



JEMS

JOURNAL OF ETA MARITIME SCIENCE



BAŞBÖYÜK, Ö (2016) Mersin International Port (MIP) Turkey



ISSN:2147-2955

Volume : 5

Issue : 3

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 |
| Layout | : Remzi FIŞKIN |
| Cover Design | : Selçuk NAS Remzi FIŞKIN |
| Cover Photo | : Selçuk NAS |
| Publication Place and Date | : |

The Chamber of Marine Engineers

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

Online Publication : www.jemsjournal.org / 30.09.2017

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.

JEMS JOURNAL

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

Foreign Language Editors

Ceyhan 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. Serdar KUM

İstanbul Technical University, Maritime Faculty

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

Res. Asst. Remzi FİŞKİN

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty

Naval Architecture Section Editors

Dr. Rafet Emek KURT

University of Strathclyde, Ocean and Marine Engineering

Prof. Dr. Dimitrios KONOVESSIS

Singapore Institute of Technology

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

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

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

Assoc. 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

Marcel·la Castells i SANABRA

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

Heikki KOIVISTO

Satakunta University of Applied Sciences, FINLAND

JEMS JOURNAL

MEMBERS OF ADVISORY BOARD:

Prof. Dr. Durmuş Ali DEVECİ

Dokuz Eylül University, Maritime Faculty, TURKEY

Prof. Dr. Mustafa ALTUNÇ

Girne University, Maritime Faculty, TRNC

Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT

İstanbul Technical University, Maritime Faculty, TURKEY

Prof. Dr. Mehmet BİLGİN

İstanbul University, Faculty of Engineering, TURKEY

Prof. Dr. Muhammet BORAN

Karadeniz Technical University, Sürmene Faculty of Marine Sciences, TURKEY

Prof. Dr. Bahar TOKUR

Ordu University, Fatsa Faculty of Marine Sciences, TURKEY

Prof. Dr. Oral ERDOĞAN (President)

Piri Reis University, TURKEY

Prof. Dr. Temel ŞAHİN

Recep Tayyip Erdoğan University, Turgut Kıran Maritime School, TURKEY

Prof. Dr. Bahri ŞAHİN (President)

Yıldız Technical University, TURKEY

Prof. Dr. Irakli SHARABIDZE (President)

Batumi State Maritime Academy, GEORGIA

JEMS SUBMISSION POLICY:

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

JEMS JOURNAL

CONTENTS

| | | |
|-------------|---|------------|
| (ED) | Editorial | 218 |
| | <i>Selçuk NAS</i> | |
| (AR) | Thermodynamic Properties of Unburned Reactant Mixtures for Different Kind of Fuels. | 220 |
| | <i>Hasan Kayhan KAYADELEN</i> | |
| (AR) | Analysis of the Effects of Welding Parameters on CO ₂ Gas Emission in Gas Metal Arc Welding of AH-36 Shipbuilding Steel with Metal Cored Wire. | 234 |
| | <i>Tolga MERT</i> | |
| (AR) | The Impact of Perceived Service Quality on Satisfaction: An Application on Marina Customers in Turkey. | 242 |
| | <i>Görkem DİKEÇ, Ali Cemal TÖZ</i> | |
| (AR) | Experimental Investigation of the Effects of Flexibility and Surface Properties on Slamming Loads in Water Entry of Cylinders and Spheres. | 258 |
| | <i>Fatih Cüneyt KORKMAZ, Bülent GÜZEL</i> | |
| (AR) | A Numerical Analysis of Exhaust Smoke Dispersion for a Generic Frigate. | 272 |
| | <i>Erinç DOBRUCALI, Selma ERGİN</i> | |
| (AR) | Determination of Critical Sediment Accumulation Zones in A Ballast Tank Model. | 290 |
| | <i>Ceren BİLGİN GÜNEY, Devrim Bülent DANIŞMAN, Şafak Nur ERTÜRK BOZKURTOÇLU, Fatma YONSEL</i> | |
| (AR) | Designing Intake Manifold of an Internal Combustion Engine Using Computational Fluid Dynamics. | 300 |
| | <i>Tolga DEMİRCAN, Zahir Emre POLAT, Hasan Tahir POLAT</i> | |
| | Guide for Authors | I |
| | JEMS Ethics Statement | V |
| | Reviewer List of Volume 5 Issue 3 (2017) | IX |
| | Indexing | X |

JEMS JOURNAL

İÇİNDEKİLER

| | | |
|-------------|--|------------|
| (ED) | Editörden | 219 |
| | <i>Selçuk NAS</i> | |
| (AR) | Farklı Yakıtlara Ait Yanmamış Dolgu Karışımlarının Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi. | 220 |
| | <i>Hasan Kayhan KAYADELEN</i> | |
| (AR) | AH-36 Gemi İnşa Çeliğinin Metal Özlü Telle Gazaltı Kaynağında Kaynak Parametrelerinin CO ₂ Gazı Emisyonuna Etkilerinin Analizi. | 234 |
| | <i>Tolga MERT</i> | |
| (AR) | Algılanan Hizmet Kalitesinin Memnuniyete Etkisi: Türkiye'deki Marina Müşterileri Üzerine Bir Uygulama. | 242 |
| | <i>Görkem DİKEÇ, Ali Cemal TÖZ</i> | |
| (AR) | Silindir ve Kürelerin Suya Girişlerinde Esnekliğin ve Katı Yüzey Özelliklerinin Dövünme Yüklerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. | 258 |
| | <i>Fatih Cüneyt KORKMAZ, Bülent GÜZEL</i> | |
| (AR) | Jenerik Bir Firkateyn için Egzoz Gaz Dağılımının Sayısal Analizi. | 272 |
| | <i>Erinç DOBRUCALI, Selma ERGİN</i> | |
| (AR) | Bir Balast Tankı Modelinde Sediman Birikimi Açısından Kritik Bölgelerin Tespiti. | 290 |
| | <i>Ceren BİLGİN GÜNEY, Devrim Bülent DANIŞMAN, Şafak Nur ERTÜRK BOZKURTOĞLU, Fatma YONSEL</i> | |
| (AR) | İçten Yanmalı Bir Motorun Emme Manifoldunun Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile Tasarımı. | 300 |
| | <i>Tolga DEMİRCAN, Zahir Emre POLAT, Hasan Tahir POLAT</i> | |
| | Yazarlara Açıklama | III |
| | JEMS Etik Beyanı | VII |
| | Cilt 5 Sayı 3 (2017) Hakem Listesi | IX |
| | Dizinleme Bilgisi | X |



Journal of ETA Maritime Science

JEMS
JOURNAL

Editorial (ED)

We are pleased to introduce JEMS 5(3) to our valuable followers. There are valuable and endeavored studies in this issue of the journal. We hope that these studies will contribute to the maritime industry.

I would like to announce with great pleasure that "PTST'17 Pilotage/Towage Services and Technologies Congress" will be held in İzmir on 27-28 October 2017. The congress is organized in cooperation with our chamber, "Turkish Chamber of Shipping", "Turkish Maritime Pilots' Association", "Directorate General of Coastal Safety" and is supported by Ministry of Transport, Maritime Affairs and Communications.

I would like to express my gratitude to authors who sent their valuable studies for this issue, to our reviewers, to our editorial board, to our section editors, to our foreign language editors who provide quality publications by following our publication policies diligently and also to layout editors who spent great efforts in the preparation of this issue.

Editor
Prof. Dr. Selçuk NAS



Editörden (ED)

JEMS 5(3)'ü değerli takipçilerimizin ilgisine sunmaktan mutluluk duyuyoruz. Dergimizin bu sayısında birbirinden değerli çalışmalar yer almaktadır. Dergimizde yer alan bu çalışmaların denizcilik endüstrisine katkı sağlamasını ümit ediyoruz.

Odamız, IMEAK Deniz Ticaret Odası, Türk Kılavuz Kaptanlar Derneği, Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü işbirliğiyle organize edilen ve T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı tarafından desteklenen "PTST'17 Kılavuzluk/Römorkörcülük Hizmetleri ve Teknolojileri Kongresi"nin 27-28 Ekim 2017 tarihlerinde İzmir'de gerçekleştirileceğini büyük bir memnuniyetle duyurmak isterim.

Bu sayı için değerli çalışmalarını gönderen yazarlarımıza, yayın politikalarımızı titiz bir şekilde takip ederek kaliteli yayınlar çıkmasına katkıda bulunan başta hakemlerimiz olmak üzere, bölüm editörlerimize, yabancı dil editörlerimize ve yayın kurulumuza, sayımızın yayına hazırlanmasında büyük emekleri olan mizanpaj editörlerimize teşekkürlerimi sunuyorum.

Editör
Prof. Dr. Selçuk NAS



Thermodynamic Properties of Unburned Reactant Mixtures for Different Kind of Fuels

Hasan Kayhan KAYADELEN

Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye
hkayhan@yildiz.edu.tr, ORCID ID: orcid.org/0000-0003-4292-3770

Abstract

Accurate estimation of adiabatic flame temperature and combustion product species play a key role in estimating performance and emission characteristics of internal combustion engines. This can be succeeded only with exact knowledge of temperature and thermodynamic properties of the unburned mixture. In this paper, thermodynamic properties of various fuels and fuel-air mixtures are presented. Differences in gas phase and liquid phase properties are discussed. Effect of equivalence ratio and unburned mixture temperature on enthalpy, specific heat and entropy of unburned fuel-air mixtures as well as effect of phase change on adiabatic flame temperature are shown. In order to serve as a recourse tool for researchers of combustion and internal combustion engines, the required polynomial coefficients used in calculation of thermodynamic properties are tabulated in famous NASA format for various important chemical compounds which are commonly used to represent surrogates of diesel, gasoline, Jet-A and many other fuels.

Keywords: Combustion, Fuels, Unburned Mixture, Thermodynamic Properties, NASA Format.

