bu ifadeyi destekler bir bulguya ulaşan Budak ve Sürgevil’e (2005) göre, üniversite öğretim elemanlarının kadro dereceleri yükseldiğinde tükenmişlik alt boyutlarının her birinde daha düşük düzeyde ortalamalar tespit edilmiştir [1].

Araştırmacılar tarafından en çok kullanılan ve en güçlü psikometrik sonuçlar veren ölçek ise Maslach ve Jackson tarafından geliştirilen Maslach Tükenmişlik Ölçeği olmuştur [7]. Maslach ve Jackson, tükenmişliği “Uzun süre maruz kalınan stresli iş ortamlarında ve yüz yüze çalışma gerektiren mesleklerde ortaya çıkan duygusal tükenme” olarak görmektedir [9]. Tanımdan da yola çıkılarak Maslach ve diğerlerinin (1977) geliştirmiş olduğu tükenmişlik modelinde, “duygusal tükenme”, “duyarsızlaşma” ve “kişisel başarı” olmak üzere üç boyuttan söz etmek mümkündür. Boyutlar arası ilişki ise “duygusal tükenme” ve “duyarsızlaşma” arasında pozitif bir ilişki varken, “kişisel başarı” alt boyutu ile diğer boyutlar arasında negatif bir ilişki gözlemlenmektedir [8].

Duygusal Tükenme Boyutu: Bireysel stres boyutunu simgeleyen bu alt boyutta [23], çalışanların fiziksel ve duygusal kaynaklarında tükenme, müşterilerine karşı eskisi kadar sorumlu hissetmemeleri olarak tanımlanabilir [24].

Duyarsızlaşma Boyutu: Modelin kişiler arası boyutunu simgeleyen bu boyut, müşterilere yönelik olumsuz tutumları ve işe karşı tepkisiz olmayı işaret etmektedir [7]. Kişi karşısındakine aşağılayıcı, kaba davranışlar sergileyebileceği gibi insanlara birer nesne gibi davranma [25] şeklinde de bu duygu kendini gösterebilir.

Kişisel Başarı Boyutu: Tükenmişliğin kişisel yeterlilik adı verilen [8] bu boyutta, kişinin kendini yetersiz hissetmesi, kendini olumsuz değerlendirmesi, moral bozukluğu, iş verimliliğinde azalma, üretkenliğini kaybetme, kişiler arası çatışma, sorunlarla başa çıkamama, benlik saygısında azalma gibi belirtilerle kendini göstermektedir [7]. Yazında tükenmişlik konusunda yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalar Tablo 2 ve Tablo 3'te özetlenmektedir.

Tablo 2'de uluslararası çalışmalara yer verilmiş ve farklı sektördeki örneklem

grupları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Buradan çıkarılacak en önemli sonuç, insana yönelik hizmetin ön planda olduğu hizmet sektöründe daha yüksek düzeyde tükenmişlik yaşadıkları sonucudur. Özellikle öğretmenlerin tükenmişlik düzeyleri benzer örneklem sayısına sahip denizcilik sektöründe çalışan gemi adamlarına oranla daha yüksek düzeyde gözlemlenmiştir.

Ulusal düzeyde yapılan yazın taramasına ait Tablo 3'te ise, genellikle nicel yöntemlere başvurulmuş ve farklı örneklem gruplarına ait tükenmişlik düzeylerine yer verilmiştir. Özellikle denizcilik sektöründe istihdam edilen gemi adamlarının tükenmişlik düzeyleri Zorba (2016) ve Kurt'un (2010) çalışmalarında yüksek seviyede gözlemlenirken [36,44], Aydın'ın (2015) çalışmasında ise [39] orta düzeyde tükenmişlik düzeyi gözlemlenmiştir.

Tablo 1. Tükenmişliğe Ait Kavramsal Tablo

Yazar	Yıl	Örneklem Grubu	Tükenmişliğin Tanımı	Araştırma Yaklaşımı		
				Tanımlayıcı	Açıklayıcı	Keşfedici
Ardıç, K. ve Polatçı, S.	2008	Akademisyenler	"Yavaş yavaş ve sinsice ilerleyen belirtiler yumağı"dır.	X		
Pearlman, B.,Hartman, E.A.	1982	Yüz yüze iletişime geçilen meslek grupları	"Üretkenlikte azalma, duygusal ve fiziksel yorgunluk, insanlara karşı öfke ve duyarsızlaşma hali"dir.			X
Vash, C.L.	1980	İnsan Kaynakları Yöneticileri	"Mutsuz, kapana kısılmış, istek de azalma, verimsizlik, fiziksel ve ruhsal anlamda yoksunluk hissiyatı"dir.	X		
Cherniss, C.,Egantis, E.S., Wacker, S., O'dowd, B.	1979	Kamu çalışanları	"Güvenirlikte azalma, ideal kaybı, işten ayrılma isteği"dir.			X
Metz, P.	1979	Öğretmenler	"Fiziksel, duygusal ve davranışsal olarak yoksunluk hissi"dir.			X
Mattingly, M.A.	1977	Çocuk bakıcıları	"Strese karşı bireysel ve yıkıcı tepki süreci"dir.	X		
Maslach, C.	1976	Sağlık ve hizmet sektörü çalışanları	"İnsanlardan uzaklaşma, negatif tutumlar ve ayrılma durumu"dur.			X
Warnath, C.F. ve Shelton, J.L	1976	Avukatlar	"İşe bağlılıkta azalma durumu"dur.		X	
Ginsberg, S.G.	1974	Yöneticiler	"Kronik strese verilen tepki"dir.	X		
Freudenberger, H.J.	1974	Klinik çalışanları	"Başarısız olma, yıpranma, enerji ve güç kaybı veya karşılanamayan istekler sonucu bireyin iç kaynaklarında tükenme durumu"dur.	X		

Tablo 2. Tükenmişlik Sendromu ile ilgili Uluslararası Düzeyde Yapılan Çalışmalar

No	Yazar	Yıl	Araştırma Türü		Araştırmanın Amacı	Araştırmanın Örneklemi
1	Genly	2015	Nitel Yöntem	Bildiri	Tükenmişliğin genel bir yazın taramasını yapmak	-
2	Bria ve diğerleri	2014	Nicel yöntem	Makale	Maslach tükenmişlik ölçeğinin boyutlar arası ilişkisini yapısal eşitlik modellemesini kullanarak tespit etmek	Sağlık personeli (1190 kişi)
3	Ceyhun ve Ozbag	2014	Nicel Yöntem	Makale	Pilotların çalışma koşulları ile tükenmişlik ilişkilerini saptamak ve iş doyum üzerindeki etkisini ortaya koymak	Kılavuz kaptan (100 kişi)
4	Oldenburg ve diğerleri	2013	Nicel Yöntem	Makale	Tükenmişliğe etki eden değişkenleri incelemek	Gemiadamı (251 kişi)
5	Tanner	2011	Nicel Yöntem	Tez	Tükenmişlik gelişimini ve sonuçlarını incelemek	Hizmet sektörü çalışanları (9705 kişi)
6	Anvari ve diğerleri	2011	Nicel yöntem	Makale	Mesleki tükenmişlik ile beş büyük kişilik özelliği ilişkisini saptamak	Sağlık personeli (248 kişi)
7	Piko	2006	Nicel Yöntem	Makale	Sağlık personeli örnekleminde tükenmişlik, rol çatışması ve iş doyumunu arasındaki ilişkiyi saptamak	Sağlık personeli (450 kişi)
8	Borritz	2006	Nicel Yöntem	Tez	Tükenmişliğin olası nedenlerini belirlemek ve psikolojik bir rahatsızlık olup olmadığını belirlemek	Hizmet sektörü çalışanı (2348 kişi)
9	Breninkmeyer ve diğerleri	2001	Nicel Yöntem	Makale	Tükenmişlik ve depresyon arasındaki ilişkiyi belirlemek	Öğretmen (190 kişi)
10	Drake ve Yadama	1996	Nicel Yöntem	Makale	Tükenmişlik ve işten ayrılma ilişkisini yapısal eşitlik modellemesi ile test etmek	Çocuk esirgeme kurumu çalışanı (177 kişi)

Tablo 3. Tükenmişlik Sendromu ile ilgili Ulusal Düzeyde Yapılan Çalışmalar

No	Yazar	Yıl	Araştırma Türü		Araştırmanın Örneklemi	Araştırmanın Sonucu
1	Zorba	2016	Nicel yöntem	Makale	Gemiadamı (67 kişi)	Gemi adamlarının tükenmişlik alt boyutlarında yüksek düzeyde tükenmişlik yaşadığı tespit edilmiştir.
2	Bilge ve Aydilek	2015	Nicel yöntem	Makale	Polis memuru (153 kişi)	Polislerin tükenmişlik alt boyutlarında orta düzeyde tükenmişlik gözlenmiştir.
3	Örki	2015	Nitel yöntem	Tez	-	Tükenmişlik olgusunun birey ve örgüt yaşamında ciddi sorunlar ortaya çıkardığı tespit edilmiştir.
4	Aydın	2015	Nicel yöntem	Tez	Gemiadamı (305 kişi)	Gemi adamlarının orta düzeyde tükenmişlik yaşadıkları sonucuna varılmıştır.
5	Tekin ve diğerleri	2014	Nicel yöntem	Makale	Hizmet sektörü çalışanı (125 kişi)	Çalışanların tükenmişlik seviyeleri ve örgütsel bağlılıkları arasında anlamlı ilişkiler bulunmuş ve tükenmişlik alt boyutları orta düzeyde tespit edilmiştir.

Tablo 3. Tükenmişlik Sendromu ile ilgili Ulusal Düzeyde Yapılan Çalışmalar (Cont')

No	Yazar	Yıl	Araştırma Türü		Araştırmanın Örnelemi	Araştırmanın Sonucu
6	Aybas ve diğerleri	2013	Nitel yöntem	Bildiri	Beyaz yaka çalışanı (153 kişi)	Çalışanların iş güvencesizliği algıları artarken, tükenmişlik düzeylerinde de artış olduğu gözlenmiş ve bireylerin kendilerine ilişkin olarak istihdam edilebilirlik algıları arttıkça, bu ilişki zayıflamaktadır.
7	Kuleyin ve diğerleri	2013	Nicel yöntem	Makale	Liman çalışanı (74 kişi)	Liman çalışanlarının tükenmişlik alt boyutları orta düzeyde gözlenmiştir
8	Yıldırım ve İçerli	2010	Nicel Yöntem	Makale	-	Maslach Tükenmişlik Ölçeği ve Kopenhag Tükenmişlik Ölçeği karşılaştırmalı analizleri yapılmış ve orta düzeyde benzerlik tespit edilmiştir.
9	Kurt	2010	Nicel yöntem	Tez	Gemiadamı (43 kişi)	Örnekleme dâhil edilen 43 gemi adamının tükenmişlik seviyeleri ihmal edilemeyecek durumda olduğu ve yüksek düzeyde tükenmişlik yaşadıkları sonucuna varılmıştır.
10	Ardıç ve Polatçı	2008	Nicel yöntem	Makale	Akademik personel (202 kişi)	Akademisyenler de duygusal anlamda orta dereceli tükenmişlik gözlemlenirken, kendilerini ciddi boyutta başarısız hissettikleri gözlemlenmiştir.

3. Araştırma Yöntemi

3.1. Araştırmanın Örnelemi ve Veri Toplama Süreci

Araştırmanın ana kütesini İzmir ilinde bulunan balıkçı barınaklarındaki balıkçı sınıfı gemi adamları oluşturmaktadır. Bu kapsamda İzmir ilinde; Bostanlı, Karaburun, Urla, Güzelbahçe, Foça ve Çeşme balıkçı barınaklarında balıkçılık faaliyetlerini sürdüren balıkçı sınıfı gemi adamlarına 20/01/2017-19/05/2017 tarihleri arasında yüz yüze anket yöntemi uygulanmıştır. Araştırmanın etkinliği açısından, 30'dan büyük 500'den küçük örneklemin araştırma için yeterli olacağı kararlaştırılmıştır. Bu bağlamda oldukça yaygın olarak kullanılan "kolayda örnekleme" yöntemi ile örnekleme belirlenmiştir [45]. Araştırmanın örnekleme büyüklüğünü belirlemek için ise ana kütle ve güven aralıklarını içeren "araştırmalar için güven seviyesi ve kabul edilebilir hataya göre önceden örnekleme büyüklüğü hesaplama tablosu" kullanılmıştır. Örnekleme büyüklüğü ve ana kütle hesaplarının yapılması için Deniz

Ticaret Odası Balıkçı sınıfı gemiadamları istatistikî verilerinden yararlanılmıştır. Bu veriler ışığında Ayvalık ve çevresi de dâhil olmak üzere 4326 balıkçı sınıfı gemiadamı kayıt altındadır. Örnekleme büyüklüğü hesaplanırken, Özdamar'ın (2003) çalışmasında yer alan normal yaklaşım örnekleme büyüklüğü saptama formülü kullanılmıştır [46]. Tüm koşullar dikkate alındığında, analizlerde kullanılan 170 anket, balıkçı sınıfı gemiadamı oranı $\alpha = 0,05$ için %5 örnekleme hatası hesaplanmıştır. Örnekleme hatası %7,37 ile yaklaşık 4500 kişilik evreni temsil etmektedir. Yapılan kabuller dışında araştırma sahası İzmir ve çevresi balıkçı barınaklarını içerdiğinden evrenin 4500 kişinin altında bulunduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda örnekleme hatası %5 düzeyinin altına inecektir. Saha araştırması sonrasında toplanan anket formları incelenerek hatalı veya eksik doldurulmuş anketler istatistiksel olarak değerlendirmeye alınmamıştır. Bu açıdan değerlendirildiğinde; 178 anket içerisinde 8 anket formu istatistikî verilere dâhil edilmemiştir.

3.2. Araştırmanın Süreci

Hem nitel hem de nicel yöntemler olmak üzere karma bir araştırma metoduna başvuru bu çalışmada, örnekleme ait değişkenler ve alt boyutlara ait faktörler yapılan yazın taramasında tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise, yazın taramasından elde edilen değişkenler, yarı yapılandırılmış görüşme tekniği kullanılarak uzman görüşlerine sunulmuştur. İkinci aşamada anket uygulamasının gerçekleştirilmeden önce anket formunda yer alan ifadelerin içeriklerinin ve anlaşılır olup olmadıkları uzmanlar tarafından test edilmiştir. Bu süreçte anket yargılarına ait düzeltmeler yapılmış ve anket içeriği tekrar oluşturulmuştur. Araştırmanın son kısmında ise, balıkçı sınıfı gemiadamlarının tükenmişlik düzeylerinin belirlenmesi amacıyla saha araştırması gerçekleştirilmiştir. Araştırma sürecinin akış şeması Şekil 1’de gösterilmektedir.

3.3. Veri Analizi

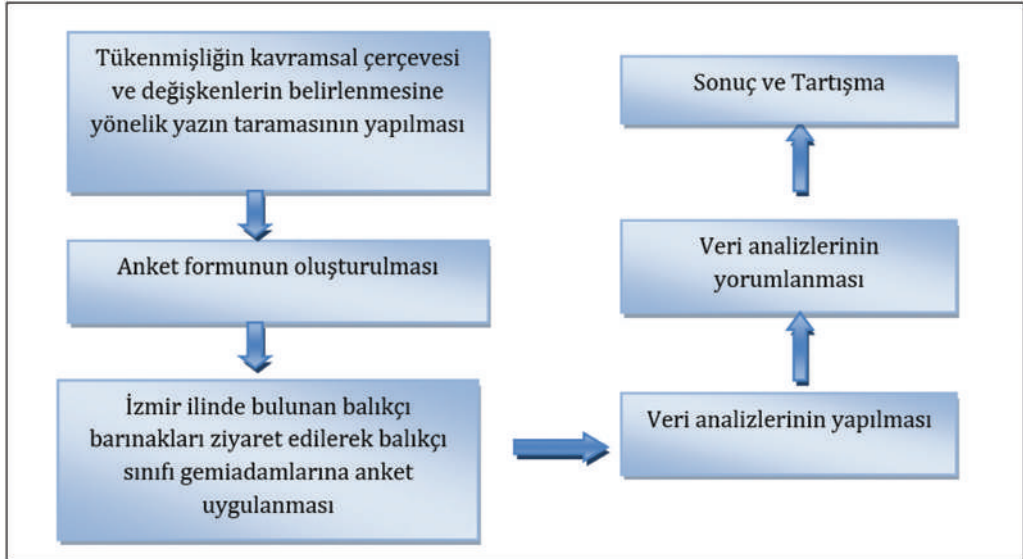
Veri analizlerini gerçekleştirmek için SPSS 21.0 (Sosyal Bilimler için İstatistik Paket Programı) paket programı kullanılmış ve anket formundan toplanan

veriler elektronik ortama aktarılarak analiz edilmiştir. Veri toplama aracının iç tutarlılık analizleri gerçekleştirilerek Cronbach alfa değerleri hesaplanmıştır. Cronbach alfa sayısının 0,7 ve üstü olması ölçeğin güvenilir olduğunu ifade etmektedir [45]. Anketin tükenmişlik ölçeğine ait güvenilirlik tablosu Tablo 4’te özetlenmiştir. Tükenmişlik alt boyutlarına ait Cronbach alfa değerleri ve anketin güvenilirliği 0,7 üzerinde olması güvenilir değerler içerisinde olduğunu göstermektedir.

Araştırmanın örnekleme toplam 170 balıkçı sınıfı gemiadamından oluşturmaktadır. Anket formunu dolduran katılımcıların % 94,7’si (161) erkek, % 5,3 (9) kadındır. Araştırmada yer alan

Tablo 4. Tükenmişlik Ölçeğine Ait Güvenirlik Katsayıları

Boyutlar	Soru sayısı	N	Güvenirlik	Toplam Bölüm Güvenirliği
Duygusal Tükenme	9	170	0,721	0,749
Duyarsızlaşma	5	170	0,685	
Kişisel Başarı	8	170	0,748	



Şekil 1. Araştırma Süreci Akış Diyagramı

katılımcıların yaşları, 36 ve üstü yaş aralığında kümelenmektedir. Katılımcıların %37,7'si (64) bekâr, %62,3'sü (106) evlidir. Katılımcıların % 43,6'sı birden fazla çocuk sahibidir. Balıkçı sınıfı gemiadamlarının eğitim seviyeleri incelendiğinde; büyük kısmının %36,5 (62) kişinin lise mezunu olduğu % 36,5 (62), %21,2'sinin (36) fakülte veya yüksekokul mezunu olduğu ve %4,7'sinin (8) lisansüstü derecesinde olduğu belirlenmiştir. Araştırmaya katılan balıkçı sınıfı gemiadamlarının profil bilgileri Tablo 5'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

Teknelere ait bilgiler Tablo 6'da özetlenmiştir. Balıkçı sınıfı gemi adamlarının teknede buldukları görevleri açısından %18,8'si (32) açık deniz balıkçı gemisi kaptanı, % 43,5'si (74) balıkçı gemisi kaptanı, %37,6'sı (64) tayfa sınıfındadır. Yeterlilik derecelerine göre ise; katılımcıların %4,7'si (8) açık deniz balıkçı gemisi kaptanı, % 7,6'sı (13) yat kaptanı, %17,1'i (29) usta gemici, % 9,4'ü (16) gemici yeterliliğindedir. Balıkçı sınıfı gemiadamlarının deniz tecrübeleri

incelendiğinde; 30 yıl ve üstünde tecrübe sahibi olanlar topluluğun %20'sini oluşturmaktadır. Anketi cevaplayan olta balıkçıların çoğunun amatör denizci belgesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Tekne büyüklüğü değişkeni incelendiğinde; genellikle ağ balıkçılığı yapan tekne boylarının küçük olmasından kaynaklı 0-10 metre aralığında tekneler yoğunluk göstermektedir. Balıkçıların avlanma tipi olarak %25,9'u (44) ağ balıkçılığı, %25,3'ü (43) olta balıkçılığı, %15,9'u (27) gırgır-ıgır balıkçılığı yapmaktadır. Katılımcıların bağlama ve barınma hizmetini aldıkları bölgeler %20'si (34) Çeşme %17,6'sı (30) Foça %14,7'si (25) Karaburun çeşitli barınaklardır.

Balıkçı sınıfı gemiadamlarının tükenmişlik değişkenlerine ilişkin hesaplanan ortalamaları, varyans ve standart sapmaları Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tükenmişlik ölçeğinden elde edilen puan ortalamaları, örneklemin orta düzeyde duygusal tükenme ve duyarsızlaşma

Tablo 5. Araştırmaya Katılan Balıkçı Sınıfı Gemiadamlarına Ait Genel Bilgileri

KATILIMCILARA AİT PROFİL BİLGİLERİ					
DEĞİŞKEN	N	%	DEĞİŞKEN	N	%
Cinsiyet			Eğitim Durumu		
Erkek	161	94,7	İlkokul	31	18,2
Kadın	9	5,3	Ortaokul	33	19,4
Yaş			Lise	62	36,5
18-25	31	18,2	Fakülte/ Yüksekokul	36	21,2
26-35	30	17,6	Lisansüstü	8	4,7
36-45	33	19,4	Ücret		
46 +	76	44,7	0-1500TL	36	21,2
Medeni Durum			1501-3000 TL	52	30,6
Bekâr	64	37,7	3001-4500TL	37	21,8
Evli	106	62,3	4501+ TL	45	26,5
Çocuk Durumu					
Var	109	64			
Yok	61	35,9			

Tablo 6. Tekne ile ilgili Genel Bilgiler

KATILIMCILARA AİT TEKNE BİLGİLERİ					
DEĞİŞKEN	N	%	DEĞİŞKEN	N	%
Teknedeki Görev			Tekne Büyüklüğü		
Açık Deniz Balıkçı Gemisi Kaptanı	32	18,8	0-10	109	64,1
Balıkçı Gemisi Kaptanı	74	43,5	11-20	28	16,5
Balıkçı Gemisi Tayfası	64	37,6	21-30	14	8,2
Yeterlilik			31-40	7	4,1
Açık Deniz Balıkçı Gemisi Kaptanı	8	4,7	41-50	8	4,7
Balıkçı Gemisi Kaptanı	37	21,8	Avlanma Tipi		
Balıkçı Gemisi Tayfası	32	18,8	Ağ Balıkçılığı	44	25,9
Yat Kaptanı	13	7,6	Trol Balıkçılığı	14	8,2
Sınırlı Vardiya Zabiti	12	7,1	Olta Balıkçılığı	43	25,3
Amatör Denizci (ADB)	23	13,5	Gırgır-İğrip	27	15,9
Usta gemici	29	17,1	Voli avcılığı	21	12,4
Gemici	16	9,4	Paragat	21	12,4
Deniz Tecrübesi			Balıkçı Barınağı		
0-10	52	30,6	Çeşme	34	20
11-20	47	27,6	Foça	30	17,6
21-30	37	21,8	Güzelbahçe	27	15,9
31+	34	20	Urla	34	20
Ailede Balıkçılıkla Uğraşan Birey			Karaburun	25	14,7
Var	134	78,8	Bostanlı	20	11,8
Yok	36	21,2			

Tablo 7. Tükenmişlik Bölümüne İlişkin İstatiksel Bilgiler

Boyutlar	Madde Sayısı	N	Ölçek		
			Ortalama	Varyans	Std.Sapma
Duygusal Tükenme	9	170	23,08	54,8	7,4
Duyarsızlaşma	5	170	10,63	16,62	4,08
Kişisel Başarı	8	170	27,46	18,53	4,31

Not.: Duygusal Tükenme: 0-16 = Düşük, 17-26 = Orta, >27 =Yüksek; Duyarsızlaşma: 0-6 = Düşük, 7-12 = Orta, >13 = Yüksek; Kişisel Başarı : >39 = Düşük, 32-38 = Orta, 0-31 = Yüksek.

yaşadıkları fakat yüksek düzeyde kişisel başarısızlık hissettikleri gözlemlenmiştir.

Tablo 8’de tükenmişliğe ait istatiksel verilerden elde edilen ortalama ve standart sapma değerlerine yer verilmiştir.

Bulgular incelendiğinde, duygusal tükenme alt boyutunda ortalama değeri

(\bar{x} :3,51) en yüksek olan ifade “İşimde çok fazla çalıştığımı düşünüyorum.” ifadesidir. Yüz yüze yapılan görüşme sonucunda balıkçılar en çok çalışma koşullarının zorluğundan ve çalışma saatlerinden yakınmaktadırlar.

Duyarsızlaşma alt boyutu incelendiğinde ise, ortalama değeri (\bar{x} :2,35) en yüksek olan

ifade “İşimle ilgili karşılaştığım insanların bazı problemlerini sanki ben yaratmışım gibi davrandıklarını hissediyorum.” dur. Bu ifade ise Maslach ve Jackson (1981) belirttiği gibi, insanları sanki birer nesne gibi görme, problemlerini önemsememe, sinirlilik ve depresyon durumları yaratma gibi belirtiler şeklinde kendini göstermektedir.

Kişisel başarı alt boyutunda ise, ortalama değeri (\bar{x} : 3,72) en düşük ifade “Bu işte kayda değer birçok başarı elde ettim.”dir. Boyutlar arası ilişki ise duygusal tükenme ve duyarsızlaşma arasında pozitif bir ilişki varken, kişisel başarı alt boyutu ile diğer boyutlar arasında negatif bir ilişki gözlemlendiğinden en düşük ortalamaya sahip değer en yüksek tükenmişliği ifade etmektedir. Maslach tükenmişlik

ölçeğinde, kişisel başarı boyutunun bireysel değerlendirmelerde stres deneyimlerinin merkezinde olduğu belirtilmektedir [15]. Bu yüzden, balıkçıların yüksek düzeyde kişisel başarısızlık hissini olmasında yüksek düzeyde de stres yaşadıklarının bir göstergesidir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Hem avlanılan ürün miktarı hem de ürün çeşitliliği bakımından Ege Denizi Türkiye’de önemli bir konuma sahiptir. Aynı zamanda Ege Denizi, kullanılan av araç gereçleri ve yöntemler bakımından çeşitlilik göstermektedir. Bu açıdan, Ege denizi kıyı boyunca sürdürülen balıkçılık mesleği; koyların ve adaların çokluğu, balık çeşitliliği ve balık türlerinin ekonomik

Tablo 8. Tükenmişlik ile ilgili Tanımlayıcı İstatistikler

Tükenmişlik Alt Boyutları	Anket Soruları	Ortalama	Standart Sapma
Duygusal Tükenme	Madde 1	2,41	1,26
	Madde 2	2,51	1,13
	Madde 3	2,20	1,22
	Madde 6	2,85	1,21
	Madde 8	2,41	1,40
	Madde 13	2,88	1,33
	Madde 14	3,51	2,64
	Madde 16	2,25	1,13
	Madde 20	3,50	1,17
Duyarsızlaşma	Madde 5	1,98	1,26
	Madde 10	2,15	1,21
	Madde 11	2,21	1,30
	Madde 15	1,95	1,14
	Madde 22	2,35	1,21
Kişisel Başarı	Madde 4	3,85	1,06
	Madde 7	3,88	1,05
	Madde 9	3,85	1,21
	Madde 12	4,30	0,86
	Madde 17	3,99	1,05
	Madde 18	3,88	1,02
	Madde 19	3,72	1,07
	Madde 21	3,93	1,05

değerlerinin yüksek olması mesleği önemli konuma getirmektedir. Türkiye’de farklı zaman dilimlerinde balıkçılık mesleği ve balık ürünleri açısından çok sayıda bilgiler olsa da, belli bir bölgede balıkçılık mesleğini sürdüren balıkçı sınıfı gemiadamlarına dair yapılan çalışmalar kısıtlıdır.

Balıkçılık mesleği, denize kıyısı olan hemen her yerde hem gıda üretimi hem de istihdam sağlanması açısından önemli bir ekonomik faaliyet olarak görülmektedir. Yoğun rekabet ortamı, teknolojinin gelişmesi ve ekonominin hız kazanması balıkçılık mesleğini olumsuz etkilemiştir. Balıkçı filolarının kapasitesinde yaşanan kontrolsüz büyüme balık kaynaklarının hızla tükenmesine neden olmakta ve akabinde sürdürülebilirliği de tehdit etmektedir. Yaşanan bu değişiklikler ile birlikte balıkçı teknelerinde kontrolsüz büyüme, balık stoklarının kayıt altına tam olarak alınmaması, balıkçılık mesleğinin zor çalışma koşulları altında sürdürülmesine yol açmaktadır. Ayrıca, balık kapasitesindeki dengesizlik bu mesleği daha da zor bir duruma sürüklemektedir.

Bu gelişmelerin beraberinde getirdiği zorluklar, balıkçılıktaki aşırı sermaye birikimi, yasadışı avcılığı körüklemesi, balıkçılıkta kullanılan av araçları, tekne boyu, motor gücü ve tonaj uyumuna dikkat edilmemesi, balıkçı gemilerinde yaşanan kazaların artması, balıkçılığın değişken/dinamik yapısından doğan ihtiyaçlar olarak sıralanabilmektedir. Balıkçılar tarafından zorlukların karşılanmaya çalışılması bu dinamizme ve bununla gelen sorunlara psikolojik açıdan uyum sağlamasını zorlaştırmıştır. Dolayısıyla artan rekabet koşulları ve gelişen teknoloji ile birlikte çalışma şartlarında zorluklar çalışanları hem zihinsel hem de bedensel olarak etkilemekte, bununla birlikte yorgunluk, bitkinlik, tükenmişlik gibi olumsuz çağrışımları da beraberinde getirmektedir.

Tükenmişlik, bireylerin ruh sağlığını etkilediği gibi erken müdahale edilemezse

ciddi sorunlara neden olan ve duygusal sorunları da içinde barındıran bir sendromdur. Bu sendrom hem psikolojik hem davranışsal ciddi belirtilerle ortaya çıkmaktadır. Tükenmişlik sendromunun meydana gelmesi ile birlikte, isteksizlik, çalışanlara karşı duyarsızlık, enerji kaybı, işi başkasına yüklemeye, aile ve arkadaşlarından uzaklaşma, iş doyumsuzluğu, yaşamdan zevk almama gibi sorunlar oluşturmaktadır. Duygusal olarak yorgunluk ve bitkinlik hali bir süre sonra fiziksel yorgunluğu körüklemektedir. Bu bireyler kendilerini hayattan zevk almayan ve soyutlanmış olarak hissetmektedirler. Tükenmişlik sendromunun yarattığı bu negatif etki, çalışanların işinden memnuniyeti ve bunun yaşamı üzerindeki negatif etkisini körüklemekte ve ruhsal sağlığının yanında bedensel sağlığı üzerinde de olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Araştırma kısıtlarından biri, veri toplama aracı olarak anket formunun kullanılmasıdır. Anket çalışması detaylı, derinlemesine cevaplar alınmasına izin vermemektedir. Ayrıca anketlerde kullanılan tükenmişlik değişkenlerinin katılımcı tarafından yanlış algılanabilecek bazı maddeler kontrollü olarak anlam bütünlüğü sağlanmış olsa da farklı algılar yaratabilmiştir. Bu nedenle yüz yüze görüşme tekniği uygulanırken, gerekli tanımlamalar açık ve net şekilde yapılmıştır. Bir diğer araştırma kısıtı ise; gezi, eğlence, spor ve amatör balıkçılık gibi faaliyetlerde kullanılan 2,5-24 metre arasında boyu olan özel tekneleri kullanmak amacıyla “Amatör Denizci Belgesi”ne sahip balıkçılar da örnekleme dâhil edilmiştir. Gemiadamları Yönetmeliği uyarınca (Resmi Gazete Tarihi: 31.07.2002 Resmi Gazete Sayısı: 24832) “amatör denizci belgesi” Gemiadamı Yeterlikleri Sınıflandırmasında bulunmamaktadır. İleriki çalışmalarda sadece amatör denizcilere veya balıkçı sınıfı gemiadamı yeterliliğine sahip örneklem dahil edilerek çalışmalar yapılabilir. En önemli kısıtlardan biri ise, örneklem

dâhilinde kadın balıkçılara ulaşmakta zorluklar yaşanmış olup, kadın balıkçıların evrenin temsil etme yüzdesi nerdeyse hiç olmadığından istatistiksel verilerde cinsiyet karşılaştırılması yapılamamıştır.

Araştırma bulgularına göre, balıkçı sınıfı gemi adamlarının orta düzeyde duygusal tükenme ve duyarsızlaşma yaşadıkları fakat yüksek düzeyde kişisel başarısızlık hissettikleri gözlemlenmiştir. Bu bakımdan, balıkçı sınıfı gemiadamları için tükenmişlik ciddi bir sorun olarak tespit edilmiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, balıkçılar duygusal açıdan yorgun, gergin ve fiziksel anlamda bitkin hissettikleri söylenebilir. Duygusal anlamda kendini tüketmiş bir kişi, aile yaşantısında gergin, sürekli çatışma halinde ve sinirli hissedecektir. Bununla birlikte çalışma hayatında şikâyetler artacak, artan kavga ve rahatsızlıklar aile içi krizlere ve ciddi sorunlara neden olacaktır. Balıkçılık sektörü içerisinde faaliyet gösteren tüm denizcilik işletmelerinin, eğitim kurumlarının, idarelerin, yakın ve uzak dış çevresindeki paydaşların konu üzerinde düşünmeleri, önleyici yöntemler geliştirmeleri ve uygulamaları, mesleğin sürdürülebilir olması açısından büyük önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, İzmir ilinde gerçekleştirilen bu çalışmada balıkçı sınıfı gemiadamlarının tükenmişlik düzeyleri tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, balıkçılık sektöründe en önemli paydaş olan balıkçı sınıfı gemiadamları üzerine daha çok çalışmalar yapılmalı ve sorunlarına inilmeli ve zorlu çalışma koşullarını iyileştirilmelidir. İleriki çalışmalarda ise anket formu Türkiye’de faaliyet gösteren balıkçı barınaklarında da uygulanarak örneklem grubu genişletilebilir ve bölgeler arasında sağlıklı karşılaştırmalara yer verilebilir.

Kaynaklar

[1] Budak, G. ve Sürgevil, O. (2005). Tükenmişlik ve tükenmişliği etkileyen

örgütsel faktörlerin analizine ilişkin akademik personel üzerinde bir uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2005:20(2):95-108.

- [2] Sürgevil, O. (2014). Çalışma hayatında tükenmişlik sendromu. Ankara: Nobel Kitabevi.
- [3] Bhondve, A., Kasbe, A., Mahajan, H. ve Sharma, B. (2013). Assessment of job satisfaction among fishermen in Southern East Costal Area of Mumbai, International Academy of Science Engineering and Techonology, 2013:2(2):65-74.
- [4] Monnereau, I. ve Pollnac, R. B. (2012). Which fishers are satisfied in the Caribbean? A comparative analysis of job satisfaction among Caribbean lobster fishers, Social Indicator Research, 2012:109(1):95-118.
- [5] Ververi, N. O. (2012). Sorumlu amatör balıkçılık, Vira Dergisi, 2012:72:56-59.
- [6] Danisman, K. I. (2013). Ege bölgesi balıkçı filosunun sınıflandırılması ve balıkçılık kapasitesinin barınak bazlı alansal dağılımı, Journal of ETA Maritime Science, 2013:1:1-6.
- [7] Maslach, C. ve Jackson, S. E. (1981). The measurement of experienced burnout, Journal of Occupational Behavior, 1981:2:99-113.
- [8] Maslach, C., Jackson S.E ve Leiter, M.P (1997). Evaluating Stress: A Book of Resources. The Maslach Burnout Inventory Manual Third Edition. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press. Now published with MindGarden, (2010).191-218. ABD: Palo Alto.
- [9] Schaufeli, W., Leiter, M. P. ve Maslach, C. (2008). Burnout: 35 years of research and practice, Journal of Career Development International, 2008:14(3):204-220.
- [10] Torun, A. (1997). Stres ve tükenmişlik. Endüstri ve Örgüt Psikolojisi Türk

- Psikologlar Derneği ve Kalder Derneği Dergisi, 1997:2:43.
- [11] Kırılancı, Ç. ve Olcay, M. (1995). Tükenmişlik. İzmir: Saray Medikal Yayıncılık.
- [12] Ardiç, K. ve Polatçı, S. (2008). Tükenmişlik sendromu akademisyenler üzerinde bir uygulama (GOÜ örneği), Gazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 2008:10(2):69- 96.
- [13] Sağlam Arı, G. ve Çına Bal, E. (2008). Tükenmişlik kavramı: Birey ve örgütler açısından önemi. Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 2008:15(1):131-148.
- [14] Pearlman, B. ve Hartman, E.A. (1982). Burnout: Summary and future research. Human Relations, 1982:35:283-305.
- [15] Vash, C. L. (1980). The burnout administrator. New York: Springer.
- [16] Cherniss, C., Eganios, E. S., Wacker, S. ve O'dowd, B. (1979). The professional mystique and burnout in public sector professionals. University of Michigan.
- [17] Metz, P. (1979). An exploratory study of professional burnout and renewal among educators, Doktora Tezi, University of Colorado, Boulder.
- [18] Mattingly, M. A. (1977). Sources of stress and burnout in professional care work. Chilcare Quartely, 1977:6:127-137.
- [19] Maslach, C. (1976). Burned- out. Human Behaviour, 1976:5:16-22.
- [20] Warnath, C. F. ve Shelton, J. L. (1976). The ultimate disappointment: the burned out counselor. Personal and Guidance Journal, 172-175.
- [21] Ginsberg, S. G. (1975). The Problem of the burned out executive. Personal Journal, 598-600.
- [22] Freudenberger, H. J. (1974). Staff-Burnout. Journal of Social Issues, 1974:30:159-165.
- [23] Dormann C. ve Zapf, D. (2004). Customer-related social stressors and burnout. Journal of Occupational Health of Psychology, 2004:9(1):61-82.
- [24] Leiter, M. P. ve Maslach, C. (2001). Burnout and quality in a speed-up world. The Journal For Quality&Participation, 2001:24(2):48-51.
- [25] Cordes , C. L. ve Dougherty, T. W. (1993). A Review and an integration of research on job burnout. Journal of Academic of Management Review, 1993:18(4):621-656.
- [26] Genly, B. (2015). Safety and job burnout. A Technical Publication of Asses's Health & Wellness Branch The Wellness & Safety Report.
- [27] Bria, M., Spanu, F., Baban, A. ve Dumitraşcu, D. L. (2014). Maslach burnout inventory – general survey: factorial validity and invariance among romanian healthcare professionals. Journal of Elsevier, 2014:1:103-11.
- [28] Ceyhun, G. C. ve Özbağ, G. K. (2014). Does burnout working conditions affect marine pilots' job satisfaction and turnover intentions? a study of Turkish marine pilots. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 2014:4(3):301-312.
- [29] Oldenburg, M., Jensen, H. J. ve Wegner, R. (2013). Burnout syndrome in seafarers in the merchant marine service. International Occupational Environment Health, 2013:86(4):407-416.
- [30] Tanner, S. T. (2011). Process of burnout: structure, antecedents, and consequences. Finland: Finnish Institute of Occupational Health.
- [31] Anvari, M. K. A., Kalali, N. S. ve Gholipour, A. (2011). How does personality affect on job burnout?. International Journal of Trade, Economics and Finance, 2011:2(2):115-119.
- [32] Piko, B. F. (2006). Burnout, role

- conflict, job satisfaction and psychosocial health among Hungarian health care staff: A questionnaire survey. *International Journal of Nursing Studies*, 2006:43(3):311-318.
- [33] Borritz, M., Rugulies, R., Bjorner, J., Villadsen, E., Mikkelsen, O. ve Kristensen, T. (2006). Burnout among employees in human service work: design and baseline findings of the PUMA study Scandinavian. *Journal Of Public Health*, 2006:34(1): 49-58.
- [34] Brenninkmeyer, V., Yperen, N.W.V. ve Buunk, B.P. (2001). Burnout and depression are not identical twins: Is decline of superiority a distinguishing feature?. *Personality and Individual Differences*, 2001:30(5):873-880.
- [35] Drake, B. ve Yadama, G.N. (1996). A Structural equation model of burnout and job exit among child protective services workers. *Soial Work Research*, 1996:20(3):179-187.
- [36] Zorba, Y. (2016). Tükenmişlik sendromu: Gemi kaptanları ve güverte zabıtları üzerine tanımlayıcı bir çalışma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 2016:8(1):97-127.
- [37] Bilge, H. ve Aydılek, B. (2015). Polislerin demografik değişkenler açısından tükenmişlik düzeylerini belirlemeye yönelik bir araştırma. *CBÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 2015:13(2):167-186.
- [38] Örki, N. (2015). Tükenmişlik sendromu, birey ve örgütsel yapılar, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [39] Aydın, T. (2015). Gemiadamlarının maslach tükenmişlik modeli ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [40] Tekin, Ö. A., Aydın, A., Özmen, M. ve Yaykaşlı, M. (2014). Tükenmişlik sendromu ve örgütsel bağlılık: Su ürünleri işletmeleri üzerinde bir araştırma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2014:16(1):135-158.
- [41] Aybas, M., Elmas, S. ve Dündar, G. (2013). İş güvencesizliğinin tükenmişliğe etkisinde istihdam edilebilirliğin düzenleyici rolü. 21.Ulusal Yönetim ve Organizasyon Kongresi (ss. 77-83). Düzenleyen Dumlupınar Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü. 30 Mayıs- 1 Haziran.
- [42] Kuleyin, B., Köseoğlu, B. ve Töz, A. C. (2013). Liman çalışanlarının mesleki tükenmişlik seviyelerinin incelenmesi: bir liman uygulaması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 2013:5(2):83-96.
- [43] Yıldırım, M. H. ve İçerli, L. (2010). Tükenmişlik sendromu: Maslach ve Kopenhag tükenmişlik ölçeklerinin karşılaştırmalı analizi. *Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 2010:2(1):123-131.
- [44] Kurt, Ö. (2010). Gemide çalışma koşullarının gemiadamları üzerindeki olumsuz etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [45] Altunışık, R., Coşkun, R., Bayraktaroğlu, S. ve Yıldırım, E. (2007). Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri. Sakarya: Sakarya Yayıncılık.
- [46] Özdamar, K. (2003). Modern bilimsel araştırma yöntemleri. Eskişehir: Kaan Kitabevi.