Farklı Yakıtlara Ait Yanmamış Dolgu Karışımlarının Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi

Öz

İçten yanmalı motorlarda yanma ürünleri ve adyabatik alev sıcaklığının hassas bir şekilde tayin edilmesi, performans ve kirletici emisyonların doğru olarak hesaplanabilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu da ancak yanmamış dolguya ait termodinamik özelliklerin tam olarak bilinmesiyle mümkündür. Bu çalışmada çeşitli yakıt ve yakıt-hava karışımlarının, ayrıca bunlarla birlikte bulunan diğer reaktanların varlığında termodinamik özelliklerin tayin edilebilmesi için hassas sonuç veren bir metot tanıtılmış, yakıtların sıvı veya gaz fazında bulunmaları halinde termodinamik özellikler ve adyabatik alev sıcaklığında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bahsedilen metot kullanılarak diesel, benzin, ve jet-A gibi yakıtları oluşturan ve sıkça kullanılan yakıt bileşenlerinin sıvı hallerindeki termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında kullanılacak katsayılar, yaygın olarak kullanılan NASA formatında hesaplanarak tablolaştırılmış, içten yanmalı motorlar üzerine çalışan araştırmacıların istifadesine sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yanma, Yakıtlar, Yanmamış Dolgu, Termodinamik Özellikler, NASA Polinomları.

1. Introduction

Improving cycle parameters such as thermal efficiency and work produced by an engine or reducing exhaust gas emissions are the main objectives of many studies on energy systems [1-4]. In order to calculate these cycle parameters precisely, we need an accurate computation of the changes of state due to combustion. Fuel-air mixtures are usually composed of more than one thermodynamic phase. Accordingly, rather than modeling the fuel-air mixture as an ideal gas mixture, a more realistic approach is to regard each individual species in their actual phases [5]. This task can be performed in two different ways, one of which is to provide the properties of the substances in a tabular form at predetermined temperature intervals and the values needed are calculated by interpolation. This method requires, handling thousands of thermodynamic values, large memory storage and does not permit use beyond the temperature limits of the table. A second and more commonly used technique is representation of the properties of each species by polynomials that allow direct calculation of the thermodynamic properties at any temperature. The polynomials obtained from fitting specific heat, entropy and enthalpy with simultaneous least squaring of are known as the NASA thermodynamic polynomials because of their use in a variety of NASA computer programs [6]. The NASA polynomials are usually fitted in the temperature range 300 to 5000 K one is for 300 to 1000 K and the other is from 1000 to 5000 K range [7]. Because the scope of this work is unburned mixture properties, polynomial coefficients of low temperature range (300 to 1000 K) is of concern.

Numerous researches of internal combustion engines and gas turbines [8-17] use these polynomial coefficients in performance calculations which calculate thermodynamic properties matching that

of famous combustion software CHEMKIN [18] and of Gaseq [19]. In most cases, these coefficients for individual substances can only be found for gas phase but gas phase polynomial coefficients cannot represent thermodynamic properties at liquid phase. Accordingly, direct usage of gas phase coefficients for calculation of unburned mixture properties cause deviations in thermodynamic properties which deteriorate performance parameters such as net cycle work, thermal efficiency and energy efficiency, and also parameters that affect pollutant emissions such as adiabatic flame temperature and the combustion products. For instance, according to [20] the thermal NO_x production rate doubles for every 90 K temperature increase beyond 2100 K.

In this study, a method presented in authors previous work [21] is used for calculation of polynomial coefficients for liquid fuels from the available ideal gas thermodynamic coefficients taken from [22]. Precision of presented liquid phase polynomial coefficients are improved. To show the reliability of the method, a comparison is made with polynomial coefficients which are directly derived from the actual liquid phase thermodynamic properties taken from the thermodynamic tables of NIST obtained from their renown software Refprop [23]. Calculation procedure of the unburned mixture temperature and mixture thermodynamic properties are presented for different fuel/air ratios and fuel compositions allowing any reactant species to be included in the unburned mixture. The required liquid phase polynomial coefficients for 14 most frequently used chemical compounds such as methanol, ethanol, isooctane, toluene, which represent surrogates of diesel, gasoline jet-A and other frequently used liquid fuels are tabulated in famous NASA format to provide a reference for researchers of combustion and internal

combustion engines. Effects of equivalence ratio and unburned mixture temperature on enthalpy, specific heat and entropy of unburned fuel-air mixtures as well as effects of phase change on adiabatic flame temperature are presented showing that correct determination of the polynomial coefficients is substantial to obtain thermodynamic properties, flame temperature and accordingly exhaust species accurately which would improve the precision of any thermo-economic and thermo-environmental model.

2. Theoretical Model

Equations (1)-(3) give molar specific heat, enthalpy and entropy respectively for each individual species *i* in the reactant mixture. a_{1-7} are the so called NASA polynomial coefficients of each species which are given in Table 2.

$$\frac{\bar{c}_{p,i}}{\bar{R}_u} = a_{1,i} + a_{2,i}T + a_{3,i}T^2 + a_{4,i}T^3 + a_{5,i}T^4 \quad [kJ/mol] \quad (1)$$

$$\frac{\bar{h}_i}{\bar{R}_u T} = a_{1,i} + \frac{a_{2,i}}{2}T + \frac{a_{3,i}}{3}T^2 + \frac{a_{4,i}}{4}T^3 + \frac{a_{5,i}}{5}T^4 + \frac{a_{6,i}}{T} \quad [kJ/mol] \quad (2)$$

$$\frac{\bar{s}_i^o}{\bar{R}_u} = a_{1,i} \ln T + a_{2,i}T + \frac{a_{3,i}}{2}T^2 + \frac{a_{4,i}}{3}T^3 + \frac{a_{5,i}}{4}T^4 + a_{7,i} \quad [kJ/mol] \quad (3)$$

where \bar{R}_u is the molar universal gas constant equal to 8.31434 kJ/kmol K defined as $\bar{R}_u = R_i M_i$ where M_i denotes the molecular weight of the unburned reactant. After obtaining the thermodynamic values for each species *i*, thermodynamic properties of unburned fuel-air mixture at a certain temperature can be calculated according to the molar ratios y_i as below:

Here, y_i stands for the mole fractions of four constituents of air (O_2 , N_2 , H_2O and Ar) and fractions of constituents of fuel if composed of more than one species. If present, any additional reactant species can be included in Eqs. (4)-(6). When the equivalence ratio is known, fuel and air mass ratios can be obtained as follows:

$$\phi = FA/FA_s \quad (7)$$

Here, FA is the fuel-air ratio and FA_s is the stoichiometric fuel-air ratio of the fuel. After obtaining the specific heats of air and fuel separately, temperature of the unburned fuel mixture can be calculated as follows:

$$T_u = \left[T_{fuel} C_{p,fuel} m_{fuel} + T_{air} C_{p,air} m_{air} \right] / \left[C_{p,fuel} m_f + C_{p,air} m_{air} \right] \quad (8)$$

Here, T_{fuel} is fuel temperature, $C_{p,fuel}$ is the fuel constant pressure specific heat, m_{fuel} is the mass of fuel, m_{air} is the amount of total combustion air, and $C_{p,air}$ is the constant pressure specific heat corresponding to T_{air} . If additional species exist, it should be included in Eq. (8) just as fuel and air.

For an arbitrarily selected liquid fuel toluene, thermodynamic properties obtained from Refprop are given in Figure 1. The validation of Refprop data and reference states given to Refprop are done using Gaseq unburned results at dedicated temperature and pressure. The pressure entered in Gaseq is the pressure given by Refprop 0,10577 atm at an arbitrarily selected temperature of 320 K. At this pressure and temperature, Gaseq gives the enthalpy as 568,18 kJ/kg matches well with that of NIST Refprop, 567,28 kJ/kg, shown in Figure 1.

$$c_{p,u} = m_{air} c_{p,air} + m_{fuel} c_{p,fuel} = m_{air} \left(\frac{1}{M_{air}} \sum_{i=1}^4 y_i \bar{c}_{p,i} \right) + m_{fuel} \left(\sum_{i=1}^n \frac{y_i \bar{c}_{p,i}}{M_i} \right) \quad [kJ/kg] \quad (4)$$

$$h_u = m_{air} h_{air} + m_{fuel} h_{fuel} = m_{air} \left(\frac{1}{M_{air}} \sum_{i=1}^4 y_i \bar{h}_i \right) + m_{fuel} \left(\sum_{i=1}^n \frac{y_i \bar{h}_i}{M_i} \right) \quad [kJ/kg] \quad (5)$$

$$s_u = m_{air} s_{air} + m_{fuel} s_{fuel} = m_{air} \left(\frac{1}{M_{air}} \sum_{i=1}^4 y_i \bar{s}_i \right) + m_{fuel} \left(\sum_{i=1}^n \frac{y_i \bar{s}_i}{M_i} \right) \quad [kJ/kg] \quad (6)$$

2: toluene: Saturation points (at equilibrium)

| | Temperature (K) | Pressure (atm) | Liquid Enthalpy (kJ/kg) | Vapor Enthalpy (kJ/kg) | Liquid Entropy (kJ/kg-K) | Vapor Entropy (kJ/kg-K) | Liquid Cp (kJ/kg-K) | Vapor Cp (kJ/kg-K) | Heat of Vapor. (kJ/kg) | Molar Mass |
|---|-----------------|----------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|------------------------|------------|
| 1 | 273,15 | 0,0089127 | 87,331 | 515,47 | 0,98853 | 2,5560 | 1,6254 | 1,0286 | 428,14 | 92,138 |
| 2 | 290,00 | 0,024213 | 115,13 | 533,21 | 1,0873 | 2,5289 | 1,6751 | 1,0975 | 418,08 | 92,138 |
| 3 | 320,00 | 0,10577 | 166,82 | 567,28 | 1,2568 | 2,5082 | 1,7720 | 1,2219 | 400,46 | 92,138 |
| 4 | 340,00 | 0,23850 | 202,96 | 591,61 | 1,3663 | 2,5094 | 1,8413 | 1,3065 | 388,65 | 92,138 |
| 5 | 360,00 | 0,48362 | 240,52 | 617,10 | 1,4735 | 2,5196 | 1,9136 | 1,3925 | 376,58 | 92,138 |
| 6 | 380,00 | 0,89896 | 279,57 | 643,60 | 1,5789 | 2,5369 | 1,9886 | 1,4803 | 364,04 | 92,138 |
| 7 | 383,40 | 0,99140 | 286,36 | 648,20 | 1,5966 | 2,5404 | 2,0016 | 1,4955 | 361,84 | 92,138 |

Figure 1. Output of REFPROP for Thermodynamic Properties of Toluene at Dedicated Temperatures and Reference States

However, entropy of Refprop, 2,5082 kJ/kg K, verified from Goodwin [24] seems inconsistent that of Gaseq, 3,75706 kJ/kg K. This is because entropy of Gaseq given at 320 K and 0,10577 atm is for ideal gas phase and therefore needs the following correction given by Eq.(9) according to the equation of Gibbs for liquid state entropy at equilibrium state and the heat of vaporization at corresponding temperature:

$$s_{liq} = s_{gas@0,10577atm} - \Delta h_{vap} / T = 3,75706 - 400,46 / 320 = 2,506 \quad [kJ/kgK] \quad (9)$$

$$h_{liq} = h_{gas} - \Delta h_{vap} = 568,18 - 400,46 = 167,72 \quad [kJ/kg] \quad (10)$$

Heat of vaporization in Eq. (9) and Eq. (10) can be calculated with Eq. (11) using the coefficients C₁-C₄ and reduced temperature T_r=T/T_c. Here, T is the temperature in Kelvin and T_c is critical temperature taken from [25]. C₃ and C₄ are equal to zero for the fuels investigated. Other variables used in Eq. (11) are tabulated in Table 1.

$$\Delta h_{vap} = C_1 (1 - T_r)^{C_2 + C_3 T_r + C_4 T_r^2} \quad (11)$$

In thermodynamics, the absolute values of enthalpy, entropy, and energy at a single state point are meaningless. It is only the difference between two different state points matters. Thus, the value for a single state point can be set to any arbitrary value.

Many handbooks set the arbitrary state point so that the values of these properties are positive for most liquid or gas states. The properties of enthalpy and entropy are computed as differences relative to some arbitrary reference state [26]. In this study, the liquid phase reference state enthalpies and entropies given to Refprop are set exactly to their values at 298,15 K and 1 bar which are calculated by substituting gas phase enthalpy and entropy values

at 298,15 K and 1 bar into Eqs. (9)-(10). Gas phase enthalpy and entropy values at 298,15 K and 1 bar are obtained with Gaseq software using gas phase thermodynamic coefficients a₁-a₇ for T=300-100K given in Table 2. Calculated liquid phase reference enthalpy and entropy values, which are used to obtain properties from Refprop relative to NASA reference states, are presented in Table 1.

Comparison of Table 3 and Table 4 show that enthalpy and entropy values calculated by Refprop according to the reference enthalpy and entropy data given in Table 1 can safely be used in obtaining liquid phase polynomial coefficients and will successfully represent the thermodynamic

Table 1. Parameters for Vaporization Enthalpy Equation and Reference Values for Enthalpy and Entropy Obtained from the Calculated Liquid Phase a_1 - a_7 Coefficients at 298,15 K and 1 bar

| | C_1 | C_2 | T_c | h_{liq} kJ/kg | h_{gas} kJ/kg | S_{liq} kJ/kgK | S_{gas} kJ/kgK | $\Delta h_{vap-REFPROP}$ |
|------------------|--------|---------|--------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|--------------------------|
| Toluene | 49,507 | 0,37742 | 591,75 | 129,84 | 542,69 | 2,0883 | 3,4730 | 412,85 |
| n-Decane | 66,126 | 0,39797 | 617,7 | -2114,76 | -1753,72 | 2,6249 | 3,8358 | 361,04 |
| Benzene | 45,346 | 0,39053 | 689 | 627,76 | 1061,32 | 1,9950 | 3,4492 | 433,56 |
| n-Pentane | 39,109 | 0,38681 | 469,7 | -2477,25 | -2210,96 | 3,9075 | 5,1360 | 366,29 |
| Methanol | 50,451 | 0,33594 | 512,5 | -7445,03 | -6276,03 | 3,5617 | 7,4825 | 1169 |
| Hexane | 44,544 | 0,39002 | 507,6 | -2302,9 | -1937,43 | 3,2859 | 4,5117 | 365,47 |

properties in consistency with Gaseq.

Properties of all fuels presented in Table 4 are obtained from the calculated liquid phase polynomial coefficients a_1 - a_7 . To obtain liquid phase polynomial coefficients, enthalpy values at 6 evenly distributed temperature in the range of 273,15 K to T_{sat} are taken from Table 3 which presents the liquid phase thermodynamic properties calculated with Refprop. These enthalpy values are used to solve the equation: $k \times A = B$ for k to obtain a_1 - a_6 where

$$A = \begin{bmatrix} 1 & T_1/2 & T_1^2/3 & T_1^3/4 & T_1^4/5 & 1/T_1 \\ 1 & T_2/2 & T_2^2/3 & T_2^3/4 & T_2^4/5 & 1/T_2 \\ 1 & T_3/2 & T_3^2/3 & T_3^3/4 & T_3^4/5 & 1/T_3 \\ 1 & T_4/2 & T_4^2/3 & T_4^3/4 & T_4^4/5 & 1/T_4 \\ 1 & T_5/2 & T_5^2/3 & T_5^3/4 & T_5^4/5 & 1/T_5 \\ 1 & T_6/2 & T_6^2/3 & T_6^3/4 & T_6^4/5 & 1/T_6 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} h_1 / (RT_1) \\ h_2 / (RT_2) \\ h_3 / (RT_3) \\ h_4 / (RT_4) \\ h_5 / (RT_5) \\ h_6 / (RT_6) \end{bmatrix} \quad k = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} \quad (12)$$

and h in kJ/kg. To obtain a_7 , Eq. (8) is used. As there is only one unknown, one temperature value is enough to solve a_7 from Eq. (13) below:

$$a_7 = - \left[a_1 \log(T_1) + a_2 T_1 + a_3 T_1^2 / 2 + a_4 T_1^3 / 3 + a_5 T_1^4 / 4 \right] - \frac{s_1}{R} \quad (13)$$

where s_1 is the liquid phase entropy at temperature T_1 . Using unburned mixture enthalpy, adiabatic flame temperature can be obtained minimizing ΔT as follows:

$$\Delta T = (h_u - h_b) / C_p \quad (14)$$

Here h_u is the total enthalpy of reactants, h_b is the enthalpy of the products and C_p is the specific heat of the burnt gas. Burned gas properties are calculated according to the chemical equilibrium method proposed by [6] and [27] considering 10 product species. Iteratively, adiabatic flame temperature is obtained by:

$$AFT^{n+1} = AFT^n + \Delta T \quad (15)$$

For each iteration (n), h_u , h_b and C_p are reevaluated until ΔT becomes less than

an acceptable tolerance which is taken as 10^{-5} in this study.

3. Results and Discussion

In order to determine liquid phase polynomial coefficients for toluene, n-decane, benzene, n-pentane and methanol and hexane, the actual enthalpy are entropy values taken from Refprop which are presented in Table 3. These values are obtained using the liquid phase reference states given in Table 1. Ideal gas thermodynamic data for low temperature (300-1000 K) [22] and calculated liquid

phase data are presented in Table 2. To validate the obtained liquid phase thermodynamic data, thermodynamic properties are calculated using Eqs. (1)-(3) using the obtained liquid phase data given

in Table 2. The values are presented in Table 4. Refprop values given in Table 3 and calculated values given in Table 4 are very close with an average absolute deviation in enthalpy |0.0011%|, entropy |0.0061%|

Table 2. Calculated Liquid Phase Coefficients a_1 - a_7 , from Results of REFPROP for 273,15 K to the Saturation Temperature at 1 bar and Gas Phase Coefficients for 300 to 1000 K