Denizaltı Direnç Hesabında Farklı Form Parametrelerinin Etkisi

Abdi KÜKNER¹, Metin Kemal GÖKÇE², Ömer Kemal KINACI²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye

kukner@itu.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0002-3746-4445

mkgokce@yildiz.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0003-0393-3415

kinaci@yildiz.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0002-2956-9562

Öz

Denizaltılar bir donanma için olmazsa olmaz unsurlar olup, savaş durumlarında savaşın kaderini tayin eden kritik sualtı araçlarıdır. Geçen yüzyılda tezahür eden iki dünya savaşının tarihi incelendiğinde, tarafların sahip oldukları deniz teknolojileri arasındaki küçük farklar savaşın kaderini tayin etmiştir. Bu denli küçük teknolojik farklar dahi savaşlarda büyük getiriler sağlayabildiğinden, gemilerin öndizayn aşamasında yapılan çalışmalar oldukça önem kazanmaktadır. Denizaltı dizaynı teknolojik ve hidrodinamik açıdan iyi bir şekilde yapıldığında, düşük direnç ve yüksek hız değerlerine ulaşılabilmekte ve bu durum da denizaltıları çok daha etkili konumlara getirebilmektedir. Denizaltı formlarının gelişimi tipik bir hal almış, paralel orta gövdenin başında ve kıçında yumuşak geçişlere sahip kıvrımlardan oluşmaktadır. Bu çalışmada takıntısız denizaltı gövdesi etrafındaki hidrodinamik özelliklerin incelenmesi adına, farklı genişlik-derinlik (B/D), genişlik-boy (B/L) ve ön gövde boyu-toplam boy (L_p/L) oranlarına sahip üç farklı takıntısız denizaltı gövde grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan bu denizaltı gövde gruplarının hidrodinamik analizlerinin yapılması için RANS tabanlı ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği kodu kullanılmıştır. Ticari kod ilk önce, literatürde deney sonuçları bulunan bir geometri üzerinde denenmiştir. Uygulanan HAD tekniğinin deney sonuçlarıyla uyumu gözlemlendikten sonra, çalışma kapsamında incelenmek istenen denizaltı grupları benzer sayısal yapı kullanılarak analiz edilmiş ve farklı formların toplam direnç üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Denizaltı, Gemi Direnci, Form Faktörü, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.

Effect of Different Form Parameters on the Estimation of Submarine Resistance

Abstract

Submarines which can change the direction of a war are unique units of a navy. Even little differences in naval technology between the sides provided great advantages to the superior side during the World War II. As small technological differences can have big advantages, the design stage of such critical watercrafts are of great significance. If the design stage of a submarine is successfully fulfilled in terms of hydrodynamic and technological aspects, low resistance at high velocities are achievable, which makes submarines more effective. Submarine hull have conventional form types; parallel middle body, fore and aft body having smooth curves. In the present study, in order to get a better understanding of hydrodynamic characteristics of these watercrafts, 3 groups of bare hull submarine models which

consist of different breadth to depth (B/D), breadth to length (B/L) and fore length to total length (L_f/L) ratios are created. For the numerical simulations of the model groups, a commercial RANSE based computational fluid dynamics code is used. The CFD methodology is first validated on a well known geometry whose experimental results may be found in the open literature. After the validation of the CFD method, the flow around all the submarine models are simulated using similar numerical techniques and the effects of different form parameters on the total resistance are presented.

Keywords: Submarine, Ship Resistance, Form Factor, Computational Fluid Dynamics.

1. Giriş

Denizaltılar, serbest su yüzeyinin altında ve üstünde seyredilme yeteneğine sahip keşif ve savaş maksatlı deniz taşıtlarıdır. Tarihi ortaçağlara dayanan ve günümüzde gelişimleri hala devam bu deniz taşıtları donanmaların olmazsa olmaz unsurları olup, özellikle II. Dünya Savaşı'nda oldukça önemli rol oynamışlardır. Derinden gitmeleri onları hem görünmez kılmakta hem de serbest su yüzeyinde dalga oluşturmama özelliği verdiği için dolayı daha düşük dirençlere maruz kalmalarını sağlamaktadır. Her geçen gün gelişen silah teknolojisi sayesinde yeni nesil torpido, füze ve konumlandırma sistemleri onları çok daha ciddi tehditler haline getirmektedir. Haberleşme ve elektronik teknolojisindeki son gelişmeler sayesinde, uzak bir konumdan veya uydudan rahatlıkla kontrol edilebilen insansız denizaltı araçlarını deniz savaşlarında önemli bir noktaya gelmiştir. Personel kaybı riski olmaması ve küçük ebatları sayesinde fark edilmelerinin zor olması bu tip araçları ülkemizde son zamanlarda gündeme taşımıştır.

Diğer bütün alanlarda olduğu gibi teknolojinin gelişmesi, hidrodinamik özelliklerin incelenmesi konusunda da avantajlar sağladığından denizaltıların hidrodinamik özellikleri üzerine yeni çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. Özellikle bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin sonucu olan daha güçlü hesaplama sistemleri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) alanında çalışan bilim insanlarına büyük imkanlar sunmuş ve daha karmaşık hidrodinamik problemlerin üzerine gidilmesine olanak tanımıştır. Viskozitenin

dahil edilmediği potansiyel tabanlı çözümler tamamen terkedilmese de günümüzde artık birçok kullanıcı Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes Denklemleri (RANSE) tabanlı sonlu hacimler metoduyla çalışan kodlara yönelmiştir. Bünyesinde türbülans modelleri de barındıran RANSE tabanlı bu kodların ve güçlü bilgisayarların yardımıyla, oldukça zorlu bir alan olan gemi hidrodinamiği alanında ve denizaltılar konusunda literatürde mevcut bir çok çalışma bulunmaktadır. Örneğin Moonesun vd. çalışmalarında denizaltının baş ve kış formunu belirleyen katsayılara sahip güç serisi denklemlerinin bu katsayılarını değiştirerek farklı denizaltı gövdeleri oluşturmuşlar ve en düşük direnci oluşturan formu bulmaya çalışmışlardır [1]. Joubert ise geniş çaplı çalışmasında, sistematik bir şekilde oluşturduğu denizaltı formlarının direnç, akış sesi ve basınç dağılımlarını birbirleriyle mukayese etmiştir [2]. Yine aynı şekilde Sarkar vd. insansız denizaltı etrafındaki akışı 4 farklı form için HAD tekniğiyle analiz etmişlerdir [3]. İnsansız denizaltıların daha önce bahsedilen özelliklerinden dolayı bu konuya ilgi giderek artmaktadır. Nouri vd. yine insansız bir denizaltı taşıtının baş ve kuyruk profillerini değiştirerek basınç dağılımlarını incelemişlerdir [4]. Benzer olarak Stevenson vd. farklı boy/çap oranlarındaki insansız denizaltı taşıt formlarını HAD tekniği ile analiz edip mukayese etmişlerdir [5]. Literatürde bu alandaki örnekler çoğaltılabilir.

Denizaltı gövdesi denizaltının en dışındaki katman olup, hidrostatik ve hidrodinamik basınçlara maruz kalan bölümüdür. Denizaltı gövde formunun

seçimi dizayn aşamasında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Formun seçiminde rol oynayan bazı önemli parametreler; düşük direnç, genel yerleşim, personel ve uygulanması beklenen operasyon için gerekli yeterli hacim, minimum akış sesi, pervane etrafında minimum kavitasyon oluşumu bunlardan bazılarıdır. Özellikle düşük direnç, denizaltıların karadan çok uzakta ve serbest su yüzeyinin oldukça derin bölgelerinde görev yapabilecekleri düşünüldüğünde sahip oldukları sınırlı enerji sebebiyle hayati önem taşımaktadır [1]. Bu sebeple denizaltılara etkiyen hidrodinamik ve hidrostatik kuvvetlerin hassasiyetle hesaplanması gerekir. Serbest su yüzeyinde dalga oluşturacak kadar yüzeye yakın mesafede seyreden denizaltılara etkiyen direnç bileşenleri, gemilere etkiyen direnç bileşenleriyle benzerlik göstermektedir. Gemi direncini bileşenlerine ayırmada Hughes yöntemi takip edilerek denizaltılara etkiyen direnç bileşenleri viskoz (sürtünme) ve basınç dirençleri olmak üzere iki ayrı gruba ayrılabilir. Viskoz direnç, suyun viskozitesinden kaynaklanan direnç bileşenidir ve denizaltı gövdesine teğet yönde etkimektedirler [6]. Basınç kuvvetlerini de iki ayrı grupta ifade etmek daha doğru olacaktır. Bunlardan birincisi viskoz basınç direnci, gövde yüzeyine dik şekilde etkiyen basınç kuvvetleri olup tamamen denizaltı gövdesinin formuyla alakalıdır. Diğer basınç direnci bileşeni ise dalga direnci olup, denizaltının serbest su yüzeyinde dalga oluşturacak kadar yakın olduğu durumlarda oluşur. Yeterli derinlikte dalga direnci kuvvetleri oluşmayacak, denizaltı gövdesine yalnızca sürtünme ve viskoz basınç direnci etkiyecektir. Denizaltılar bu özellikleriyle gemilerden daha ekonomik sayılabilirler.

Bu çalışmada takıntısız denizaltı gövdesi etrafındaki hidrodinamik özelliklerin incelenmesi adına, farklı genişlik-derinlik (B/D), genişlik-boy (B/L) ve ön gövde

boyu-toplam boy (L_f/L) oranlarına sahip üç farklı takıntısız denizaltı gövde grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan takıntısız denizaltı gövdelerinin hidrodinamik analizin önce, literatürde deney sonuçları bulunan yine takıntısız bir elipsoidin HAD tekniğiyle hidrodinamik analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Oluşturulan 3 grup denizaltı gövde modelleri geometrik olarak doğrulama çalışmasında kullanılan elipsoide çok benzer olduğundan, bu denizaltı gövde modellerine de aynı yaklaşımla HAD analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Bütün analizler, denizaltıların dalga oluşturmayacak derinlikte olduğu kabulüyle tek fazlı (hava ve serbest su yüzeyi modellenmemiştir) olarak yapılmış ve dolayısıyla dalga direnci olmadığı varsayılmıştır. Analiz sonuçlarında elde edilen direnç değerleri, yukarıda bahsedilen bileşenlerine ayrılmış ve gruplar arasındaki geometrik farkların form faktörü üzerindeki etkileri incelenmiştir.

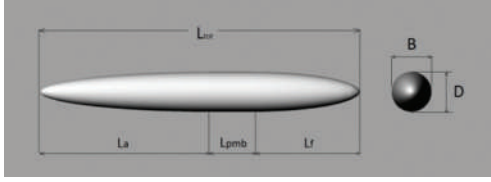
2. Nümerik Hesaplama

2.1. Denizaltı Gövde Modellerinin Oluşturulması

Denizaltı gövdeleri genel olarak 3 kısımda düşünülebilir; baş, paralel orta gövde ve kış. Hidrodinamik dizayn açısından baş formu oldukça önemlidir, öyle ki laminer akış bölgesindeki akışı kontrol eden radar buraya yerleştirilir. Bu bağlamda bu bölgeyi dolgun dizayn etmek faydalı olacaktır. Paralel gövdenin uzunluğu L/D oranını etkileyeceğinden direnci minimum yapan optimum paralel gövde boyu tercih edilmelidir. Kış bölgesinin dizaynındaki ana hedef ise akım ayrılmalarına neden olmayacak ve böylelikle pervaneye düzgün bir akış gönderecek bir form yaratmaktır [8].

Farklı geometrilerin direnç ve form faktörü üzerinde ne gibi etkiler meydana getirdiğini göstermek amacıyla 3 farklı grup

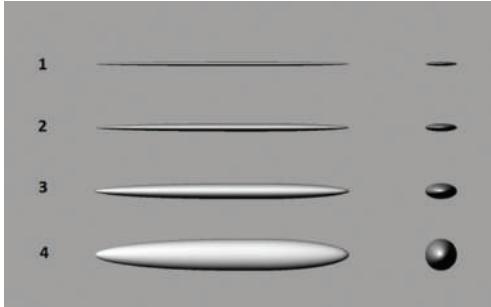
denizaltı gövdesi serisi oluşturulmuştur. Şekil 1’de denizaltı gövde modelinin profil görüntüsü olup, denizaltı gövdesinin ana boyutlarını göstermektedir.



Şekil 1. Denizaltı Gövdesi Modelinin Ana Boyutları

Burada L_a kış gövdesinin boyunu, L_f baş bölgesinin boyunu ve L_{pmb} ise paralel gövde boyunu simgelemektedir. B ve D ise sırasıyla denizaltı gövde modelinin genişliği ve derinliğidir. Birinci ve ikinci grup denizaltı gövde modelleri oluşturulurken $L_a = 4,3D$ ve $L_f = 2,7D$ bağıntılarına sadık kalmıştır.

Birinci grup, genişlikleri sabit kalmak koşuluyla, derinlik değerleri değiştirilerek B/D oranları 1, 2, 4 ve 8 olan dört farklı denizaltı gövdesi modelinden oluşmaktadır ve Şekil 2’de toplu halde gösterilmiştir. Bu denizaltı gövde modeli grubunun oluşturulmasındaki amaç derinliğin direnç ve form faktörü üzerindeki etkilerini göstermektir.



Şekil 2. Birinci Grup Denizaltı Gövde Modelleri

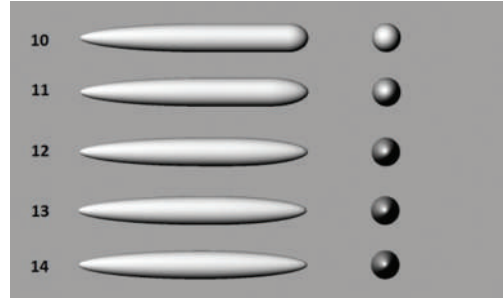
İkinci grup denizaltı modelleri de aynı şekilde genişlik değerleri sabit tutulup (B/D=1), denizaltı boylarının (L) değiştirilerek L/B oranları 8, 9,6, 11,2, 12,8 ve 14,4 olan beş farklı denizaltı gövdesi modelinden oluşmaktadır ve Şekil 3’te toplu halde gösterilmiştir. Bu denizaltı gövde modeli

grubunun oluşturulmasındaki amaç toplam boyun, direnç ve form faktörü üzerindeki etkilerini göstermektir.



Şekil 3. İkinci Grup Denizaltı Gövde Modelleri

Üçüncü grup denizaltı modellerindeki baş ve kış boyları, ilk iki grupta uygulanan prensibin dışında belirlenmiştir. Bu grupta toplam boy L sabit tutulup, ön gövde boyu ve dolayısıyla da paralel gövde boyu ve kış boylarının da buna bağlı olarak değiştirilmesiyle oluşturulmuş ve şekilde toplu halde gösterilmiştir. Oluşturulan denizaltıların L_f / L oranları sırasıyla 0,084, 0,168, 0,337, 0,4 ve 0,462 şeklindedir. Bu grup denizaltı modeli gövdelerinin oluşturulmasındaki amaç, denizaltı baş boylarının direnç ve form faktörü üzerindeki etkilerini göstermektir.



Şekil 4. Üçüncü Grup Denizaltı Gövde Modelleri

Üçüncü grup denizaltı gövde modellerinin görünümü Şekil 4’te verilmiştir. Sayısal analizleri yapılan ve bu bölümde bahsedilen denizaltı modellerinin kısa bir özeti Tablo 1’de verilmiştir. Bu çalışmanın amacı denizaltı gövde modellerinin ana boyutlarının direnç ve form faktörü üzerine etkilerini incelemek olduğundan, bütün gruplar takıntısız

Tablo 1. Denizaltıların Form Özelliklerinin Bir Özeti

	Denizaltı No.	Toplam boy	Kıç boyu	Baş boyu	Derinlik	Genişlik	Islak alan (m ²)
GRUP 1	1	L_{tot}	4,3*D	2,7*D	0,125*D	B	0.322
	2	L_{tot}	4,3*D	2,7*D	0,25*D	B	0.247
	3	L_{tot}	4,3*D	2,7*D	0,5*D	B	0.218
	4	L_{tot}	4,3*D	2,7*D	D	B	0.208
GRUP 2	5	$1,8*L_{tot}$	4,3*D	2,7*D	D	B	0.576
	6	$1,6*L_{tot}$	4,3*D	2,7*D	D	B	0.512
	7	$1,4*L_{tot}$	4,3*D	2,7*D	D	B	0.448
	8	$1,2*L_{tot}$	4,3*D	2,7*D	D	B	0.385
	9	L_{tot}	4,3*D	2,7*D	D	B	0.322
GRUP 3	10	L_{tot}	4,3*D	0,67*D	D	B	0.346
	11	L_{tot}	4,3*D	1,34*D	D	B	0.337
	12	L_{tot}	4,3*D	2,7*D	D	B	0.322
	13	L_{tot}	4,3*D	3,2*D	D	B	0.316
	14	L_{tot}	4,3*D	3,7*D	D	B	0.311

şekilde oluşturulmuştur. Bütün sayısal analizler sakin su koşulunda yapılmıştır.

2.2. HAD için Akış Çevresinin ve Ağ Elemanlarının Oluşturulması

Doğrulama çalışması ve oluşturulan denizaltı gövde modellerinin hidrodinamik analizlerinde sonlu hacimler metodu prensibiyle çalışan Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes Denklemleri (RANSE) tabanlı ticari bir HAD programı kullanılmıştır. Denizaltı modellerinin türbülanslı akışa maruz kalacağı bilindiğinden gerçekleştirilebilir (realizable) k-epsilon türbülans modeli seçilmiştir. Bu türbülans modelinin seçilmesinin nedeni, gemi mühendisliği problemlerinde analiz edilen cisimlerin nispeten narin yapıya sahip olması ve bu türbülans modelinin de bu tür cisimlerin etrafındaki türbülanslı akışı iyi bir şekilde temsil etmesidir [7].

Elipsoit geometrik olarak düşünüldüğünde boyuna ve enine simetrik bir yapıya sahiptir.

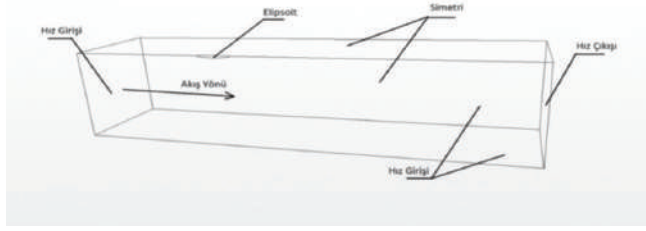
Bu durumda elipsoidin boyuna kesitli halde yarısının, veya hem enine hem boyuna

kesitli halde çeyreğinin hesaplamaya alınmasında bir sakınca yoktur. Bu yöntemin amacı yüksek ağ sayılarından kaçınmak ve böylelikle HAD analizlerinin daha hızlı sonuçlanmasını sağlamaktır. Şekil 5'te görüldüğü gibi gövdenin çeyrek kısmı hesaplamaya alınmış ve akış çevresi yüzeyleri şekildeki gibi tanımlanmıştır.

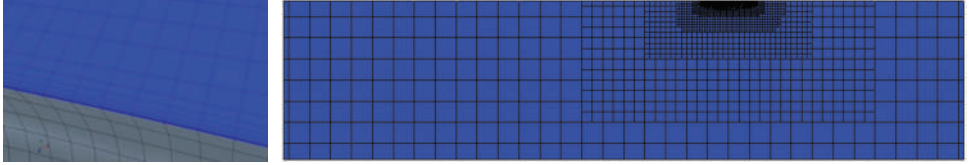
Simülasyonların gövde yüzeyi etrafındaki akışları en iyi şekilde temsil edebilmesi için sınır tabaka kalınlığı hesabı yapılmış ve gövde yüzeyi etrafındaki ağ elemanları bu kalınlık değeri dikkate alınarak yapılmıştır. Şekil 6'da gövde yüzeyi etrafındaki ağ elemanları detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Denizaltı sayısal analizlerinde ilgili akış problemi, tek fazlı (sıvı) ve sıkıştırılmaz akışkan kabulü yapılarak çözülmüştür. Analizler zamandan bağımsız (steady) akış yaklaşımıyla gerçekleştirilmiştir. Akış çevresi 3 boyutlu olarak modellenmiştir ve denizaltı yüzeyleri üzerinde duvar kanunları geçerli olacak şekilde bu yüzeylerdeki hız değerleri 0'dır (no-slip condition).

Şekil 6'dan da görülebileceği gibi bütün



Şekil 5. Akış Çevresinin Genel Görünümü ve Yüzeylerinin Tanımlanması



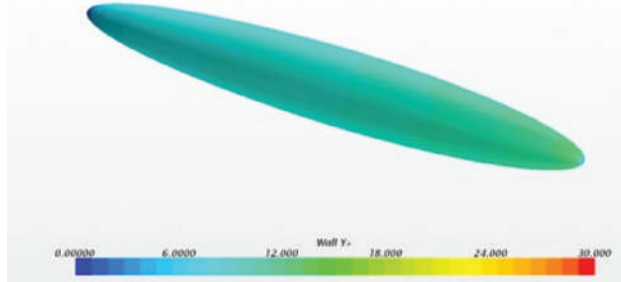
Şekil 6. Gövde Yüzeyi Etrafındaki Ağ Elemanlarının Yakın Plan Görünümü (solda), Akış Çevresi İçerisine Oluşturulan Ağ Elemanlarının Genel Görünümü (sağda)

akış çevresi dörtgen ağ elemanlarına bölünmüş ve eleman boyutları incelenmek istenen denizaltı gövde modeline yaklaştıkça küçültülmüştür. Doğrulama çalışması ve denizaltı gövde model grupları analizlerinde ideal sayıda ağ elemanı oluşturulmuş ve ağ sayısının yeterliliği y^+ hesabı yapılarak teyit edilmiştir. k-epsilon türbülans modelinin iyi sonuç verdiği bilinen y^+ tavan değeri 300'dür [7]. Bir denizaltı gövde modeli analizi sonucunda elde edilen duvar y^+ dağılımı Şekil 7'deki gibi hesaplanmıştır. Şekil 7'de verilen y^+ sonuçlarının, k-epsilon türbülans modelinin iyi sonuç vereceği aralıkta olduğu görülmüştür.

3. Doğrulama ve Ağ Yakınsama Çalışmaları

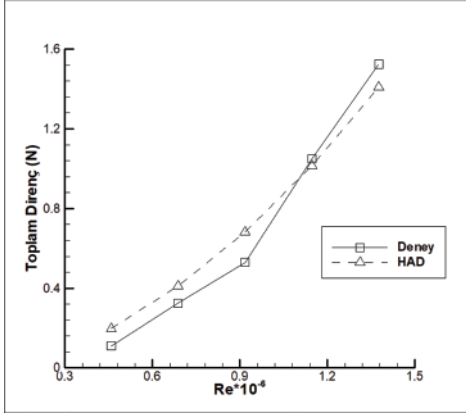
3.1. Doğrulama Çalışması

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde incelenmek istenen cisim etrafındaki akışın simülasyonuna başlamadan önce bir doğrulama çalışması yapmak önemlidir. Literatürde deneysel sonuçları bulunan bir fiziksel olayın, uygulanması düşünülen HAD tekniğiyle gerçekleştiren simülasyonunun sonuçları deney sonuçlarıyla ne kadar uyumlu olursa, uygulanan HAD tekniği o kadar başarılı kabul edilir. Bu bağlamda literatürde deneysel sonuçları bulunan bir elipsoit etrafındaki akışın, yukarıda anlatılan



Şekil 7. Bir Denizaltı Gövde Modeli Yüzeyinde Hesaplanan y^+ Dağılımı

HAD tekniği ile simülasyonu yapılmış, deney sonuçlarıyla Şekil 8'de ve referans makalede uygulanan HAD sonuçlarıyla şekilde görüldüğü gibi mukayese edilmiştir [9].



Şekil 8. HAD Sonuçlarının Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması

Şekil 8'den de görülebileceği gibi, uygulanan HAD tekniğiyle elde edilen toplam direnç değerlerinin, deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu söylenebilir. Deneysel sonuçlardaki toplam direnç artışının eğiminin HAD sonuçlarına nazaran bir nebze daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun muhtemel sebepleri kullanılan türbülans modeli veya akış bölgesindeki ağ yapısıdır. HAD tabanlı sayısal sonuçlarda kullanılan algoritmalar sonuçları belirli bir ölçüde değiştirebilmektedir ancak Şekil 8'de verilen iki sonuç arasındaki farkın çok önemli bir fark olmadığı değerlendirilmiştir. Deney sonuçları ve HAD sonuçları arasındaki küçük farklar, HAD tekniğindeki birçok unsurdan oluşabileceği gibi deney ölçüm hatalarından da meydana gelebilmektedir. Buradan çıkarılacak sonuç, oluşturulan üç grup denizaltı gövde modeli de aynı HAD tekniğiyle analiz edildiğinde sonuçların güvenilir olacağıdır.

3.2. Ağ Yakınsama Çalışması

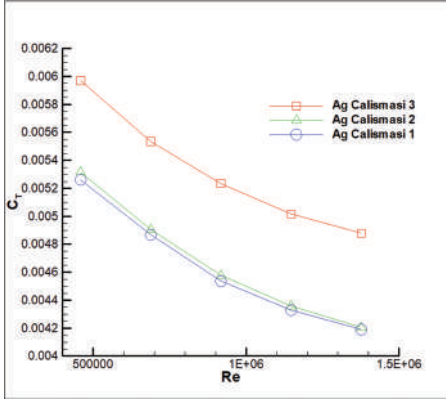
Yapılan doğrulama çalışmasının ardından, HAD analizleri kapsamında oluşturulan ağ sisteminin yakınsama çalışmasını yapmak, HAD analizlerinden elde edilen sonuçların güvenilirliğini arttıran bir diğer unsurdur. Ağ elemanı sayısı arttıkça, HAD analizlerindeki çözümün daha hassas olacağı bilinmektedir. Eleman sayısının gereğinden fazla olması, bilgisayarlar açısından fazladan çözüm yükü anlamına geldiğinden oluşturulacak yeterli sayıda ağ elemanı sayısının belirlenmesi için ağ yakınsama çalışması yapılır. Bu çalışma; eleman boyutlarının orantılı bir şekilde değiştirilmesiyle akış çevresini farklı sayıda eleman sayısına bölerek, farklı ağ eleman sayılarıyla elde edilen sonuçların birbirleriyle kıyaslanması prensibine dayanmaktadır. Bu çalışmada doğrulama çalışmasında kullanılan elipsoit etrafında, eleman boyutları $\sqrt{2}$ oranında değişen ve eleman sayıları Tablo 2'deki gibi verilen 3 adet ağ yapısı oluşturulmuştur.

Tablo 2. Ağ Yapıları

Ağ Yapısı No.	Eleman Sayısı	Toplam Direnç Katsayısı
1	N=20,000	4.191x10 ⁻³
2	1.5*N	4.205x10 ⁻³
3	2.5*N	4.879x10 ⁻³

Oluşturulan ağ yapılarıyla $Re=1.37 \times 10^6$ için elde edilen analiz sonuçları, Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9'da yer alan 2 no'lu ağ çalışması, Şekil 8'de görülen mevcut HAD çalışmasında kullanılan ağ yapısı olup, deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu belirtilmişti. Şekil 9 dikkate alındığında, 3 no'lu ağ çalışması deney sonuçlarıyla yakın olan diğer iki ağ çalışması sonuçlarından uzakta sonuçlar vermektedir. 1 no'lu ağ çalışmasının sonuçlarıysa 2 no'lu ağ çalışması sonuçlarıyla benzerdir. Buradan, ağ elemanı sayısının daha fazla artırılmasının sonuçları çok fazla etkilemeyeceği çıkarılabilir. Ağ yakınsaması sonuçları göstermiştir ki, analizlerde 2

no'lu ağ yapısını tercih etmenin herhangi bir sakıncası bulunmamaktadır.



Şekil 9. Ağ Çalışması Sonuçlarının Karşılaştırılması

4. HAD Analizleri

Bu bölümde farklı denizaltı formlarının direnç ve form faktörü üzerindeki etkilerini göstermek için yapılan HAD analizlerinin sonuçları verilmiş ve değerlendirilmiştir.

4.1. Boyutsuzlaştırmanın Önemi

Doğrulama çalışması esnasında karşılaştırma yapılırken toplam dirençler mukayese edilmiştir. Ancak, bütün hesapların boyutlu halde toplam direnç üzerinden yapılması sonuçların genelleştirilmesini engelleyecektir. Bunun yerine toplam direnç boyutsuzlaştırılarak:

$$C_T = \frac{2R_T}{\rho S V^2} \quad (1)$$

formunda verilirse, çözülen denizaltı boyutlarına bakmaksızın karşılaştırmalar yapılabilir. Burada R_T hesaplanan toplam direnç değeri, ρ suyun yoğunluğu ($\rho=997.561 \text{ kg/m}^3$), S ıslak yüzey alanı ve V ise ileri hızı simgelemektedir. Toplam direnç boyutsuzlaştırılarak denklem no. (1)'deki formunda incelenmediği sürece yapılacak kıyaslamalar anlamsız olacaktır. Örneğin grup 1'deki denizaltılardan en dolgun olanının veya grup 2'deki denizaltılardan en uzun olanının en yüksek toplam direnci

vereceği aşıkardır. Çünkü bu iki gruptaki söz konusu denizaltılar, kendi grupları içerisindeki denizaltılar arasında en yüksek ıslak alana sahip denizaltılardır. Bu sebeple boyutsuz toplam direnç katsayılarının karşılaştırılması formlar hakkında daha doğru bilgi verecektir.

4.2. Oluşturulan Denizaltı Gövde Model Gruplarının HAD Analizleri

Doğrulama çalışmasında alınan uyumlu sonuçlar üzerine, benzer HAD analiz mantığı ve parametreleri kullanılarak, oluşturulan denizaltı gövde modellerinin analizlerine geçilmiştir. Bütün analizlerde uygulanan HAD tekniği doğrulama çalışmasındaki gibi olup, analizler sonuçların yeterli derecede yakınsayacak kadar sürdürülmüştür. Bütün analizler zamandan bağımsız, tek fazlı ve denizaltı gövde modelleri sabit konumda olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Analizler 5 farklı hız değeri için yapılmıştır; 0,5, 0,75, 1, 1,25, 1,5 m/s. Söz konusu hızlar ve Tablo 1'deki denizaltı boyutları dikkate alındığında Reynolds sayısı $4 \cdot 10^4 < Re < 2,5 \cdot 10^6$ aralığında değişmektedir. Toplam direnç, form değişikliklerinin direnç üzerindeki etkisinin görülebilmesi adına sürtünme ve basınç direnci olarak ayrılmış ve kıyaslamalar bu doğrultuda yapılmıştır.

Farklı durumlardaki fiziksel büyüklüklerin birbirleriyle sağlıklı olarak kıyaslanabilmesi için, bu değerlerin boyutsuzlaştırılması gerektiğinden bir önceki bölümde bahsedilmişti. Grafik eksenlerinde verilen toplam direnç denklem no.(1)'deki gibi boyutsuzlaştırılmıştır. HAD analizlerinde sürtünme ve basınç dirençlerinin ayrı elde edilebilmesi sayesinde form faktörü k direkt olarak hesaplanabilmektedir. Form faktörü;

$$k = \frac{R_{PV}}{R_F} \quad (2)$$

olarak verilmektedir. Burada R_F sürtünme direncini, R_{PV} ise viskoz basınç direncini simgelemektedir. Denklem 2'den

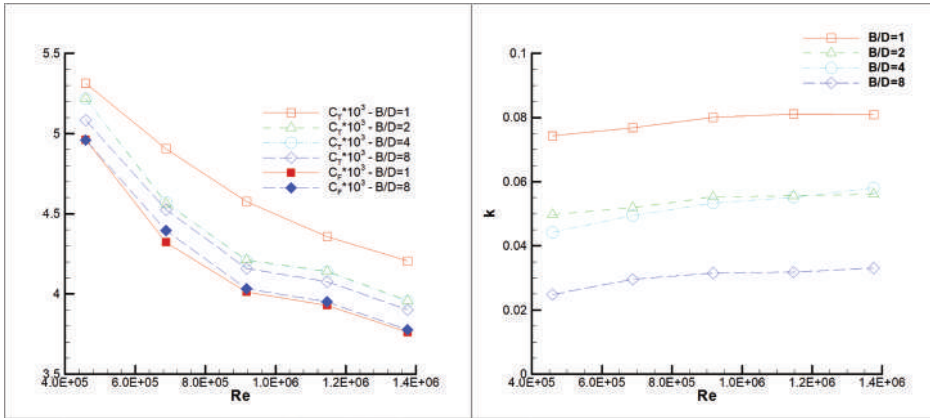
anlaşılabileceği gibi form faktöründe boyutsuz bir sayıdır. Grafiklerdeki hız değeri ise yine bir boyutsuz sayı olan Reynolds sayısı (Re) şeklinde verilmiştir. Reynolds sayısı ise;

$$Re = \frac{\rho V L_{tot}}{\mu} \quad (3)$$

olarak verilmektedir. Burada μ dinamik viskoziteyi temsil etmektedir ($\mu = 8.8871 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$).

4.2.1. Birinci Grup Denizaltı Gövde Modeli HAD Sonuçları

Birinci grupta oluşturulan aynı boya sahip B/D oranları 1, 2, 4 ve 8 olan dört farklı denizaltı gövdesi modeli, bahsedilen 5 farklı hız için analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Birinci Grup Toplam Direnç (sol) ve Form Katsayıları (sağ) Grafikleri

Şekil 10'da soldaki grafikte görüldüğü üzere B/D oranının artması incelenen hız aralığında toplam direnç katsayısını artıran bir faktör olarak öne çıkmaktadır. B/D=2, 4 ve 8 birbirine yakın sonuçlar vermekteyken B/D=1 oranına sahip denizaltının toplam direnç katsayısı diğerlerine nazaran çok daha yüksektir. Buna sebep olarak, söz konusu formun (denizaltı no.4) en dolgun form olması gösterilebilir. Bu da zaten Şekil 10'da sağda verilen form faktörü grafiğinde görülmektedir. Yine Şekil 10'da soldaki resimde B/D=1 ve B/D=8 denizaltıları için

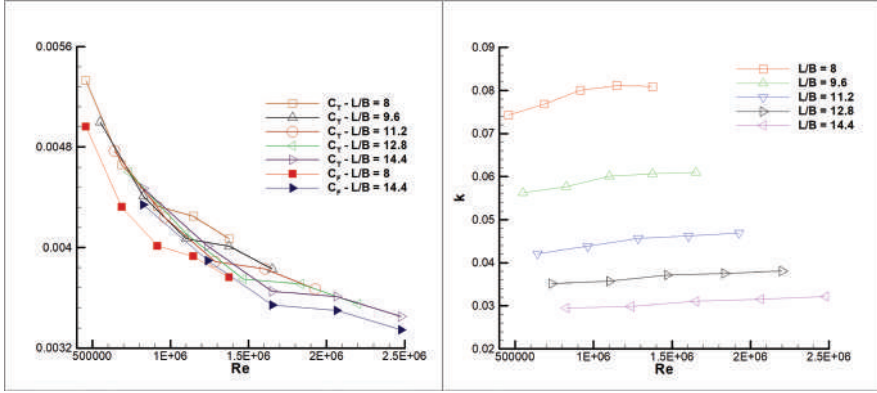
sürtünme katsayısı grafikleri de verilmiştir. Bu iki denizaltının sürtünme katsayıları neredeyse aynıyken, toplam direncin B/D=1 denizaltısında gözle görülür bir biçimde yüksek olması, viskoz basınç direncinin fazla olduğunun başka bir kanıtıdır.