| Fuels | T (K) | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 | a_7 |
|----------------------------------|----------------------|------------|-----------|---------------|---------------|--------------|------------|-------------|
| CH ₃ OH | 273-T _{sat} | -646,7031 | 8,515793 | -0,04147624 | 8,96586E-05 | -7,23619E-08 | 9022,0516 | 2353,7397 |
| | 300-1000 | 2,660115 | 0,007342 | 7,17005E-06 | -8,79319E-09 | 2,39057E-12 | -25353,48 | 11,23263 |
| C ₂ H ₅ OH | 273-T _{sat} | -699,9972 | 9,176359 | -0,04476726 | 9,76705E-05 | -7,98241E-08 | 7602,1751 | 2553,734835 |
| | 300-1000 | 0,1791061 | 0,030906 | -1,936E-05 | 6,31831E-09 | -8,53167E-13 | -29567,061 | 24,47159 |
| C ₅ H ₁₂ | 273-T _{sat} | 156639 | -2165,53 | 11,2226243 | -0,025836427 | 2,22945E-05 | -9084275 | -561380 |
| | 300-1000 | 10,04976 | -0,019352 | 1,4755E-04 | -1,69026E-07 | 6,289703E-11 | -21454,04 | -12,12254 |
| C ₆ H ₆ | 283-T _{sat} | 391,2617 | -4,75421 | 0,02240288 | -4,67099E-05 | 3,65755E-08 | -22325,22 | -1448,37 |
| | 300-1000 | -3,13801 | 0,04723 | -0,0296E-04 | -0,03263E-06 | 1,71869E-11 | 8890,031 | 36,57573 |
| C ₆ H ₁₄ | 273-T _{sat} | -3959,3863 | 51,551371 | -0,250134802 | 0,000538815 | -4,34379E-07 | 215399,833 | 14438,617 |
| | 300-1000 | 1,836174 | 0,0509846 | 1,2596E-05 | -4,42836E-08 | 1,872237E-11 | -22927,49 | 20,88145 |
| C ₇ H ₈ | 273-T _{sat} | 13,04711 | 0,02703 | -0,00016714 | 6,89549E-07 | -7,17719E-10 | -3199,95 | -56,5045 |
| | 300-1000 | -2,53688 | 0,052899 | 1,4039E-06 | -4,07623E-08 | 2,037752E-11 | 4477,848 | 37,41512 |
| C ₇ H ₁₆ | 273-T _{sat} | 62,87312 | 0,00066 | -0,00202554 | 8,56744E-06 | -9,62659E-09 | -44656,880 | -303,351 |
| | 300-1000 | 11,1533 | -0,009494 | 1,9557E-04 | -2,49754E-07 | 9,848777E-11 | -26768,89 | -15,90968 |
| C ₈ H ₁₈ | 273-T _{sat} | 138,4995 | -1,39505 | 0,006389919 | -1,26202E-05 | 9,42853E-09 | -45321,297 | -530,156 |
| | 300-1000 | 1,1759 | 0,073227 | 1,1217E-05 | -5,564996E-08 | 2,463636E-11 | -28667,47 | 22,36527 |
| C ₉ H ₁₂ | 273-T _{sat} | 10,59797 | -2,64E-06 | 0,000262034 | -4,98291E-07 | 3,98255E-10 | -9294,742 | -38,485 |
| | 300-1000 | 4,674885 | 0,019894 | 1,25511-04 | -1,817844E-07 | 7,472863E-11 | -2122,436 | 11,830198 |
| C ₁₀ H ₈ | 273-T _{sat} | 8,819087 | 1,36E-05 | 0,000280991 | -5,16720E-07 | 3,43067E-10 | 7122,5606 | -40,2164 |
| | 300-1000 | -1,049195 | 0,046297 | 7,07592E-05 | -1,38408E-07 | 6,204754E-11 | 15984,9 | 30,21216 |
| C ₁₀ H ₁₄ | 273-T _{sat} | 9,904477 | -8,87E-06 | 0,000286849 | -4,93461E-07 | 3,56033E-10 | 2333,7534 | -37,1121 |
| | 300-1000 | 5,029490 | 0,006937 | 2,0424E-04 | -2,79971E-07 | 1,138555E-10 | 9970,859 | 10,68859 |
| C ₁₀ H ₂₂ | 273-T _{sat} | 7182,861 | -93,4367 | 0,456722542 | -0,00098965 | 8,02635E-07 | -482873,58 | -26164,3 |
| | 300-1000 | 15,43282 | -0,013298 | 2,82481E-04 | -3,65923E-07 | 1,45372E-10 | -35863,28 | -27,94543 |
| C ₁₁ H ₁₀ | 273-T _{sat} | 9,422619 | 1,14E-05 | 0,00028288876 | -4,85268E-07 | 3,00461E-10 | 17030,125 | -37,9392 |
| | 300-1000 | 1,591975 | 0,034402 | 1,24038E-04 | -2,01416E-07 | 8,67316E-11 | 25890,536 | 23,75374 |
| C ₁₆ H ₃₄ | 273-T _{sat} | 23,7035 | 8,87E-05 | 0,000653645 | -1,28346E-06 | 8,86626E-10 | -65348,85 | -90,7578 |
| | 300-1000 | -2,281474 | 0,185128 | -9,9178E-05 | 1,433984E-08 | 3,732305E-12 | -51744,93 | 56,00249 |
| N ₂ | 300-1000 | 3,298677 | 0,001408 | -0,0396E-04 | 0,056415E-07 | -0,02445E-10 | -1020,900 | 3,950372 |
| O ₂ | 300-1000 | 3,212936 | 0,001128 | -5,7562E-07 | 1,313877E-09 | -8,76855E-13 | -1005,249 | 6,034737 |
| H ₂ O | 300-1000 | 3,386842 | 0,003475 | -6,3547E-06 | 6,96858E-09 | -2,50659E-12 | -30208,11 | 2,590232 |
| Ar | 300-1000 | 2,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | -745,375 | 4,366 |

and specific heat |0.3918%|. The absolute average deviation is |0.133%|. Further, comparison of Table 3 and Table 4 shows that liquid and ideal gas thermodynamic coefficients are well interchangeable

temperature limit) and ended with the saturation temperature of each fuel at 1 bar.

Figure 2 shows the variation of enthalpy of unburned fuel-air mixture with equivalence ratios changing between

Table 3. NIST Refprop Liquid Phase Thermodynamic Data for Toluene, n-Decane, Benzene, n-Pentane, Methanol and Hexane

| Toluene | | | | n-Decane | | | |
|----------|-----------------------|---------|----------|-----------|-----------------------|---------|----------|
| T [K] | C _p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK | T [K] | C _p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK |
| 273,15 | 1,6257 | 88,269 | 1,9423 | 273,15 | 2,1040 | -2168,5 | 2,4369 |
| 290 | 1,6757 | 116,08 | 2,0410 | 290 | 2,1628 | -2132,6 | 2,5645 |
| 320 | 1,7731 | 167,79 | 2,2106 | 305 | 2,2183 | -2099,7 | 2,6750 |
| 340 | 1,8425 | 203,95 | 2,3202 | 320 | 2,2760 | -2065,9 | 2,7829 |
| 360 | 1,9145 | 241,54 | 2,4275 | 335 | 2,3356 | -2031,4 | 2,8885 |
| 380 | 1,9889 | 280,60 | 2,5329 | 345 | 2,3762 | -2007,8 | 2,9578 |
| 383,4 | 2,0018 | 287,39 | 2,5506 | 347,3 | 2,3856 | -2002,3 | 2,9736 |
| Benzene | | | | n-Pentane | | | |
| T [K] | C _p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK | T [K] | C _p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK |
| 283,15 | 1,698 | 602,01 | 1,9064 | 273,15 | 2,2099 | -2503,8 | 3,7097 |
| 290 | 1,7144 | 613,70 | 1,9472 | 280 | 2,2371 | -2488,6 | 3,7647 |
| 305 | 1,754 | 639,71 | 2,0346 | 290 | 2,2791 | -2466,0 | 3,8439 |
| 320 | 1,7977 | 666,36 | 2,1198 | 295 | 2,3011 | -2454,5 | 3,8830 |
| 335 | 1,8446 | 693,69 | 2,2032 | 300 | 2,3239 | -2443,0 | 3,9218 |
| 350 | 1,8941 | 721,75 | 2,2850 | 305 | 2,3473 | -2431,3 | 3,9604 |
| 353,1 | 1,9046 | 727,64 | 2,3017 | 308,2 | 2,3626 | -2423,7 | 3,9850 |
| Methanol | | | | Hexane | | | |
| T [K] | C _p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK | T [K] | C _p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK |
| 273,15 | 2,4011 | -7506,7 | 3,3460 | 273,15 | 2,1525 | -2357,9 | 3,0932 |
| 285 | 2,4593 | -7477,9 | 3,4491 | 285 | 2,1982 | -2332,2 | 3,1856 |
| 300 | 2,5461 | -7440,3 | 3,5774 | 300 | 2,2598 | -2298,7 | 3,2999 |
| 310 | 2,6120 | -7414,5 | 3,6619 | 310 | 2,3032 | -2275,9 | 3,3746 |
| 325 | 2,7223 | -7374,5 | 3,7878 | 320 | 2,3482 | -2252,6 | 3,4484 |
| 335 | 2,8034 | -7346,9 | 3,8715 | 330 | 2,3949 | -2228,9 | 3,5213 |
| 336,8 | 2,8186 | -7341,8 | 3,8866 | 340,8 | 2,4472 | -2202,7 | 3,5992 |

as one can be converted to the other if vaporization enthalpies are known at each temperature step at which the polynomials are interpolated.

Temperatures in Table 3 and Table 4 are started from 0°C (except for benzene because of the Refprop's minimum

0.3 and 1.4 and for unburned mixture temperatures of 300, 500, 700 and 900 Kelvin. According to Figure 2, enthalpy increases almost linearly with unburned mixture temperature. Among the 10 fuels investigated, methanol mixture shows the highest enthalpy change at all temperatures

Table 4. Calculated with the Calculated a_1 - a_7 Data

| Toluene | | | | n-Decane | | | |
|----------|--------------|-----------|----------|-----------|--------------|----------|----------|
| T [K] | C_p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK | T[K] | C_p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK |
| 273,15 | 1,6259 | 88,270 | 1,9423 | 273,15 | 2,1166 | -2168,5 | 2,4369 |
| 290 | 1,6758 | 116,081 | 2,0411 | 290 | 2,1591 | -2132,6 | 2,5644 |
| 320 | 1,7736 | 167,792 | 2,2107 | 305 | 2,2264 | -2099,7 | 2,6750 |
| 340 | 1,8433 | 203,952 | 2,3202 | 320 | 2,2771 | -2065,9 | 2,7832 |
| 360 | 1,9161 | 241,542 | 2,4277 | 335 | 2,3272 | -2031,4 | 2,8886 |
| 380 | 1,9902 | 280,605 | 2,5332 | 345 | 2,3941 | -2007,8 | 2,9579 |
| 383,4 | 2,0029 | 287,393 | 2,5510 | 347,3 | 2,4174 | -2002,3 | 2,4369 |
| Benzene | | | | n-Pentane | | | |
| T [K] | C_p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK | T [K] | C_p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK |
| 283,15 | 1,6992 | 602,020 | 1,9064 | 273,15 | 2,2519 | -2503,84 | 3,7098 |
| 290 | 1,7145 | 613,710 | 1,9472 | 280 | 2,2189 | -2488,64 | 3,7647 |
| 305 | 1,7547 | 639,721 | 2,0347 | 290 | 2,2950 | -2466,04 | 3,844 |
| 320 | 1,7991 | 666,371 | 2,1200 | 295 | 2,3012 | -2454,54 | 3,8833 |
| 335 | 1,8454 | 693,702 | 2,2034 | 300 | 2,3018 | -2443,04 | 3,922 |
| 350 | 1,8964 | 721,756 | 2,2853 | 305 | 2,3569 | -2431,43 | 3,9604 |
| 353,1 | 1,9080 | 727,652 | 2,3021 | 308,2 | 2,4647 | -2423,74 | 3,9855 |
| Methanol | | | | Hexane | | | |
| T [K] | C_p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK | T [K] | C_p kJ/kgK | h kJ/kg | s kJ/kgK |
| 273,15 | 2,3928 | -7506,747 | 3,3459 | 273,15 | 2,1249 | -2357,92 | 3,0934 |
| 285 | 2,4652 | -7477,947 | 3,4491 | 285 | 2,2035 | -2332,22 | 3,1854 |
| 300 | 2,5491 | -7440,346 | 3,5776 | 300 | 2,2608 | -2298,72 | 3,3000 |
| 310 | 2,6124 | -7414,546 | 3,6622 | 310 | 2,3006 | -2275,92 | 3,3747 |
| 325 | 2,7239 | -7374,546 | 3,7882 | 320 | 2,3493 | -2252,68 | 3,4485 |
| 335 | 2,8041 | -7346,906 | 3,8720 | 330 | 2,4019 | -2228,92 | 3,5216 |
| 336,8 | 2,8183 | -7341,846 | 3,8870 | 340,8 | 2,4456 | -2202,72 | 3,5998 |

followed by syngas, ethanol, dimethyl ether (dme) and methane mixtures. For $T_u=300$ K, enthalpy of methanol decreases by 303% when equivalence ratio is increased from 0.3 to 1.4. For fuel-air mixtures with surrogates of diesel, gasoline, jet-A and also for isooctane and propane, effect of equivalence ratio on the mixture enthalpy is negligible. For example at 900 K enthalpy of gasoline is 647 kJ/kg at $\Phi=0.3$ and 672.4 kJ/kg at $\Phi=1.4$. However, the net effect of temperature change on the enthalpies of diesel, gasoline, jet-A and propane are

almost the same.

Figure 3 shows the variation of entropy of unburned fuel-air mixture with equivalence ratios changing between 0.3 and 1.4 and for unburned mixture temperatures of 300, 500, 700 and 900 Kelvin. According to Figure 3, entropy increases almost linearly with unburned mixture temperature as for enthalpy. It can be seen from the figure that, for the same fuel, variation of entropy with equivalence ratio is almost parallel to each other. Among the 10 fuels investigated, syngas-air mixture shows the highest

Table 5. Liquid Fuel Surrogates Representing Jet-A, Diesel and Gasoline

| | | Surrogates | | | Syngas [28] |
|--------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------|---------------|-------------|
| | | Jet A [29] | Diesel [30] | Gasoline [31] | |
| Carbon monoxide | CO | Fuel molar mixture | | | 0,5 |
| Hydrogen | H ₂ | | | | 0,5 |
| Isooctane | C ₈ H ₁₈ | | 0,33 | | 0,34 |
| Toluene | C ₇ H ₈ | | 0,243 | | |
| n-Pentane | C ₅ H ₁₂ | | | | 0,10 |
| Benzene | C ₆ H ₆ | | | | 0,56 |
| α-methylnaphthalene(MNP) | C ₁₁ H ₁₀ | | | 0,30 | |
| n-Decane | C ₁₀ H ₂₂ | | 0,427 | 0,70 | |

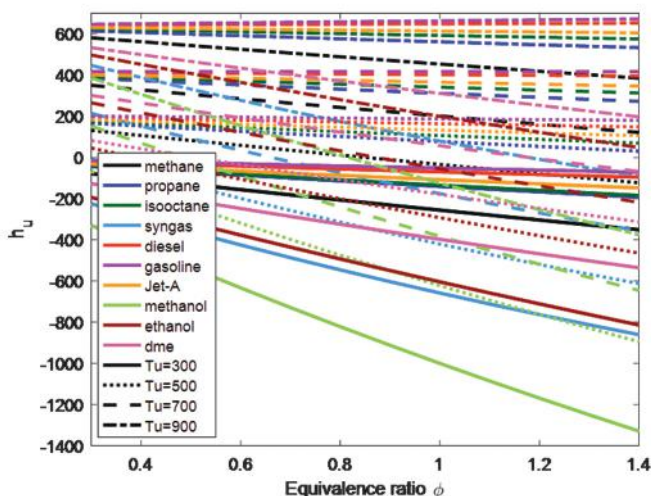


Figure 2. Enthalpy of Unburned Fuel-Air Mixture for Various Fuels at Different Equivalence Ratios and for Different Unburned Mixture Temperatures

entropy change with equivalence ratio at all temperatures followed by methane and methanol mixtures. For unburned mixture temperature of 300 K, entropy increases by 12.2% for syngas and by 5% for methane when equivalence ratio is increased from 0.3 to 1.4. For these mixtures, entropy increases with equivalence ratio. For, diesel, gasoline, jet-A, propane, ethanol, isooctane and dme mixtures, entropy values are very close to each other and slightly decrease with equivalence ratio.

Figure 4 shows the variation of specific heat of unburned fuel-air mixture with

equivalence ratios changing between 0.3 and 1.4 and for unburned mixture temperatures of 300, 500, 700 and 900 Kelvin. According to Figure 4, specific heat increases linearly with equivalence ratio for each fuel-air mixture. It can be seen from the figure that, for the same fuel, variation of specific heats with equivalence ratio are parallel to each other for unburned temperatures of 300 K, 500 K, 700 K and 900 K as it was in Figure 2 and Figure 3 except for the case that the fuels are methanol, ethanol at 300 K where both fuels are in their liquid phase. Highest specific

heat values are for methanol, ethanol, dme, methane and isooctane respectively for gas phase whereas in liquid phase specific heat is highest for methanol, syngas and ethanol which has a significantly higher specific heat than its successors isooctane, methane, jet-A and diesel. According to Figure 4, lowest specific heats are for propane and dme at 300 K.

Figure 5 shows the change of adiabatic flame temperatures of unburned fuel-air mixture for varying equivalence ratios at 300 K unburned mixture temperature. Unburned properties are calculated with gaseous polynomial coefficients and with calculated liquid fuel coefficients adiabatic flame temperatures are presented comparatively. This is a substantial

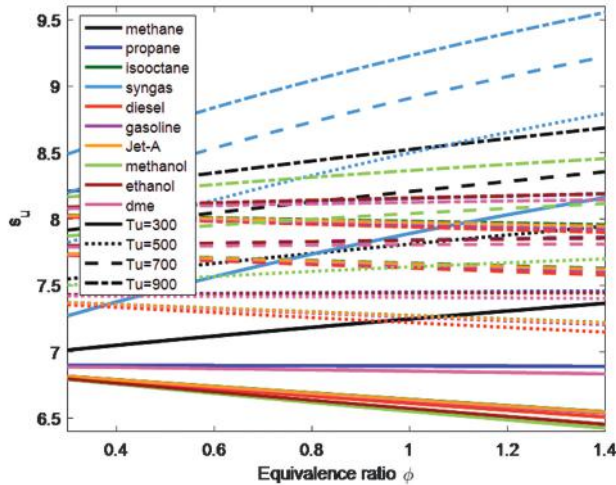


Figure 3. Entropy of Unburned Fuel-Air Mixture for Various Fuels at Different Equivalence Ratios and for Different Unburned Mixture Temperatures

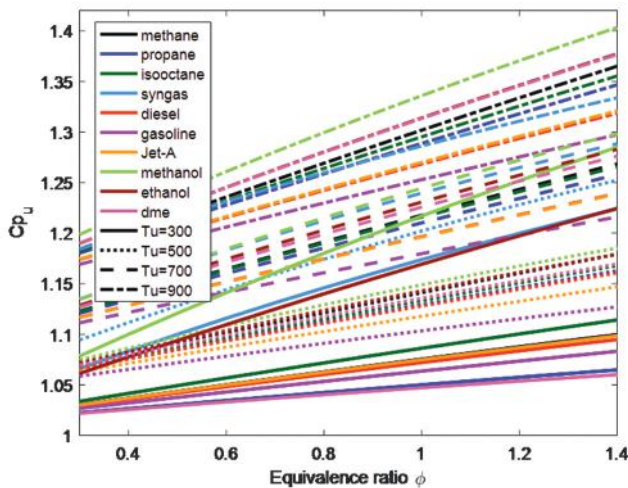


Figure 4. Specific Heat of Unburned Fuel-Air Mixture for Various Fuels at Different Equivalence Ratios and for Different Unburned Mixture Temperatures

difference in adiabatic flame temperature especially for ethanol and methanol in their gaseous and liquid phases as it was already stated that a 90 K increase in flame temperature would double the formation of thermal NO_x . At stoichiometry, differences are 41 K and 70 K respectively. Using gas phase thermodynamic coefficients would cause important deviations in calculation of performance parameters and pollutant emissions such as NO_x and CO which are highly dependent on the flame temperature.

error would cause important deviations in performance estimations and calculation of pollutant emissions such as NO_x and CO which are highly dependent on the flame temperature. As a result, to obtain a correct unburned mixture temperature, adiabatic flame temperature and consequently correct performance results and exhaust gas compositions for liquid fuels, liquid phase polynomial data which can be obtained from the available gas polynomial coefficients should be used.

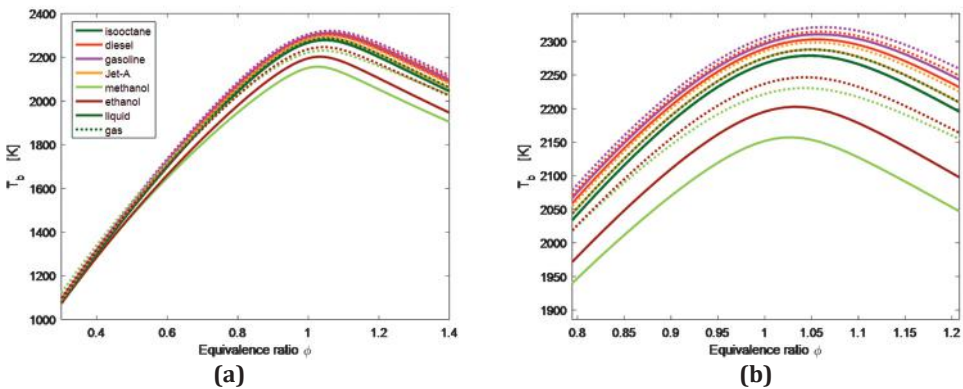


Figure 5. (a) Adiabatic Flame Temperatures of Unburned Fuel-Air Mixture for Various Fuels at Different Equivalence Ratios for Unburned Mixture Temperature of 300 K. **(b)** Zoom in Fig. 5(a)