Bilindiği üzere form faktörü k, yüzen cisimlerde genel olarak cismin dolgunluğuyla ilgili bir ifadedir. İçerisinde mürettebat bulunduracak gerçek bir denizaltının bu denli yüksek B/D oranlarına sahip olamayacağı açıktır. Ayrıca B/D oranının artması denizaltının hacmini azaltacağından çok düşük B/D oranlarının tercih edilir olmadığı söylenebilir. Sonuç olarak uygulanması çok mümkün olmasa da birinci grup denizaltılarda yapılan hesaplar, B/D oranındaki artışın direnç katsayısı ve form faktörünü düşürdüğünü göstermiştir.

4.2.2. İkinci Grup Denizaltı Gövde Modeli HAD Sonuçları

İkinci grupta oluşturulan aynı genişliğe sahip ancak L/B oranları 8, 9,6, 11,2, 12,8 ve 14,4 olan denizaltı gövde modelleri için yapılan HAD analizleri neticesinde Şekil 11'deki sonuçlar alınmıştır.

Aslında genel olarak bilinen kısa ve dolgun denizaltıların uzun ve narin denizaltılara nazaran daha yüksek dirence neden olduğu bilgisi Şekil 11'de verilen grafiklerde de teyit edilmiştir. Şekil 11'de görüldüğü üzere en uzun form olan denizaltı



Şekil 11. İkinci Grup Toplam Direnç (sol) ve Form Katsayıları (sağ) Grafikleri

no. 5 en az toplam direnç katsayısına sahip form olmuştur. Bunun sebebi Şekil 10'da aranabilir. Söz konusu şekil incelendiğinde en düşük form faktörüne sahip olan formun yine denizaltı no.5 olduğu görülecektir. Ancak bu noktada Şekil 11'deki grafiklerin farklı Reynolds sayıları aralığında olduğuna dikkat çekilmelidir. Bunun sebebi denizaltı toplam boyu L_{tot} 'un denizaltı formlarında değişiyor olmasıdır. Dolayısıyla en az toplam direnç katsayısı denizaltı no.5'te iken, aynı form toplam direnç açısından mukayese edildiğinde en az değere sahip olmayabilir. Bunun sebebi bu formun diğerlerine nazaran daha fazla ıslak alana sahip olmasından ileri gelmektedir. Ancak uzun ve narin form tercih edilerek, denizaltı toplam hacmi dirençte küçük bir artış karşılığında önemli ölçüde artırılabilir. Dolayısıyla 5 no.'lu denizaltının birçok mühendis tarafından kendi grubundaki diğer denizaltılara nazaran daha çok tercih edileceği öngörülebilir.

Dikkate değer diğer bir husus ise boy artışının sürtünme direnci katsayısı C_F üzerindeki etkisidir. Bilindiği üzere ITTC'57 formülasyonu;

$$C_F = \frac{0.075}{(\log Re - 2)^2} \quad (4)$$

olarak verilir. Burada Re, (3) no.'lu denklem ile tanımlanmıştır. Toplam denizaltı

boyunun uzaması Reynolds sayısını artıracığından sürtünme direnci katsayısı C_F 'i azaltacaktır. C_F ise denizaltı toplam direnç bileşenlerinden birisidir:

$$C_T = C_F + C_{pv} \quad (5)$$

Denizaltılar genellikle derin sularda çalıştıklarından (5) no.'lu denklemde de dalga direnci etkisi bulunmamaktadır. Dolayısıyla $C_w=0$ olarak alınmıştır.

(5) no.'lu denklem doğrultusunda sürtünme direnci azalmasının toplam direnci de azaltan bir husus olduğu görülmektedir. Bu da ikinci grup toplam direnç sonuçlarına yansımıştır. Şekil 11'de verilmiş olan C_F değerleri de bu açıklamanın doğru olduğunu niteler biçimindedir.

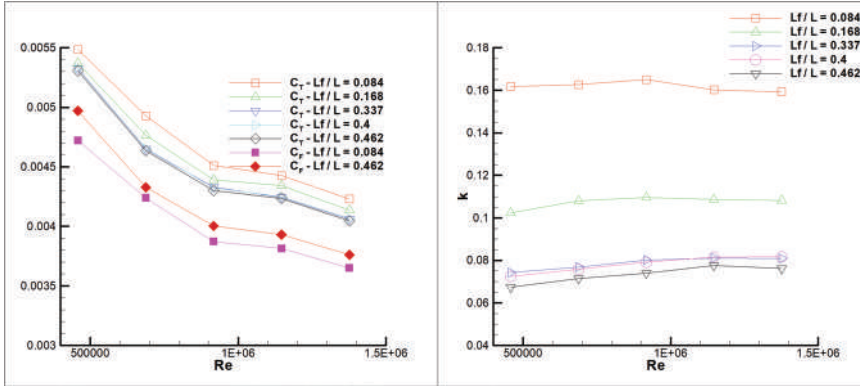
L/B oranının artması toplam direnç katsayısını ve form faktörünü düşürmektedir. Bu oranın artabilmesi için ya L değerinin artması ya da B değerinin düşmesi gerekmektedir. Bu uygulamalar pratikte çok uygulanabilir değildir. Çünkü L değerinin sabit tutulup B değerinin küçültülmesi denizaltı hacmini düşürecek ve kaldırma kuvvetinde kayıplara neden olacaktır. B değeri sabit tutulup L değerini artırmak da çok mümkün değildir. Bu safhada denizaltı çok fazla uzayacak ve buna bağlı olarak da mukavemet sorunları ortaya çıkacaktır.

4.2.3. Üçüncü Grup Denizaltı Gövde Modeli HAD Sonuçları

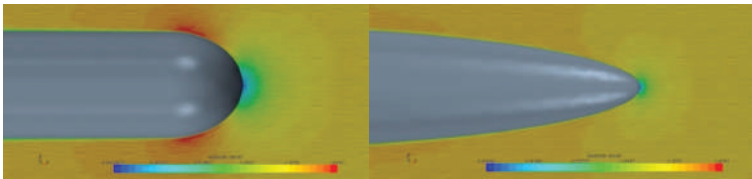
Son olarak üçüncü gruptaki aynı boydaki ancak L_f / L oranları 0,084, 0,168, 0,337, 0,4 ve 0,462 olan 5 denizaltı gövdesi modelinin HAD analizleri sonucu Şekil 12'deki gibi hesaplanmıştır. Baş boyu uzatılırken toplam boy ve kışık boyu sabit tutulmuş, paralel gövde boyu kısaltılmıştır. Uzun baş boyuna sahip denizaltıların her hızda kısa baş boyuna sahip denizaltılara nazaran daha az dirence sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca kısa baş boyuna sahip denizaltıların form katsayılarının da uzun baş formuna sahip denizaltılara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Form faktörü genel anlamıyla gemi direncinde geminin dolgunluğuyla ilintili olarak bilinmektedir. Üçüncü grup denizaltı formlarında deplasman (neredeyse) sabit tutulmasına karşın, kısa baş boyuna sahip denizaltıların daha yüksek form faktörüne sahip olduğu görülmüştür (baş boyu uzatılıp paralel gövde kısaltıldığında çok küçük bir miktar deplasman kaybolmaktadır). Bu durum en kısa baş boyuna sahip denizaltı ile en uzun

baş boyuna sahip denizaltının sürtünme katsayıları arasındaki farkın toplam direnç katsayıları arasındaki farktan az olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca kısa tutulan baş tarafta daha erken akım ayrılması beklendiğinden bunun viskoz basınç direncini olumsuz etkileyeceği tahmin edilebilir. Uzun baş formları suyu daha yumuşak yararak akım ayrılmasını geciktirebilecekken, kısa baş formuna sahip denizaltılarda bu durumun tam tersi tezahür etmekte ve dolayısıyla denizaltı gövdesiyle beraber bir miktar çürük suyu da gereksiz yere taşımaktadır. Bu da fazladan dirence sebep olacak ve gereksiz yere makine gücünden yiyecektir.

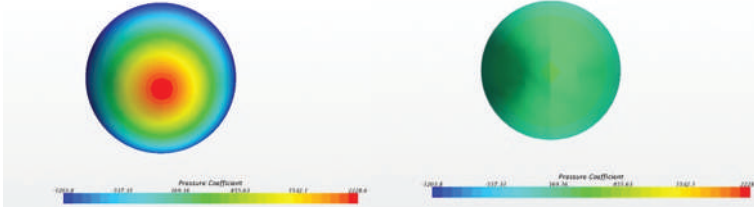
Şekil 13'te en düşük L_f / L oranına sahip model ile en yüksek L_f / L oranına sahip modelin baş taraflarındaki akım hız konturları verilmiştir. Resim incelendiğinde kısa baş formuna sahip denizaltının baş tarafındaki akım hızı daha yüksektir. Bunun yanında hız değişimi de uzun baş formu denizaltına oranla daha fazladır. Denizaltı formunun üzerindeki hızlar farkının bu denli yüksek oluşu aynı zamanda yüksek basınç gradyanı oluşturur. Birbirine yakın



Şekil 12. Üçüncü Grup Toplam Direnç (sol) ve Form Katsayıları (sağ) Grafikleri



Şekil 13. $L_f/L = 0,084$ Denizaltı Gövdesinin Baş Kısmında Hesaplanan Hız Vektörleri (sol) $L_f/L = 0,462$ Denizaltı Gövdesinin Baş Kısmında Hesaplanan Hız Vektörleri (sağ)



Şekil 14. $L_f/L = 0,084$ Denizaltısının Baş Kısmında Hesaplanan Basınç Katsayısı Dağılımı (sol)
 $L_f/L = 0,462$ Denizaltısının Baş Kısmında Hesaplanan Basınç Katsayısı Dağılımı (sağ)

noktalar arasındaki yüksek basınç farkı ise akım ayrılmasına sebebiyet vereceğinden, denizaltı hareketi esnasında bir miktar çürük suyu da beraberinde taşır.

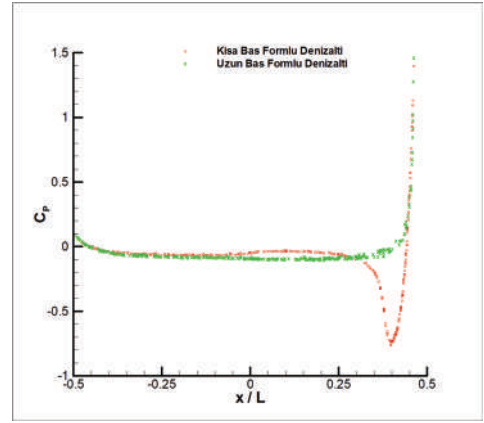
Viskoz basınç direncini etkileyen diğer bir unsur da denizaltının ön ve arka bölgelerindeki basınç farkıdır. Denizaltının baş tarafı küt olduğunda bu bölgedeki basınç Şekil 14'teki gibi daha yüksek olur. Şekil 14'te verilen iki resim için basınç aralıkları eşit tutulmuştur. Soldaki resimde form daha küt bir baş formuna sahip olduğundan belirli bölgedeki basınç daha yüksektir. Sağdaki resimde ise baş formu daha sivridir ve dolayısıyla basınç belirli bir bölgede yoğunlaşmamış, tam tersine denizaltının tüm baş formu boyunca yayılmıştır.

Şekil 15'te sırasıyla en düşük ve en yüksek L_f/L oranlarına sahip modellerin orta kesidi üzerindeki basınç katsayısı dağılımları görülmektedir. Şekildeki basınç katsayısı,

$$C_p = \frac{P}{\rho S V^2} \quad (6)$$

olarak hesaplanmıştır. Burada P toplam basıncı temsil etmekle birlikte, hidrostatik ve mutlak basınç P içerisinde yer almamaktadır. Bu şekilde de daha önceki yorumları destekler nitelikte kısa baş formulu denizaltı üzerindeki basınç gradyanının uzun baş formulu denizaltıya kıyasla daha büyük olduğu görülecektir. Şekil 13'te kısa baş formulu denizaltı üzerinde verilen yüksek akım hızlı bölge

Şekil 15'te basıncın en düşük olduğu bölgeye tekabül etmektedir. Bu bölgenin denizaltının geri kalan kısmıyla olan basınç farkı direnci artırıcı bir unsur olmuştur.



Şekil 15. Denizaltı No. 10 ve 14 Orta Kesitleri Üzerindeki Basınç Katsayısı Dağılımları

5. Sonuçlar

Bu çalışmada üç farklı denizaltı grubu ele alınarak farklı form parametrelerinin denizaltı toplam direnci ve form faktörü üzerine etkisi incelenmiştir.

Birinci grup denizaltılarda genişlik B sabit tutularak derinlik D değiştirilmiştir. Derinliğin azaltılması, toplam direnci ve form faktörünü azaltmaktadır. Bunun yanında deplasman derinliğin azalmasıyla değiştiği için bu husus da gözden kaçırılmamalıdır.

İkinci grup denizaltılarda genişlik B ve derinlik D sabit tutulmuş, toplam boy L_{tot} uzatılmıştır. L_{tot} uzatılırken baş ve kık boyları da homojen olarak uzamıştır.

Toplam boyun uzaması toplam direnç katsayısını ve buna mukabil olarak form faktörünü azaltmaktadır. Ancak bu noktada dikkat edilmesi gereken husus, toplam direncin azalmayacağıdır. Denizaltı toplam boyu uzadığında ıslak alan artacağından toplam direncin artması beklenmektedir.

Üçüncü grup denizaltılarda ise denizaltı baş boyunun etkisi incelenmiştir. Bu grup denizaltılarda toplam boy ve kış boyu sabit tutulmuştur. Denizaltı baş boyu uzatılırken, paralel gövde boyu kısaltılmıştır. Deplasman ise neredeyse sabit tutulmuştur. Baş boyunun artırılması toplam dirence ve form faktörüne olumlu olarak yansımıştır. Ancak denizaltıların genellikle baş tarafında bulunan sonar dom sebebiyle bu bölgenin daha kısa tutulması ve sonar doma gelen akım hızının mümkün olduğunca laminer olması istendiğinden, baş boyunu artırırken dikkat edilmelidir.

Üçüncü grup denizaltısında ıslak alan sabit tutulduğundan toplam dirençteki artışın yalnızca viskoz basınç direncinden kaynaklandığı söylenebilir. Sürtünme direnci genel olarak ıslak alanla ilgili olduğundan üçüncü grup denizaltılarda farklı formların sürtünme direnci üzerinde herhangi bir etkisi beklenmemektedir. Birinci ve üçüncü grup denizaltılarda ise ıslak alan değiştiğinden toplam dirençteki değişiklik hem sürtünme hem de viskoz basınç direncine atfedilebilir.

Kaynaklar

- [1] Moonesun, M., Karol, Y. M., Dalayeli, H., Tahvildarzade, D., Javadi, M. ve Jelokhaniyan, M. (2015). Power series optimization for submarine bare hull form. *Turkish Journal of Engineering, Science and Technology*, 2015:(01):11-19.
- [2] Joubert, P. N. (2006). Some Aspects of Submarine Design Part 2. Shape of a Submarine 2026. Australian Government Department of Defence, Defence Science and Technology Organisation: 013-761.
- [3] Sarkar, T., Sayer, P. G. ve Fraser, S.M. (1997). A study of autonomous underwater vehicle hull forms using computational fluid Dynamics. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 1997:25(11):1301-1313.
- [4] Nouri, N. M., Zeinali, M. ve Jahangardy, Y. (2016). AUV hull shape design based on desired pressure distribution. *Journal of Marine Science and Technology*, 2016:21(2):203-215.
- [5] Stevenson, P., Furlong, M. ve Dormer, D. (2007). AUV shapes - Combining the Practical and Hydrodynamic Considerations. *IEEE/MTS OCEANS Conf.*, 2007.
- [6] Baykal, R. ve Dikili, A. C. (2002). *Gemilerin Direnci ve Makine Gücü*. İstanbul: İTÜ Yayınları.
- [7] Kinaci, O. K. ve Gokce, M. K. (2015). A computational hydrodynamic analysis of Duisburg Test Case with free surface and propeller. *Brodogradnja*, 2015:66(4):23-38.
- [8] Renilson, M. (2015). *Submarine hydrodynamics*. Springer International Publishing.
- [9] Kinaci, O. K., Sukas, O. F. ve Bal, S. (2016). Prediction of wave resistance by a RANSE based computational fluid dynamics approach. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 2016:230(3):531-548.

This Page Intentionally Left Blank

EXODUS V5.1 and SMARTFIRE V4.3. The effects of evacuation factors were determined by making statistical analysis on simulation results. The methodology is applied at a ferryboat via the consideration of real life working conditions. The results demonstrate the effectiveness of the proposed routing systematic.

Keywords: Public Marine Transportation, Emergency Evacuation, Engine Room Sourced Fire, Simulation, Operations Management.

1. Giriş

Toplu deniz taşımacılığı, dünya ekonomisinin ve ulaşım ağının önemli bir bileşenidir. Toplu deniz taşımacılığı faaliyetleri yürüten her şirket/kurum, yolcularının ve mürettebatının güvenliğini göz önüne almalıdır. Dünyada 2011-2015 yılları arasında yaşanan 12591 deniz kazasında, 477 can kaybı ve 4335 yaralanma meydana gelmiş olup, 161 gemi batmış; 4275 gemi zarar görmüştür. Bu periyotta meydana gelen kazaların %23'ü yolcu gemisi veya feribotlarda meydana gelmiştir. Bu kazalarda ölen ve yaralanan kişi sayısının toplam ölüm ve yaralanma vakalarındaki oranı ise sırası ile %17 ve %37 olarak belirlenmiştir [1]. Ülkemiz karasularında 2005-2015 yılları arasında 54 deniz kazası meydana gelmiştir. Bu kazalardan 6'sı yolcu gemisi, 10'u feribot olmak üzere 67 gemi etkilenmiştir [2]. Bu bağlamda, yolcuların acil durumlarda gemilerden güvenli tahliyelerinin sağlanması gerekmektedir.

Bu makalenin amacı toplu deniz taşımacılığında karşılaşılabilecek makine dairesi yangınlarında yolcu tahliye sürecinin uygun bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak ve bu süreçte etkili olan faktörleri ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda, toplu deniz taşımacılığı seferlerinin yolcular ve mürettebat açısından daha güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesine katkıda bulunulacaktır.

Yöntemsel olarak çalışma metodolojik yapıdadır. Metodoloji kapsamında öncelikle, yolcuların demografik ve fiziksel özellikleri ile ilgili parametreler anket yöntemi ile temin edilecektir. Daha sonra, yolcu faktörleri, çevresel faktörler, rotalama faktörleri ve yolcu gemisi faktörleri dikkate alınarak oluşturulan yolcu gemisi

tahliye süreci senaryolarının benzetimi yapılmaktadır. Benzetim aşamasında yolcuların hareket parametreleri, anket ile elde edilen yolcu özellik dağılımları ile modele yansıtılmaktadır. Metodolojinin son aşamasında tahliye faktörlerinin tahliye süresine etkisini belirlemek amacı ile senaryoların benzetim sonuçlarının istatistiksel analizi (ANOVA) yapılmaktadır.

Metodoloji adımlarının uygulanması esnasında ise İstanbul Deniz Otobüsleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. filosunun en yüksek kapasiteli feribotu olan Osman Gazi i'nin yerleşimi ve tahliye sistemlerine (konum, kapasite, hazır hale gelme) ait veri kullanılmış olup, zaman ve mekansal olarak ise bu feribotun Yenikapı-Bursa arasında Ekim 2015-Temmuz 2016 döneminde yaptığı seferler dikkate alınmıştır.

Gemilerin tasarım ve yerleşim süreçlerinde, yaşam mahalli, makine dairesi, kargo mahali, gibi bölgelerinde olası yangın durumları için benzetim çalışmaları gerçekleştirilmektedir [3]. Özellikle, makine dairesi sistemlerindeki karmaşıklık düzeyinin artması ile birlikte, yağ-yakıt sistemleri, elektrik donanımları, ana ve yardımcı makineler gibi kritik sistemlere [4] yönelik emniyet prensiplerinin uygulanması önem arz etmektedir [5]. Yangın sistemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesinin yanısıra [6, 7], denizde acil durumlara müdahale ve gemiyi terk prosedürleri ile ilgili çalışmalar devam etmektedir [8]. Bu metodoloji kapsamında çevresel acil durum faktörü olarak makine dairesi yangınlarına odaklanılmıştır. Bunun nedeni, yolcu gemisi yangınların %70'inin burada meydana gelmesidir [9]. Gemide ana makineler, kazanlar, pompalar, seyir esnasında devamlı olarak çalışan

unsurlardır. Bu bileşenlerin iç aksamalarında, devrelerinde, egzoz çıkışlarında çoğunlukla yüksek seviyede ısı bulunabilmektedir. Ayrıca, makine dairesinde yanıcı, patlayıcı madde yoğunluğu ve hataya meyilli işletim faaliyetleri makine dairesi yangınlarının oluşturacağı etkiyi diğer yangın konumlarına göre daha yüksek kılmaktadır.

Yukarıda ifade edilen bilgiler ışığında, toplu deniz taşımacılığının yolcu potansiyeli ve tahliye etkinliğinin can güvenliği açısından taşıdığı önem bu makaleye esin kaynağı olmuştur. Bu çalışmanın, gemi tahliye süreci hususundaki uygulamalarda planlama yetkinliğini arttırması ve mevcut literatürde tahliye faktörleri ile ilgili farkındalık oluşturması beklenmektedir. Diğer çalışmalardan farklı olarak, geliştirilen metodoloji makine dairesi yangını odağında anket, benzetim ve istatistiksel analizi bütünleştirerek toplu deniz taşımacılığında acil durum tahliye sürecinin planlanması ve analizi ile ilgili literatüre katma değer sağlamaktadır. Buna ek olarak, makalede tahliye sistemleri arasında doluluk oranını dengelenmesi hususunu dikkate alan yeni bir rotalama sistematiği geliştirilmiştir. Salonlar arası yolcu sayısı değişkenliği de bu makalede kapsamında gemi tahliyesinde bir faktör olarak ilk defa analiz edilmektedir.

Makalenin devamında ise ilgili literatür Bölüm 2'de incelenmiştir. Geliştirilen metodoloji ve adımları yönetsel olarak Bölüm 3'te açıklanmıştır. Metodolojinin hızlı feribot ortamında yapılan uygulaması Bölüm 4'te verilmiştir. Çalışma bulguları Bölüm 5'te irdelenmiş olup, sonuç ve değerlendirmeler ise Bölüm 6'da ifade edilmiştir.

2. Literatür İncelemesi

Makalenin konusu olan gemilerdeki acil durum yolcu tahliye süreci ile ilgili literatür incelendiğinde konunun insan hayatı açısından taşıdığı önem ve karmaşık bir problem olması nedeni ile çeşitli bilimsel

çalışmalarda ele alındığı gözlemlenmiştir. Örneğin, Lee vd. [10] gemilerdeki yolcu tahliye süreci üzerine geniş bir literatür incelemesi gerçekleştirmiştir. İnceleme neticesinde ise ilgili literatürde gemi hareketlerini dikkate alan ve gerçek uygulama içeren çalışmaların sayısının artması gereğine dikkat çekilmiştir. Acil durum gemi tahliyesine yönelik RFID tabanlı bir yolcu izleme sistemi kurgusu öneren Vanem ve Ellis [11], ilgili sistemin elemanları ve prensipleri ifade etmiş olup, daha sonra sistemin maliyet ve getirileri ile risk analizini bütünleştiren bir sayısal analiz yapmıştır.

Bazı araştırmalarda ise yolcu tahliye rotalarının optimizasyonu üzerinde durulmuştur [12, 13, 14, 15, 16, 17]. Gemilerde acil durum yolcu tahliyesi ile yayınların önemli bir kısmı benzetim yöntemini kullanmıştır. Örneğin, Lee vd. [18] yolcuların çıkış yönü ve tersi doğrultudaki hareketleri üzerine yapmış oldukları çalışmada grup ve bireysel hareket ile farklı batma doğrultuları ve açılarını dikkate alan deney tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Dijkstra Algoritması ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile rota belirleyen Steinsholt ve Aasen [19] ise yavaş ve hızlı yangın yayılımı, yüksek panik ortamları ile düşük ve yüksek yolcu sayıları senaryolarında sağ olarak kurtulan yolcu sayısını belirlemiştir. Benzer problem üzerine çalışan Lozowicka [20] ters doğrultudaki yolcu hareketinin tahliye performansını olumsuz yönde etkilemesinin önüne geçmek amacı ile yolcu rotalama sürecinin önemine vurgu yapmıştır. Vanem ve Skjong [9] yolcu gemilerinde tahliye riskini esas almışlardır. Gece ve gündüz ortamında yangın, batma ve çarpışma gibi faktörleri dikkate alan bu çalışmada risk hesaplanırken maruziyet değerleri yukarıda bahsedilen senaryoların benzetimi ile elde edilmiştir. Brown vd. [21], cankurtaran ekipmanların gemi tahliye sürecindeki kullanım durumlarını, tahliye konusunda eğitilmiş ve eğitimsiz

iki deney grubu üzerinde test etmiştir. Elde edilen sonuçlar gemi tahliye süresi benzetiminde kullanılmıştır. Klüpfel [22] gemi tahliyesi benzetimi ile ilgili yapmış olduğu bilgilendirme amaçlı çalışmada ilgili Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization-IMO) standartlarına, gemi tahliye sürecinin özellikleri ve benzetim sistematığı ile ilgili modellerin doğruluk ve geçerlilik sınamalarının gerçekleştirilmesi konularına değinmiştir.

Gemi ortamında yürütülen tahliye süreci ve acil durumlar için bazı araştırmacılar EVAC [23], Maritime Exodus [24, 25], AENEAS [26, 27], Evacuability Index (Evi) [28, 29], Evacuation Demonstration & Modeling (EVDEMON) [30], Intelligent Model for Extrication Simulation (IMEX) [31, 32] ve Virtual Environment for Life On Ships (VELOS) [33] isimli benzetim yazılımları geliştirmiştir. Miyazaki vd [34] engelli yolcuların durumunun da dikkate alarak yolcu rotalarının grup davranışları esas

alınarak belirlendiği bir benzetim yazılımı sunmuşlardır. Pinerio vd. [35] öncelikle IMO standartları ile çok ciddi ve ciddi deniz kazalarında gözlemlenen yolcu hareketi ile ilgili hususlara değindikten sonra Ship Evacuation Simulation and Analysis, Madrid Original (SESAMO) ve SIFBUP isimli gemi tahliyesi benzetim yazılımlarına yer vermişlerdir. Cell-DEVS gemi tahliyesi benzetim yazılımını tasarlayan Ha vd. [36] ile Roh ve Ha [37] hücre esaslı bir gemi tahliyesi benzetimi yazılımı geliştirmiştir. Bu makalelerde kalabalık ve tekil durumda yolcu davranışlarında en kısa yol mantığını esas alan yolcu tahliye rotalama sistematığı modellenmiştir. Yukarıda incelenen benzetim yazılımları ile ilgili karşılaştırma yapılmış ve Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde, genel olarak, toplum hareketinin hız etkisi üzerine odaklanılmıştır. Batma durumunu göz önünde bulundurabilen yazılımlarda, bu hususun yolcu hızına etkisi modellere yansıtılmıştır. Yangın ortamının sıcaklık

Tablo 1. Acil Durum Gemi Tahliyesi Benzetim Yazılımları

	IMEX	EVAC	Evi	Maritime Exodus	Cell-DEVS	AENEAS	VELOS	SIFBUP	EVDEMON
Topluluk Faktörü	Hız	Sosyal Etkileşim	Hız	Hız	Hız	Hız	Hız-Sosyal Etkileşim	Hız	Hız
Batma	Var	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
Batma Etkisinin Etkisi	Yerçekimi	Yok	Yolcu Hızı	Yolcu Hızı	Yolcu Hızı	Yolcu Hızı	Yolcu Hızı	Yok	Yok
Yolcu Rotası Girebilme	Yok	Yok	Var	Var	Yok	Var	Var	Yok	Yok
Yolcu Özellikleri	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Var	Yok
Yangın Modelleme	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Var	Yok	Yok
Gerçek Deniz Ortamı Dinamikleri	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Ticari Sürüm	Yok	Yok	Var	Var	Yok	Var	Yok	Yok	Yok

ve zehirli gaz yayılımı benzetimi yapan ve bu unsurların yolculara etkisini yolcu tahliyesine yansıtan yazılımlar mevcuttur. Genel olarak ise gerçek deniz ortamında batma-çıkma, kendi ekseninde dönme vb. dinamik durumlar yazılımlara dahil edilmemiştir. Çalışmanın acil durum odağında gemi makinesi yangınları olması ve değişik yolcu rotalarının sınanması gereksinimi nedeni ile benzetim aşamasında bu vasıfları taşıyan, yolcu hareket parametrelerini yolcu karakteristiklerine göre modelleyen ve halihazırda kullanılabilir olan Maritime Exodus yazılımı tercih edilmiştir. Bu yazılımın gözlemlenen bir eksikliği ise acil durum anında söz konusu olan toplum davranışını dikkate almamasıdır.

Bu makalenin uygulama alanı Türk Karasuları olması nedeni ile bu sulardaki gemi kazaları ile ilgili literatüre değinmek anlamlı olacaktır. Bu bağlamda, Türk karasuları [2, 38, 39] ve özellikle İstanbul Boğazı'ndaki [40, 41] deniz kazaları ile ilgili istatistikleri ortaya koyan çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, Ulusçu vd. [42], İstanbul Boğazı gemi trafiğine yönelik risk analizi ve benzetim içeren bir metodoloji geliştirmişlerdir. Ayrıca, kaza davranışları; coğrafi, meteorolojik ve gemi trafiği koşullarındaki değişimleri içeren senaryo analizi ile irdelenmiştir. Erol ve Başar [43] 2001-2009 yılında Türk karasularında gerçekleşen 1247 gemi kazasını karar ağacı yöntemi ile analiz etmiş ve bu kazaların %60'ının insan hatası nedeni ile meydana geldiğini vurgulamıştır. Uğurlu vd. [44] İstanbul ve Çanakkale Boğazları'nda 2001-2010 yılları arasında meydana gelen 850 kazayı Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile analiz etmiştir. Araştırma sonucunda gemi personelinin zihinsel ve fiziksel koşullarının iyileştirilmesinin dar ve tehlikeli su yollarında meydana gelebilecek kaza riskini azaltacağı ifade edilmiştir.

Ayrıca, IMO'nun yolcu gemisi tahliye süreci ile ilgili sunduğu basit tahliye

analizi ile ilgili kavram ve tahliye süresi formülasyonlarını içeren standartlar [45] ve ileri tahliye analizi için kullanılan yolcular ile mürettebatın farklı şekilde konumlandırıldığı ve gündüz/gece faktörünü içeren yazılım geçirme senaryoları [46, 47, 48] mevcuttur. İleri tahliye analizi, acil durum tahliyesi ile yeni bir benzetim yazılımı geliştirildiğinde, standart bir gemi yerleşimi üzerinden ve yukarıda belirtilen senaryolar dahilinde yazılımın verdiği sonuçların tutarlılığını test etmek için uygulanmaktadır. Daha önce geliştirilmiş bir yazılım ile farklı yerleşime sahip gemilerde yapılan tahliye benzetimlerinde modelin doğru kurulup kurulmadığının irdelenmesi için basit tahliye analizi ile sonuç karşılaştırılması yapılması uygun olmaktadır. Yukarıdaki bilgiler ışığında, yapılan çalışmadaki benzetim modeli, basit tahliye analizi ile sınanacaktır.

Buna ek olarak, gemi yangınlarında yolcu tahliyesi ile ilgili Fireproof (2009-2012 / Avrupa birliği 7. Çerçeve Programı) ve Fire Exit (2002-2005 / Avrupa birliği 5. Çerçeve Programı) projeleri yürütülmüştür [49].

3. Geliştirilen Metodoloji

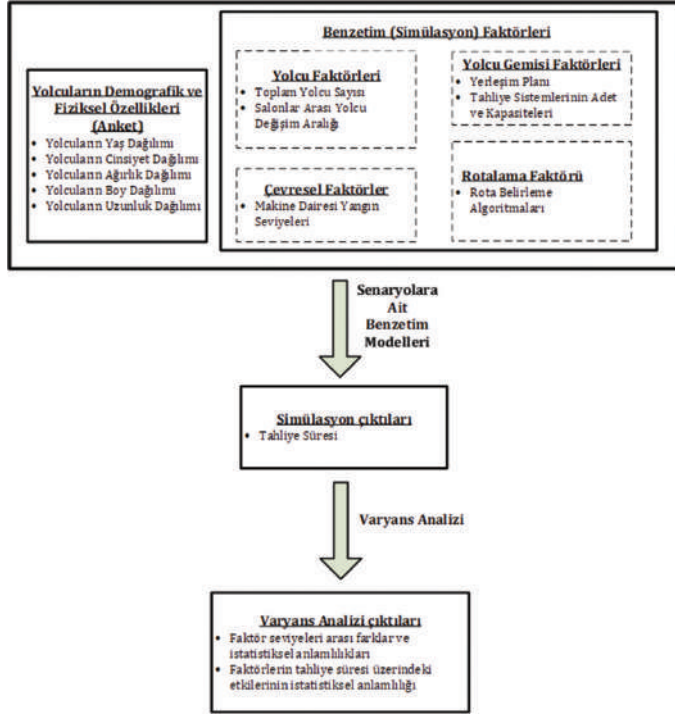
Makale kapsamında geliştirilen metodolojinin aşamaları ve bu aşamaları gerçekleştirmek için kullanılan yöntemler Şekil 1'de belirtilmiştir. Metodolojide öncelikle yolcu gemisindeki tahliye sürecinin benzetim modelleri geliştirilmiş, daha sonra istatistiksel analiz ile tahliye faktörlerinin tahliye sürecine olası etkisi belirlenmiştir. Daha sonra, karar destek sistemi ile tahliye gerektirecek acil durumlar için hazırlıklı olmak amacı ile tahliye planlaması gerçekleştirilmiştir.

Benzetim için gerekli parametrelerden olan yolcuların demografik ve fiziksel özellikleri ile ilgili veriler anket yöntemi ile temin edilmiştir. Anket tasarımında yolculardan demografik özellikler (cinsiyet,

yaş, eğitim seviyesi), fiziksel özellikler ve yüzme (boy, kilo, engel durumu, yüzme yetkinliği), sefer ve refakat ile ilgili bilgiler (yolcunun sefer sıklığı, refakat etme/edilme durumu) ve acil durum davranışı ile ilgili bilgiler (yolcunun acil durum vaka veya tatbikat tecrübesi, yolcunun gemi yerleşimi ve acil durum toplanma ve tahliye noktaları ile ilgili bilgi seviyesi, yolcunun deniz yolculuğunda acil durum ile karşılaştığındaki davranışı) temin edilmiştir. Anket tasarımında Sekaran [50]'ın önermiş olduğu prensip ve metodoloji dikkate alınmıştır.

ile mümkün olmaktadır [9, 16, 22]. Bu nedenle, geliştirilecek metodolojinin birinci aşamasında, yolcu gemilerinde tahliye sürecinin modellenmesi aşaması benzetim tekniği ile gerçekleştirilmiştir.

Bir önceki aşamada dikkate alınan benzetim senaryosu faktörlerinin tahliye performansına etkisini belirlemek amacı ile varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi modelinde yolcu sayısı, salonlar arası yolcu adedi değişkenliği, rotalama yöntemi ve makine dairesi kaynaklı yangın durumu bağımsız değişken, tahliye süresi ise bağımlı değişken olacaktır.



Şekil 1. Geliştirilen Metodoloji

Acil durum tahliye sürecinde çevresel faktörlerin seyri (yangın neticesinde zehirli gaz yoğunlaşması ve yangın esnasında yolcu hareketinin zorlaşması vb.) ve acil durumlarda ortaya çıkan stres, panik gibi psikolojik faktörlerin yolcuların davranış ve hareketlerine gerçekçi bir şekilde yansıtılması, benzetim

Çalışma kapsamında senaryoların geliştirilmesinden önce geliştirilen yolcuların zaman ve can güvenliği açısından etkin tahliyelerini sağlamak amacı ile yolcu rotalama sistematiği geliştirilmiştir. Bu bağlamda yapılan tanımlar, parametreler, değişkenler ile formülasyonlar aşağıda ifade edilmiştir.

Tanımlar

Koltuk grubu: Arasından koridor, yol veya geminin yatay eksenini geçmeyen ve tahliye noktalarına atama yapılırken bölünemeyeceği varsayılan bitişik koltuklar.

Salon: Kat içerisinde seperatör veya duvar ile ayrılmış koltuk grupları (Eğer bir salondan geminin yatay eksenini geçiyor ise mevcut salon yatay eksenini ayırdığı iki ayrı salon olarak dikkate alınır).