Conclusions

This paper shows variations of unburned mixture properties with temperature and equivalence ratio for various fuels and states that low temperature ideal gas polynomial coefficients can safely be used for liquid fuels when presented method is applied. Precision of enthalpies and specific heat values of unburned liquid fuels obtained by transformation of the ideal gas polynomial coefficients are satisfactory. For comparison, adiabatic flame temperatures of common liquid fuels are calculated both with available gas phase coefficients and obtained coefficients for liquid phase. According to the results, substantial differences are observed in adiabatic flame temperature especially for ethanol and methanol. Obviously, this

References

- [1] Talay, A. A., Deniz, C. and Durmuşoğlu, Y. (2014). "Gemilerde Verimi Arttırmak İçin Uygulanan Yöntemlerin CO₂ Emisyonlarını Azaltmaya Yönelik Etkilerinin Analizi." *Journal of ETA Maritime Science* 2(1): 61-74.
- [2] Doğan, H. E., Arslan, H. and Mehdiyev, R. (2013). "LPG Dönüşümü Yapılmış Bir Dizel Motorunda Azotoksit Oluşumunun Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi." *Journal of ETA Maritime Science* 1(2): 27-38.
- [3] Öztürk, E. (2013). "Operational Measures For Energy Efficiency In Shipping." *Journal of ETA Maritime Science* 1(2): 65-72.
- [4] Parlak, A. and Kökkülünk, G. (2016). "BirGemiDizelMotorununPerformans

- Ölçümü ve Değerlendirilmesi." *Journal of ETA Maritime Science* 4(3): 165-173.
- [5] Ferguson, C. R. (2016). *Internal combustion engines : applied thermosciences*. New York, John Wiley.
- [6] Gordon, S. and McBride, B. J. (1971). *Computer program for calculation of complex chemical equilibrium compositions, rocket performance, incident and reflected shocks, and Chapman-Jouguet detonations*. Washington,, National Aeronautics and Space Administration.
- [7] Gardiner, W. C. (1984). *Combustion Chemistry*. New York, Springer-Verlag.
- [8] Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. New York, US, McGraw-Hill.
- [9] Rashidi, M. (1998). "Calculation of equilibrium composition in combustion products." *Applied Thermal Engineering* 18(3-4): 103-109.
- [10] Visser, W. P. J. and Kluiters, S. C. A. (1998). *Modelling the effects of operating conditions and alternative fuels on gas turbine performance and emissions*. Netherlands, NLR National Aerospace Laboratory.
- [11] Rakopoulos, C. D., Hountalas, D. T., Tzanos, E. I. and Taklis, G. N. (1994). "A Fast Algorithm for Calculating the Composition of Diesel Combustion Products Using 11 Species Chemical-Equilibrium Scheme." *Advances in Engineering Software* 19(2): 109-119.
- [12] Gonca, G. (2015). "Investigation of the influences of steam injection on the equilibrium combustion products and thermodynamic properties of bio fuels (biodiesels and alcohols)." *Fuel* 144: 244-258.
- [13] Kayadelen, H. K. and Üst, Y. (2017). "Thermodynamic, environmental and economic performance optimization of simple, regenerative, STIG and RSTIG gas turbine cycles." *Energy* 121: 751-771.
- [14] Kayadelen, H. K. and Üst, Y. (2014). *Thermodynamic properties of engine exhaust gas for different kind of fuels*. MFMHMT 2014 - The 2014 International Conference on Mechanics, Fluid Mechanics, Heat and Mass Transfer, Interlaken, Switzerland.
- [15] Kayadelen, H. K. and Üst, Y. (2014). "Performance and environment as objectives in multi-criterion optimization of steam injected gas turbine cycles." *Applied Thermal Engineering* (71): 184-196.
- [16] Kayadelen, H. K. and Üst, Y. (2013). "Prediction of equilibrium products and thermodynamic properties in H2O injected combustion for CHON type fuels." *Fuel* 113: 389-401.
- [17] Kayadelen, H. K. and Üst, Y. (2014). *Thermodynamic properties of engine exhaust gas for different kind of fuels*. *Computational Problems in Science and Engineering*. N. Mastorakis and V. Mladenov. Interlaken, Switzerland, Springer: 247-260.
- [18] *Reaction Design* (2009). *CHEMKIN Pro Release 15083*. San Diego, CA, Reaction Design.
- [19] Morley, C. (2005). "GASEQ, A Chemical Equilibrium Program for Windows Ver. 0.79."
- [20] Habib, M. A., Elshafei, M. and Dajani, M. (2008). "Influence of combustion parameters on NOx production in an industrial boiler." *Computers & Fluids* (37): 12-23.
- [21] Kayadelen, H. K. (2017). *Thermodynamic properties of unburned CHON type fuels, fuel mixtures and reactant mixtures*. *International Conference on Energy and Thermal Engineering, ICTE 2017*, İstanbul, Yildiz Technical University.
- [22] Kuihua, H. and Chunmei, L. (2007).

- "Kinetic Model and Simulation of Promoted Selective Non-catalytic Reduction by Sodium Carbonate." *Chin. J. Chem. Eng.* 15(4): 512-519.
- [23] Lemmon, E. W., Huber, M. L. and McLinden, M. O. (2013). NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 9.1., Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program.
- [24] Goodwin, R. D. (1989). "Toluene Thermophysical Properties from 178 K to 800 K at pressures to 1000 Bar." *J. Phys. Chem Ref. Data* 18(4): 1565-1636.
- [25] Poling, B. E. and Thomson, G. H. (2008). *Perry's Chemical Engineers Handbook 8th Edition*. U.S., McGraw Hill.
- [26] Lemmon, E. W., Huber, M. L. and McLinden, M. O. (2013). NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP Version 9.1 User's Guide. Gaithersburg, Maryland, National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program.
- [27] Olikara, C. and Borman, G. L. (1975). A computer program for calculating properties of equilibrium combustion products with some applications to I.C. engines. Warrendale, Pa., Society of Automotive Engineers.
- [28] Lieuwen, T. C., Yang, V. and R. Yetter, Eds. (2010). *Synthesis Gas Combustion - Fundamentals and Application*. Boca Raton, FL, CRC Press.
- [29] Dooley, S., Wona, S. H., Heyne, J., Farouk, T. I., Ju, Y., Dryer, F. L., Kumar, K., Hui, X., Sun, C.-J., Wang, H., Oehlschlaeger, M. A., Iyer, V., Iyer, S., Litzinger, T. A., Santoro, R. J., Malewicki, T. and Brezinsky, K. (2012). "The experimental evaluation of a methodology for surrogate fuel formulation to emulate gas phase combustion kinetic phenomena." *Combustion and Flame* 159: 1444-1466.
- [30] Pitz, W. J. (2009). *Recent Progress in the Development of Diesel Surrogate Fuels*. Georgia, U.S., Coordinating Research Council, CRC Inc.
- [31] Gauthier, B. M., Davidson, D. F. and Hanson, R. K. (2004). "Shock tube determination of ignition delay times in full-blend and surrogate fuel mixtures." *Combustion and Flame* 139: 300-311.

This Page Intentionally Left Blank



AH-36 Gemi İnşa Çeliğinin Metal Özlü Telle Gazaltı Kaynağında Kaynak Parametrelerinin CO₂ Gazı Emisyonuna Etkilerinin Analizi

Tolga MERT

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Türkiye
tmert@yildiz.edu.tr, ORCID ID: orcid.org/0000-0003-2407-3426

Öz

Kaynak, gemi inşasında, ağır sanayi ve imalat sektöründe sık kullanım alanı bulan birleştirme yöntemlerinin başında gelmektedir. Gazaltı kaynağı ise yüksek imalata hızlarına ulaşılabilmesi, örtülü elektrot ark kaynağına göre göreceli kolay kullanım sunması ve otomasyona uyumluluğu sayesinde kaynak yöntemleri içerisinde en çok tercih edilenlerin başında gelmektedir. Teknolojik avantajlarının yanında kaynak prosesinin bazı dezavantajları da mevcuttur. Kaynak dumanı emisyonu bunların en önemlilerindedir.

Bu çalışmada, farklı kaynak parametrelerinde, metal özlü tel kullanılarak gazaltı ark kaynak yöntemi ile düşük karbonlu yapı çeliği kaynağı gerçekleştirilmiş ve deneyler esnasında açığa çıkan CO₂ gazı emisyonu ölçülmüştür. Taguchi deney tasarımına göre yapılan deneylerde en yüksek ve en düşük CO₂ emisyonları, sırasıyla, 220 A ve 200 A akımlar, 25 cm.min⁻¹ ve 25 cm.min⁻¹ kaynak hızları, 20 mm ve 15 mm serbest tel boyları, 18 L.min⁻¹ ve 10 L.min⁻¹ gaz debileri, Ar+%20CO₂ ve Ar+%5CO₂ koruyucu gaz karışımları ile elde edilmiştir. Kaynak parametrelerinin etkileri, Taguchi ve varyans analizleri ile irdelenmiştir; ayrıca çalışan sağlığı ve çevre açısından da değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gazaltı Kaynağı, Metal Özlü Tel, CO₂, Emisyon, Taguchi ve ANOVA.

Analysis of the Effects of Welding Parameters on CO₂ Gas Emission in Gas Metal Arc Welding of AH-36 Shipbuilding Steel with Metal Cored Wire

Abstract

Welding is one of the leading joining techniques, which is often utilized, in shipbuilding, heavy industry and manufacturing sector. Since it can reach high manufacturing rates, offer ease of use compared with shielded metal arc welding and compatibility with automation, gas metal arc welding is one of the most preferred welding methods. Besides its technological advantages, welding process has some drawbacks. Welding fume emission is one of the most important disadvantages.

In this study, welding of low carbon structural steel was performed by using metal cored wire applying gas metal arc technique at different welding parameters and CO₂ gas emission was measured. The highest and lowest CO₂ emissions in experiments, which were designed according to Taguchi, were obtained with 220 A and 200 A currents, 25 cm.min⁻¹ and 25 cm.min⁻¹ welding speeds, 20 mm and 15 mm electrode extensions, 18 L.min⁻¹ and 10 L.min⁻¹ flow rates, Ar+%20CO₂ ve Ar+%5CO₂ shielding gas mixtures, respectively. Effects of the welding parameters were examined using Taguchi and variance analyses and evaluated in terms of worker's health and the environment.