Parametreler

- N: tahliye noktası sayısı
- M: salon sayısı
- P: koltuk grubu sayısı
- T_i : i salonundaki koltuk grupları kümesi
- SE: Salon-tahliye noktası matrisi

$$SE = \begin{bmatrix} (d_{11}, a_{11}, b_{11}) & \dots & (d_{1N}, a_{1N}, b_{1N}) \\ \vdots & \dots & \vdots \\ (d_{M1}, a_{M1}, b_{M1}) & \dots & (d_{MN}, a_{MN}, b_{MN}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Bu matriste her hücre üç bileşenden (d_{ij} , a_{ij} , b_{ij}) oluşmaktadır.

d_{ij} : i salonundan j tahliye noktasına olan uzaklık i: 1,..., M j: 1,..., N

$$d_{ij} = \frac{\sum_{o \in T_i} d_{oj} \times pas_o}{tpas_i} \quad (2)$$

d_{oj} : o koltuk grubundan j tahliye noktasına olan uzaklık o: 1,..., P j: 1,..., N

pas_o : o koltuk grubunun koltuk sayısı o: 1,..., P

$tpas_i$: i salonunun toplam koltuk sayısı i: 1,..., M

a_{ij} : j tahliye noktasının i salonuna olan uzaklık sırası (en yakın=1, en uzak=N) i: 1,..., M j: 1,..., N

b_{ij} : j tahliye noktası i salonunun içinde veya sınırında ise 1; i salonu j tahliye noktası ile aynı katta ise 2; i salonu j tahliye noktasından daha yüksek katta ise 3; i salonu j tahliye noktasından daha alçak katta ise 4

i: 1,..., M j: 1,..., N

SG: koltuk grubu-tahliye noktası matrisi

$$SG = \begin{bmatrix} (d_{11}, a_{11}, b_{11}) & \dots & (d_{1N}, a_{1N}, b_{1N}) \\ \vdots & \dots & \vdots \\ (d_{P1}, a_{P1}, b_{P1}) & \dots & (d_{PN}, a_{PN}, b_{PN}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Bu matriste de SE matrisinde olduğu gibi her hücrede üç bileşen (d_{oj} , a_{oj} , b_{oj}) mevcuttur.

d_{oj} : o koltuk grubundan j tahliye noktasına olan uzaklık o: 1,..., P j: 1,..., N

a_{oj} : o koltuk grubunun j tahliye noktasına olan uzaklık sırası (en yakın=1, en uzak=N)

o: 1,..., P j: 1,..., N

b_{oj} : o koltuk grubu j tahliye noktasının sınırında ise 1; o koltuk grubu j tahliye noktası ile aynı katta ise 2; o koltuk grubu j tahliye noktasından daha yüksek katta ise 3; o koltuk grubu j tahliye noktasından daha alçak katta ise 4 o: 1,..., P j: 1,..., N

RAS_{jq} : q acil durumunda j tahliye noktasının kullanılamama durumunda yolcuların aktarılacağı alternatif çıkış noktası j: 1,..., N q: batma, yana yatma, yangın

cap_j: j noktasında bulunan tahliye sisteminin kapasitesi j: 1,..., N

LSA_j: tahliye noktası j'den yolcu aktarılabilir tahliye noktaları kümesi j: 1, N

Değişkenler

C_j : j tahliye noktasındaki tahliye sistemine atanan yolcu sayısı

AS: Kısmi veya tam olarak bir tahliye noktasına atanan salon kümesi

Tahliye düzgünlük indeksi:

$$ESI = \sum_{j=1}^N |UR_j - AUR| \quad (4)$$

Tahliye noktası j'nin doluluk oranı:

$$UR_j = \frac{C_j}{cap_j} \quad j: 1, \dots, N \quad (5)$$

AUR: Tahliye noktası ortalama doluluk oranı

$$AUR = \frac{\sum_{j=1}^N UR_j}{N} \quad (6)$$

Geliştirilen rotalama sistemiği Ek A'da sunulmuştur. Beş modülden oluşan sistemiğinin birinci modülü dahilinde öncelikle tahliye noktaları, salonlar ve koltuk gruplarına yönelik parametreler belirlenmektedir. Daha sonra, ikinci modül kapsamında yolcu salonları tahliye noktalarına atanmaktadır. Makro seviyede yapılan bu atamada salonlar ve tahliye noktaları arasındaki uzaklık (birincil ölçüt) ve kat farklarının (ikincil ölçüt) azaltılması amaçlanmaktadır. Tahliye noktalarına yönelik kapasite kısıtları altında herhangi bir salon bir tahliye noktasına tam veya kısmi olarak atanabilmektedir. Salon atama aşamasından sonra kapasite kısıtından dolayı salonlar içerisinde bir tahliye noktasına atanamayan koltuk grupları üçüncü modülde kapasite kısıtlarını ve ikinci modülde elde edilen yolcu akışlarını bozmayacak şekilde tahliye rotasına dahil edilmektedir. Bu aşamaya kadar rotalama mesafe odaklı olarak yürütülmektedir. Bu bağlamda, tahliye noktaları arasındaki yoğunluk farklılıklarını dengeleyerek tahliye süresini kısaltmak amacı ile dördüncü modülde bir dengeleme algoritması sunulmuştur (Ek B). Algoritma, değişik noktalarda bulunan tahliye sistem kapasitelerinin farklı olmasından dolayı kapasite doluluk oranları üzerinden hesaplama yapmaktadır. Tahliye noktaları doluluk oranı dengeleme algoritması bazında yoğunluğu ortalamanın üzerinde olan tahliye noktalarından ortalama altı yoğunluğa sahip tahliye noktalarına kapasite ve akış kısıtları altında aktarım yapılmaktadır. Beşinci modülde ise acil durum senaryosu gereği kullanılmayacak tahliye noktası olması durumunda yolcuların yönlendirilecekleri tahliye noktaları belirlenmektedir.

Yukarıda belirtilen değişkenlerin,

rotalama sistemiği neticelendiğinde ortaya çıkan değerleri, Şekil 1'deki metodoloji kapsamında benzetim modelinin yolcu rotalama parametreleri olmaktadır.

4. Uygulama

İDO-İstanbul Deniz Otobüsleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin gerçekleştirdiği seferler içerisinde metodolojinin uygulanması için seçilen feribot yıl boyunca araçlı yolcu taşımacılığının gerçekleştirildiği en uzun hat (45 deniz mili) olan Yenikapı-Bursa seferi (İDO A.Ş. Yenikapı-Bursa seferi kapsamında 2016 yılında toplam 1.154.088 yolcu taşımıştır.) yapan Osman Gazi-I feribotudur. Köprü güverte, üst güverte, mezanin güverte, ana güverte ve katamaran tekneler katlarından oluşan bu feribot İDO filosundaki en yüksek kapasiteli deniz taşıtıdır. Osman Gazi-I feribotunun yolcu içeren katları ve profil resmi EK C'de verilmiştir. Osman Gazi-I feribotu yolcu kapasitesi 1200 kişi olup, 16 mürettebat mevcuttur. Feribotta garaj birinci ve garaj giriş katlarının iskele-sancak taraflarında 200'er kişi kapasiteli, üst güverte katı sancak tarafında 250, üst güverte katı iskele tarafında 300 yolcu kapasiteli 6 adet tahliye sistemi bulunmaktadır. Tahliye sistemlerinin her biri yaklaşık bir dakikada hazır hale gelebilmektedir.

Anketin nihai uygulama aşamasından önce, 30 kişilik bir grup üzerinden ön uygulama gerçekleştirilmiş ve anket son haline getirilmiştir. Örneklem sayısının belirlenmesi amacı ile aşağıdaki formül kullanılmıştır [51].

$$n = \frac{p \times q \times Z_{\alpha}^2}{d^2} \quad (7)$$

n: Örneklem büyüklüğü

p: Kategorinin gözlenme oranı

q=(1-p): X'in gözlenmeme oranı

α: Önem düzeyi

d: Örneklem hatası

Örneklem sayısının belirlenmesi esnasında ise ± 0.05 örnekleme hatası ve $\alpha = 0.05$ önlem düzeyi ile örneklem sayısı değişik p-q konfigürasyonlarında 245 ve 384 olarak bulunmuştur. Ayrıca, belirlenen en yüksek örneklem büyüklüğü (384), Sekaran [50]'de verilen anakütle-örneklem tablosuna göre 1.000.000 kişinin üzerinde bir anakütleyi temsil etmektedir. Bu sayı çalışmada örneklem boyutunda alt limit olarak kullanılmış olup, saha çalışması esnasında anket 1563 kişiye yöneltilmiş olup, örneklem boyutu olarak 594 kişiden yanıt alınmıştır (yanıtlama oranı: %38). Örnekleme yöntemi olarak ise sistematik örnekleme yöntemi uygulanmıştır. Yöntem kapsamında koltuk numarasına göre başlangıçtan itibaren sabit aralıktaki eleman örnekleme alınmıştır. Uygulamada sabit aralık 8 olarak alınmıştır. Bir adımda hesaplanan koltuk numarasındaki kişinin anketi yanıtlamayı kabul etmemesi, anketi doldurmaya haiz olmaması veya koltuğun boş olması durumlarında ise bir sonraki koltuğa odaklanılmıştır. Gün

ve mevsimsellik açısından homojenlik sağlamak amacı ile Ekim 2015, Aralık 2015, Şubat 2016, Nisan 2016 ve Temmuz 2016 aylarında ve bu aylarda birinci hafta pazartesi, çarşamba; ikinci hafta salı, cuma; üçüncü hafta perşembe, pazar; dördüncü hafta ise cumartesi günü olmak üzere 35 gün anket uygulanmıştır. Daha sonra, kategori oranları belirlenerek, yolcu özelliklerinin benzetim modeline tutarlı bir şekilde yansıtılması sağlanmıştır. Anket sonuçlarının makalede kullanılan kısmı ise Tablo 2'dedir.

Benzetim yapılacak senaryolar oluşturulurken, yolcu sayısı, α ile seviyelendirilmiş olup, aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$YS = \alpha \times TCAP \quad (8)$$

YS: Yolcu sayısı

α : Yolcu sayısı seviye katsayısı

TCAP:Geminin yolcu kapasitesi

Salonlar arası yolcu değişkenliği ise aşağıdaki şekilde formüle edilmiş olan yolcu değişkenliği katsayısı (β) ile ilişkilendirilmiştir.

$$\beta = \left| \frac{x_{alt-orta\ salon.iskele}}{tcap_{alt-orta\ salon.iskele}} - \frac{x_{alt-orta\ salon.sancak}}{tcap_{alt-orta\ salon.sancak}} \right| = \left| \frac{x_{üst\ salon.iskele}}{tcap_{üst\ salon.iskele}} - \frac{x_{üst\ salon.sancak}}{tcap_{üst\ salon.sancak}} \right| = \left| \frac{x_{alt\ salon.ön}}{tcap_{alt\ salon.ön}} - \frac{x_{alt\ salon.arka}}{tcap_{alt\ salon.arka}} \right| \quad (9)$$

Tablo 2. Anket Sonuçları

Faktör	Seviye/Seçenek	Oran	Faktör	Seviye/Seçenek	Oran
Yaş	≤17	0.04	Cinsiyet	Kadın	0.48
	18-25	0.22		Erkek	0.52
	26-35	0.235	Boy (cm.)	≤150	0.04
	36-45	0.23		151-160	0.135
	46-55	0.155		161-170	0.305
	56+	0.12		171-180	0.35
Ağırlık (kg.)	≤50	0.03		181-190	0.15
	51-60	0.03		≥191	0.02
	61-70	0.265			
	71-80	0.29			
	81-90	0.265			
	91-100	0.105			
	≥101	0.015			

X_i : i salonunda bulunan yolcu sayısı
 $tcap_i$: i salonu yolcu kapasitesi

Yolcu sayısı ve yolcu değişkenliği seviyelerine karşılık gelen α değerler aralıkları Tablo 3'te belirtilmiştir.

geçerliliği IMO'nun MSC/Circ.1033 nolu kılavuzu esas alınarak sınanmıştır [46]. Bu kılavuzda tahliye süresi için kullanılan semboller aşağıdaki gibidir.

A: Farkındalık süresi

Tablo 3. Yolcu Sayısı ve Salonlar Arası Yolcu Değişkenliği Seviye Katsayısı Aralıkları

Yolcu Sayısı Seviyesi	α Değeri Aralığı	Yolcu Değişkenliği Seviyesi	β Değeri Aralığı
Düşük	[0,29; 0,30]	Düşük	[0,05; 0,10]
Orta	[0,59; 0,60]	Orta	[0,15; 0,20]
Yüksek	[0,89; 0,90]	Yüksek	[0,25; 0,30]

Yolcu rotalama yöntemlerinden En Yakın Mesafe Algoritması (EYMA) EK A'da belirtilen rotalama sistematığının birinci, ikinci ve üçüncü modüllerinden oluşmaktadır. Tahliye Noktaları Doluluk Oranı Dengeleme Algoritması (TNDODA) ise bu sistematığın dördüncü modülüdür. Benzetim yazılımının otonom yaptığı rotalama ise Maritime Exodus Rotalaması olarak ifade edilmiştir (MER). Ayrıca küçük boyutlu makine dairesi yangınlarında 6 nolu; büyük boyutlu makine dairesi yangınlarında ise 5 ve 6 nolu tahliye sistemleri kullanılamamaktadır. Yukarıdaki bilgiler ışığında ortaya 81 senaryo (3*3*3*3) ortaya çıkmış olup, ilgili faktörler ve seviyeleri/türleri Tablo 4'te mevcuttur.

T: Dolaşım süresi
E: Filika vb. binme süresi
L: Suya iniş süresi
 γ : emniyet faktörü
 δ : ters akış faktörü
 t_r : Akış süresi
 $t_{merdiven}$: Merdiven iniş/çıkış süresi
 t_{kat} : Yerleşimde yolcu bulunan bir katı (en uzak noktadan kapı/merdivene kadar) dolaşım süresi
 $t_{toplanma}$: Toplanma noktasına en yakın kapı veya merdivenden ulaşım süresi
N: İlgili koridor veya rotadaki yolcu sayısı
 F_c : Yolcu akışı
 F_s : Özgül yolcu akışı
 W_c : Kapı/merdiven genişliği

Tablo 4. Benzetim Senaryo Faktörleri ve Seviyeleri

Yolcu Sayısı Seviyesi	Salonlar Arası Değişkenlik Seviyesi	Yangın Durumu	Rotalama Yöntemi
Düşük	Düşük	Yok	EYMA
Orta	Orta	Küçük	EYMA+TNDODA
Yüksek	Yüksek	Büyük	MER

Benzetim sonuçlarında homojenlik sağlamak amacı ile her senaryonun benzetimi 5 koşumda gerçekleştirilmiştir. Tahliye süreçlerinin ve yangın ortamlarının benzetiminde sırası ile Maritime Exodus V5.1 ve SMARTFIRE V4.3 yazılımları kullanılmış olup, tahliye sürecinde bulunan yolcuların fiziksel özellikleri için anket sonuçları dikkate alınmıştır. Benzetimin

$L_{merdiven}$: Merdiven uzunluğu
 L_{kat} : Kat dolaşım mesafesi
 $L_{toplanma}$: Toplanma noktasına en yakın kapı veya merdivenden ulaşım mesafesi
 $V_{merdiven}$: Merdiven iniş/çıkış hızı
 V_{kat} : Kat dolaşım hızı
 $V_{toplanma}$: Toplanma noktasına en yakın kapı veya merdivenden ulaşım hızı
Yukarıda ifade edilen faktörler aşağıdaki

şekilde formüle edilmektedir.

$$\text{Tahliye süresi} = (A+T) + 2/3(E+L) \quad (10)$$

$$T = (\gamma + \delta) * (t_F + t_{\text{merdiven}} + t_{\text{kat}} + t_{\text{toplanma}}) \quad (11)$$

$$t_F = N / F_c \quad (12)$$

$$F_c = F_s * W_c \quad (13)$$

$$t_{\text{merdiven}} : L_{\text{merdiven}} / V_{\text{merdiven}}$$

$$t_{\text{kat}} : L_{\text{kat}} / V_{\text{kat}}$$

$$t_{\text{toplanma}} : L_{\text{toplanma}} / V_{\text{toplanma}}$$

Gündüz senaryosunda farkındalık süresi 300 saniye, güvenlik faktörü 2, ters akış faktörü ise 0,3 alınmaktadır. V_{merdiven} , V_{kat} , V_{toplanma} değerleri ise yolcu yoğunluklarına göre IMO kılavuzundaki [38] tablolardan bulunmaktadır. Osman Gazi-I feribotunda tahliye sistemleri olarak can salları aktif hale getirdiğinden formüldeki filika vb. binış (E) ve suya iniş süresi (L) süreleri dahil edilmemiştir. Tahliye süresi hesaplanırken, en uzun rota olarak, köprü güvertede bulunan yolcuların garaj giriş katta bulunan tahliye sistemlerinden tahliyesi için izledikleri rota dikkate alınmıştır. Yukarıdaki bilgiler dahilinde tahliye süresi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır: $t_F = [246/(1,28*1,8)] + [123/(1,275*1,8)] = 160,36$ saniye
 $t_{\text{merdiven}} = (3,4 / 0,55) * 3 \text{ merdiven} = 18,55$ saniye
 $t_{\text{kat}} = (13/0,69) + (18/0,87) = 39,53$ saniye
 $t_{\text{toplanma}} = 5/0,1 = 50$ saniye
Tahliye süresi = $300 + ((2+0,3)*(160,36 + 18,55 + 39,53 + 50)) = 917,41 \approx 917$ saniye

IMO formülasyonunda yangın ve batma etkisi dikkate alınmadığından, Osman Gazi-I feribotunun 1186 yolcu (tam kapasite) ile yangın ve batma durumları olmadan tahliye benzetimi yapılmış olup; ortaya çıkan sapma değerleri özellikle geliştirilen rotalama yöntemleri için (EYMA (%11,21); EYMA+TNDODA (%2,05)) oldukça makul seviyededir. Tahliye benzetiminin IMO formülasyonunda bulunmayan yolcu davranışı etkisi altında gerçekleştiği de göz önünde bulundurulduğunda, feribot ortamının ve tahliye sürecinin benzetim ortamında doğru ve geçerli bir şekilde modellendiği sonucuna varılmaktadır.

Metodoloji kapsamındaki istatistiksel analiz aşamasında ifade edilen değişkenler dikkate alınarak ANOVA yapılmıştır. İstatistiksel model IBM SPSS Statistics v22 programında kurulmuş olup, faktörlerin ana ve ikili etkileri incelenmiştir. Analiz 0,05 önem düzeyinde yapılmıştır. Öncelikle yapılan Shapiro Wilk W testi neticesinde bağımlı değişken değerlerinde normalitenin sağlandığı ifade edilebilir (test istatistiği=0,972, $p=0,075 > 0,05$). Levene's Test Of Equality of Error Variances sonuçlarına göre bağımlı değişkenin bağımsız değişkenlerdeki gruplara göre varyans eşitliği sağlanmıştır (tahliye süresi için $p=0,528 > 0,05$).

Tablo 5. Faktörlerin ve Faktörler Arası Etkileşimlerin Etkileri

Bağımsız Değişken ve Etkileşimleri	F	p	Kısmi Eta Kare
Yolcu Sayısı	1645,098	0,000	0,986
Salonlar Arası Değişkenlik	305,193	0,000	0,927
Rotalama Yöntemi	730,003	0,000	0,968
Makine Dairesi Yangını	712,068	0,000	0,967
Rotalama Yöntemi * Makine Dairesi Yangını	4,035	0,007	0,252
Salonlar Arası Değişkenlik * Makine Dairesi Yangını	1,366	0,260	0,102
Yolcu Sayısı * Makine Dairesi Yangını	403,742	0,000	0,971
Salonlar Arası Değişkenlik * Rotalama Yöntemi	0,204	0,935	0,017
Yolcu Sayısı * Rotalama Yöntemi	12,957	0,000	0,519
Yolcu Sayısı * Salonlar Arası Değişkenlik	5,474	0,001	0,313
R Kare= 0,994 (Ayarlanmış R Kare= 0,991)			

Tablo 5'e bakıldığında her bir bağımsız değişkenin tahliye süresi bağımlı değişken üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Model tahliye süresindeki değişimin %94,4'ünü açıklamaktadır. Yolcu sayısı tahliye süresine en çok etki eden faktör olarak karşımıza çıkmıştır. Faktör etkileşimlerinin etkisine bakıldığında yolcu sayısının diğer bağımsız değişkenler ile olan ikili etkileşimleri tahliye süresi üzerinde anlamlı etkiye sahiptir.

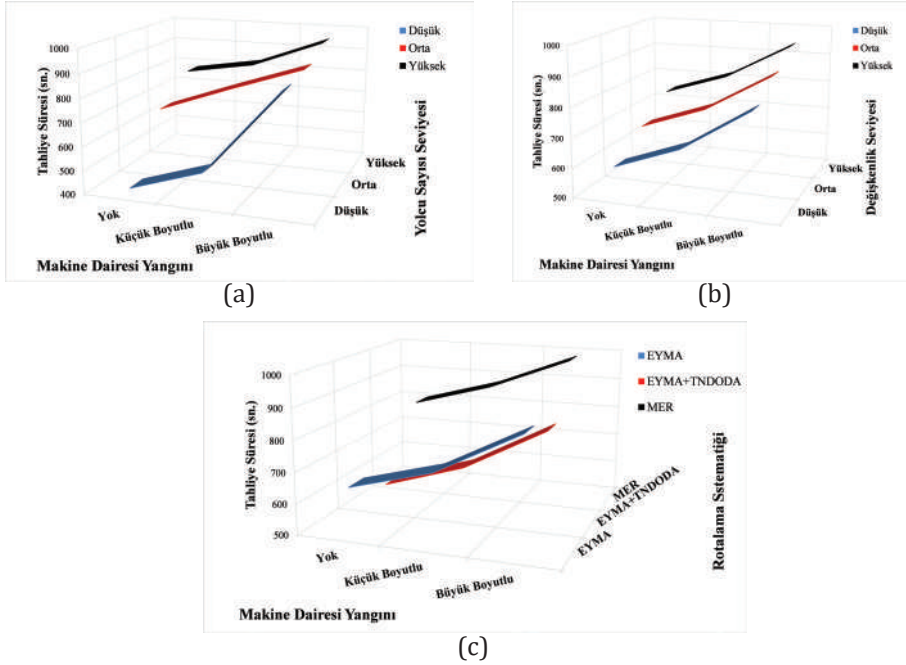
Bunun dışında rotalama ve yangın etkileşimi de yüksek etki derecesine sahiptir. Faktör grupları için ortalamalar ve ortalamalar arası ikili karşılaştırmalar ve farkların anlamlılık seviyeleri Tablo 6'da mevcuttur. Yolcu sayısının tüm seviyeleri arasındaki tahliye süresi farkı istatistiksel olarak anlamlıdır. Aynı durum, farklı rotalama yöntemleri, değişkenlik seviyeleri

ve yangın durumları için de geçerlidir.

Şekil 2, makine dairesi yangınları ile diğer faktörlerin etkileşimini görsel olarak sunmaktadır. Bu şekil, Tablo 2'de belirlenen senaryoların benzetimi neticesinde bulunan tahliye süreleri neticesinde ortaya çıkmıştır. Anket neticesinde belirlenmiş olan yolcuların fiziksel özelliklerinin (yaş, boy, kilo, cinsiyet) kategori oranları (Tablo 1) Maritime Exodus V5.1 ile kurulan benzetim modeline girilmiş olup, bu özelliklere bağlı olan yolcu hareket parametrelerinin tutarlı bir şekilde benzetime yansımaları sağlanmıştır. Şekil 2'deki yatay düzlemde eş zamanlı olarak incelenecek faktörler bulunmaktadır. Örneğin, Şekil 2(a) farklı makine dairesi yangın durumlarının değişik yolcu sayısı seviyelerindeki etkisini göstermektedir. Bu şekle göre, yolcu sayısı grupları arası farklar

Tablo 6. Faktör Grupları için Ortalamalar Arası İkili Karşılaştırmalar

Faktör: Yolcu Sayısı				
Seviye Ortalamaları	Seviye (I)	Seviye (J)	(I-J)	Anlamlılık (p)
Düşük: 601,432 Orta: 784,670 Yüksek: 922,438	Düşük	Orta	-183,238*	0,000
		Yüksek	-321,007*	0,000
	Orta	Yüksek	-137,769*	0,000
Faktör: Salonlar Arası Yolcu Değişkenliği				
Seviye Ortalamaları	Seviye (I)	Seviye (J)	(I-J)	Anlamlılık (p)
Düşük: 699,483 Orta: 770,870 Yüksek: 838,187	Düşük	Orta	-71,388*	0,000
		Yüksek	-138,705*	0,000
	Orta	Yüksek	-67,317*	0,000
Faktör: Rotalama Yöntemi				
Seviye Ortalamaları	Seviye (I)	Seviye (J)	(I-J)	Anlamlılık (p)
EYMA: 740,673 EYMA+TNDODA: 679,606 MER: 888,260	EYMA	EYMA+TNDODA	61,067*	0,000
		MER	-147,587*	0,000
	EYMA+TNDODA	MER	-208,654*	0,000
Faktör: Makine Dairesi Yangını				
Seviye Ortalamaları	Seviye (I)	Seviye (J)	(I-J)	Anlamlılık (p)
Yok: 673,532 Küçük: 751,808 Büyük: 883,199	Yok	Küçük	-78,276*	0,000
		Büyük	-209,667*	0,000
	Küçük	Büyük	-131,391*	0,000
(*) 0,05 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır.				



Şekil 2. Makine Dairesi Yangını Durumlarında Yolcu Sayısı (a), Değişkenlik (b) ve Rotalama Yöntemleri (c) Faktör Gruplarının Tahliye Süresi Değişimi

belirginleşmektedir. Ancak, bu husus sadece yüksek yolcu seviyesinde görülemediği. Bu sonucun, yangın esnasında oluşabilecek can kayıplarının yüksek yolcu sayısı seviyelerinde artabilmesi neticesinde ortaya çıktığı düşünülmektedir. Şekil 2(b)'ye bakıldığında, farklı makine dairesi yangın durumları, yolcu sayısı değişkenliği seviyeleri arası eğilimi değiştirmemiştir. Bu durum, makine dairesi yangını ile yolcu sayısı değişkenliği arasında bir anlamlı bir etkileşimin söz konusu olmadığını vurgulamaktadır. Şekil 2(c)'ye göre, en yüksek tahliye süreleri büyük boyutlu yangınlarda ve MER yolcu rotalaması ile gerçekleşmiştir. Ayrıca, yolcu rotalama faktöründe "Tahliye Noktaları Doluluk Oranı Dengeleme Algoritması"nın etkisi, farklı yangın durumlarında yakın farklar oluşturmuştur.

5. Tartışma

Bu makalede elde edilen sonuçlar ve yazarların tahliye sürecine katma değer

sağlayacağını düşündükleri hususlar aşağıda belirtilmiştir.

- Yolcu rotalama, ilgili literatürde tahliye faktörü olarak irdelenmiştir. Ancak, bu çalışmalarda yolcu rotalamasında sadece mesafe ölçütü dikkate alınmıştır [12, 13]. Bu nedenle, tahliye sistemlerinin kapasite doluluk oranı arasında denge sağlanmasının tahliye sürecini daha etkin hale getireceği düşüncesi ile yeni bir rotalama sistematigi geliştirilmiş ve "Tahliye Noktaları Doluluk Oranı Dengeleme Algoritması", en kısa mesafe odaklı rotalamaya göre tahliye süresi açısından %8,9 oranında kısalma sağlamıştır (Tablo 6).
- Yolcu salonlarındaki yolcu sayıları arasında oluşabilecek farklılık, acil durumlarda bu salonlara yakın tahliye sistemlerinde yoğunluk oluşturabilmektedir. Bu durum daha önce literatürde incelenmemiş olup, çalışma kapsamında salonlar arası

yolcu sayısı değişkenliği faktörü altında seviyelendirilmiş (Formül 9) ve benzetim senaryolarına yansıtılmıştır (Tablo 4). Uygulama neticesinde, Osman Gazi-I feribotu için yolcu sayısı değişkenliği tahliye süresi performansında %16,5'e varan farklılık oluşturmuştur (Tablo 6).

- Yangın durumlarında kullanılamayacak tahliye sistemlerinin konfigürasyonu acil durum senaryosuna göre değişkenlik arz etmektedir [7, 16]. Bu durum, daha önce literatürde sayısal olarak irdelenmemiş olup, tahliye performansında büyük farklılıklar oluşturduğu çalışma neticesinde ortaya çıkmıştır. 5 nolu tahliye sisteminin kullanılmadığı küçük boyutlu makine dairesi yangınında tahliye süresi %10,4 artmıştır. 5 ve 6 nolu tahliye sistemlerinin kullanılmadığı büyük makine dairesi yangını durumunda bu oran %23,7 olmuştur. Ancak halihazırda toplu deniz taşımacılığı tahliye yönetiminde sadece tüm tahliye sistemlerinin kullanılabilir olduğu durum göz önüne alınmaktadır. Yapılacak tatbikatlarda özellikle mürettebatın bu tip durumlara hazırlanması kritik başarı faktörüdür.
- IMO standartları, gemideki acil durumlarda mürettebat için çok pratik ancak değişik tahliye durumlarını dikkate almayan sabit talimatları kapsamaktadır [46, 47]. Acil tahliye, çok değişken senaryolarda gerçekleştirilecek zamana bağlı bir yarış durumudur ve yolcuların sorumlu mürettebat tarafından tahliye boyunca etkin yönlendirilmesi tahliye planının performansını artıracaktır. Özellikle tek kapısı bulunup diğer salonlara veya merdiven başına çıkan salonlarda karmaşaya meyilli bir ortam oluşturabileceğinden, acil durumlar için bu noktalarda yönlendirici mürettebat bulundurulmalıdır. Bu husus, Osman Gazi-I feribotunda, köprü güvertedeki tüm yolcuların, üst güverteye merdivenle inişi anında tahliye sistemi 5 ve 6'ya

dengeli bir şekilde dağılabilmeleri için de gözlemlenmiştir.

- Gemi yerleşimlerinin binalara kıyasla daha karmaşık yapıda olması ve gemilerde bulunan yolcuların gemi yerleşimi ile ilgili bilgi seviyesinin nispeten düşük olması sebebi ile [17], özellikle acil durumlarda fayda sağlaması açısından gemi yerleşimi ilgili görsellerden daha yoğun bir şekilde faydalanılması önem arz etmektedir.
- Yolcu-mürettebat takip sistemlerinin yolcu gemilerinde acil durum tahliyesi için kullanılabilirliği operasyonel ve ekonomik olarak olurludur [11]. Bu sistemler ile optimizasyon tekniklerinin bütünleştirilmesi, acil durum yolcu rotalamasında gerçek zamanlı bir ortam sağlayacaktır. Böylece, değişik yangın ve diğer acil durum koşullarında ve farklı yolcu yoğunluklarında klasik acil durum planları ve role cetvellerine göre daha etkin tahliye sonuçları alınabilecektir.

Yukarıdaki ifadeler incelendiğinde, projenin tahliye yönetimiyle ilgili yöneticilerin planlama ve kontrol yeteneğini geliştireceği düşünülmektedir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar, gemi tasarımı ve mürettebat sayısı ile ilgili mevzuatlar ile ilgili yürütülen faaliyetleri destekler niteliktedir.

6. Sonuç ve Öneriler

Toplu deniz taşımacılığında karşılaşılan kazaların neden olduğu önemli kayıplar ve yolcu sayılarındaki artış nedeniyle, yolcuların ve mürettebatın tahliyesi ile ilgili konular giderek artan bir ilgi görmüştür. Bu konuda uluslararası denizcilik sözleşmelerinde yeni gereklilikler tanımlanmaktadır. Gemi inşaatı ve işletimi esnasında tahliye faktörlerinin analizi konusunda farkındalık ve çıkarımlar sağlayacak olan istatistiksel yöntemler, deniz acil durum tahliye kazaları ve uygulamaları ile ilgili geçmiş deneyimleri ve verileri temel alan çok

basit ve uygulanabilir çözümler sunabilme potansiyeline sahiptir. Yukarıdaki ifadeler ışığında yapılan çalışmada; toplu deniz taşımacılığına yönelik benzetim ile modelleme esaslı kapsamlı bir metodoloji geliştirilmiştir. Uygulama aşamasında, olasılık ve maruziyet hususları dikkate alındığında en yüksek riskli yangın türü olan makine dairesi kaynaklı yangın durumlarında, hızlı feribotların tahliye operasyonu irdelenmiştir.

Geliştirilen medoloji kapsamında senaryoların benzetiminin ardından yapılan istatistiksel analiz (ANOVA) neticesinde, yolcu rotasının hem tahliye süresi üzerinde anlamlı etkisinin çıkması bu hususun kritikliğini gözler önüne sermektedir (Tablo 5). Öncelikle gemilerin tasarım aşamasında tahliye benzetimlerinin yapılması ve gemilerde eğitim ve talim uygulamaları ile tahliye etkinliğinin sınanması ve iyileştirilmesi gerekmektedir. Önerilen yöntemin uygulanması ile elde edilecek neticeler, gemi üstünde gerçekleştirilen tahliye operasyonu senaryolarını da şekillendirebilir. Öte yandan, yolcu sayısının yanı sıra salonlar arası yolcu değişkenliğinin tahliye süresindeki etkisinin önemi belirlenmiştir (Tablo 5). Bu konuda gemilerdeki yolcu dağılımları ile ilgili bir kontrol sistemi geliştirmesi önerilmektedir. Bu nedenle toplu deniz taşımacılığı yapan şirketlerin biletleme sistemlerinde bu hususa özen göstermeleri anlamlı olacaktır. Ayrıca, gemilerdeki salonların yerleşime yolcu kapasitesi açısından dengeli dağılımı gemi inşası aşamasında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir noktadır. Yukarıda belirtilen rotalama ve yolcu sayısı değişkenliği ile ilgili sonuçlar istatistiksel analizde faktör etkilerinin anlamlılık seviyelerinden çıkarılmıştır (Tablo 5).

Bir diğer yandan, makine dairesi yangınlarının değişik büyüklüklerinde senaryoların benzetimi neticesinde ortaya oldukça farklı tahliye performansları

ortaya çıkmıştır. Artan makine dairesi yangını büyüklüklerinde sıcaklık ve zehirli maddeler açısından maruziyetin ve kullanılmayan tahliye sistemi adedinin artışının neden olduğu düşünülen bu sonuç, yangın boyutları arası ikili farkların istatistiksel anlamlılığı ile ilgilidir (Tablo 6) ve çok boyutlu olarak Şekil 2 ile desteklenmiştir.

Makale konusu ile ilgili olarak gelecekte yapılabilecek çalışmalardan ilki değişik acil durum senaryolarında mürettebat sayısı ve konumu ile yolcu rotalarını içeren tahliye karar destek sistemidir. Ayrıca gelecek araştırmalarda tahliye süresinin yanında can kaybı sayısı da dikkate alınmalıdır. Son olarak, Ajan Temelli Benzetim yoluyla acil durumlarda yolcu davranışlarını ve eğilimleri dikkate alarak tahliye modellemesi gerçekleştirilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 215M246 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

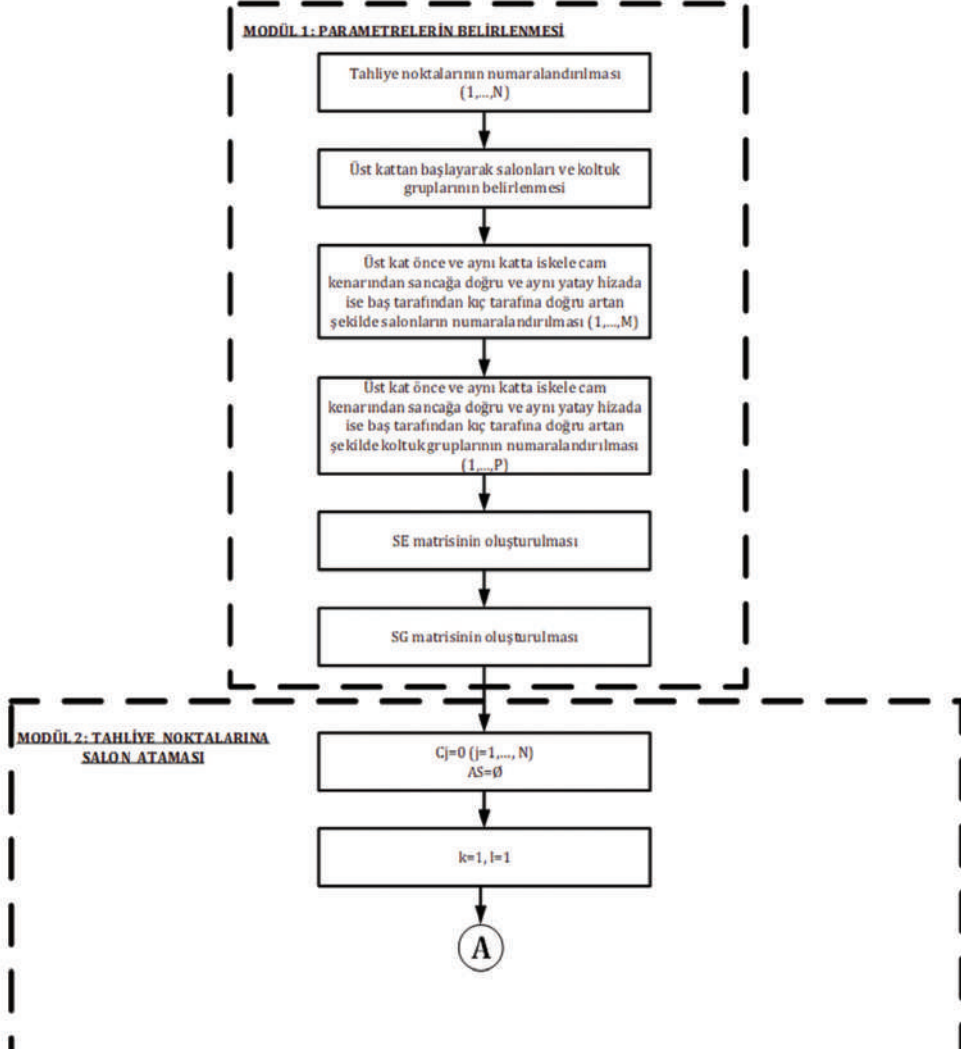
- [1] European Maritime Safety Agency. (2016). Annual overview of marine casualties and incidents 2016, <http://www.standard-club.com/media/2519681/annual-overview-of-marine-casualties-incident-2016.pdf>, Erişim Tarihi: 25/09/2017.
- [2] Bolat, F. (2016). Analysis of ship accidents in turkey from 2005 to 2015, International Journal of Engineering Research & Technology, 2016:5(12):478-481.
- [3] Kang, H. J., Choi, J., Lee, D. ve Park, B.J. (2017). A framework for using computational fire simulations in the early phases of ship design, Ocean Engineering, 2017:129:335-342.
- [4] Kim, S. W., Wall, A. ve Wang, J. (2006). Fire-risk modelling of machinery space: an application of approximate

- reasoning approach (Fuzzy Averaging Method) in passenger ship engine room, *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 2006:16(1):48-56.
- [5] Papadopoulos, Y. ve Petersen, U. (2003). Combining ship machinery system design and first principle safety analysis, 8th International Marine Design Conference, Atina, Yunanistan
- [6] Martins, M. R. ve Goyano, F. H. T. C. (2007). Preliminary hazard analysis of fire systems of tankers, Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, Lizbon, Portekiz,
- [7] Su, S., Wang, L., Nie, Y. ve Gu, X. (2012). Numerical computation and characteristic analysis on the center shift of fire whirls in a ship engine room fire, *Safety Science*, 2012:50:12-18.
- [8] Akyuz, E. (2016). Quantitative human error assessment during abandon ship procedures in maritime transportation, *Ocean engineering*, 2016:120: 21-29.
- [9] Vanem, E. ve Skjong, R. (2006). Designing for safety in passenger ships utilizing advanced evacuation analyses-A risk based approach", *Safety Science*, 2006:44:111-135.
- [10] Lee, D., Kim, H., Park, J.-H. ve Park, B.-J. (2003). The current status and future issues in human evacuation from ships, *Safety Science*, 2003:41:861-876.
- [11] Vanem, E. ve Ellis, L. (2010). Evaluating the cost-effectiveness of a monitoring system for improved evacuation from passenger ships. *Safety Science*, 2010:48: 788-802.
- [12] Liu, C. ve Oiu, C. (2011). A Flow-Dependent Secondary-shortest Path Algorithm for Naval ship Evacuation, *Applied Mechanics and Materials*, 2011:66:1812-1816.
- [13] Chu, C. W., Lu, H. A. ve Pan, C. Z. (2013). Emergency Evacuation Route for the Passenger Ship, *Journal of Marine Science and Technology*, 2013:21(5):515-521.
- [14] Sarshar, P., Radianti, J., Granmo, O.C., ve Gonzalez, J. J. (2013). A Bayesian Network Model for Evacuation Time Analysis during a Ship Fire, *IEEE Symposium on Computational Intelligence in Dynamic and Uncertain Environments (CIDUE)*, 16-19 Mart, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6595778>, Erişim Tarihi: 29/04/2015.
- [15] Deere, S. J., Galea, E. R. ve Lawrence, P. J. (2009). A systematic methodology to assess the impact of human factors in ship design", *Applied Mathematical Modelling*, 2009:33:867-883
- [16] Azzi, C., Pennycott, A., Mermiris, G. ve Vassalos, D. (2011). Evacuation Simulation Of Shipboard Fire Scenarios, *Fire and Evacuation Modeling Technical Conference*, Baltimore, Maryland, Ağustos15-16, www.researchgate.net, Erişim Tarihi: 29/04/2016.
- [17] Wang, W. L., Liu S. B., Lo, S. M. ve Gao, L. J. (2014). Passenger Ship Evacuation Simulation and Validation by Experimental Data Sets, *Procedia Engineering*, 2014:71:427-432.
- [18] Lee, D., Park, J. H. ve Kim, H. (2004). A study on experiment of human behavior for evacuation simulation, *Ocean Engineering*, 2004:31:931-941.
- [19] Steinsholt, H. B. ve Aasen, D. (2013). Examining Ant Colony Optimization Performance for Ship Evacuation, *Universitetet I Agder, Yüksek Lisans Tezi*
- [20] Lozowicka, D. (2010). Problems of opposite flow of people during evacuation from passenger ships, *Scientific Journals Maritime University*

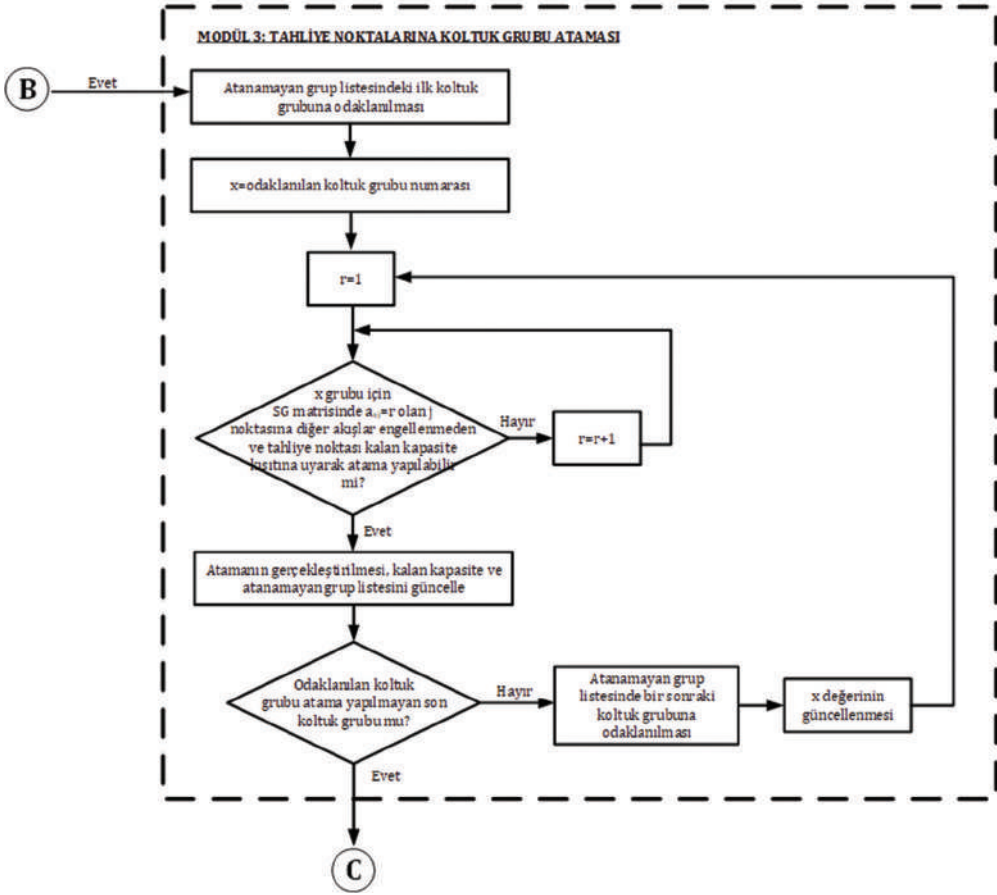
- of Szczecin, 2010:20(92):82-86.
- [21] Brown, R., Boone, J., Small, G., MacKinnon, S., Igloliorte, G. ve Carran, A. (2008). Understanding Passenger Ship Evacuation Through Full-Scale Human Performance Trials. ASME 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Haziran 15-20, Estoril, Portekiz.
- [22] Klüpfel, H. (2008). Ship Evacuation–Guidelines, Simulation, Validation, and Acceptance Criteria, <http://www.traffgo-ht.com>, Erişim Tarihi: 22/04/2016.
- [23] Rutgersson, O. ve Tsyckova, E. (1999). Safety management of the mustering and evacuation of damage passenger ships-Mepdesign on the development of a tool box. Conference on Learning from Marine Incidents, Rina.
- [24] Galea, E. R. (2001). Predicting evacuation and circulation in planes, trains, buildings and ships using the EXODUS software. Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, Duisburg, Almanya.
- [25] Glen, I. F. ve Galea, E. R. (2015). Ship Evacuation Simulation: Challenges and Solutions, http://media.bmt.org/bmt_media/resources/68/ShipEvacuationSimulationPaper.pdf, Erişim Tarihi: 30/04/2016.
- [26] AENEAS. (2015). <http://maritime-tools.dnvgl.com/en/gltools/aeneas.php>, Erişim Tarihi: 30/04/2015.
- [27] Meyer-König, T., Valanto, P. ve Povel, D. (2007). Implementing Ship Motion in AENEAS. Model Development and First Results, in Pedestrian and Evacuation Dynamics, Springer, Berlin Heidelberg, 2007:429-441.
- [28] Vassalos, D., Kim, H., Christiansen, G. ve Majumder, J. (2001). A real-time interactive mesoscopic model for passenger evacuation simulation in a virtual ship environment and performance-based evaluation. of Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, Duisburg, Almanya.
- [29] Vassalos, D., Christiansen, G., Kim, H., Bole, M. ve Majumder, J. (2002). Evacuability of Passenger Ships at Sea, http://intellihull.com/downloads/SASMEX_2002.pdf, Erişim Tarihi: 30/04/2015.
- [30] Boulougouris, E. K. ve Papanikolaou, A. (2002). Modeling and Simulation of the Evacuation Process of Passenger Ships, <http://old.naval.ntua.gr>, Erişim Tarihi: 24/04/2016.
- [31] Park, J. H., Lee, D., Kim, H. ve Yang, Y. S. (2004). Development of evacuation model for human safety in maritime casualty, Ocean Engineering, 2004:31:1537-1547.
- [32] Kim, H., Park, J. H., Lee, D. ve Yang, Y. S. (2004). Establishing the methodologies for human evacuation simulation in marine accidents, Computers & Industrial Engineering, 2004:46:725-740.
- [33] Ginnis, A. I., Kostas, K. V., Politis, C. G. ve Kaklis, P. D. (2010). VELOS: A VR platform for ship-evacuation analysis, Computer-Aided Design, 2010:42:1045-1058.
- [34] Miyazaki, K., Katuhura, M., Matsukura, H. ve Hirata, K. (2004). Evacuation Simulation for Disabled People in Passenger Ship, Maritime Research Institute, Japan.
- [35] Pineiro, A. L., Arribas, F. P., Donoso, R. ve Torres, R. (2005). Simulation of Passengers Movement on Ship Emergencies. Tools For IMO Regulations Fulfilment, Journal of Maritime Research, 2005:2(1):105-125.
- [36] Ha, S., Ku, N. K., Roh, M. I. ve Lee, K. Y. (2012). Cell-based evacuation simulation considering human behavior in a passenger ship, Ocean

- Engineering, 2012:53:138-152.
- [37] Roh, M. I. ve Ha, S. (2013). Advanced ship evacuation analysis using a cell-based simulation model, *Computers in Industry*, 2013:64:80-89.
- [38] Asyalı E. ve Kızıkan, T. (2012) Türkiye Kıyılarında 2004-2008 Yıllarında Uluslararası Sefer Yapan Gemilerin Karıştığı Deniz Kazalarının Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, 2012:4(2):27-45.
- [39] Ceyhun, G. C. (2014) The Impact of Shipping Accidents On Marine Environment: A Study Of Turkish Seas, *Europeana Scientific Journal*, 2014:10(23):10-23.
- [40] Bayar, N., Özüm, S. ve Yılmaz, H. (2008). Analysis of Accidents in Istanbul Strait, <http://web.deu.edu.tr/maritime/imla2008/Papers/43.pdf>, Erişim Tarihi: 15.09.2017.
- [41] Akten, N. (2004) Analysis of Shipping Casualties in the Bosphorus, *Journal of Navigation*, 2004:57(3):345-356.
- [42] Ulusçu, Ö.S., Özbaş, B., Altıok, T. ve Or, İ. (2009). Risk Analysis of the Vessel Traffic in the Strait of Istanbul, *Risk Analysis*, 2009:29(10):1454-1472.
- [43] Erol, S. ve Başar, E. (2015). The analysis of ship accident occurred in Turkish search and rescue area by using decision tree, *Maritime Policy and Management*, 2015:42(4):377-388.
- [44] Uğurlu, Ö., Erol, S. ve Başar, E. (2016) The analysis of life safety and economic loss in marine accidents occurring in the Turkish Strait, *Maritime Policy and Management*, 2016:43(3):356-370.
- [45] IMO.1999. "Interim Guidelines for a Simplified Evacuation Analysis on Ro-Ro Passenger Ships". MSC/Circ. 909.
- [46] International Maritime Organization (IMO). 2002. INTERIM Guidelines for Evacuation Analyses for New And Existing Passenger Ships, MSC/Circ.1033.
- [47] International Maritime Organization (IMO). 2007. Guidelines for Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships, IMO MSC/Circ. 1238.
- [48] IMO.2016. "Revised Guidelines for Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships". MSC.1/Circ. 1533
- [49] Transport Research Innovation Portal. (2015). <http://www.transport-research.info/web/index.cfm>, Erişim Tarihi: 28/05/2016.
- [50] Sekaran, U. (1992). *Research Methods for Business*, John Wiley & Sons, New York.
- [51] Yazıcıoğlu, Y. ve Erdoğan, S. (2004) SPSS Uygulamalı Bilimsel Araştırma Yöntemleri, Detay Yayıncılık, Ankara.
-

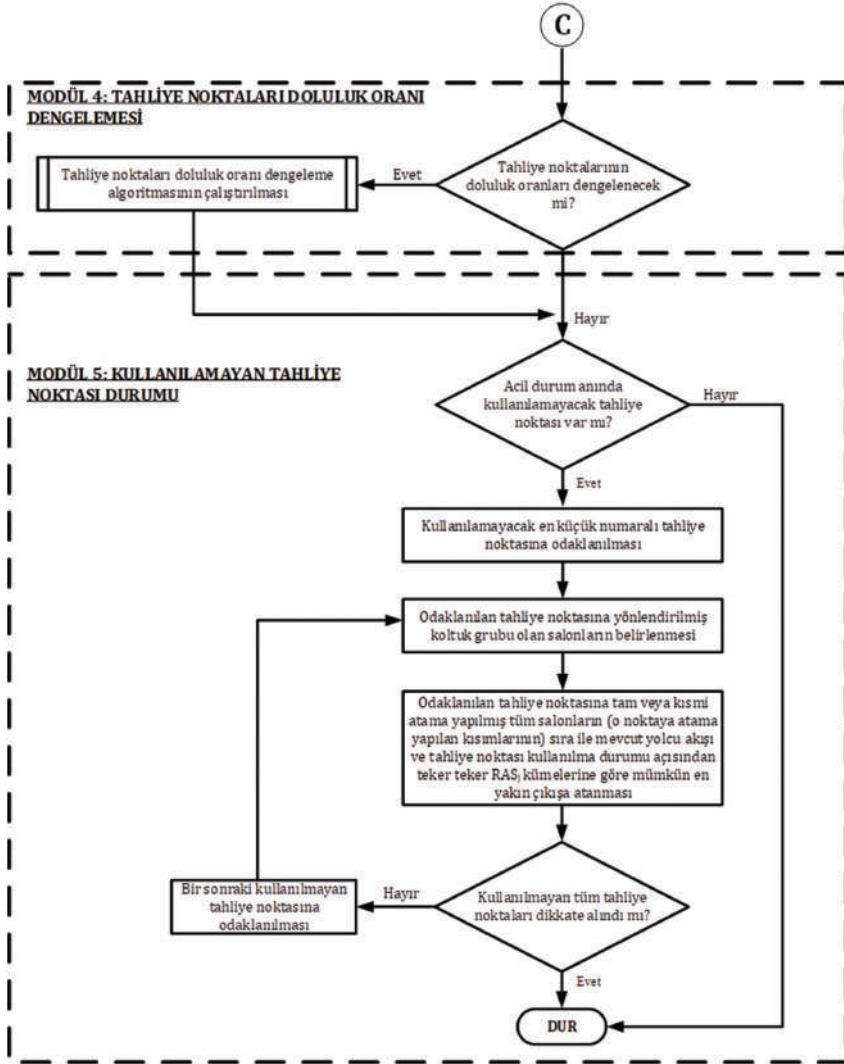
EK A. Geliştirilen Rotalama Sistematiği



Şekil A.1. Rotalama Sistematiği

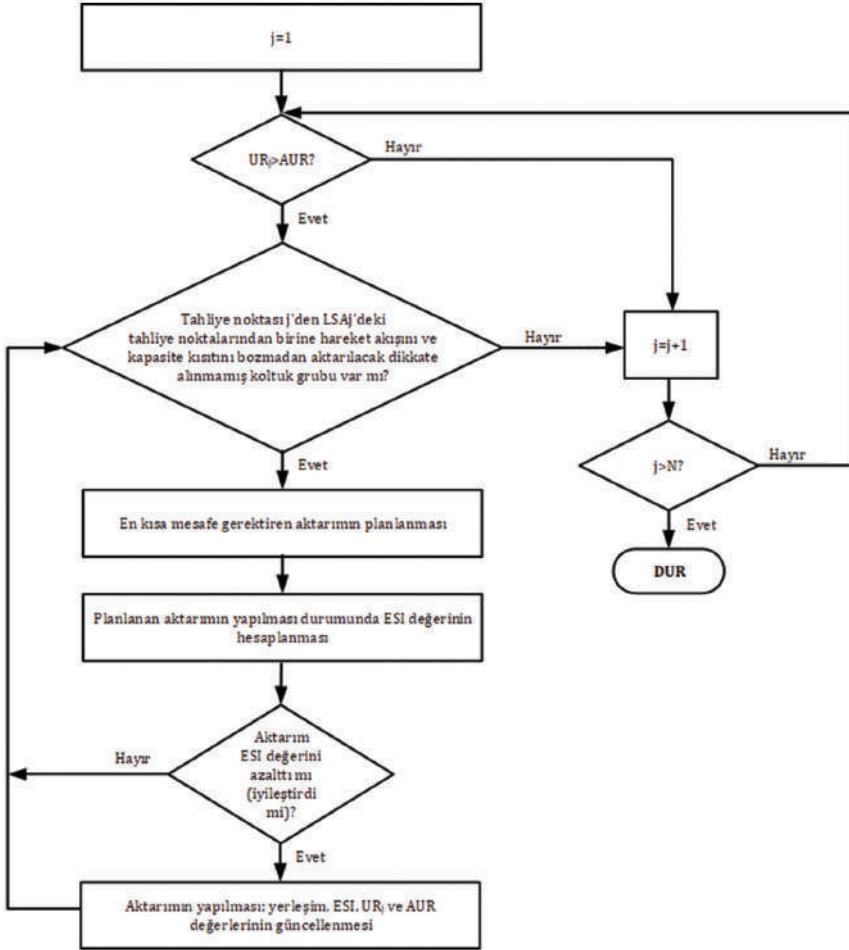


Şekil A.1. Rotalama Sistematiği (Devamı)



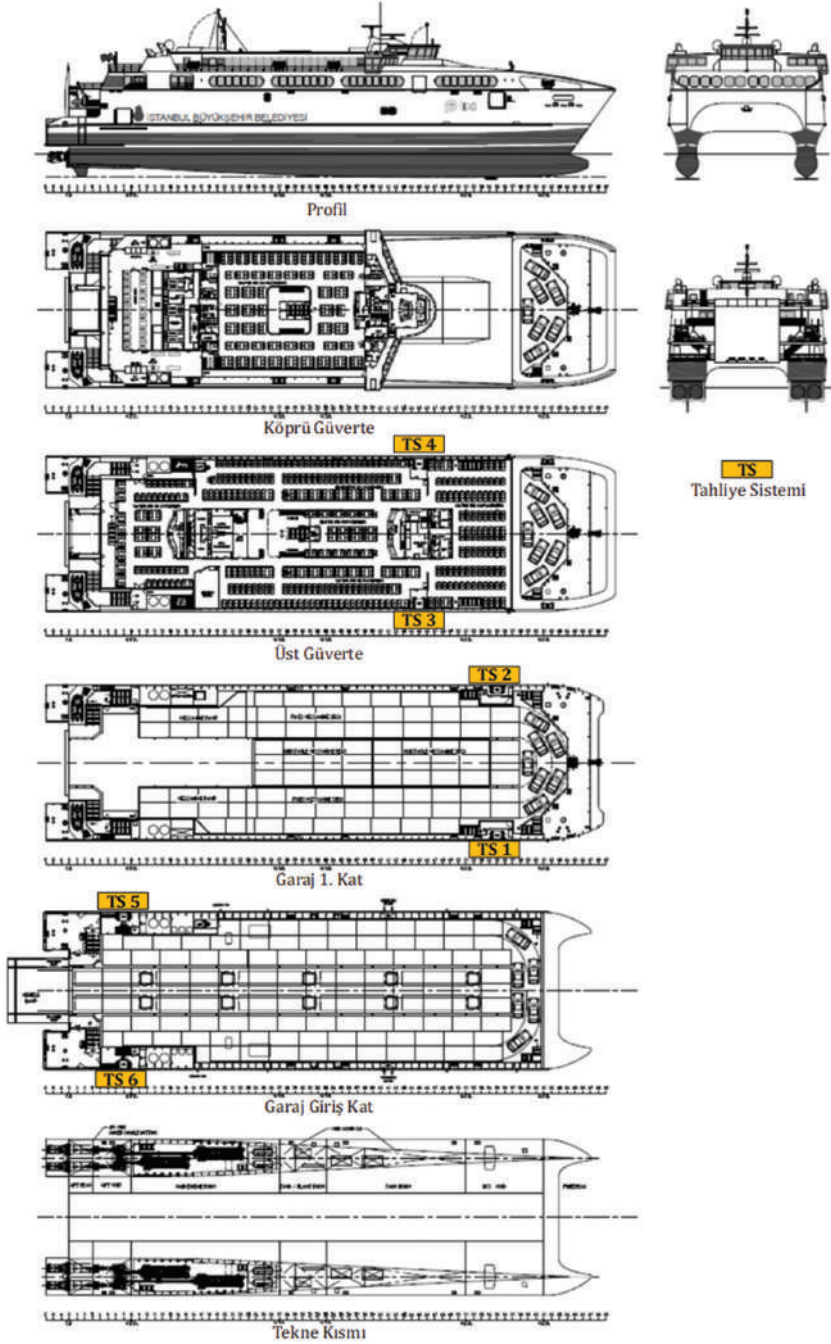
Şekil A.1. Rotalama Sistematigi (Devami)

EK B. Tahliye Noktaları Doluluk Oranı Dengeleme Algoritması



Şekil B1. Tahliye Noktaları Doluluk Oranı Dengeleme Algoritması

EK C. Osman Gazi-I Feribotu



Şekil C1. Osman Gazi-I Feribotu



Karışık Denizlerde Gemilerin Dalga Eğilme Momenti Hesabı

Ertekin BAYRAKTARKATAL

İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Türkiye
bayrak@itu.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0002-7592-9995

Öz

Bu makalede tipik bir dökme yük gemisi için değişik deniz durumlarında karşılaşılabilecek dalga eğilme momentleri hesaplanmakta ve IACS tarafından önerilen değerler ile karşılaştırılmaktadır. Dalga eğilme momentlerinin hesabında öncelikle düzenli dalgalar içindeki dalga eğilme momentleri dilim teorisine dayalı bir yazılım ile hesaplanmaktadır. Bu teorinin lineer olmasından kaynaklanan sarkma/çökme düzeltmeleri için yarı-ampirik yöntemler kullanılmaktadır. Düzenli dalgalarda hesaplanan dalga eğilme momenti transfer fonksiyonları lineer süperpozisyon prensibi çerçevesinde uygun dalga spektrumları ile birleştirilerek kısa süreli karışık deniz durumlarındaki dalga eğilme momenti değerleri hesaplanmaktadır. Uzun süreli dalga eğilme momentleri için geminin seyir yapacağı deniz sahasına ilişkin dalga istatistiklerinden yararlanılmakta ve geminin ömrü boyunca karşılaşması beklenen en yüksek dalga eğilme momenti değeri belirlenmektedir. Bu şekilde hesaplanan dalga eğilme momenti değerleri IACS tarafından önerilen değerler ile karşılaştırılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Boyuna Mukavemet, Klas Kuruluşları, Dalga Eğilme Momenti.

Calculation of Ship Wave Bending Moment in Irregular Seas

Abstract

In this article, wave bending moments which can be encountered in different wave conditions are calculated for a typical bulk carrier and compared with the values recommended by IACS. First, wave bending moments in regular waves are calculated by software based on strip theory. Semi-empirical methods are used for hog / sag correction due to the linearity of this theory. Wave bending moment transfer functions calculated at regular waves are combined with appropriate wave spectra in the context of linear superposition principle to calculate wave bending moment values in short term sea conditions. For long-term wave bending moments, the wave statistics for the sea area in which the ship will operate are utilized and the highest wave bending moment value expected to meet the ship's life is determined. The wave bending moment values calculated in this way are compared with the values recommended by IACS.

Keywords: Longitudinal Strength, Classification Societies, Wave Bending Moment.

1. Giriş

Gemi dizaynında en temel aşamalardan biri geminin yapısını oluşturacak elemanların tip ve boyutlarının belirlenmesidir. Bu işlem sırasında dizayner bir yandan geminin güvenliğini birinci dereceden dikkate alırken diğer taraftan geminin en ekonomik şekilde inşa edilebilmesi ve misyonunu en verimli şekilde yerine getirmesi hususlarını da göz önünde bulunduracaktır [1].

Gemi yapısal dizayn özelliklerinin yeterince güvenli ve olabildiğince verimli şekilde belirlenebilmesi için temel veri geminin öngörülen ömrü süresince karşılaşılabilecek yapısal yüklerin önceden bilinmesidir. Gemilerin büyük çoğunluğu için temel dizayn yükü geminin boyuna eğilme momentidir. Geleneksel olarak sakin su ve dalga eğilme momentinin toplamı olarak ifade edilen bu değer pek çok gemi tipi için geminin yapısal güvenliğini belirlemede esas unsur olarak değerlendirilmektedir.

Dalgaların neden olduğu etkiler arasında düşey ve yatay eğilme momentleri, burulma momenti, kesme kuvvetleri, hidrodinamik basınç yükleri ve baş dövünmesi sayılabilir. Normal ticari gemiler için bu yükler arasında en önemlisi düşey eğilme momentidir. Ancak konteyner gemileri gibi geniş güverte açıklıklarına sahip gemiler ve çok tekneli gemiler için burulma momenti de kritik öneme sahip olacaktır.

Yapısal dizaynı mevcut bir geminin sakin sudaki eğilme momentini hesaplamak rutin bir işlem olmakla birlikte geminin ömrü boyunca karşılaşılabilecek değişik deniz koşullarında ortaya çıkacak dalga eğilme momentlerini belirlemede karşılaşılan zorluklar nedeniyle dizayner çoğu zaman klas kuruluşları tarafından önerilen ampirik formülleri esas almaktadır. Bu formüller gemi ana boyutları, blok katsayısı ve gemi hızı gibi temel dizayn parametrelerine bağlı olup geminin form ve ağırlık dağılımı özellikleri ile çalışma koşulları dikkate alınmamaktadır.

Oysa lineer dilim teorisi ile aşırı olmayan deniz durumlarındaki dalga eğilme momenti transfer fonksiyonlarını güvenilir bir şekilde belirlemek mümkündür. Lineer spektrum teknikleri kullanılarak herhangi bir kısa süreli deniz durumunda karşılaşılabilecek istatistiksel dalga eğilme momentlerini hesaplamak mümkün olmaktadır [2]. Bu yaklaşımın özellikle konvansiyonel olmayan gemilerde uygulandığı görülmektedir. Örneğin Paik ve diğerleri [3] 90,000 dwt çift cidarlı bir tanker için lineer spektrum tekniklerini kullanarak değişik olasılık düzeylerindeki dalga eğilme momenti değerlerini hesaplamışlardır. Bu amaçla gemi 20 eşit aralıklı istasyona bölünmüş ve bu kesitler için hidrodinamik katsayılar Frank Close-Fit [4] yöntemi ile hesaplanmıştır. Dilim teorisi kullanılarak değişik yüklem durumlarındaki dalga eğilme momentleri hesaplanmış ve balast durumunda 20 yıllık gemi ömrüne karşılık gelen 10-8 olasılık düzeyi için hesaplanan dalga eğilme momenti değerinin DnV [5] tarafından önerilen maksimum dalga eğilme momentini aştığı gösterilmiştir.

Diğer bir tipik uygulamada [6] boy/genişlik oranı Klas kurallarının uygulanabilmesi için aşırı düşük olan bir ürün tankeri için dalga eğilme momentinin dizayn değeri lineer dilim teorisi ile hesaplanmış ve bulunan değer IACS UR S11 [7] tarafından verilen değer ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu hesaplanan dalga eğilme momenti değerinin IACS UR S11 tarafından verilen değerden yaklaşık % 20 daha fazla olduğu gösterilmiştir.

Geminin karşılaşılabilecek dalgalar ile ilgili deniz sahasına ait uzun vadeli dalga istatistiklerinin de mevcut olması durumunda uzun vadeli istatistiksel dalga eğilme momentlerinin hesaplanması da mümkündür. Kullanılan teorinin lineer olması nedeniyle yüksek deniz şiddetlerinde nonlineer etkiler için düzeltme yapılması zorunlu olup literatürde bu amaçla kullanılan değişik yarı ampirik yöntemler mevcuttur [8, 9].

Bu makalede tipik bir dökme yük gemisi için değişik deniz durumlarında karşılaşılabilecek dalga eğilme momentleri hesaplanmakta ve geminin ömrü boyunca karşılaşması beklenen en yüksek dalga eğilme momenti değerleri Klas Kuruluşları tarafından önerilen değerler ile karşılaştırılmaktadır. Dalgalı bir denizde gemiye etkiyen toplam eğilme momenti aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$M_T = M_S + M_W$$

Sakin su eğilme momenti (M_S) geminin sakin suda sarkma veya çökme durumunda en kötü yükleme koşulunda ortaya çıkabilecek moment değeri olup basit kiriş teorisinden hareketle ağırlık ve sephiye dağılımları arasındaki fark ile temsil edilen yük eğrisinin çift integrasyonu ile hesaplanabilir.

Klas kuruluşları ve IACS, (M_W) dalga eğilme momentini hesaplayabilmek üzere ampirik formüller önermektedir [7, 10, 11, 12]. Bu formüller yazım farklılığı gösterse de aynı değerleri vermektedirler. Örneğin Türk Loydu'nun (TL) verdiği bağıntılar aşağıda verilmiştir.

Bu bağıntılarda verilen değişkenler Türk Loydu kurallarından [10] kolaylıkla elde edilebilir.

$$M_W = 0,19 \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B \cdot C_W \cdot C_L \cdot C_M \quad (\text{kNm}) \text{ sarkma durumu (+)}$$

$$M_W = -0,11 \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot C_W \cdot C_L \cdot C_M \quad (\text{kNm}) \text{ çökme durumu (-)}$$

Klas kuruluşları tarafından önerilen ampirik yöntemler yerine kullanılacak daha gerçekçi bir yöntem geminin matematiksel olarak tanımlanmış bir deniz sahasındaki eğilme momenti değerlerini hesaplamak ve istatistiksel yöntemler kullanarak belli kritik sınır değerleri aşılması olasılığını belirlemek olacaktır. Bu tür bir yöntemi uygulayabilmek için aşağıdaki aşamaların gerçekleştirilmesi gerekecektir:

- 1) Değişik yönlerden gelen farklı yükseklik ve periyoda sahip dalgalardan oluşan bir deniz sahasının dalga spektrum teknikleri kullanılarak matematiksel olarak temsil edilmesi,
- 2) Karışık denizleri oluşturduğu kabul edilen düzenli dalga bileşenleri içindeki geminin eğilme momenti transfer fonksiyonlarının sayısal olarak belirlenmesi
- 3) Lineer süperpozisyon prensibi çerçevesinde düzenli dalgalardaki eğilme momenti transfer fonksiyonlarını kullanarak karışık denizlerdeki kısa süreli deniz durumları için istatistiki eğilme momenti değerlerinin hesaplanması
- 4) Geminin hayatı boyunca karşılaşması olası en büyük eğilme momentlerini hesaplamak üzere öncelikle geminin çalışacağı denizlerde karşılaşılması beklenen deniz durumlarını karakterize eden dalga özellikleri ve deniz durumlarının karşılaşılma olasılığı bilinmelidir. Bu istatistiki verinin mevcut olması halinde uzun süreli deniz durumları için belli bir olasılıkla karşılaşılması en yüksek dalga eğilme momenti hesaplanabilecektir.

2. Düzenli Dalgalardaki Dalga Eğilme Momenti

Dalgalı bir denizde yol alan bir geminin herhangi bir kesidine (j) etkiyen dinamik kesme kuvveti aşağıdaki gibi atalet kuvveti ile dış kuvvetlerin farkı olarak yazılabilir:

$$V_j = I_j - R_j - E_j - D_j$$

Burada I atalet kuvvetini, R hidrostatik geri getirme kuvvetini, E dalga kuvvetini ve D geminin hareketinden kaynaklanan hidrodinamik kuvveti temsil etmektedir. Benzer şekilde gemi boyunca herhangi

bir noktadaki eğilme momenti de atalet momenti ile dış momentlerin farkı olarak hesaplanabilecektir. Gemi boyunca etkiyen düşey atalet kuvveti ve herhangi bir kesite etkiyen düşey atalet momenti aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$I_V = \int_L m(\ddot{\eta}_3 - x\ddot{\eta}_5) dx$$

$$I_M = - \int_L m(x - \xi)(\ddot{\eta}_3 - x\ddot{\eta}_5) dx$$

Burada I_V düşey atalet kuvvetini, I_M gemi ağırlık merkezinden ξ uzaklıktaki bir kesite etkiyen düşey atalet momentini, L gemi boyunu, $\ddot{\eta}_3$ dalıp çıkma hareketinden kaynaklanan düşey ivmeyi, $\ddot{\eta}_5$ baş kış vurma hareketinden kaynaklanan düşey ivmeyi temsil etmektedir. Hidrostatik geri getirme kuvveti ve momenti gemi su hattı alanı formuna bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$R_V = -\rho g \int_L b(\eta_3 - x\eta_5) dx$$

$$R_M = \rho g \int_L b(x - \xi)(\eta_3 - x\eta_5) dx$$

Burada b su hattı genişliğini temsil etmektedir. Dalga kuvvetleri Froude-Krylov ve Difraksiyon bileşenlerinin toplamı olarak ifade edilmekte ve dilim teorisi yaklaşımı ile hesaplanmaktadır. Geminin hareketinden kaynaklanan hidrodinamik kuvvet ise eksü ve sönüm katsayılarından yararlanılarak hesaplanmakta ve iki boyutlu eksü ve sönüm katsayıları Frank Close-Fit yöntemine göre hesaplanmaktadır. Dalga kuvvetleri ve hidrodinamik kuvvetlerin hesabı ile ilgili detaylar [13] nolu kaynakta bulunmaktadır.

3. Kısa Süreli Deniz Durumu için Dalga Eğilme Momenti Hesabı

Kısa süreli (yaklaşık 3 saate kadar) deniz durumlarında dalga eğilme momentinin hesabında bu deniz durumlarında karakteristik dalga yüksekliği ve dalga periyodunun sabit kaldığı ve deniz durumunun istatistikî özelliklerini belirleyen bir dalga spektrumunun mevcut olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda lineer süperpozisyon prensibine göre geminin dalga eğilme momenti spektrumu aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir:

$$S_R(\omega_e, H_S, T_Z) = |RAO(\omega_e)|^2 \cdot S_\zeta(\omega_e, H_S, T_Z)$$

burada $RAO(\omega_e)$ ilgili dalga karşılaşma frekansındaki (ω_e) dalga eğilme momenti transfer fonksiyonunu, $S_\zeta(\omega_e, H_S, T_Z)$ ise karakteristik dalga yüksekliği H_S ve dalga periyodu T_Z için tanımlanan dalga spektrumunu temsil etmektedir. Geminin dalgalarla karşılaşma frekansı gemi hızı, V , ve dalga yönüne, μ , ve dalga frekansına, ω bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir.

$$\omega_e = \omega - \frac{\omega^2 V}{g} \cos \mu$$

Bu durumda verilen bir deniz durumunda eğilme momenti için varyans değeri,

$$m_0(\omega_e, H_S, T_Z) = \int_0^\infty S_R(\omega_e, H_S, T_Z) d\omega_e$$

şeklinde hesaplanabilecektir. Bu durum tüm dalgaların aynı hakim yönden gelmeleri halini yansıtmaktadır. Oysa dalgaların hakim yön çevresinde yayılmış olması daha gerçekçi bir durumdur. Bu durumu yansıtabilmek üzere aşağıdaki şekilde

bir dalga yayılma fonksiyonu, $f_S(\beta)$, tanımlanmalıdır.

$$\sum_{\beta_0 - 90^\circ}^{\beta_0 + 90^\circ} f_S(\beta) = 1$$

Burada β hakim dalga yönünü temsil etmektedir. Böylece kısa süreli karışık bir deniz durumunda dalga eğilme momenti için varyans değeri

$$m_0(\omega_e, H_S, T_Z) = \int_0^{\infty} \sum_{\beta_0-90^\circ}^{\beta_0+90^\circ} f_S(\beta) S_R(\omega_e, H_S, T_Z) d\omega_e$$

olarak hesaplanabilecektir. Kısa süreli deniz durumunda dalga genliklerinin dağılımının bir Rayleigh dağılımı özelliklerine sahip olduğu kabulü ile eğilme momenti için tanımlanmış bir x değerinin aşılması olasılığı aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$$P(M_W > X) = \exp\left(-\frac{X^2}{2m_0}\right)$$

Burada varyansı temsil etmektedir. Kısa süreli bir deniz durumu için karşılaşılması olası en yüksek eğilme momenti değeri aşağıdaki formüle göre belirlenebilecektir;

$$X = \sqrt{2m_0 h N}$$

Burada N kısa süreli deniz durumunda karşılaşılması beklenen dalga sayısını temsil etmektedir. Tipik olarak 3 saat kabul edilebilen bir kısa süreli deniz durumu için N 1000 alınabilir. Lineer teori tarafından belirlenemeyen sarkma ve çökme durumundaki dalga eğilme momentlerini hesaplayabilmek üzere IACS UR S11 tarafından önerilen aşağıdaki yaklaşımdan hareket edilebilir.

$$\frac{M_{COKME}}{M_{SARKMA}} = \frac{C_B + 0.7}{1.73C_B} = R$$

Diğer taraftan lineer teoriye göre belirlenen dalga eğilme momenti sarkma ve çökme durumlarının ortalaması olacaktır.

$$M_L = \frac{M_{COKME} + M_{SARKMA}}{2}$$

Bu durumda lineer teoriye göre hesaplanmış dalga eğilme momenti kullanılarak sarkma ve çökme eğilme momentleri aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$M_{SARKMA} = \frac{2M_L}{1+R} = \frac{3.46C_B M_L}{2.73C_B + 0.7} \quad \text{ve}$$

$$M_{COKME} = \frac{2RM_L}{1+R} = \frac{2(C_B + 0.7)M_L}{2.73C_B + 0.7}$$

Özellikle narin gemiler için Guedes Soares [9] aşağıdaki nonlineer düzeltmeyi önermektedir.

$$\frac{M_{COKME}}{M_L} = 1.74 - 0.93C_B \quad \frac{M_{SARKMA}}{M_L} = 0.26 + 0.93C_B$$

4. Uzun Süreli Deniz Durumu için Dalga Eğilme Momenti Hesabı

Uzun süreli dalga eğilme momenti hesabında en önemli veri geminin çalışacağı denizlere ait uzun süreli dalga istatistikleridir. Uzun süreli dalga eğilme momenti hesabında farklı kabuller yapılması zorunlu olduğundan farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu hesabı standartlaştırmak üzere IACS tavsiye niteliğinde bir istatistiki prosedür önermiştir. Dizayn eğilme momentinin karşılaşılma olasılığının 10^{-8} olması gerektiği esasına dayalı bu prosedür aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- 1) Dalga yüksekliği olasılıkları için Global Wave Statistics (GWS) tarafından tanımlandığı şekliyle [14] Kuzey Atlantik'te 8, 9, 15 ve 16 numaralı bölgelere ait dalga dağılım diyagramları kullanılacaktır.
- 2) Gemi hızı sıfır alınacaktır.
- 3) Dalga spektrumu olarak iki parametrelili ITTC spektrumu tavsiye edilmektedir.
- 4) Dalga yayılma fonksiyonu olarak kullanılacaktır.
- 5) Tüm dalga yönlerinin karşılaşılma olasılığı eşit kabul edilecektir.
- 6) Uygun nonlineer düzeltmeler uygulanacaktır.