Keywords: Gas Metal Arc Welding, Metal Cored Wire, CO₂, Emission, Taguchi and ANOVA.

1. Giriş

Deniz taşımacılığındaki verimlilik ve düşük maliyet sebebiyle uluslararası yük taşımacılığının büyük bir kısmı denizyolları ile yapılmaktadır [1]. Günümüzde yaklaşık 1,4 milyar DWT'a ulaşan kapasitesiyle deniz ticaret filosu gün geçtikçe büyümektedir [2]. Gazaltı kaynağı, gemi inşa sanayii yanında makine imalatı, otomotiv sektörü, savunma sanayii vb. alanlarda da sıklıkla tercih edilmektedir. Bu tercihin başlıca nedenleri arasında ise göreceli kullanım kolaylığı, yüksek metal yığıma oranları ve otomasyona yatkınlık sayılabilmektedir. Tersanelerde, ark kaynak yöntemlerinden olan, örtülü elektrotla ark kaynağı, gazaltı ark kaynağı ve tozaltı ark kaynağı sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde gazaltı kaynağının payı hızlı bir şekilde artmaktadır. Mevcut avantajlarının yanında, gazaltı kaynağında, morötesi ve kızılötesi ışımlar, sağlığa zararlı gazlar ve metal partikülü emisyonları (kaynak dumanı), ısı ve gürültü gibi tehlikeler bulunmaktadır. Işımların deri ve gözlerdeki olası olumsuz etkilerine karşı, uygun kıyafetler ve kaynak baş maskeleri kullanarak önlem alınabilmektedir. Karbondioksit, karbon monoksit, ozon, azot oksitler gibi solunması sağlığa zararlı gazlar ile hem mikro hem de nano boyutlu metal partiküllerinin meydana getirdiği kaynak dumanının insan sağlığına olan etkileri ya yeteri kadar bilinmemekte ve gerekli önlemler alınmamakta ya da olası olumsuz etkileri küçümsemektedir.

Literatürde kaynak dumanı üzerine gerçekleştirilen bazı çalışmalar mevcuttur ancak sayıları çok fazla değildir. Bu araştırmaların büyük çoğunluğunda gazaltı kaynak yöntemleri, daha küçük bir kısmında ise örtülü elektrotla ark kaynak yöntemi kullanılmıştır. Araştırmacıların bazıları kaynak dumanındaki metal partikülleri ve kimyasal analizleri üzerine çalışmışken çok daha az bir kısmı da kaynak dumanındaki gaz emisyonları üzerine araştırmalar gerçekleştirmiştir.

Örtülü elektrotla ark kaynağı ile çalışmalar yapan araştırmacılardan Mert vd. [3] rutil ve bazik örtülü elektrotla kaynakta, farklı kaynak akım şiddeti ve kaynak hızı parametreleriyle açığa çıkan duman emisyonu miktarlarını deneysel tasarım yöntemiyle analiz etmişlerdir. Mert vd. [4] yaptıkları diğer bir çalışmada, 316L paslanmaz çelik malzeme üzerine iki farklı paslanmaz elektrotla gerçekleştirilen deneylerde, akım şiddeti ve elektrot tipi faktörlerinin duman oluşum hızına etkilerini incelemişlerdir. Sowards vd. [5], selülozik ve bazik örtülü elektrotlarla yapılan kaynak işleminde, ısı girdisinin duman oluşum hızı üzerine etkilerini incelemişler ve açığa çıkan dumandaki metal partiküllerinin karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Gazaltı kaynağı kullanan araştırmacılar Pires vd. [6] çeşitli koruyucu gaz karışımlarının meydana getirdiği duman oluşum hızlarını ve metal parçacıklarının kimyasal kompozisyon ve boyutlarını incelemişlerdir. Duman oluşum hızının metal transfer modu ile yakın ilişkili olduğunu ve ark sıcaklığının arttığı ve ark stabilitesinin azaldığı durumlarda duman oluşumunun arttığını belirtmişlerdir. Carpenter vd. [7] sprey transfer modunda onüç farklı koruyucu gazın duman oluşum hızları ve partikül kompozisyonları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Pires vd. [8], yedi farklı Ar+CO₂, Ar+O₂ ve Ar+CO₂+O₂ gaz karışımının proses karakteristikleri ve duman oluşum hızları üzerine etkilerini incelemişlerdir; koruyucu gazdaki CO₂ ve O₂ artışı ile duman oluşumunun arttığını ve aynı oksidasyon potansiyeline sahip iki gaz karışımından, O₂ içerene kıyasla, CO₂ içerene daha fazla duman oluşumuna sebep olduğunu belirtmişlerdir. Xin vd. [9] gazaltı kaynağında farklı kutuplama kullanımının duman oluşumuna etkilerini hem masif hem de özlü tel için araştırmışlardır. Srinivasan ve Balasubramanian [10], paslanmaz çeliğin gazaltı kaynağında ısı girdisinin duman oluşumu ve partikül

kompozisyonu üzerine etkilerini araştırmışlar. Araştırmacılar, tel besleme hızının duman oluşum hızını doğrudan etkilediğini fakat kaynak dumanının kimyasal kompozisyonunun ise bundan etkilenmediğini not etmişlerdir. Mert [11], metal özlü telle gazaltı kaynağında proses parametrelerinin metal partikülleri dumanı oluşumu üzerine etkilerini deneysel tasarım yöntemlerinden olan Taguchi metodu ve varyans analizi ile araştırmıştır. Castner [12] ise darbeli akımla gazaltı kaynağında duman oluşumunu araştırmıştır ve sabit akımla kaynak yapmak yerine darbeli akım kullanılmasının duman oluşumunu azaltma potansiyeline sahip olduğunu, darbeli akım ve sabit akımla elde edilen kaynak dumanlarındaki metal partiküllerin kompozisyonlarında kayda değer bir farklılığın olmadığını tespit etmiştir. Araştırmacı ayrıca bu iki farklı akım tipi için ozon gazı oluşumlarını da incelemiştir. Pires vd. [13], farklı tel elektrotlar, geleneksel gazaltı kaynağı, darbeli akım gazaltı kaynağı ve soğuk metal transferi (CMT) gibi farklı yöntemler ile farklı gaz karışımları kullanarak duman oluşum hızlarını ve açığa çıkan karbon monoksit, azot oksit ve azot dioksit gazlarının miktarlarını araştırmışlardır.

Bu çalışmada, gazaltı kaynağındaki karbondioksit (CO₂) emisyonu üzerine, kaynak akımı, kaynak hızı, serbest tel boyu, koruyucu gaz tipi ve koruyucu gaz debisi gibi parametrelerin etkileri deneysel olarak incelenmiş ve sonuçlar Taguchi ve varyans analizleri ile irdelenmiştir. Ayrıca CO₂'in insan sağlığı ve çevre üzerine olan etkileri de tartışılmıştır.

2. Deneysel

2.1. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada düşük karbonlu yapı çeliği (ASTM A 131 AH-36), metal özlü tel (EN ISO 17632-A: T 42 3 M M 2 H8) kullanılarak gazaltı kaynak metoduyla kaynak edilmiştir. Tablo 1, ana malzemenin ve tel elektrodun kimyasal bileşimlerini göstermektedir. Deneyler, EN ISO 15011-1: 2009 [14] standardı yardımıyla özel olarak tasarlanmış ve imal edilmiş olan kaynak duman kabini (Şekil 1) içerisinde gerçekleştirilmiştir. Gazaltı kaynağı makinesi olarak su soğutmasına sahip ve %60 devrede kalmada 500A verebilen Expressweld MasterMIG 501W kullanılmıştır. Kaynak gerilimi 31V değerinde sabit tutulmuştur ve koruyucu gaz karışımları Witt KM 60-3 gaz karışım cihazıyla hazırlanmıştır. Kaynak torcu, dışarıdan bir tetikle çalıştırılabilecek şekilde duman kabini içine sabitlenmiştir. Kaynak edilecek parçaya hareketi ise devri ayarlanabilen döner tabla vermiştir. Kaynak duman kabini içerisinde gerçekleştirilen kaynakların her biri 45 saniye sürmüştür ve toplamda 75 saniye gaz ölçümü gerçekleştirilmiştir. Kaynak esnasında gaz ölçümleri için Mobydick 5000 gaz analizörü kullanılmıştır ve ölçümler, kaynakçının solunum bölgesini temsil etmesi için, kaynak arkından yaklaşık 40 cm mesafeden alınmıştır.

Deneyler, Taguchi deney tasarım metodu ile tasarlanmıştır. Taguchi L16 ortogonal dizisi uygulanmış ve deneyler üç kez tekrar edilmiştir. Tablo 2'de beş proses faktörü (kaynak akımı, kaynak hızı, serbest tel boyu, koruyucu gaz debisi ve koruyucu gaz karışımı) ve bunların dört seviyesi gösterilmektedir.