Geminin seyir yapacağı deniz sahalarına ait uzun vadeli dalga istatistiklerinin bilinmesi durumunda, öncelikle

karşılaşılması olası her bir deniz durumu için, kısa vadeli maksimum dalga eğilme momentleri hesaplanacak ve bu değerler ile her bir deniz durumunun karşılaşımla olasılığı kullanılarak uzun vadeli deniz durumları için belli maksimum dalga eğilme momenti değerlerinin aşılma olasılığı belirlenebilecektir.

$$P_u(M_w > X) = \int_0^{\infty} P_k(M_w > X) \times f$$

Uzun vadeli dalga eğilme momenti değeri uzun vade tanımına bağlı olarak değişecektir. Bu hesaplamalarda yirmi senelik gemi ömrüne karşılık gelen 10^{-8} olasılık değeri esas alınmaktadır.

5. Uygulama

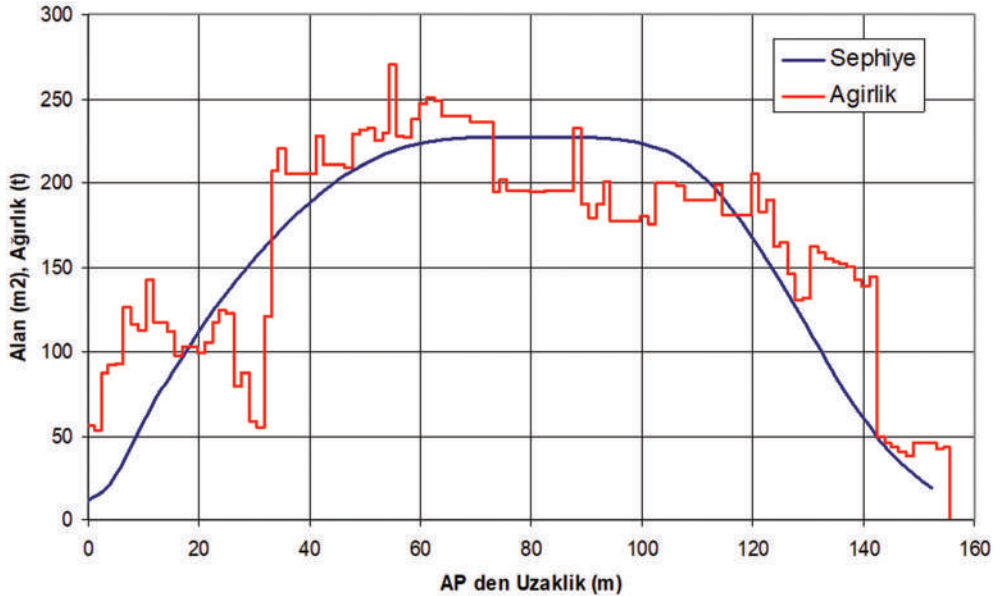
Yukarıda açıklanan prosedürlerin bir uygulaması olarak aşağıdaki tabloda genel özellikleri verilen bir dökme yük gemisi ele alınmıştır. Geminin ağırlık ve sephiye dağılımları Şekil 1'de görülmektedir. Bu dağılımlardan hareket edilerek elde edilen yük, kesme kuvveti ve eğilme momenti dağılımları ise Şekil 2'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Dökme Yük Gemisi Genel Özellikleri

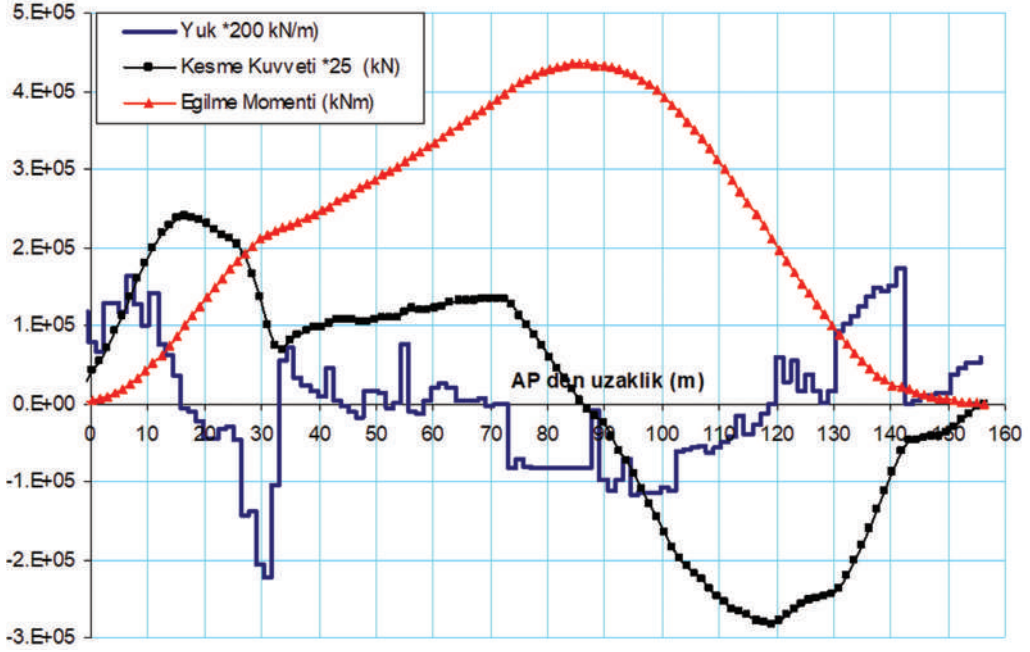
Dikeyler arası boy	L_{BP}	152.4 m
Genişlik	B	23.05 m
Su çekimi	T	10.079 m
Derinlik	D	13.4 m
Deplasman	Δ	24900 t
Blok katsayısı	C_B	0.686
Orta kesit katsayısı	C_M	0.976

Karışık dalgalar içindeki bir gemiye etkiyen dalga eğilme momentini hesaplamada ilk aşama geminin düzenli dalgalardaki dalga eğilme momenti transfer fonksiyonlarını hesaplamaktır. Bu transfer fonksiyonları ilgili geminin karşılaşması olası tüm dalga frekansları için hesaplanmalıdır. Şekil 3 ve 4'te ele alınan dökme yük gemisine ait sıfır hızda hesaplanmış düzenli dalgalar içindeki kesme kuvveti ve eğilme momenti transfer fonksiyonları sunulmaktadır.

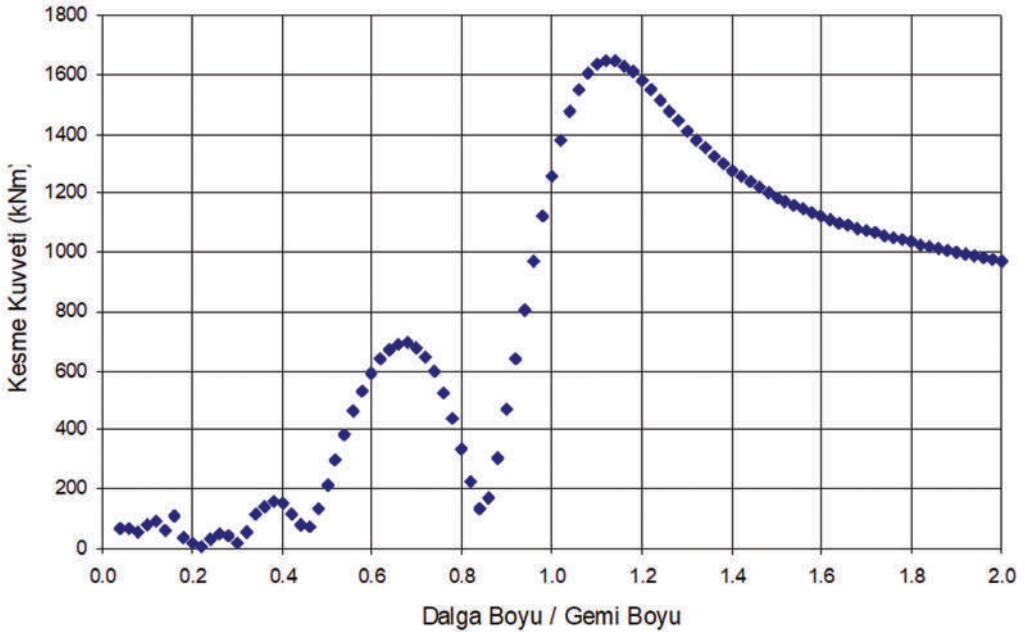
Pierson-Moskowitz dalga spektrumu kullanılarak değişik dalga yükseklikleri için hesaplanan kısa süreli maksimum dalga eğilme momenti değerleri Şekil 5'te



Şekil 1. Sephiye ve Ağırlık Dağılımları



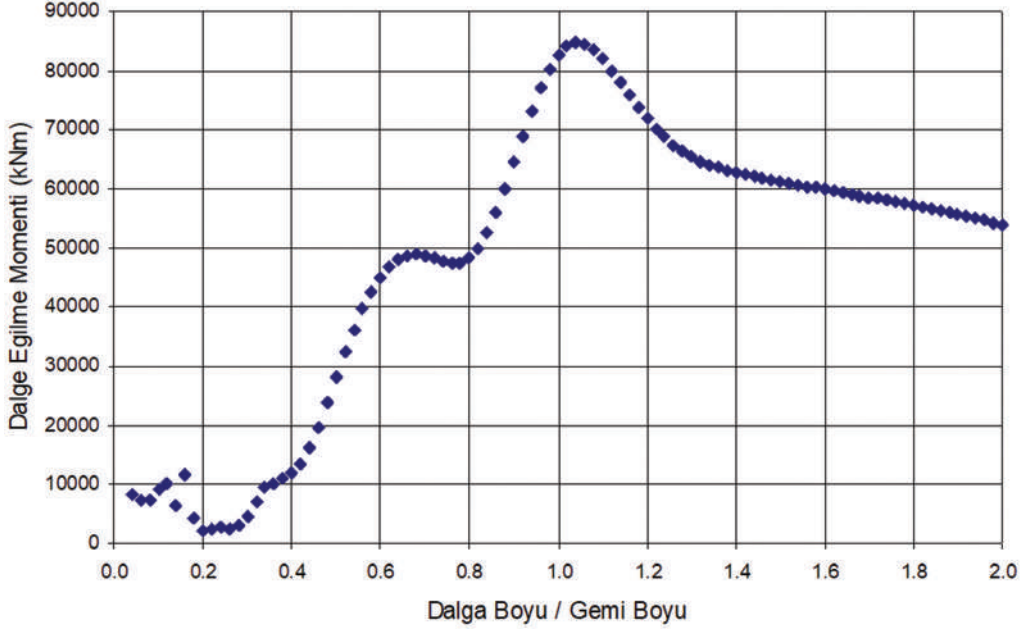
Şekil 2. Yük, Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Dağılımları



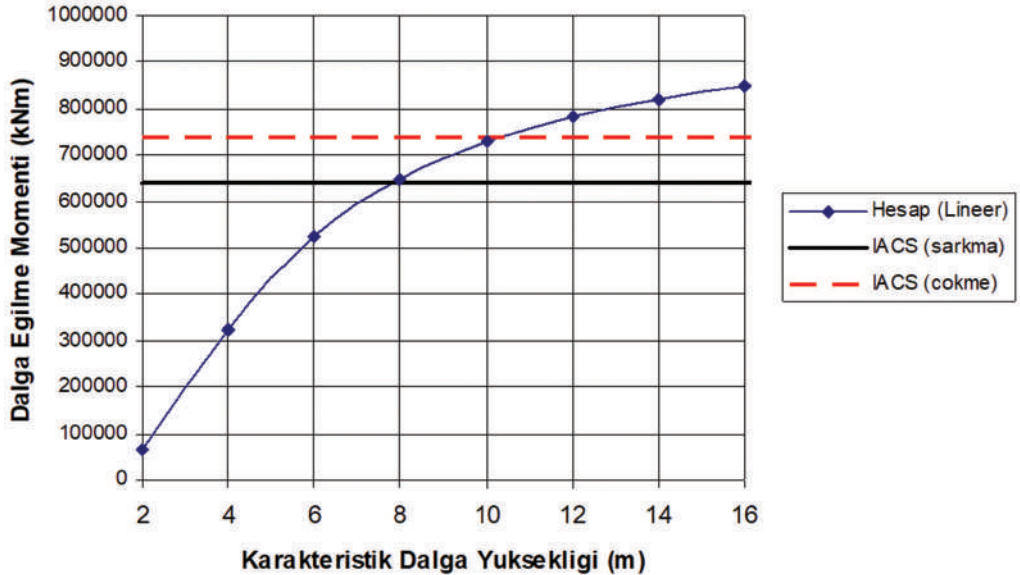
Şekil 3. Baştan Gelen Düzenli Dalgalardaki Kesme Kuvveti Transfer Fonksiyonları

sunulmaktadır. Aynı grafikte TL kuralına göre hesaplanmış dalga eğilme momenti değerleri de görülmektedir. TL kuralına göre hesaplanmış dalga eğilme momenti değerleri lineer teoriye göre hesaplanmış

değerler ile karşılaştırıldığında sarkma durumu için yaklaşık 8 metre, çökme durumu için ise yaklaşık 10 metre karakteristik dalga yüksekliğine karşılık geldiği görülmektedir.



Şekil 4. Baştan Gelen Düzenli Dalgalardaki Eğilme Momenti Transfer Fonksiyonları



Şekil 5. Lineer Dilim Teorisine Göre Hesaplanan Kısa Süreli Maksimum Dalga Eğilme Momentlerinin IACS Kural Değerleri ile Karşılaştırması

Lineer dalga teorisine göre hesaplanmış eğilme momenti değerlerinden hareketle IACS düzeltmesine dayanarak elde edilen sarkma ve çökme dalga eğilme momenti aşağıdaki gibidir. Bu formüllere göre hesaplanmış dalga eğilme momentleri Şekil 6'da IACS kuralına göre hesaplanmış değerler ile karşılaştırılmaktadır.

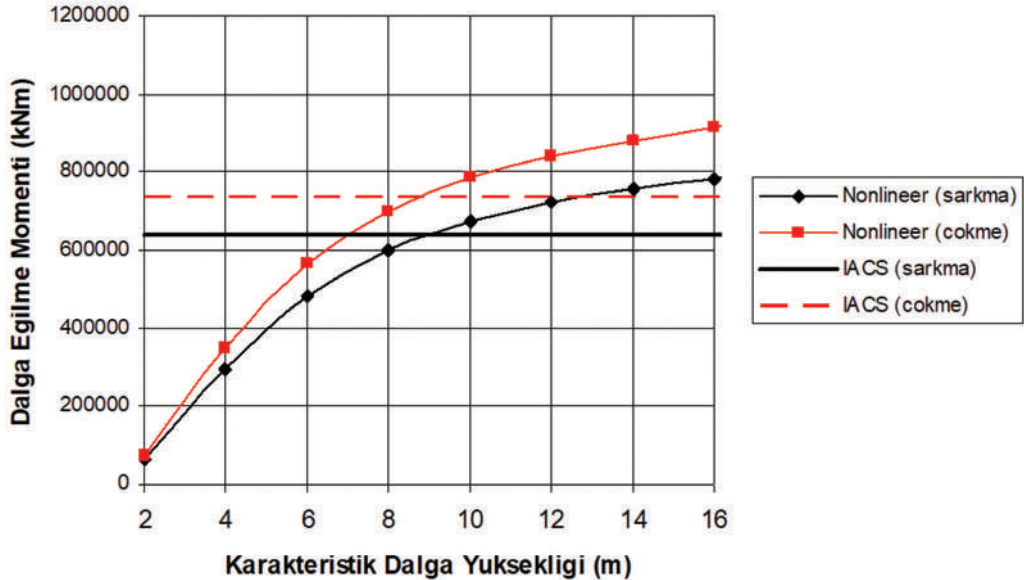
$$M_{SARKMA} = \frac{2M_L}{1+R} = \frac{3.46C_B M_L}{2.73C_B + 0.7} = 0.922M_L$$

$$M_{COKME} = \frac{2RM_L}{1+R} = \frac{2(C_B + 0.7)M_L}{2.73C_B + 0.7} = 1.077M_L$$

Uzun süreli dalga eğilme momenti hesaplamaları seçilen deniz sahasına bağlı olarak değişecektir. Örneğin Akdeniz [15] ve Kuzey Atlantik için hesaplanmış değerler aşağıda karşılaştırılmaktadır.

Tablo 2. Uzun Süreli Dalga Eğilme Momenti Değerleri

	Lineer (kNm)	Sarkma (kNm)	Çökme (kNm)
Akdeniz	851617	785191	917192
Kuzey Atlantik	1025466	945480	1104427



Şekil 6. Hesaplanmış Nonlineer Kısa Süreli Maksimum Dalga Eğilme Momentlerinin IACS Kural Değerleri İle Karşılaştırması

hesap dikkate alınır, Klas Kuruluşları ve IACS kurallarına göre elde edilen eğilme momenti değerleri örnek geminin yaklaşık 9 m karakteristik dalga yüksekliğine kadar güvenli olduğu, daha yüksek karakteristik dalga yüksekliklerinde ise makalede belirtilen hesaba göre daha küçük eğilme momenti değerleri verdiği görülmüştür. Ayrıca Tablo 2 dikkate alınır, Akdeniz ve Kuzey Atlantik bölgeleri için yapılan Uzun Süreli dalga eğilme momenti hesabına göre Kuzey Atlantik için yapılan hesaplamalarda Akdenize göre örnek gemi için yaklaşık olarak %20 daha büyük eğilme momenti hesaplanmıştır. Dizayn aşamasında bu hususlara dikkat edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Sarıöz, K. (1995). Gemi İnşaatı Ders Notları (Gemi Ön Dizaynı), İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, 1995:1558.
- [2] Li M., Boulougouris E., Lazakis I. ve Theotokatos G. (2016). Analysis of the Wave-Induced Vertical Bending Moment and Comparison with the Class Imposed Design Loads for 4250 TEU Container ship, International Conference on Maritime Safety and Operations, Glasgow, UK, 13th – 14th October 2016.
- [3] Paik J. K., Kim D. H., Bong H. S., Kim M. S. ve Han S. K. (1992). Deterministic and Probabilistic Safety Evaluation for a New Double-Hull Tanker with Transverseless System, SNAME Transactions, 1992:100.
- [4] Frank W. (1967). Oscillation of Cylinders in or below the Free-Surface of Deep Fluids, NSRDC Report 2375, Naval Ship Research and Development Centre, 1967.
- [5] Fatigue Strength and Ultimate Capacity Check of Container Vessels Including the Effect of Springing and Whipping, Classification Notes, No 30.12, det Norske Veritas, July 2013.
- [6] Parunov J., Senjanovic I. ve Pavicevic M. (2004). Determination of Design Wave Bending Moments by Hydrodynamic Analysis, 16th Symposium on Theory and Practice of Shipbuilding, SORTA 2004, 21-23 October 2004, Plitvice, Croatia.
- [7] IACS, (2012). Common Structural Rules for Bulk Carriers, Chapter 4, Section 3, Hull Girder Loads 2012.
- [8] Mansour A. E. ve Wasson J-P. (1995). Charts for Estimating Nonlinear Hogging and Sagging Bending Moments, Journal of Ship Research, 1995:39(3).
- [9] Guedes Soares, C. (1996). On the Definition of Rule Requirement for Wave Induced Vertical Bending Moments, Marine Structures, 1996:9.
- [10] Türk Loydu Tekne Yapım Kuralları, (2017). Kısım 1, Bölüm 6, Boyuna Mukavemet.
- [11] DNV-GL Rules and Standards, Part 3, Chapter 4, Section 4, Dynamic Hull Girder Loads, 2017.
- [12] ABS, (2012). Rules For Building And Classing, Steel Vessels, Part 3, Chapter 2, Section 1, Longitudinal Strength, Wave Loads.
- [13] Salvesen, N., Tuck, E. O. ve Faltinsen, O. (1970). Ship Motions and Sea Loads, Trans. SNAME, 1970:78.
- [14] Lee, T., W. (1995). Global Wave Statistics for Structural Design Assessments, Naval Surface Warfare Center, Research and Development Report, NSWCCD-HD-1048-01.
- [15] Özhan E., Middle East Technical University, NATO TU-Waves Project Technical Document (1994-2002).



A Study on Safety and Risk Assessment of Dangerous Cargo Operations in Oil/Chemical Tankers

Cenk ŞAKAR, Yusuf ZORBA

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty, Turkey

cenk.sakar@deu.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0001-5821-6312

yusuf.zorba@deu.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0002-5535-5971

Abstract

The safety and risk assessment of dangerous cargo operations in oil and chemical tankers is a necessary process to prevent possible accidents during these operations. Fire and explosion are the major accidents encountered in tanker operations. In this study, a model was constructed through the Fuzzy Bayes Network Method for the probabilistic relationships between the causes of fire and explosion accidents that could occur during the tank cleaning process. The study is composed of two stages. Firstly, the variables that are the subject of the problem and that constitute the graphical structure of the Bayes Networks are identified. Then, expert opinion was sought as the statistical data on accident reports were not recorded properly while identifying the conditional probability of the relationships between the variables. Linguistic variables whose fuzzy membership functions were identified were used in detecting the probabilities. The findings of the sensitivity test revealed that the major reasons that could lead to fire and explosion during the tank cleaning process are ignition sources, reaction and safety culture.

Keywords: Bayes Networks, Fuzzy Logic, Risk Assessment, Tanker.

Petrol/Kimyasal Tankerlerde Tehlikeli Yük Operasyonlarında Emniyet ve Risk Değerlendirmesine Yönelik Bir Çalışma

Öz

Petrol ve kimyasal tankerlerde gerçekleştirilen tehlikeli yük operasyonlarının emniyet ve risk değerlendirmesi, bu operasyonlar sırasında meydana gelecek kazaların önlenmesi için gerekli bir süreçtir. Yangın ve patlama, tanker operasyonlarında karşılaşılan başlıca kaza tiplerindedir. Bu çalışmada bulanık bayes ağları yaklaşımı ile tanker operasyonlarından tank temizleme sürecinde meydana gelebilecek yangın ve patlama kazası nedenleri arasındaki olasılıksal ilişkiler için bir model oluşturulmuştur. Çalışma ana olarak iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, problemin konusu olan ve bayes ağlarının grafiksel yapısını oluşturan değişkenler belirlenmiştir. Daha sonra ise bu değişkenler arasındaki ilişkilerin koşullu olasılıklarının belirlenmesi sürecinde kaza raporlarına ilişkin istatistik verilerin yeterli olmamasından dolayı uzman görüşlerine başvurulmuştur. Olasılıkların ortaya çıkarılmasında, bulanık üyelik fonksiyonları belirlenmiş sözel değişkenler kullanılmıştır. Duyarlılık testi ile elde edilen çalışmanın bulgularında, tank temizleme sürecinde yangın ve patlamaya sebep olacak en önemli nedenler olarak ateşleme kaynakları, reaksiyon ve emniyet kültürünün olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bayes Ağları, Bulanık Mantık, Risk Değerlendirme, Tanker.

To cite this article: Şakar, C. and Zorba, Y. (2017). A study on safety and risk assessment of dangerous cargo operations in oil/chemical tankers. *Journal of ETA Maritime Science*, 5(4), 396-413.

To link to this article: <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2017.09226>

1. Introduction

Tanker operations may result in accidents that occur due to highly ambiguous factors like technical problems, human error or organizational deficiencies. Fire and explosion are the major accidents encountered in tanker operations, and they lead to human death, environmental pollution and economic losses. It may not always be sufficient to generate technical and operational solutions to decrease the probability of an accident. The main reason behind this is that the operations in tankers occur in different environmental conditions and thus, technical, human-based and organizational errors may emerge. As a result, it is necessary to develop an efficient safety and risk assessment model in tanker operations.

The major difficulty in safety and risk assessment is randomness, ambiguity and lack of knowledge. Randomness may be defined as lack of cause and pattern in the occurrence of events. Ambiguity, on the other hand, results from insufficient observation, unreliable data or the failures in equipment during measurement [1]. Lack of knowledge manifests itself when the expert does not have enough knowledge to define the relationship between the causes and effects [2]. Fuzzy set theory was developed to overcome ambiguity in risk analysis [3]. It is of great significance to reveal the cause-effect relationships among dangerous factors in safety assessment. In recent years, Bayes networks method has frequently been used in cause-effect analysis in which knowledge is ambiguous [1]. For example, Pasman and Rogers [4] utilized Bayes networks in the risk assessment studies of liquid hydrogen transport and tank stations. Kabir et al. [1] used Bayes networks in oil and gas pipes safety assessment. In their study, Zoullouti et al. [5] made the risk assessment of operating rooms through Bayes networks. Cockburn and Tasfamariam [6] applied

this method in seismic risk assessments. In addition to these fields, Bayes networks method has also been used in the field of maritime where ambiguities are common. Datubo et al. [7] and Ren et al. [3] utilized Bayes networks in the risk assessment of offshore platforms. While Hannien [8] used Bayes networks to prevent maritime accidents, Trucco et al. [9] benefited from this method to make the risk assessment of the organizational factors in maritime transport.

Bayes networks method is very effective in uncovering the relationships between variables in case of ambiguity. In this method, identifying the critical variables while detecting the factors leading to the accident is significant. The method is also effective in terms of obtaining quantitative and qualitative data from various sources and utilizing them. Thus, it provides ease of use in decision making processes especially when experimental data are not extensive [10]. The use of statistical data in risk assessment is a very useful method. No matter how important the data is, it may still not explain the exact cause of the accident. Particularly when historical data regarding the accident is insufficient, expert opinion becomes important to develop the risk model [11]. While making a judgment with high level of ambiguity, experts avoid using definite values in expressing themselves. Fuzzy set theory is commonly used when experts give reliable quantitative information [5].

The aim of this study is to develop a model for the assessment of fire and explosion risks that could occur in ships during the tank cleaning process. To this end, fuzzy Bayes networks method has been proposed for risk and safety assessment by integrating the fuzzy set theory and Bayes networks. Bayes inference was made by integrating verbal variables and fuzzy number-based probabilities.

1.1. Bayes Networks

Bayes networks are graphical models that reveal the probabilistic relationships among variables. In Bayes networks known as Directed Acyclic Graph (DAG), nodes represent variables, while the connections between them represent the relationships between the variables [12].

The relationships between the variables in Bayes network structure are expressed as family relationships. The node to which arrows are pointed is called the Child Node, while the nodes from which arrows originate are called Parent Nodes [9]. For each node in the network, dependence on parents is defined with conditional probability. [1]. Another frequently-used analogy to express the variables in Bayes is the tree analogy. Here, the nodes to which no arrows are pointed and which have no parents are called Root Nodes. Child nodes are named as Leaf Nodes when no arrows originate from them in Bayes network system, the Root Node shows the original cause, while the Leaf Node indicates the final effect [13]. According to this definition, in the Bayes network structure in Figure 1, variable A is the parent of variables E and B. In this case, variables B and E are the child nodes for variable A. Also, variable E is the parent of variables D and G, and variables B and D are the parent of variable C. Variables A is the root node as no arrows are pointed to them. Variables C and H indicate the leaf nodes [14].

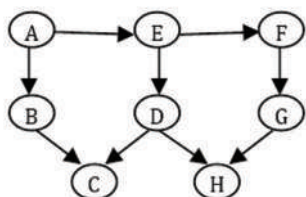


Figure 1. Bayesian Network Structure

In Bayes networks method, which is based on Bayes Theorem, conditional independence is used between the variables

in order to overcome ambiguity.

$$P(Y/X) = P(X/Y).P(Y)/P(X) \tag{1}$$

In the Bayes Theorem formula above, posterior probability is given with the $P(Y/X)$ terms on the left of the equation. This situation shows the probability of hypothesis Y when the effect of X evidence is considered. $P(Y)$ term indicates priori probability that could be expressed as the probability of Y. In this respect, priori probability may be considered as the subjective view regarding the occurrence of hypothesis Y based on past experience. Likelihood, which is expressed with $P(X|Y)$, gives the probability of evidence X when hypothesis Y is known to be true. $P(X)$ term is independent from Y and is called as normalizing or scaling factor. The Bayes networks method puts forward a methodology that combines subjective views with obtained evidence [15].

The Bayes networks method answers the questions that reveal the cause-effect relationships in “if this happens, what happens” form for the variables in the network structure. Such questions have very effective and flexible use as they can be used to make inferences from effects to causes through upward diagnosis and from causes to effects based on prediction. Furthermore, the network structure makes update possible through new information about variables [1].

1.2. Fuzzy Sets

The Fuzzy set theory was proposed by Zadeh [16] in 1965. It aims to remove the ambiguity that people use in their statements during the decision-making process using linguistic variables [1]. It is the extension of classical sets and defines ambiguity through fuzzy numbers and their membership functions [17]. Fuzzy logic enables to reveal the inferences without using mathematical calculations. As in

classical logic, there is no definite limit in belonging to a set in fuzzy sets, and this belonging is represented with membership degrees [5]. Fuzzy numbers represent the ambiguity in expert opinion with the membership function that takes values between 0 and 1. Linguistic variables are used to define the ambiguous expressions in natural languages with definite mathematical terms. There are different membership functions in fuzzy logic. The most common and mostly-accepted among these in fuzzy systems are triangular and trapezoid membership functions [18]. Trapezoid membership function is superior in terms of conceptual and operational easiness compared to the other functions and is commonly used in the membership functions of fuzzy numbers [19]. Thus, the membership function mentioned below was used in this study.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{x-a_4}{a_3-a_4}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x < a_4 \end{cases} \quad (2)$$

Defuzzification turns fuzzy numbers into definite values. Bayes networks and propagation algorithms function based on the definite values of priori and posterior probabilities. Thus, fuzzy numbers corresponding to the linguistic variables defined with fuzzy membership functions must be turned into definite numerical values [20]. For transformation from fuzzy numbers to definite numbers, different methods like maximum membership degree, center of area and weighted mean are used [17]. In this study, the center of area method was used to minimize the loss of knowledge and to make more correct analysis. The equation below was used to turn fuzzy numbers into definite numbers.

$$\text{defuzz}(\tilde{A}): \frac{\int x \cdot \mu(x) dx}{\int \mu(x) dx} = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \left(\frac{x-a_1}{a_2-a_1}\right) x dx + \int_{a_2}^{a_3} x dx + \int_{a_3}^{a_4} \left(\frac{a_4-x}{a_4-a_3}\right) x dx}{\int_{a_1}^{a_2} \left(\frac{x-a_1}{a_2-a_1}\right) dx + \int_{a_2}^{a_3} dx + \int_{a_3}^{a_4} \left(\frac{a_4-x}{a_4-a_3}\right) dx} = \frac{-a_1 a_2 + -a_3 a_4 + \frac{1}{3}(a_4 - a_3)^2 - \frac{1}{3}(a_2 - a_1)^2}{-a_1 - a_2 + a_3 + a_4} \quad (3)$$

2. Methodology

In the tank cleaning process in oil/chemical tankers, the assessment methodology of fire and explosion risk with the fuzzy Bayes method, which is composed of six stages, is displayed in Figure 2.

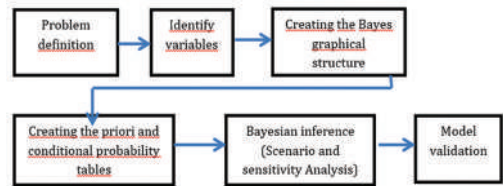


Figure 2. Major Steps in Developing and Analyzing a Bayesian Network

The first stage is identifying the problem and the conditions under which the accident occurred. The next stage is to collect the necessary information in order to reveal the variables that led to the accident. This piece of information may be obtained from accident reports and information databases as well as experts through brainstorming, questionnaires or in-depth interviews. Upon revealing all the variables related to the accident after getting expert opinion, the relationships are discovered for each node representing the variables.

The next stage following the identification of variables, or nodes, is determining the Bayes network graphical structure. The formation of Bayes networks is initiated through the creation of nodes and the graphical network structure that shows the relationship between these nodes. Graphical representation of the network is particularly useful when the relationships between nodes are difficult to express mathematically [21]. At this

stage, in addition to the formation of graphical structure, nodes and states are defined. When the available information is insufficient in defining the nodes and forming the Bayes network graphical structure, seeking expert opinion is a frequently-used method.

Following the formation of graphical structure of Bayes networks, priori and conditional probability tables must be created for each node. When compiling a conditional probability table, statistical information or expert opinion or both may be used. When statistical information is not enough, expert opinion is mostly sought. However, experts may subjectively be biased especially in forming conditional probability tables in large Bayes networks. In a node with a binary state, the probability assessment of n parent requires 2^n condition. In order for the expert not to make a mistake in the assessment of so many probabilities, "decomposition" method is used [22]. According to this method which is based on the study done by Kim and Pearl [23] in 1983, for A node that has parents B and C, the conditional probability dependent on the parents is approximated to the value below.

$$P(A | B,C) = \alpha P(A | B)P(A | C) \quad (4)$$

Here, α value is the factor that will normalize the total of conditional probability calculated for each condition of node A to 1. When nodes have multiple parents, the "decomposition" method helps greatly in forming conditional probability tables by assessing each parent separately.

Every expert may have different views about the probabilities of events depending on their experience and expertise. Here, the important point is reaching a consensus considering expert opinions. Different algorithms are used for this. Aglan and Ali [24] (2014) used triangle fuzzy numbers in combining expert opinion, while Hsu

and Chen [25] (1994) developed a model by using triangle fuzzy numbers together with trapezoid fuzzy numbers [26]. In these studies, each expert was asked to express the subjective features of conditional and priori probabilities of variables using linguistic variables. Modeling the subjective judgments expressed in this way through fuzzy numbers is a commonly-used method. The detailed algorithm that is obtained by reaching a consensus considering all expert opinions is as follows. This approach is known as Similarity Aggregation Method (SAM) [25].

- I. Calculating the degree of similarity of the opinions of a pair of experts: If the opinions of U_m and U_n experts are defined as trapezoid membership functions $U_m = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ and $U_n = (b_1, b_2, b_3, b_4)$, the similarity function of expert m to expert n is expressed with the formula below. The result is between 0 and 1, and the higher the value, the stronger the similarity.

$$S_{mn} = 1 - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 |a_i - b_i| \quad (5)$$

- II. Calculate Experts' Average Agreement (AA) The Average Agreement degree is defined as:

$$AA_m = \frac{1}{M-1} \sum_{\substack{i=1 \\ n \neq m}}^M S_{mn} \quad (6)$$

- III. The calculation of the relative degree of agreement (RA) is done with the formula below:

$$RA_m = \frac{AA_m}{\sum_{k=1}^M AA_k} \quad (7)$$

- IV. Determining expert consensus (Consensus Coefficient). Here, β is known as the optimism coefficient in similarity method and it takes a value between 0 and 1..

$$CC_m = \beta \cdot w_m + (1 - \beta)RA_m \quad (8)$$

V. Finally, expert opinions are aggregated through the formula below.

$$E_{AG} = C_1 \times E_1 + C_2 \times E_2 + \dots + C_M \times E_M \quad (9)$$

The fifth stage of risk and safety assessment is making inferences from the developed model. Following the creation of priori and conditional probability tables, quantitative analysis is done through Bayes network inference. The type of inference depends on the aim of accident analysis. For example, the prediction of the probability of the accident is fulfilled through the priori probabilities. On the other hand, the identification of the contribution of variables affecting the accident is possible through the identification of posterior probabilities [22]. Creation of scenarios and making sensitivity analysis help to make inferences from the developed model. The findings obtained from these inferences are presented with suggestions in order to prevent the re-occurrence of the accident.

The final stage is the verification of the model. Validity is of great significance for the reliability of findings of the Bayes network model. There are different methods in the literature to detect the validity of the model [21]. According to one method that is used commonly to acknowledge the validity of the model, the network structure must verify the following three axioms [21],[22],[27],[28],[11],[29]. This approach was utilized in the current study for the validity of the network structure.

1. A certain degree of increase or decrease in the priori probabilities of each parent node must lead to a relative and significant increase or decrease in the relevant child node.
2. Different rates of increase in the priori probabilities of a parent node must have a consistent effect on the child node.
3. For the child nodes with more than one

parent, for example, the mere effect of parent x on the child node which has parents x and y or the mere effect of parent y must be stronger than the effect caused by parents x and y together.

3. Safety and Risk Assessment of Tank Cleaning Operation in Oil/Chemical Tankers

3.1. Identifying the Problem

When the reports of fire and explosion accidents that have occurred in oil/chemical tankers since the 1980 are examined based on the type of the tanker and the operation carried out by the tanker at the time of the accident, it is seen that more than half of the 77 accidents occurred during tank cleaning or the gas freeing process. When the accidents that occur after unloading are also considered as tank cleaning preparations, this number even gets higher. 217 seamen lost their lives due to such accidents. Expert opinion was sought in order to verify the data that are taken into consideration in identifying the research problem. 22 experts with oil/chemical tanker experience were asked the question "What do you think is the most dangerous process during the operations in oil/chemical tankers?" in the semi-structured interview format. All the participants answered this question as "Tank Cleaning and Gas Freeing". Thus, this theme was identified as the research problem.

3.2. Identifying the Variables

Literature review was conducted in order to identify the variables that lead to accidents during the process of tank cleaning and gas freeing in tankers. As no studies have been found in the relevant literature regarding the causes of fire and explosion accidents that occur during operations in oil/chemical tankers, the accidents that occurred in petrochemical process facilities and tank farms with similar dangers were examined and the



Figure 3. Fuzzy Bayesian Based Safety Assessment Model for Tank Cleaning Operation on Oil/Chemical Tanker

causes of these accidents were reached.

In the next stage, reports of the accidents that resulted in fire and explosion were obtained from international databases and they were subjected to content analysis. 77 fire and explosion accident reports that are in accordance with the conditions specified above were reached and these were used in the current study. The majority of the accident reports were retrieved from Global Integrated Shipping Information System (GISIS) developed by International Maritime Organization. Moreover, the accident reports of European Union and other developed countries were utilized. Following this stage, within the framework of qualitative research process, the variables that emerged as a result of the literature review and the examination of the accidents that occurred due to fire and explosion during the tank cleaning process were updated by getting expert opinion. The agreed variables can be seen in Table 1.

3.3. Defining the Nodes and Creating the Bayes Graphical Structure

Expert opinion was sought to create a pilot Bayes network showing the causes of fire and explosion during the tank cleaning process in tankers and the relationship between them. Experts were asked to express their opinions in two stages. In the first stage, the factors that must be considered in creating the network structure were identified by a group of academicians who are experienced in Bayes network construction. Furthermore, in one-to-one in-depth interviews with people who have worked in oil/chemical tankers for a long time, questions regarding the causes revealed through literature review and accident reports and regarding the other factors that contributed to these causes were asked to the experts. As a result of these interviews, a “pilot Bayes network model” was constructed with the participants.

Table 1. Variables Identified

Variables	Definition	States	
Level of Competence	Competence is a combination of knowledge, skills and attitude	High	Low
Safety culture	How the vessel operator and its crew deals with safety issues	High	Low
Personal condition	Indicates whether crew is fit to perform their tasks as tank cleaning	Suitable	Unsuitable
Crew negligence	Fail to care enough care or attention to job	Yes	No
Experience	Experience of crew for petrol/chemical tanker operations	Adequate	Inadequate
Stress level	Indicates stress level of crew	High	Standart
Tired	Describing whether crew is tired	Yes	No
Duties	Indicates duties of crew in charge for tank cleaning	High	Normal
Attention	Crew's level of attention when performing their tasks for t/c	High	Low
Level of manning	Number of crew participating in tank cleaning (t/c)	Adequate	Inadequate
Wrong risk assessment	Lack of proper risk assessment to identify hazards of operation	Yes	No
Lack of atm. testing	Poor testing of hazardous atmosphere	Yes	No
Mechanical Defect	Malfunction of equipment	Yes	No
Reaction	Indicates likelihood of reaction due to cargo and detergent	Yes	No
Open Wash	Tank is open to atmosphere during washing	Yes	No
Commercial pressure	Commercial pressure of charterer/owner to reduce cleaning time	Yes	No
Lack of equipment	Describing capacity of equipment and number of equipment onboard	Yes	No
Lack of ventilation	Indicates insufficient ventilation to remove explosive gas during t/c	Yes	No
Reactive substance	Handling of reactive cargo or detergent	Yes	No
Not enforcing t/c standard	Available guidance and procedure for tank cleaning are not followed	Yes	No
Poor tank cleaning	Insufficient tank cleaning to remove cargo remains from tank	Yes	No
Gas freeing	Describing the way of the removal of explosive gas during tank cleaning process	Right	Wrong
Inadequate t/c plan	Poor tank cleaning plan before commence operation	Yes	No
Explosive range in tank	Indicates Vapor-air mixtures within explosive range in tank	Yes	No
Lack of inert gas	Using insufficient inert gas to reduce oxygen content (5%) in tank	Yes	No
Inerted atmosphere	Showing oxygen content of tank is below %5	Yes	No
Deficient maintenance	Tank cleaning equipment are not maintained as per company pms	Yes	No
Metal contact	Collision of metal tools and tank walls during tank cleaning process	Yes	No

./..

Tablo 1. *Variables Identified (Cont')*

Variables	Definition	States	
Not obey ISM	Company ISM procedures are not followed	Yes	No
Gas leak	Describing gas leak to deck from cargo tank during t/c process	Yes	No
Gas accumulation	Likelihood of gas accumulation on deck after releasing from tank	Yes	No
Ergonomic design of deck	Describing the contribution of deck structure to gas accumulation	Suitable	Unsuitable
Cargo properties	Likelihood of gas accumulation on deck in terms of vapor density	Suitable	Unsuitable
Wind strength	Wind velocity for gas accumulation	Yes	No
Fire/Explosion	Likelihood of fire and explosion during tank cleaning process	Yes	No
Ignition	Likelihood of ignition due to impact, electrical, static sparks and open fire	Yes	No
Mechanical sparks	Likelihood of mechanical sparks due to equipment that are used during t/c	Yes	No
Electrical sparks	Likelihood of electrical sparks due to equipment that are used during t/c	Yes	No
Static sparks	Potential for development static sparks due to electrostatic discharge	Yes	No
Open fire	The things on deck will cause the spark such as match/lighter, hot work etc	Yes	No
Unsuitable Equipment	Describing equipment used on tanker whether they are suitable in terms of standards	Yes	No
Dropping metal tool	Indicates dropping metal equipment to tank during tank cleaning process	Yes	No
Equipment aging	Losing properties of equipment depending on the age of the equipment used in the t/c process	Yes	No
Tank electrostatic discharge	Describing whether electrostatic discharge is happened in tank	Yes	No
Human body electrostatic discharge	Likelihood of electrostatic discharge due to friction between fiber and human body	Yes	No
Static electric accumulation	Potential development of static electric in tank	Yes	No
Detergent	Describing whether detergent is used or not	Yes	No
High pressure water	Describing whether high pressure hot water is used or not	Yes	No
Steam	Describing steam is used or not	Yes	No
Insufficient grounding	Inadequate grounding to prevent electrostatic discharge	Yes	No
Bad grounding	Describing grounding is done wrongly by crew	Yes	No
Grounding equipment failure	Likelihood of grounding equipment failure	Yes	No
Explosive range on deck	Indicates Vapor-air mixtures within explosive range on deck	Yes	No

At the second stage, the aim was to verify the causes of accidents that were obtained before, to update the pilot Bayes network, and to identify the condition of the nodes that will appear in the network structure. At this stage, semi-structured in-depth interviews were conducted with masters who have worked on the tankers of the firms which have played a significant role in oil/chemical tanker management sector. As a result of the interview process, fire and explosion safety and risk assessment Bayes network structure model was constructed using the NETICA (Norsys Software Corp.2006) software as seen in Figure 3 with a full explanation of all variables and their possible states in Table 1.

3.4. Creating the Priori and Conditional Probability Tables

Conditional probability tables (CPT) and priori probabilities were created for each node in the Bayes network as a result of expert opinion as the reports on explosions that occurred during the tank cleaning process in oil/chemical tankers are not complete and the reports were not written properly.

For the assessment of the probabilities between the node relationships in the constructed network structure, three experts who worked in oil-chemical tankers and who now work in different departments in firms were identified. The experts are not equal in terms of their positions and experience. Table 2 indicates weighting criteria of different experts.

These experts were selected from among the people who contributed to the construction of Bayes network structure. Considering the fact that the experts may affect each other, each expert was interviewed separately on one-to-one basis. Before the interview, the experts were briefly informed about the aim of the study, the process of revealing the probabilities, and the function of Bayes network structure.

During the face-to-face interview, the selected experts were given some documents showing the meaning and the condition of the nodes whose probabilities the experts would assess. Thus, it was ensured that the expressions and variables that would be asked to the expert could be understood and assessed more easily. Before the interview, questions were prepared to reveal the probabilities that will indicate the strength of the relationship between parent nodes and child nodes. Based on this question format, linguistic variable scale was utilized so that the experts could assess the probabilities.

In probability assessment, for nodes with multiple parents, decomposition method defined section 2 was utilized. In this way, experts did not need to answer too many questions for the same situation, and thus, it was aimed to reach correct results.

Table 2. Weighting Criteria of Different Experts

Constitution	Classification	Score
Professional position	Academician/SIRE Inspector	5
	Operation manager	4
	Safety manager	3
	Master	2
	Chief Officer	1
Sea service time (Tanker)	≥ 16	5
	11-15	4
	6-10	3
	3-5	2
	≤2	1
Shore service time (Tanker)	≥ 16	5
	11-15	4
	6-10	3
	3-5	2
	≤2	1
Educational level	PhD	5
	Master	4
	Bachelor	3
	Vocational high school	2
	School level	1

Table 3. Expert Judgment on Crew Negligence and Conditional Probability Table

CPT					
Crew negligence					
Yes		0,08		0,76	
No		0,92		0,24	

Assessment of crew negligence node					
Condition	Parent node	Crew negligence			aggregation
	Attention	Expert 1	Expert 2	Expert 3	
1	High	VL	VL	VL	0,080
2	Low	H	MH	H	0,760

Table 3 shows the conditional probability table sample of the crew negligence node corresponding to each condition of attention node. It was revealed that when the personnel has low levels of attention during the tank cleaning process, the probability of the occurrence of personnel negligence in tank cleaning is 76%. Here, while expressing their ideas regarding the relationship between parent node (attention) and child node (crew negligence), the experts used linguistic variables like “low” or “very high”. Each

linguistic variable was defined with fuzzy numbers according to the fuzzy trapezoid membership function as seen in Table 4.

As the experience levels and interests of the experts are different, the weight factor in Table 5 was used.

To reach a consensus from expert opinions, “similarity aggregation method” developed by Hsu and Chen[25] was used and the opinions were expressed in fuzzy numbers. As definite numbers are needed in Bayes networks, defuzzification was made through the center of area method (equation 3) and the relationship probabilities were obtained as percentages. Table 6 presents the aggregation of expert opinions regarding crew negligence node.

Table 4. Fuzzy Scale

Linguistic terms	Fuzzy sets
Very low (VL)	(0,0.1, 0.1, 0.20)
Low (L)	(0.1, 0.2, 0.2, 0.3)
Mildly low (ML)	(0.2, 0.3, 0.4, 0.5)
Medium (M)	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)
Mildly high (MH)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
High (H)	(0.7, 0.8, 0.8, 0.9)
Very high (VH)	(0.8, 0.9, 1.0, 1.0)

4. Scenario Analysis and the Evaluation of the Model

Bayes network enables to define the errors with backward analysis in the developed model as well as making it possible to conduct forward analysis. Thus, it is commonly used in prediction analysis.

Table 5. Expert Profile and Decision Weights

No of expert	Title	Sea service	Shore service	Educational level	Weighting score
E1	SIRE Inspector	6-10	6-10	Bachelor	14/41=0,341
E2	Operation Manager	6-10	11-15	Master	14/41=0,341
E3	Safety manager	6-10	11-15	Bachelor	13/41=0,317

Table 6. Aggregation Calculation and Defuzzification for Crew Negligence

Expert 1 (E1)		0,7	0,8	0,8	0,9
Expert 2 (E2)		0,5	0,6	0,7	0,8
Expert 3 (E3)		0,7	0,8	0,8	0,9
S (E12)	0,85		AA (E1)	0,925	
S (E13)	1		AA (E2)	0,850	
S (E23)	0,85		AA (E3)	0,925	
RA (E1)	0,343		CC (E1)	0,330	
RA (E2)	0,315		CC (E2)	0,340	
RA (E3)	0,343		CC (E3)	0,342	
Weight of expert 1 (E1)	0,317				
Weight of expert 2 (E2)	0,366				
Weight of expert 3 (E3)	0,341				
Aggregation		0,640	0,742	0,776	0,877
Defuzzification (COA)	Under low crew attention, occurrence likelihood of crew negligence is 0,758				

In forward analysis, the occurrence probability of any node is revealed based on the priori probabilities of root nodes and the conditional independence of each node. In backward inference, on the other hand, the posterior probability of the variables in the network are calculated based on a certain observation or evidence [28].

4.1. Scenario Analysis

In order to assess the conformity of the Bayes network model, two hypothetical scenarios, which are named as best and worst case, were considered in addition to the present situation. 15 root nodes and states in the network structure in these scenarios are given in Table 7.

Following the identification of priori and conditional probabilities by the experts, the present case scenario was run with the Netica software. Here, 22.4% fire and explosion risk emerged during the tank cleaning operations. This situation points to the fact that tank cleaning during oil/chemical tanker operations is a very

dangerous process and if the necessary measures are not taken, the rate of risk may easily increase. The factors that could lead to the increase or decrease in risk level are indicated as nodes in the network structure. First, the best case scenario was taken into consideration to decrease the rate of fire and explosion risk.

In the best case scenario, the favorable conditions of the states of root nodes were considered. Here, as the 15 root nodes in the network structure are the main causes of the other factors that lead to fire and explosion in the tank cleaning process, changes were made in scenario analysis based on these nodes.

As seen in Table 7, when favorable conditions of the root nodes were made (%100), the risk of fire and explosion in the tank cleaning process is predicted as 9.74%. As for the worst case scenario, this time, the negative conditions of the same root nodes were made 100%. In this inference, the risk of fire and explosion increased to 78.1%. As expected, in the worst case scenario, a

Table 7. Results of Current, Best and Worst Case Scenario used Fuzzy Bayesian Model

	Best Case Scenario	Worst Case Scenario
Level of Competence	positive	negative
Safety culture	positive	negative
Experience	positive	negative
Level of manning	positive	negative
Wrong risk assessment	positive	negative
Open wash	positive	negative
Commercial pressure	positive	negative
Reactive substance	positive	negative
Ergonomic design of deck	positive	negative
Cargo properties	positive	negative
Wind strength	positive	negative
Human body electrostatic discharge	positive	negative
Detergent	positive	negative
High pressure water	positive	negative
Steam	positive	negative
Current Condition	Best case	Worst case

dramatic increase was observed in fire and explosion risk.

4.2. Sensitivity Analysis

Sensitivity analysis is a tool that reveals the action pattern of the Bayes network model. It shows how the changes and uncertainties in the network structure function when data about the nodes in network structure is entered. Sensitivity analysis reveals which variable in the model has the biggest effect on the target node, and the variables are ranked in terms of their effects [30]. In other words,

with sensitivity analysis, it is understood how sensitive the model is to the changes in the nodes. It is also possible to uncover the inconsistencies in the model through sensitivity analysis [28]. The major approach in this analysis is to find out the effect of the changes in the conditions of the nodes on posterior probabilities [3]. One way of making sensitivity analysis is the backward inference made with the assumption that the target node is realized (%100). In this inference, a comparison is made between the priori probability values and the posterior probability values, and the percentage of effect on target node and order of importance are obtained [22]. Another method used in sensitivity analysis is the “target node sensitivity analysis” used by Brosnan [31] in 2006. In this method, also named as forward inference, the effect of the changes in each node in the network structure on the target node is examined. Here, each node is entered a piece of evidence, or values, and the effect of each node on the target node is observed through the difference in the changes in posterior probabilities. Consequently, the node with the strongest effect on the target node is found [33].

In this study, target node sensitivity analysis was conducted. As seen in Table 8, it was assumed that each node in the network structure has evidence. When each node in the network structure occurred separately, its effect on fire and explosion posterior probabilities was calculated one by one. It is observed that the effect of the variables that are close to the target node in the network structure is stronger.

As seen in Table 8, the node with the strongest effect on fire and explosion risk in the tank cleaning process is ignition. The occurrence of ignition probability increases the risk of fire and explosion risk by 28%, from 22.4% to 50.4%. The second important factor affecting the fire explosion risk is reaction. Although the

Table 8. Mutual Information of Prior and Posterior Probability

	prior %	evidence %	fire/explosion prior %	fire/explosion posterior %	Change of probability %
Ignition	33,2	100	22,4	50,4	28,0
Reaction	3,74	100	22,4	48,9	26,5
Open Fire	20	100	22,4	40,2	17,8
Safety culture	19	100	22,4	38,8	16,4
Explosive range in tank	48,1	100	22,4	35,9	13,5
Gas freeing	36	100	22,4	35	12,6
Explosive range on deck	42,1	100	22,4	34,9	12,5
Mechanical sparks	35,4	100	22,4	34,7	12,3
Gas leakage	33,9	100	22,4	33,6	11,2
Unsuitable Equipment	35,6	100	22,4	33,6	11,2
Gas accumulation	36,3	100	22,4	33,1	10,7
Not obey ISM	37,8	100	22,4	33	10,6
Electrical sparks	45,8	100	22,4	32,6	10,2
Deficient maintenance	33,5	100	22,4	32,5	10,1
Crew negligence	33,9	100	22,4	32,1	9,7
Tank electrostatic discharge	35,9	100	22,4	31,5	9,1
Lack of atmosphere testing	35,9	100	22,4	31,2	8,8
Static sparks	40,4	100	22,4	31,2	8,8
Grounding equipment failure	42,1	100	22,4	30,3	7,9
Mechanical Defect	39	100	22,4	30,2	7,8

Table 9. Validation of Model by Axiom I-II

	Parent node		Child node		Child node	
	Level of competence		Stress level		Lack of ventilation	
Increase 20%	high	91	high	25,2	yes	31,2
Increase 10%		81		27,1		34,2
Prior probability		71		29,1		37,6
Decrease 10%		61		31		40,9
Decrease 20%		51		32,9		44,1

priori probability showing its occurrence probability in tankers is 3.74%, it leads to a 26.5% increase in fire and explosion risk if it occurs.

Another important factor in Table 8 is

the safety culture. When the safety culture of the workers in the firms and vessels is low, fire and explosion risk during the tank cleaning process increases by 16.4%. The other factors leading to an increase in

the risk are wrong gas freeing, existence of explosive gases on the deck, mechanical spark, gas leakage and the use of unsuitable equipment. Here, the striking finding is that child nodes as well as root nodes have a significant effect on fire and explosion risk.

4.3. The Validity of the Model

The three axioms specified in section 2 must be present for the nodes in the network structure. The verification of Axioms 1 and 2 was done as shown in Table 9. Here, the node “competence” is the parent node of the “stress level” and “lack of ventilation” child nodes.

According to Axiom 1, an increase in the priori probability of the parent node “competence” is expected to have a positive effect on level of stress and insufficient ventilation. As seen in Table 9, when a 10% increase occurs in competence node whose priori probability is 71%, a 2% and a 3.4% decrease is observed in the level of stress and insufficient ventilation, respectively. To verify Axiom 2, when an additional 10% increase occurs in the priori probability of the competence node, then, a 1.9% and a 3% decrease were observed, respectively. This means that the effect of the increases that could occur in parent node on the posterior probability of child node is consistent. It was further observed that a 10% decrease in the priori probability of parent node is proportional to the results revealed.

Table 10 was constructed to verify Axiom 3. As seen in the table, the parent nodes of child node ‘lack of atmosphere test’ are

‘crew negligence’ and ‘mechanical defect’. Here, the positive and negative effects of parent nodes on the child node (%100) were initially tested separately. When the probability of lack of crew negligence is set to 100%, the posterior probability of lack of atmosphere test decreases from 35.9% to 13.3%. When the probability of lack of mechanical defect is set to 100% alone, the probability of lack atmosphere test decreases to 17.4%. When two nodes occur at the same time, the probability of occurrence of insufficient atmosphere test is expected to be lower than the separate effects of two parent nodes. As seen in the table, the common effect of two child nodes was found to be 8%. These processes were repeated for the probability of occurrence of negative conditions of the child nodes, and findings validating Axiom 3 requirements were obtained. In other words, the positive effects of child nodes reduce the probability of insufficient atmosphere test, which leads to a decrease in fire explosion risk.

These three axioms were tested for all the child nodes in the Bayes network structure; thus, the validity of the structure was confirmed.

Among the other methods used to verify the Bayes network structure is the comparison of the findings of similar studies or the statistical data [32]. Within this framework, the causes of accidents obtained from accident reports were entered as evidence to the model. 10 accidents involving fire and explosion were run in the network structure and it was

Tablo 10. Validation of Model by Axiom I-II

	Prior probability		X13 Effect				X4+13 Effect		Fire / Explosion			
			Crew negligence		Mechanical defect				Prior probability		Posterior probability	
Lack of atmosphere testing	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
100 % positive	35,9	64,1	13,3	80,7	17,4	82,6	8	92	22,4	77,6	15,6	84,4
100 % negative			80,1	19,9	64,9	35,1	89	11			35,2	64,8

observed that accident risk was between 70% and 83%. This contributed to the validity of the network structure.

5. Results and Discussion

The effect of the variables that lead to fire and explosion in the tank cleaning process on each other and the relationship between them were examined with Bayes networks. The proposed model in this study informs the personnel working in tankers and the firms operating tankers about the causes of fire and explosion during the tank cleaning process and the risks posed. When the probabilities of the variables in Table 8 are examined, the most sensitive situations that are open to error during the operation can be described. The effect of variables on fire and explosion risk and the order of importance were revealed through sensitivity analysis. In the safety and risk assessment of fire and explosion during the tank cleaning process, the nodes of ignition, reaction, open fire, safety culture, explosive air/gas combination inside the tank, and the errors in the gas freeing were identified as the major variables that need to be taken into account. Based on the model structure, the measures that must be taken at the first stage to avoid fire and explosion in the tank cleaning process are as follows:

- The elements on the deck that could lead to ignition must be removed before tank cleaning. Measures must be taken particularly to prevent open fire and mechanical spark.
- If the load or detergent that could cause reaction danger involves the possibility of handling during tank cleaning, it must be understood that this process is very dangerous, and a suitable risk assessment must be conducted in order to prevent an explosion that could occur as a result of such an interaction.
- The effect of low safety culture of the firm and the workers on the other factors that lead to fire and explosion

must be considered, and the necessary measures must be taken to improve safety culture.

- A significant condition for the occurrence of fire and explosion is the existence of explosive gases in the tank and on the deck. The organizational, personnel-related, and structural factors that could lead to this situation must be taken into consideration.
- ISM procedures must be followed. The necessary measures must be taken to minimize personnel negligence.

Future studies may examine the relationships with the other nodes that contribute to the occurrence of these important nodes that lead to fire and explosion through backward inference method in a more detailed manner. Furthermore, prior to the tank cleaning process in oil and chemical tankers, the reliability of the model may be tested through the real-time implementation of the developed Bayes network model.

References

- [1] Kabir, G., Sadiq, R. and Tesfamariam, S. (2015). A fuzzy bayesian belief network for safety assessment of oil and gas pipelines. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2015:12(8):874-889.
- [2] Dolšek, M. (2012). Simplified method for seismic risk assessment of buildings with consideration of aleatory and epistemic uncertainty. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2012:(8):939-953.
- [3] Ren, J., Jenkinson, I., Wang, J., Xu, D. L. and Yang, J. B. (2009). An offshore risk analysis method using fuzzy bayesian network. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 2009:131(4):1-16.
- [4] Pasman, H. and Rogers, W. (2012). Risk assessment by means of bayesian networks: a comparative study

- of compressed and liquefied h2 transportation and tank station risks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2012;(37):17415–17425.
- [5] Zoullouti, B., Amghar, M. and Sbiti, N. (2017). Risk analysis of operating room using the fuzzy bayesian network. *International Journal of Engineering*, 2017;30(1):66-74.
- [6] Cockburn, G. and Tesfamariam, S. (2012). Earthquake disaster risk index for Canadian cities using bayesian belief networks. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 2012;6(2):128–140.
- [7] Datubo E, A., Wall, A., Saajedi, A. and Wang, J. (2008). Marine and offshore safety assessment by incorporative risk modelling in a fuzzy- bayesian network of an induced mass assignment paradigm. *Risk Analysis*, 2008;28(1):95–112
- [8] Hannien, M. (2014). Bayesian networks for maritime traffic accident prevention: benefits and challenges. *Accident Analysis and Prevention*, (73): 305-312.
- [9] Trucco, P., Cagno, E., Rugger, F. and Grande, O. (2008). A bayes belief network modelling of organisational factors in risk analysis: a case study in maritime transportation. *Reliability Engineering and System Safety*, 2008;(93):823–834.
- [10] Jones, B., Jenkinson, I., Yang, Z. and Wang, J. (2010). The use of bayesian network modelling for maintenance planning in a manufacturing industry. *Reliability Engineering and System Safety*, 2010;95:267–277.
- [11] Zhang, D., Yan, X., Yang, Z., Wall, A. and Wang, J. (2013). Incorporation of formal safety assessment and bayesian network in navigational risk estimation of the Yangtze River. *Reliable Engineer System Safety*, 2013;(118):93–105.
- [12] Pearl, J., (1988). *Probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of plausible inference*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- [13] Korb, K. B. and Nicholson A. E. (2004). *Bayesian artificial intelligence*. London: Chapman & Hall
- [14] Neapolitan, R. E. (2003). *Learning bayesian networks*. Upper Saddle River: Prentice-Hall
- [15] Lockamy, A. III (2011). Benchmarking supplier risks using bayesian networks. *Benchmarking: An International Journal*, 2011;18(3):409-427
- [16] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965;8:338–353.
- [17] Ross, T. (2004). *Fuzzy logic with engineering applications* (2nd ed.). West Sussex: Wiley
- [18] Gedik, N. (2017). Gemilerde Elektro-Teknik Zabiti olarak çalışacak kişiler için mesleki yeterlik ölçütlerin bulanık AHP yöntemi ile değerlendirilmesi. *Journal of ETA Maritime Science*, 2017;5(2):140-152.
- [19] Kabir, G. and Sumi, R. S. (2014). Power substation location selection using fuzzy analytic hierarchy process and promethee: a case study from Bangladesh. *Energy*. 2014;(72):717–730.
- [20] Ferdous, R., Khan, F., Sadiq, R., Amyotte, P. and Veitch, B. (2011). Fault and event tree analysis for process system risk analysis: Uncertainty handling formulations. *Risk Analysis*, 2011;31:86-107.
- [21] Rathnayaka, S., Khan, F., and Amyotte, P. (2012). Accident modeling approach for safety assessment in an LNG processing facility. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2012;25:414-423.

-
- [22] Wang, Y. F., Roohi S. F., Hu, X. M. and Xie, M. (2011). Investigations of human and organizational factors in hazardous vapor accidents. *Journal of Hazardous Materials*, 2011:191(1-3):69-82.
- [23] Kim, J. H. and Pearl, J. (1983). A computational model for causal and diagnostic reasoning in inference systems. Los Angeles: University of California,.
- [24] Aqlan, F. and Ali, M. E. (2014). Integrating lean principles and fuzzybow-tie for risk assessment in chemical industry. *Journal of Loss Prevent. Process Ind*, 2014:(29):39-48.
- [25] Hsu, H. M and Chen, T. C. (1996). Aggregation of fuzzy opinions under group decision making. *Fuzzy Sets and System*, 1996:79:279-285.
- [26] Lavasani, S. M., Zendegani, M. and Çelik, M. (2012). An extension to fuzzy fault tree analysis (ffta) application in petrochemical process industry. *Process Safety and Environmental Protection*. 2012:93:75-88
- [27] Yang, Z. L., Wang, J., Bonsall, S., and Fang, Q. G. (2009). Use of fuzzy evidential reasoning in maritime security assessment. *Risk Analysis*, 2009:29:95-120.
- [28] Cai B., Liu, Y., Zhang Y., Fan Q., Liu Z. and Tian X. (2013). A dynamic bayesian networks modeling of human factors on offshore blowout. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2013:26:639-649.
- [29] Sharma P. and Kulkarni, M. (2013). Bayesian belief network for assessing impact of factors on army's lean-agile replenishment system. *Journal of Military Studies*, 2013:7(1):11-23.
- [30] Marcot, B. G. (2012). Metrics for evaluating performance and uncertainty of bayesian network models. *Ecological Modeling*, 2012:230:50-62.
- [31] Brosnan, A. J. (2006). Sensitivity analysis of a bayesian belief network in a tactical intelligence application. *Journal of Battlefield Technology*, 2006:9(2):33.
- [32] Greenberg, R. (2007). A quantitative safety model of systems subject to low probability high consequence accidents. PhD, University of South Australia, System Engineering and Evaluation Centre.
-

1. Giriş

Gelişen bilim ve teknoloji neticesinde insan nüfusunun hızla arttığı dünyada endüstriyel üretim süreçlerinin olmazsa olmazlarından sıvı dökme kimyasal maddelere olan ihtiyaç da günden güne hızlanarak artmaktadır. İthalat ve ihracat oranları artan sıvı dökme kimyasalların dünya üzerinde istenilen yerlere sevk edilebilmeleri içinse denizyolu ulaşımı birinci ve en önemli faktördür.

Uluslararası literatürde “dangerous goods” ve “hazardous materials (hazmat)” olarak geçen tehlikeli ve zararlı maddelere olan bağıllık endüstrileşmiş toplumlarda hayatın bir gerçeğidir. Bugün binlerce değişik tehlikeli madde çok çeşitli alanlarda hatta gündelik hayatın içinde bile kullanılmaktadır [1].

ABD Ulaştırma Bakanlığı'na göre tehlikeli maddeler insana, mala ve çevreye zarar verebilecek her tür materyal ya da madde olarak tanımlanırken [2], Birleşmiş Milletlere (UN) göre, “fiziksel veya kimyasal özelliklerinden dolayı çevreyle etkileşime girdiğinde insan hayatına, eşyaya veya ekosisteme zarar veren maddelere tehlikeli maddeler” denir. Bunlar yüklem-boşaltma ve taşınması esnasında özel ilgi gösterilmesini gerektiren saf kimyasal ürünler, kimyasal karışımlar, radyoaktif maddeler, patlayıcılar, etkenler ve tehlikeli kalıntılardır [3].

Birleşmiş Milletler tehlikeli maddeleri fiziksel, kimyasal ve nükleer özelliklerine göre: Patlayıcılar ve piroteknikler, gazlar, yanıcı ve parlayıcı sıvılar, yanıcı, parlayıcı ve islandığında tehlikeli katılar, oksidanlar ve organik peroksitler, zehirli ve bulaşıcı malzemeler, radyoaktif maddeler (asidik veya bazik) aşındırıcı malzemeler ve tehlikeli atıklar gibi çeşitli tehlikeli maddeler olmak üzere dokuz başlıkta tasnif etmiştir [4].

Tehlikeli bir maddenin denizyolu ve taşımacılık sistemi içerisinde diğer yollarla taşınması esnasında dikkat edilmesi gereken ve uzmanlık gerektiren pek çok özelliği vardır[5].

Bütün taşıma sistemlerinde tehlikeli maddelerin taşınmasına ilişkin yapılan özel düzenlemeler, güvenli taşımacılık kavramı ve bu tip ürünlerin sınıflandırmaları göz önünde bulundurularak ilgili hükümetlerce yapılmıştır [6].

Tehlikeli maddeler ambalajlanmış ve dökme olmak üzere iki ayrı yük grubu şeklinde taşınabilirler. Dökme haldeki tehlikeli yükler büyük hacimlerde, kimyasal veya ham petrol tankerlerinde taşınırken, ambalajlanmış olanlar karayolu tankerleri veya portatif tanklar gibi küçük ölçekteki ambalajlarda taşınırlar [7].

Dökme yükler genel itibarıyla katı ve sıvı dökme yükler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Katı haldeki dökme yüklere kömür, çimento, maden cevheri, buğday, mısır gibi ürünler örnek olarak verilebilirken ham petrol, dizel, jet yakıtı, asit türevleri ve çok çeşitli kimyasal ürünler tankerlerle taşınan tehlikeli sıvı dökme yüklere örnek olarak gösterilebilir [6].

Sıvı dökme yükler, özel tanklarda taşınması gereken farklı yoğunluk ve akışkanlıktaki sıvılardır. Bu tip yükler taşıma ve depolama esnasında paketlenmemiş halde büyük hacimlerde elleçlenirler. Dökme sıvılar meyve suları, süt, bitkisel yağlar gibi yenebilen ve tehlikesiz sıvılar ile kimyasal çözücüler, ham petrol, işlenmiş petrol ürünleri, asitler ve sıvılaştırılmış gazlar gibi yenemeyen tehlikeli sıvılar olmak üzere iki ana kategoride değerlendirilebilir [8].

2. Kimyasal Tankerler

Dökme sıvıların denizyoluyla taşınması genellikle tanker kullanımını gerektiren bir işlemdir. Tankerler kendi içinde taşıdıkları yükün türüne göre ham petrol tankerleri, petrol ürünü tankerleri, kimyasal tankerler, sıvılaştırılmış gaz tankerleri ve özel kargolar taşıyan tankerler olmak üzere sınıflandırılmaktadır [9].

Kimyasal tankerler, sıvı dökme haldeki kimyasal maddeleri taşımak için kullanılan tankerlerdir. Kimyasal tankerlerde

taşınan yüklerin özel tanklara ve taşıma prosedürlerine ihtiyacı olduğundan kimyasal tankerler petrol tankerlerinden farklı olarak dizayn edilirler. Kimyasal tankerler aynı anda değişik özelliklere sahip çeşitli yükleri taşıyabilmek için farklı kapasitelerde, her birinin ayrı pompalama sistemi ve boru hattı olan birçok tanktan oluşur. Kimyasal tankerlerin tankları paslanma ve korozyonu engellemek amacıyla paslanmaz çelik, çinko, epoksi ve bir çeşit seramik olan “marineline” gibi maddelerle mantolanır [10].

Kimyasal tanker kargo sistemleri tanklardan, pompalama sistemlerinden, borulardan, havalandırma sisteminden, yük görüntüleme sistemlerinden, çevre kontrol sistemlerinden ve tank temizleme sistemlerinden oluşmaktadır [11].

Kimyasal tankerler, taşıyacakları yükün tehlike derecesine göre IMO tarafından üç sınıfa ayrılmıştır. IMO Tip I kimyasal tankerler en yüksek düzeyde tehlike ihtiva eden kimyasal yüklerin taşınmasına uygun şekilde inşa edilirken IMO Tip II ve IMO Tip III kimyasal tankerler sırasıyla azalan tehlike seviyelerine sahip kimyasal yüklerin taşınması için kullanılır. Her bir tip tankerin dip, faça, borda uzaklıkları gibi inşası sırasında dikkat edilmesi gerekli ayrıntıları vardır. Bunlar, taşıyacakları yükün arz ettiği tehlike riskini minimize etmek için uyulması

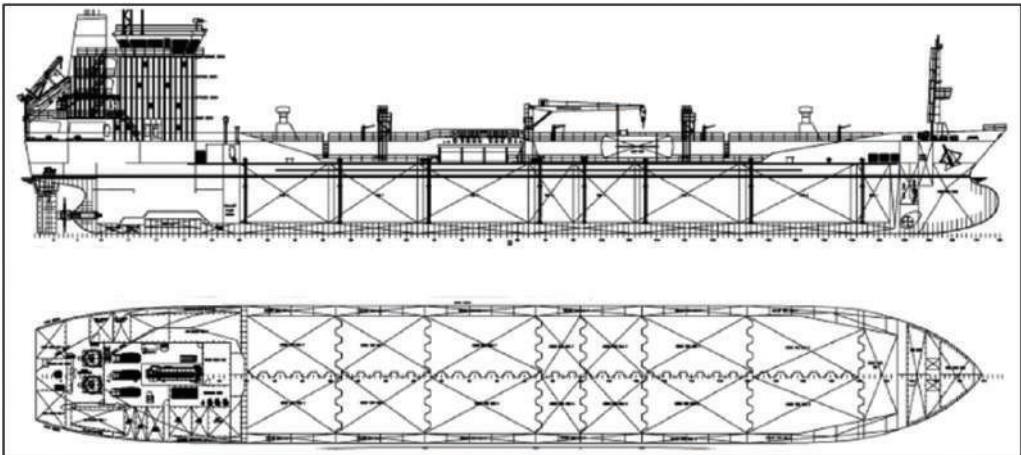
zorunlu esaslardır [12].

Kimyasal tankerlerle taşınan kimyasallar, özellikle organik olanlar, sıklıkla küçük parseller halinde titizlikle temizlenmiş ve ayrılmış tanklarda taşınırlar. Parsel bir defada gönderilen kargo miktarı olarak ifade edilmektedir. Kimyasal parsel tankerler ise geniş bir yelpazedeki sıvı dökme yükleri taşıyabilmek için dizayn edilmiş çok amaçlı gemilerdir. Kimyasal parsel tankerler dış görünüm olarak petrol ürünü tankerlerine benzerler ama içyapı olarak 10 ila 60 sayıları arasında değişen birbirinden ayrılmış birçok tanka sahiptirler. Toplam kargo kapasiteleri yaklaşık olarak 3.000 ton ila 40.000 ton arasında değişebilmektedir. Kimyasal parsel tankerler uluslararası inşa standartlarına tabidirler [13].

3. Tank Konteynerler

Konteyner endüstrisinde “tank” terimi genellikle paslanmaz çelikten, basınçlı yatay konumda silindirik bir kap ile çelik bir çerçeveden ibaret 20 foot-long (ft) tank konteynere atfen kullanılır [14].

Tank konteynerler dökme sıvıları, gazları, bazı toz haldeki maddeleri ve granülleri taşımak için kullanılan çoklu taşımacılığa uygun konteynerlerdir. Çeşitli sınıflardaki tehlikeli ve tehlikesiz yükleri taşımak için uluslararası düzenlemelere



Şekil 1. Kimyasal Parsel Tanker [11]

- Kısa süreler içerisinde temizlenip farklı bir ticari eşyanın taşınmasında hizmet verebilirler.
- Müşteriler için geçici depolama hizmeti verebilirler.

4. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, denizyoluyla taşınan tehlikeli sıvı dökme yüklerin taşıma şekillerinden kimyasal tanker ve tank konteyner taşıma şekillerini, belirlenen taşıma türü seçim kriterlerine göre kimyasal madde ithalatı yapan üreticiler gözünden değerlendirerek birbiriyle karşılaştırıp, bu taşıma şekillerinin tercih edilme durumlarını belirlemektir. Ayrıca taşıma şekillerinin seçimine etki eden kriterlerin önem derecelerinin ne olduğunun ortaya çıkarılması da hedeflenmiştir.

Çalışma kapsam olarak tehlikeli sıvı dökme yüklerin denizyoluyla taşınma şekillerinden kimyasal tankerler ve tank konteynerler üzerine hazırlanmıştır. Tehlikeli sıvı dökme yüklerin diğer taşıma yolları ile taşınması kapsam dışıdır. Ayrıca petrol ve petrol türevlerini oluşturan petrokimyasallar bu çalışmada tehlikeli madde olarak değinilen kimyasal maddelerin dışında tutulmuştur.

5. Araştırmanın Önemi

Denizyoluyla tehlikeli sıvı dökme yüklerin taşınmasında kimyasal tankerler ve tank konteynerlerin kullanılması çoğunlukla tercih edilen iki yöntemdir. Genelde tehlikeli sıvı dökme yüklerin taşınmasında taşınacak yük miktarının fazla olması kimyasal tanker, az olması tank konteyner seçeneğini ön plana çıkarıyor gibi görünse de alıcının ihtiyacı olan maddeyi bir defada toplu halde veya birden çok seferde parseller halinde getirme tercihini etkileyen depolama masrafları, taşımanın yapılacağı mesafe, güvenilirlik, envanter, kayıp/zarar oranı ve bunlara benzer faktörler bu iki taşıma şeklinin de tercih edilme durumlarını etkilemektedir.

Literatürde taşıma türü seçimi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmaların genelde ana ulaştırma sistemleri üzerine yapılan çalışmalar olduğu ve belirli miktarda bir yükün belirli bir rotada taşınmasında en uygun yolun hangisi olacağı sorusuna aradıkları cevabın karayolu, demiryolu veya denizyolu olduğu görülmüştür. Bu açıdan yaptığımız çalışmanın daha önce literatürde benzer bir şekilde yer almamış olması ve yukarıda belirttiğimiz duruma getirmiş olduğu bakış açısı çalışmanın önemini vurgulamaktadır.

6. Metodoloji

Araştırma metodu olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmış olup, bu metod karar verme süreci ile alakalı çalışmalarda kullanılabilen çok kriterli karar verme aracıdır [19]. AHP, ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmış ve 1977 de Saaty tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir [20]. AHP'nin temeli, karar hiyerarşisinin her bir aşamasında " $n \times n$ " boyutunda $A=(a_{ij})$ karar kriterlerinin karşılaştırma matrisinin oluşturulmasıdır. " A " işteş ve pozitif bir matris olup $a_{ij} = 1/a_{ji}$, $a_{ij} > 0$ 'dır [21]. AHP kullanılarak karar verme problemi çözümlenirken "ayrıştırma, karşılaştırmalı değerlendirme ve önceliklerin sentezi" şeklinde 3 basamak izlenir ve sonuçta karma kompozisyona göre nihai karar verilir. Bunlar aynı zamanda AHP yönteminin temel prensipleridir [22].

AHP'de problemler amaç, kriterler, alt kriterler, alternatifler ve bunlar arasındaki ilişkiyi de gösterecek biçimde hiyerarşik modeller halinde gösterilir. AHP, karar vericinin her bir kriterin göreceli önemlerini belirlemesine ve daha sonra her bir kritere göre karar alternatifleri arasında seçim yapmasına gereksinim duyar. Sonuçta AHP, kriter önceliklerinin belirlenmesini ve belirlenen bu kriter önceliklerinden hareketle alternatiflerin değerlendirilmesini

ve amacı gerçekleştirecek sağlıklı kararların alınmasını sağlar [23].

7. Ana Kütle ve Örneklem

Araştırmanın ana kütesini Türkiye’de faaliyet gösteren ve tehlikeli sıvı dökme kimyasal madde ithalatı yapan şirketler oluşturmaktadır. Ana kütlede yer alan kimya grubu şirketleri içerisinde oluşturulmaya çalışılan örneklem grubu seçilirken dikkat edilen hususlar yıllık ithal edilen tehlikeli sıvı dökme yük miktarları, şirketlerin ulaşılabilir olması, kimyasal tanker ve tank konteyner taşıma şekillerinden en az birini tercih ediyor olması gibi hususlar olmuştur. Neticede 30 kimya grubu şirketi örneklem olarak belirlenmiştir. Belirlenen 30 kimya grubu şirketinin senelik tehlikeli sıvı dökme yük ithalat miktarı 1.000.000.000 metrik tonun üzerinde tespit edilmiştir.

Seçilen örneklem grubuna AHP metodu

Tablo 1. Taşıma Türü Seçimini Etkileyen Kriterler

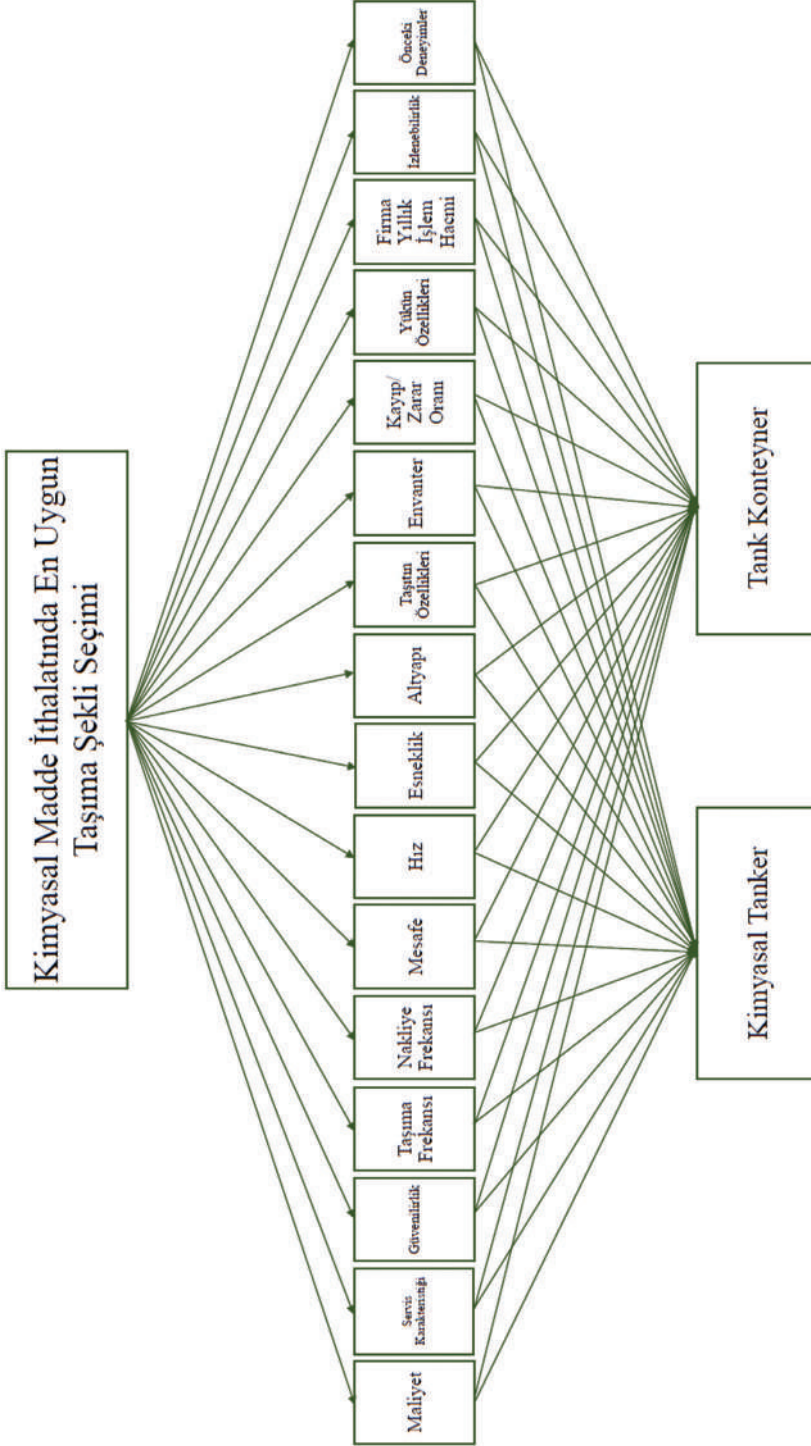
Yazar	Kriter																	
	Maliyet	Servis Karakteristiği	Güvenilirlik	Taşıma Süresi	Nakliye Frekans	Mesafe	Hız	Esneklilik	Altyapı	Taştın Özellikleri	Envanter	Kayıp/ Zarar Oranı	Yükün Özellikleri	Firmanın Yıllık İşlem Hacmi	Nakliye İzlenebilirliği	Önceki Tecrübeler		
Cullinane ve Toy, 2000	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
de Jong vd., 2000	x		x	x								x						
Kurri vd., 2000	x		x	x														
INRETS, 2000		x	x	x				x	x			x			x			
Gruppo Class, 2000	x		x	x	x			x				x						
Shinghal ve Fowkes, 2002	x		x	x	x													
Blauwens vd., 2002	x				x							x						
Velky ve de Jong, 2003	x		x	x	x			x		x								
Menendez, 2004	x			x	x													
Blauwens vd., 2006	x									x								
Grue ve Ludvigsen, 2006	x		x					x										
Arunotayanun ve Polak	x		x	x														
Daniels ve Marcucci, 2007	x		x	x				x										
Beuthe ve Bouffieux, 2008	x		x	x	x			x				x						
Vasco Reis, 2012	x		x	x				x										

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

dahilinde hazırlanan anket uygulanmış ve 21 katılımcıdan geri dönüş alınmıştır. Geri dönüşlerden iki anket değerlendirilmeye uygun görülmemiştir. Toplamda 19 tane anket değerlendirmeye tabi tutulmuş ve elde edilen bulgulara kaynak olmuştur.

8. Bulgular

Yük taşımacılığında taşıma türü seçiminin belirlenmesinde etkili faktörler ile ilgili yapılan literatür taraması sonucunda çalışmalarda yer alan ve taşıma türü seçimine etki eden 16 kriterin olduğu saptanmıştır. Tespit edilen bu kriterlerle oluşturulan AHP anketinin örneklem grubuna uygulanmasıyla kriterlerin, kimyasal tanker ve tank konteyner taşıma şekillerinin seçiminde hangi derecede etkili oldukları sayısal olarak ortaya konulmuştur. Bu kriterler ve literatürde yer aldıkları çalışmalar Tablo 1’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Araştırmanın Hiyerarşisi

Tablo 1’de incelenen çalışmalardan özellikle Cullinane ve Toy’un 2000 yılında 75 tane makaleyi tarayarak ortaya çıkardığı ve taşıma türü seçimini etkileyen kriterlerin tamamının yer aldığı çalışmanın [24] önem derecesi, yapılan araştırma için yüksek görülmüştür. Bunun nedeni, adı geçen çalışmanın 2000 yılından önceki çalışmaların tamamını içermesi ve kriterleri eksiksiz olarak göstermesidir. Ayrıca yukarıdaki tablo hazırlanırken Cullinane ve Toy tarafından 2000 yılında yapılmış olan çalışmadan sonraki araştırmalara da yer verilmiştir. Oluşan bu tabloya göre taşıma türü seçiminde bu seçimi gerçekleştiren ilgililerin dikkat ettikleri kriterlerin sırasıyla maliyet, servis karakteristiği, güvenilirlik, taşıma süresi, nakliye frekansı, mesafe, hız, esneklik, altyapı, taşıtın özellikleri, envanter, kayıp/ zarar oranı, yükün özellikleri, firmanın yıllık işlem hacmi, izlenebilirlik ve önceki deneyimler olduğu ortaya çıkmıştır. Anket çalışmasında, tespit edilen kriterlerle ilgili herhangi bir sınırlandırma yapılmaksızın, kriterlerin tamamına yer verilmiştir. Elde edilen bu kriterler ve bu kriterlerin tercih edilme

kararına olan etkilerini araştırdığımız iki alternatifimiz olan kimyasal tanker ve tank konteyner taşıma şekilleri alternatiflerini bir araya getirdiğimizde problemimizin hiyerarşik yapısı Şekil 3’te görüldüğü gibi oluşmuştur. Şekilde görüldüğü üzere kimyasal maddelerin ithalatında kullanılan en uygun taşıma şeklinin belirlenmesi olan problemin hedefi en tepede yer alırken en uygun taşıma şeklinin belirlenmesine etki eden kriterler ortada ve bu kriterler dahilinde karşılaştırılması yapılmak istenen kimyasal tanker ve tank konteyner alternatifleri hiyerarşinin en altında yer almıştır.

Sıvı dökme kimyasal madde ticareti yapan 30 kimya grubu şirketine gönderilen anketlerin 21’inden dönüş alınmış ve bunlardan iki tanesinin değerlendirme yapmaya uygun görülmemesi üzerine 19 anket değerlendirilmeye alınmıştır. Değerlendirmeye alınan 19 anketten elde edilen bulgular Şekil 4’te gösterilmiştir. Bu bulgular, anket çalışmasına verilen yanıtların AHP uygulamaları için geliştirilen “Expert Choice 11” adlı programa girilip analizlerinin yapılması neticesinde elde edilmiştir.

	Maliyet	Servis Karakteristiği	Güvenilirlik	Taşıma Süresi	Nakliye Frekansı	Mesafe	Hız	Esneklik	Altyapı	Taşıtın Özellikleri	Envanter	Kayıp Zarar Oranı	Yükün Özellikleri	Firma Yıllık İşlem Hacmi	İzlenebilirlik	Önceki Deneyimler
Maliyet	3,24225	2,33574	1,61927	2,53786	2,95233	2,41894	1,08887	1,73923	1,24285	1,63769	1,93338	1,06816	1,78363	1,46476	1,30369	
Servis Karakteristiği		3,32772	2,31687	1,02201	1,22132	1,35618	2,20779	2,33773	1,6127	1,29288	3,32194	2,95853	1,51919	2,11012	1,90066	
Güvenilirlik			3,01404	3,44115	2,82205	2,56704	1,77104	1,22679	1,02596	2,73464	1,32218	1,32249	1,6964	1,16507	1,0884	
Taşıma Süresi				2,43239	2,90728	1,60074	1,32509	1,06271	1,30924	1,24234	2,16582	1,14776	1,69349	1,16009	1,12359	
Nakliye Frekansı					1,69961	1,16258	1,32306	1,63807	1,62029	1,48399	3,54169	2,37138	1,0867	1,60758	1,89181	
Mesafe						1,46888	1,9942	1,88696	1,86449	2,59645	4,15002	2,94919	2,42454	2,7966	2,98278	
Hız							1,25273	1,59557	1,99373	1,58508	3,35483	2,53786	1,18609	2,04414	2,25112	
Esneklik								1,00387	1,45074	1,46256	3,30442	2,82782	1,1743	1,03627	1,05211	
Altyapı									1,27292	1,01158	3,08697	1,45884	1,22628	1,1154	1,23627	
Taşıtın Özellikleri										1,25835	2,53743	1,86732	1,04829	1,10006	1,38317	
Envanter											3,8995	1,60111	1,84672	1,04985	1,02725	
Kayıp Zarar Oranı												3,83506	4,3597	2,69691	2,3881	
Yükün Özellikleri													1,96423	1,93139	1,18864	
Firma Yıllık İşlem Hacmi														1,44395	1,58388	
İzlenebilirlik															1,50566	
Önceki Deneyimler																

Şekil 4. Ortak Karar Matrisi

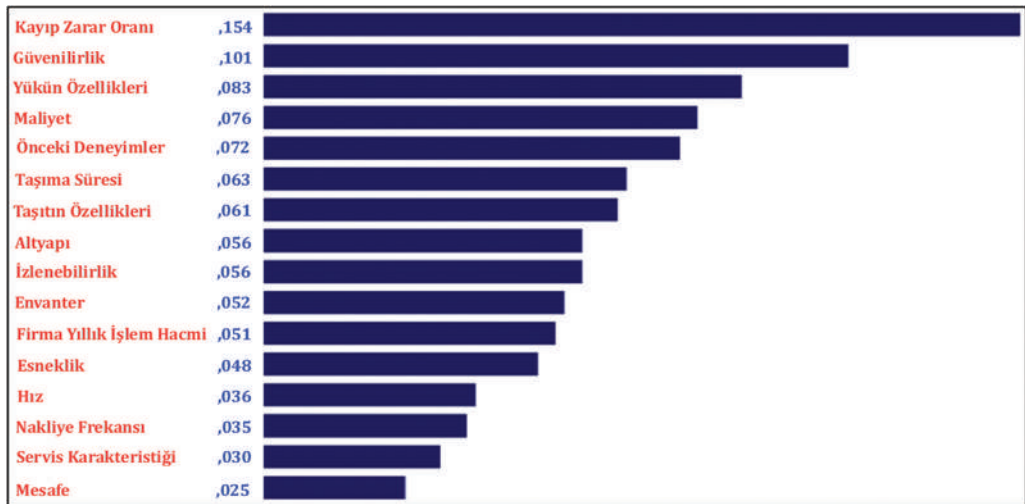
Şekil 4 anketi cevaplayan bütün katılımcıların taşıma türü seçimini etkileyen kriterlerle ilgili yaptıkları ve bunların birleştirildiği ikili karşılaştırmalar matrisini, bir başka deyişle ortak karar matrisini göstermektedir. Ortak karar matrisine göre anket dahilinde katılımcılardan alınan yanıtların tutarlılığının, yani anket tutarlılık oranının 0,02 olduğu tespit edilmiştir. 0,02 tutarlılık oranı, AHP uygulamalarında istenen tutarlılık değeri açısından 0,1 değerinin altında olma şartını yerine getirmektedir. Dolayısıyla anket bulguları tutarlıdır. Ortak karar matrisinin gösterildiği Şekil 4'te siyah renkte olan sayısal değerler ikili karşılaştırması yapılan kriterlerden satır değişkeninin sütun değişkenine göre daha önemli olduğunu, kırmızı renkte olan sayısal değerler ise bunun tam tersini ifade etmektedir.

Ankete katılanların vermiş oldukları cevaplar analiz edildiğinde Şekil 5'teki grafiğe ulaşmak mümkündür. Grafiğe göre "kayıp-zarar oranı" kriterinin, %15,4 ile diğer kriterler arasından sıyrılarak, taşıma türü seçiminde en çok dikkat edilen ve en çok önem verilen kriter olduğu ortaya çıkmıştır. "Güvenilirlik" kriteri %10,1 ile

ikinci sırada yer alırken, üçüncü sırayı %8,3 ile "yükün özellikleri" kriteri almıştır. "Maliyet" %7,6 ve "önceki deneyimler" %7,2 ile ilk beş sırayı tamamlayan kriterler olmuşlardır. Diğer kriterler %6,3 ile "taşıma süresi", %6,1 ile "taşıtın özellikleri", %5,6 ile "altyapı", %5,6 ile "izlenebilirlik", %5,2 ile "envanter", %5,1 ile "firma yıllık işlem hacmi", %4,8 ile "esneklik", %3,6 ile "hız", %3,5 ile "nakliye frekansı", %3 ile "servis karakteristiği" ve %2,5 ile "mesafe" şeklinde sıralanmışlardır.

Kriterlerin yüzde ağırlıklarına göre alternatiflerin sıralamasının verildiği Şekil 6'da kimyasal tanker taşıma alternatifi %62,5 ile ilk tercih edilen alternatif olurken tank konteyner taşıma alternatifi %37,5 ile kimyasal tankerin gerisinde kalmıştır. Grafik, anketi yanıtlayan 19 katılımcının vermiş oldukları kararların kombine edilmesiyle elde edilmiştir.

Şekil 7'deki grafikte her bir kriterin alternatifler için önem düzeyi veya ağırlığı karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Grafiğin en son sütununda ise bu önceliklerin genel değerlendirme yapılarak hangi alternatifin bu değerlendirme doğrultusunda daha tercih edilebilir olduğu gösterilmiştir. Kimyasal

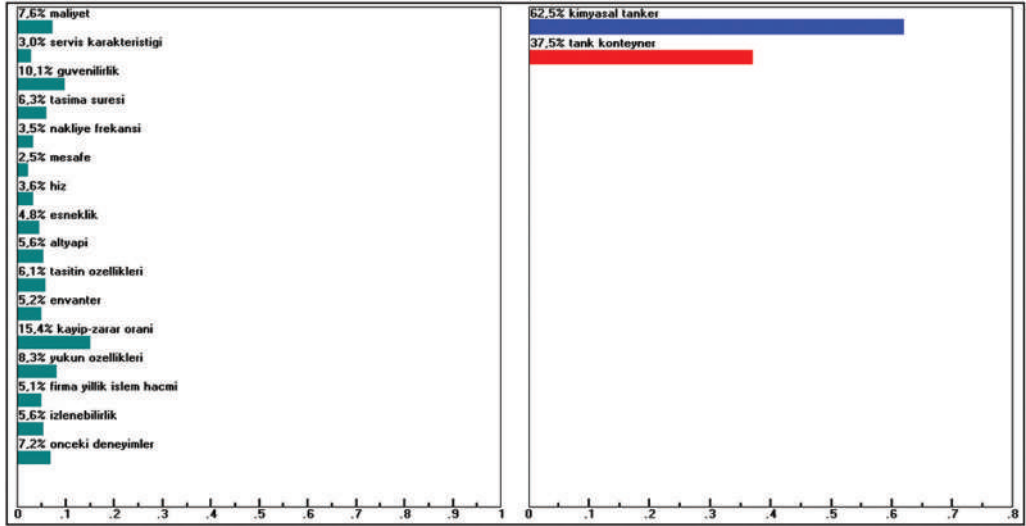


Şekil 5. Kriterlerin Öncelik Sıralamaları

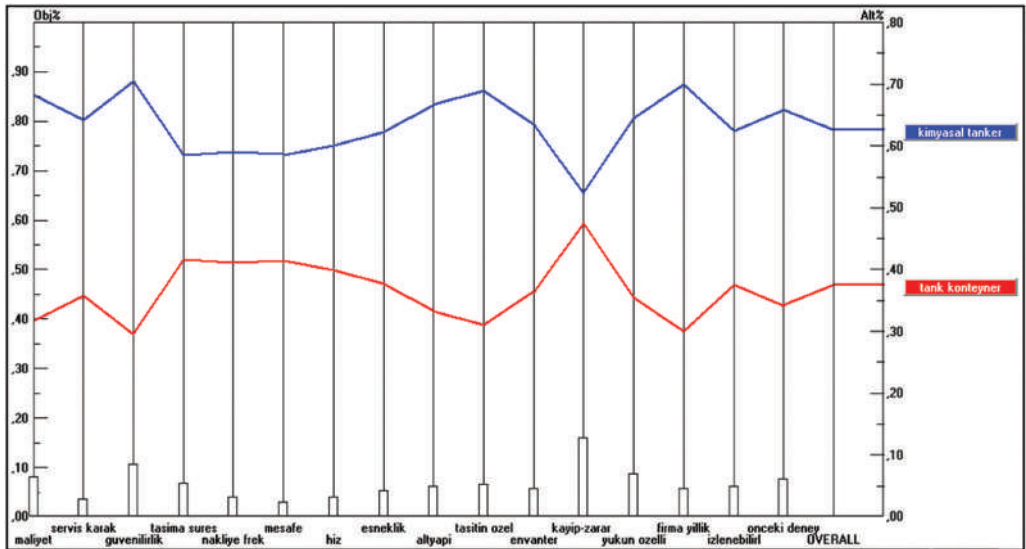
tanker alternatifi bu değerlendirme sonucunda birinci sırayı alırken tank konteyner alternatifi “kayıp/zarar oranı” hariç diğer bütün kriterler açısından kimyasal tanker alternatifinin altında kalmıştır. Bu iki taşıma şekli alternatifinin birbirine en yakın olduğu noktann “kayıp/zarar oranı” kriteri noktası olduğu anlaşılmaktadır.

9. Sonuç ve Öneriler

Tehlikeli sıvı dökme yüklerin denizyoluyla taşınması birçok düzenlemeyle kontrol edilen ve yönetilen bir faaliyettir. Kimyasal tanker ve tank konteyner taşıma şekilleri ise denizyoluyla tehlikeli sıvı dökme yüklerin taşındığı en yaygın taşıma şekillerinden ikisidir. Araştırmaya konu olan bu iki taşıma



Şekil 6. Kriterlerin ve Alternatiflerin Önem Düzeyleri



Şekil 7. Alternatifler için Kriter Önem Düzeyleri

türünün karşılaştırılmalı analizi, daha önce taşıma türü seçiminin belirlenmesiyle ilgili yapılmış çalışmalar arasında benzerinin yapılmamış olması nedeniyle önemlidir.

Yapılan literatür taramaları sonucu taşıma türü seçimine etki eden faktörlerin (kriter) neler olduğu araştırılmış ve neticede bu faktörlerin sırasıyla maliyet, servis karakteristiği, güvenilirlik, taşıma süresi, nakliye frekansı, mesafe, hız, esneklik, altyapı, taşıtın özellikleri, envanter, yükün özellikleri, firmanın yıllık işlem hacmi, kayıp/ zarar oranı, izlenebilirlik ve önceki deneyimler olduğu saptanmıştır. Yukarıdaki bulguların ışığında, taşıma türü seçimini etkileyen kriterlerin sıralamasına bakıldığında “kayıp-zarar oranı” kriterinin %15,4 ile diğer kriterler arasından sıyrılarak taşıma türü seçiminde en çok dikkat edilen ve en çok önem verilen kriter olduğu görülmüştür. Bu kriteri “güvenilirlik” ve “yükün özellikleri” kriterleri izlerken “maliyet” kriterinin bunları dördüncü sırada takip etmesi şaşırtıcı olmuştur. Bu açıdan katılımcıların, üretim süreçlerinin ve faaliyetlerinin aksamamasını daha çok önemsedikleri ve bunu maliyetin önünde tuttukları görülmektedir. Anketi cevaplayanlar “önceki deneyimlerin” taşıma türünü seçmede çok önemli olduğunu ifade etmiş, dolayısıyla bu konudaki tecrübelerin doğru kararlar verilmesinde etkin rol oynadığını ortaya koymuşlardır.

Karşılaştırılması yapılmak istenen iki taşıma alternatifinden kimyasal tanker yukarıda sıralanan kriterlerin etkisi altında %62,5 oranıyla tank konteynerden önde gelerek birinci taşıma alternatifi olarak belirlenmiştir.

Gelecekte bu çalışmaya paralel olarak yapılacak çalışmalarda kimyasal tanker ve tank konteyner taşıma türü karşılaştırılması yapılırken, taşıma maliyetleri, mesafe, depolama masrafları, yük miktarı ve bunlar gibi diğer lojistik bileşenlerin de içinde olduğu karmaşık bir taşıma türü seçimi denklemine, zaman ve

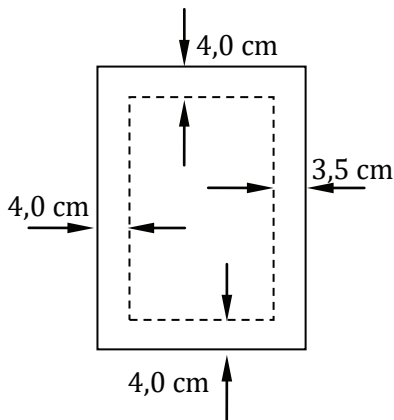
maliyet değerlendirmesi bakımından tercih edilebilirlik durumu için yanıt aranabilir. Bu sayede kimyasal tanker ve tank konteyner taşıma şekillerinde göz önüne alınan bileşenler bakımından bir başa baş noktası yakalanabilir.

Kaynaklar

- [1] Erkut, E., Tjandra, S. A. ve Verter, V. (2007). Hazardous Materials Transportation. Handbooks in Operations Research and Management Science: Transportation,(pp.539-621). Editors Cyntiha Bernhart and Gilbert Laporte. Amsterdam: Nort-Holland.
- [2] United States Department of Transportation – US DOT (2004). List of Hazardous Materials. Washington, DC.
- [3] United Nations Economic Commission for Europe – UNECE (2009). Recommendation on the transport of dangerous goods, model regulations. New York and Geneva.
- [4] United Nations Economic and Social Council’s Committee Experts on the Transport of Dangerous Goods (2001). UN recommendation on the transport of dangerous goods, model regulations.
- [5] Vuruk, G. (2008). Denizyolu Tehlikeli Madde Taşımacılığı Ve Türkiye Uygulaması, Sorunları Ve Çözüm Önerileri (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.
- [6] Zorba, Y. (2009). Uluslararası Deniz Ticaretinde Tehlikeli Yüklere İlişkin Güvenlik Yönetimi: Uluslararası Denizde Tehlikeli Yük Taşımacılığı Standartları (IMDG Code) ve Türkiye Uygulamaları. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [7] Mabbit, P. T. (1991). Inland Transport of Dangerous Goods. Studies in Environmental Science, 1991:45:319-330.

- [8] Port Technology International. Bulk Cargoes. Erişim Tarihi: 15 Eylül 2014. <http://www.porttechnology.org/results/search&keywords=%22bulk%20liquid%22>
- [9] Stopford, M. (2009). Maritime Economics. ABD ve Kanada: Routledge
- [10] Danish Ship Finance – DSF. Tankers. Erişim Tarihi: 20 Eylül 2014, <http://www.shipfinance.dk/en/SHIPPING-RESEARCH/Tankskibe>
- [11] Hammer, H. (2013). The Chemical Tanker Market: Does free competition cause for optimal use of vessels and lowest possible environmental footprint? Bergen: Norwegian School of Economics.
- [12] Altun, M. (1999). Kimyasal Tanker İşlemleri. İstanbul: Denizler Kitabevi.
- [13] Hanninen, S., Rytönen, J. (2006). Transportation of Liquid Bulk Chemicals by Tankers in the Baltic Sea. Finlandiya: VTT.
- [14] Brassington, B. (2009). Safe Handling Of Tank Containers. International Safety Panel: Safety Briefing Pamphlet Series 30.
- [15] Atco Asia. What are Tank Containers?. Erişim Tarihi: 22 Eylül 2014, <http://www.atcoasia.com/what-are-tank-containers/>
- [16] Intermodal Tank Transport – ITT. Isotanks. Erişim Tarihi: 22 Eylül 2014, <http://www.intermodaltank.com/isotanks.html>
- [17] AAW Global Logistics. Iso Tank Container. Erişim Tarihi: 22 Eylül 2014, http://www.aawglobal.com.au/hoy_glbl_agy/isotank.php
- [18] Savelsbergh, M., Morales, J. C. ve Erera A. L. (2005). Global Intermodal Tank Container Management for the Chemical Industry. Transportation Research Part E, 2005:41:551-556.
- [19] Vaidya, O. S. ve Kumar, S. (2006). Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. European Journal of Operational Research, 2006:169:1-29
- [20] Yaraloğlu, K. (2010). Karar Verme Yöntemleri. Ankara: Detay Anatolia Akademik Yayıncılık.
- [21] Harker, P. T. (1987). Alternative Modes of Questioning in the Analytic Hierarchy Process. Pergamon Journals Ltd. 1987:3(9):353-360.
- [22] Saaty, T. L. (1990). How to Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, 1990:48:9-26.
- [23] Aydın, G. (2008). Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bir Sanayi İşletmesinde Uygulanması. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
- [24] Cullinane, K. ve Toy, N. (2000). Identifying Influential Attributes in Freight Route/ Mode Choice Decisions: A Content Analysis. Transportation Research Part E: Logistic Transportation Review. 2000:36:41-53.

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 as per similar examples shown below:

Article

- [1] Nas, S. and Fışkın R. (2014). A research on obesity among Turkish seafarers. *International Maritime Health*, 2014: 65(4):187-191.

Book

- [2] Altunışık, R. (2010). *Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri*. Sakarya: Sakarya Yayıncılık.

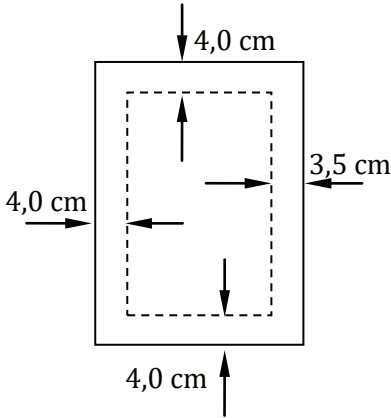
Thesis

- [3] Atik, O. (2013). *Takım liderliğinin mesleki kültür yönünden incelenmesi: Gemi kaptanları üzerine bir çalışma*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

Internet

- [4] Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı. (1999). VIII. Beş yıllık kalkınma planı hazırlık çalışmaları. Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2001, <http://plan8.dpt.gov.tr/>.

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 virgül 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 yayımlandığı 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. Aşağıda gösterilen benzer örneklere göre kaynakça hazırlanmalıdır:

Makale

- [1] Nas, S. and Fışkın R. (2014). A research on obesity among Turkish seafarers. International Maritime Health, 2014:65(4):187-191.

Kitap

- [2] Altunışık, R. (2010). Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri. Sakarya: Sakarya Yayıncılık.

Tez

- [3] Atik, O. (2013). Takım liderliğinin mesleki kültür yönünden incelenmesi: Gemi kaptanları üzerine bir çalışma, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

İnternet

- [4] Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı(1999). VIII. Beş yıllık kalkınma planı hazırlık çalışmaları. Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2001, <http://plan8.dpt.gov.tr/>

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 5 Issue 4 (2017)

Yasin KARAGÖZ	Yıldız Technical University	Turkey
Aykut SAFA	Yıldız Technical University	Turkey
Ömer GÖREN	İstanbul Technical University	Turkey
Osman TURAN	University of Strathclyde	UK
Barış KULEYİN	Dokuz Eylül University	Turkey
Erdal ARLI	Kocaeli University	Turkey
Ziya SAYDAM	Piri Reis University	Turkey
Sander ÇALIŞAL	Piri Reis University	Turkey
Sercan EROL	Karadeniz Technical University	Turkey
Vildan ÖZKIR	Yıldız Technical University	Turkey
Deniz ÖZDEMİR	İstanbul Bilgi University	Turkey
Mustafa İNSEL	İstanbul Technical University	Turkey
Tanzer SATIR	İstanbul Technical University	Turkey
Ali CÖMERT	Turkish Maritime Pilots' Association	Turkey
Emre AKYÜZ	Bursa Technical University	Turkey
Kadir ÇİÇEK	İstanbul Technical University	Turkey
Ömür AKBAYIR	Anadolu University	Turkey
Mehmet DEMİRTAŞ	Gazi University	Turkey
Alper KILIÇ	Bandırma University	Turkey



Journal of ETA Maritime Science

JEMS
JOURNAL

Volume 5 Issue 4 (2017) is indexed in

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

OAJI Open Academic
.net Journals Index



INDEX  COPERNICUS
INTERNATIONAL



 **INFOBASE INDEX**



MAIN SPONSOR OF THIS ISSUE



115 yıldır
gelişim devam ediyor



MAIN SPONSOR OF PTST'17 CONGRESS



From Left
> Boğaçay VIII ASD 80t / 2015
> Boğaçay IX ASD 80t / 2015
> Yeniçay I ASD 30t / 2015
> Yeniçay II ASD 30t / 2015

Having consistently led the industry,
for the past 40 years
with many firsts as the leading tug builder and operator in Turkey,

We are PROUD!

As a **pioneering** company with our young, modern, hi-tech fleet; a **strong player** with 16 tugs, including 9 ASDs; as an industry **leader** in Turkey with our **777-ton** towing power; a company **trusted** within jurisdiction of 7 different port authorities; an **exemplary** operator with zero accidents in 150,000 tugboat operations, and as a fine builder with our 156 newbuild tugs:

We are honored for being the pride of Turkey.



Sanmar Denizcilik A.Ş. Aydıntepe Mh. Güzin Sok. No:31 34947 İçmeler / Tuzla, İstanbul - TURKEY

T: 0 216 458 59 00 :: info@sanmar.com.tr
sanmar.com.tr



MAIN SPONSOR OF PTST'17 CONGRESS

limanlarımız, bizimle güvende!

uzmar.com.tr

Sunduğumuz üst düzey kılavuzluk ve römorkaj hizmetleri ile denizlerde emniyetin simgesi olmayı sürdüren ve Türkiye denizlerindeki kıyı tesislerine, gerektiğinde deniz kirliliği ve acil müdahale hizmeti de veren UZMAR; yüksek güvenlik gerektiren LNG operasyonları söz konusu olduğunda da en büyük güvenceniz.



DENİZLERDEKİ EMNİYETİNİZ



GOLD SPONSOR OF PTST'17 CONGRESS

• İleri ülkelerdekine benzer biçimde kılavuz kaptanların kurduğu **DENİZ KILAVUZLUK A.Ş.(DEKAŞ)** Kılavuzluk Hizmetlerinde Türkiye'ye çağ atlattı...



**DENİZ
KILAVUZLUK
A.Ş.**

GOLD SPONSOR OF PTST'17 CONGRESS



KONTEYNER TERMINALI



KONTEYNER/GEN. KARGO TERMINALI



RO-RO/GEN. KARGO TERMINALI



KONTEYNER TERMINALI

KALİTELİ - GÜVENLİ - SÜRATLİ - KESİNTİSİZ HİZMET



ARPAŞ AMBARLI RÖMORKAJ PİLOTAJ TİC. A.Ş.

Ambarlı Liman Tesisleri, Marmara Mh. Liman Cd. No:49/1-2 Kapı No:16-17/5 34524 Beylikdüzü - İstanbul / Türkiye
Pilot İstasyonu Tel:(0 212) 875 40 50 (51 - 52) Fax:(0 212) 875 40 53 info@arpas-pilotaj.com.tr www.arpas-pilotaj.com.tr



GOLD SPONSOR OF PTST'17 CONGRESS



Tugboat Construction



Pilotage



Towage



Emergency Response

MED MARINE

Thanks to its high-quality tugboats and experienced marine pilots, Med Marine is Turkey's leading towage and pilotage operator since 1995.

Pilotage & Towage Services
Construction Industry
and Trade Inc

HEAD OFFICE:

T: +90 (372) 311 18 00/01 line
F: +90 (372) 252 16 80

www.medmarine.com.tr



Dimer Anne Mah. Inebolu Sok. No:21, 34427,
Sisli, Kabaçak, İstanbul

info@medmarine.com.tr

SHIPYARD: T: +90 (372) 318 27 40 F: +90 (372) 18 27 42 info@ereglishipyard.com www.ereglishipyard.com
Gülüç Cengizbomu Kdz. Ereğli Zonguldak - Türkiye

This Page Intentionally Left Blank