Tablo 1. Ana Malzeme ve Metal Özlü Tel Elektrodun Kimyasal Bileşimleri (% ağı.)

| Malzeme/Elektrot | C | Mn | Si | P | S |
|-------------------------|------|------|------|-------|-------|
| Düşük karbonlu çelik | 0,18 | 1,30 | 0,45 | 0,035 | 0,035 |
| Metal özlü tel elektrot | 0,05 | 1,50 | 0,65 | 0,01 | 0,02 |



Şekil 1. Kaynak Duman Kabini (Sol) ve Gaz Analizörü (Sağ)

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

L16 Taguchi tasarımındaki deneyler gerçekleştirildikten sonra deneyler esnasında ölçülen CO₂ miktarları ile Tablo 3 elde edilmiştir. Çalışan sağlığı ve çevrenin korunması açısından daha az kaynak dumanı ve dolayısıyla zararlı gaz oluşumu tercih edileceğinden, sinyal/gürültü (S/G) hesaplamalarında küçük daha iyi denklemi (Denk. 1) seçilmiştir. Denklem 1'den tekrarlı deney sayısını, Y ise cevap değişkeninin

Tablo 2. Deneysel Faktörler ve Seviyeleri

| Sembol | Faktör | Seviye 1 | Seviye 2 | Seviye 3 | Seviye 4 |
|--------|---|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| A | Kaynak akımı (A) | 200 | 220 | 240 | 260 |
| B | Kaynak hızı (cm.dk ⁻¹) | 25 | 30 | 35 | 40 |
| C | Serbest tel boyu (mm) | 15 | 20 | 25 | 30 |
| D | Koruyucu gaz debisi (L.dk ⁻¹) | 10 | 14 | 18 | 22 |
| E | Koruyucu gaz karışımı | Ar+%5 CO ₂ | Ar+%10 CO ₂ | Ar+%15 CO ₂ | Ar+%20 CO ₂ |

Tablo 3. Faktörleri, Seviyeleri ve Deneysel Çıktıları Gösteren Deneysel Set

| Deney | Faktör ve Seviyeler | | | | | Çıktı CO ₂ (% hac.) |
|-------|---------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| | Akım (A) | Kaynak Hızı (cm.dk ⁻¹) | Serbest Tel Boy (mm) | Gaz Debisi (L.dk ⁻¹) | Koruyucu Gaz | |
| 1 | 200 | 25 | 15 | 10 | Ar+%5 CO ₂ | 0,193 |
| 2 | 200 | 30 | 20 | 14 | Ar+%10 CO ₂ | 0,638 |
| 3 | 200 | 35 | 25 | 18 | Ar+%15 CO ₂ | 1,179 |
| 4 | 200 | 40 | 30 | 22 | Ar+%20 CO ₂ | 1,459 |
| 5 | 220 | 25 | 20 | 18 | Ar+%20 CO ₂ | 1,474 |
| 6 | 220 | 30 | 15 | 22 | Ar+%15 CO ₂ | 1,067 |
| 7 | 220 | 35 | 30 | 10 | Ar+%10 CO ₂ | 0,511 |
| 8 | 220 | 40 | 25 | 14 | Ar+%5 CO ₂ | 0,325 |
| 9 | 240 | 25 | 25 | 22 | Ar+%10 CO ₂ | 0,821 |
| 10 | 240 | 30 | 30 | 18 | Ar+%5 CO ₂ | 0,251 |
| 11 | 240 | 35 | 15 | 14 | Ar+%20 CO ₂ | 1,221 |
| 12 | 240 | 40 | 20 | 10 | Ar+%15 CO ₂ | 0,661 |
| 13 | 260 | 25 | 30 | 14 | Ar+%15 CO ₂ | 1,291 |
| 14 | 260 | 30 | 25 | 10 | Ar+%20 CO ₂ | 0,838 |
| 15 | 260 | 35 | 20 | 22 | Ar+%5 CO ₂ | 0,286 |
| 16 | 260 | 40 | 15 | 18 | Ar+%10 CO ₂ | 0,703 |

ölçülen değerini temsil etmektedir. S/G oranı hesabı ve varyans analizi (ANOVA) için Minitab 17 yazılımı kullanılmıştır.

$$S/G = -10 \log ((\sum Y^2)/n) \quad (1)$$

3.1. Taguchi Analizi

Taguchi tasarımının analiz edilmesiyle faktör seviyelerinin S/G oranları elde edilmiştir (Şekil 2). Tablo 4 ve Şekil 2'den, akım üçüncü seviyesinde, kaynak hızı ikinci seviyesinde, serbest tel boyu birinci seviyesinde, gaz debisi birinci seviyesinde ve gaz karışımı da birinci seviyesinde iken (A3B2C1D1E1), CO₂ miktarının en az miktarda olması için en uygun

parametre kombinasyonunun elde edildiği görülmektedir. Taguchi analizinde en etkili parametrenin gaz karışımı, en etkisiz parametrenin ise serbest tel boyu olduğu görülmektedir.

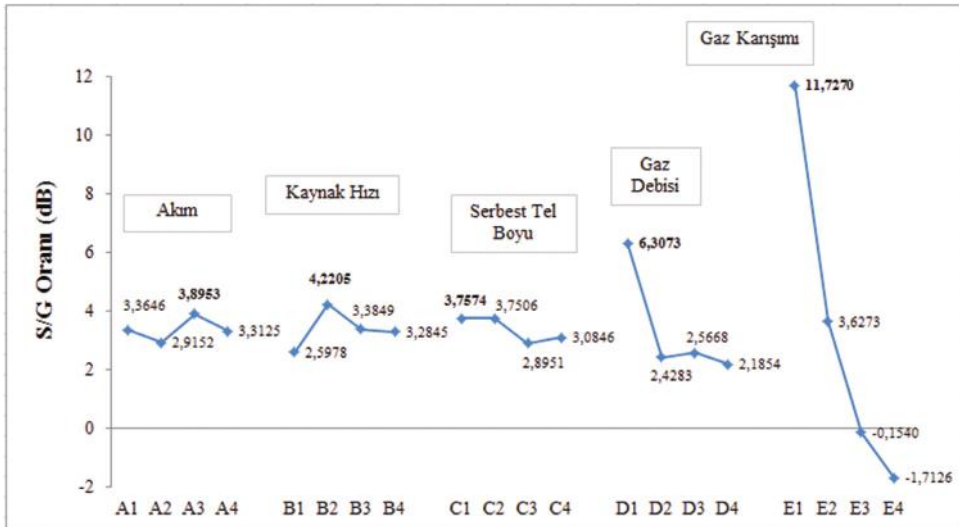
3.2. Varyans Analizi

Taguchi analizinden sonra faktörlerin etkisini tespit etmek için varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizinde, %95 güvenilirlik seviyesi ile genel doğrusal model temel alınmıştır. Ayrıca Taguchi analizinde en etkisiz olarak ortaya çıkan akım ve serbest tel boyu faktörleri dışındaki faktörler için varyans analizi gerçekleştirilmiştir.

%95 güvenilirlik seviyesi için p değeri,

Tablo 4. CO₂ Miktarı için S/G Oranları Cevap Tablosu

| Seviye | A | B | C | D | E |
|----------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1 | 3,3646 | 2,5978 | 3,7574 | 6,3073 | 11,7270 |
| 2 | 2,9152 | 4,2205 | 3,7506 | 2,4283 | 3,6273 |
| 3 | 3,8953 | 3,3849 | 2,8951 | 2,5668 | -0,1540 |
| 4 | 3,3125 | 3,2845 | 3,0846 | 2,1854 | -1,7126 |
| Fark | 0,9802 | 1,6227 | 0,8623 | 4,1219 | 13,4395 |
| Sıralama | 4 | 3 | 5 | 2 | 1 |



Şekil 2. CO₂ Miktarı için Faktör Seviyelerinin S/G Oranları

0,05 değerine eşit veya bu değerden küçük olması gerektiğinden, D ve E faktörleri istatistiki açıdan anlamlıdır. B faktörü için ise p değeri 0,05 değerinden büyüktür. Sıfır hipotezine göre, varyans analizindeki F değerlerinin, F-test tablolarından alınan F kritik değerlerinden büyük olmaları gerekmektedir. B faktörü için varyans analizinde F değeri 3,53'tür ve %90 güvenilirlik seviyesinde kritik F değeri $F_{0,1,3,6} = 3,29$ ve F değeri bu değerden büyük olduğundan, B faktörü %90 güvenilirlik seviyesinde istatistiki açıdan anlamlı olmaktadır. ANOVA analizinde belirleme katsayısı (R^2 (adj)) = %93,73 olarak bulunmuştur. Taguchi analizinde elde edildiği gibi en etkili faktör gaz karışımı (E) faktörüdür ve etki oranı %80,5 civarındadır. Gaz karışımı faktörünü gaz debisi faktörü (D) izlemektedir ve bu faktörün etki oranı ise %12,5 civarındadır. Kaynak hızı faktörünün (B) etki oranı ise %4,5 civarındadır ve toplam hata da yaklaşık %2,5'lik bir paya sahiptir.

Tablo 5. Varyans Analizi

| Faktör* | Serbestlik derecesi | Adj SS | Adj MS | F-değeri | P-değeri | % Etki |
|---------|---------------------|---------|---------|----------|----------|--------|
| B | 3 | 0,12496 | 0,04165 | 3,53 | 0,088* | 4,43 |
| D | 3 | 0,35457 | 0,11819 | 10,02 | 0,009# | 12,57 |
| E | 3 | 2,27009 | 0,75670 | 64,17 | 0,000# | 80,49 |
| Hata | 6 | 0,07075 | 0,01179 | | | 2,51 |
| Toplam | 15 | | | | | 100 |

*Faktörler A ve C, varyans analizine sokulmamıştır.

#En az %90 güvenilirlik seviyesi, *En az %95 güvenilirlik seviyesi

3.3. Doğrulama Deneyi

Taguchi analizine göre CO₂ gazı emisyonunun en az miktarda çıkması için öngörülen parametre kombinasyonu A3B2C1D1E1 olduğundan ve bu kombinasyon da L16 ortogonal tasarımda yer almadığı için doğrulama deneyinin yapılması gerekmektedir. 240 A kaynak akımı, 30 cm.dk⁻¹ kaynak hızı, 15 mm serbest tel boyu, 10 L.dk⁻¹ koruyucu

gaz debisi ve Ar+%5CO₂ gaz karışımı kullanılarak gerçekleştirilen doğrulama deneyinde CO₂ değeri % hacimsel 0,064 olarak ölçülmüştür. Bu sonuç da Taguchi deneysel tasarımını doğrulamaktadır.

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, metal özlü telle gazaltı kaynağında gerilim sabit tutularak, dört farklı seviye için akım, kaynak hızı, serbest tel boyu, koruyucu gaz debisi ve koruyucu gaz karışımı parametrelerinin, açığa çıkan CO₂ gazı emisyonuna olan etkileri araştırılmıştır. Deneilerin tasarlanmasında ve sonuçların analizinde Taguchi deneysel tasarım yöntemine ilaveten varyans analizi de kullanılmıştır.

- Deneilerde elde edilen CO₂ gaz ölçümleri, minimum %0,19 (hac.) ila maksimum %1,47 (hac.) arasında değişmiştir.

- Sinyal/gürültü (S/G) ve ANOVA analizleri, CO₂ gazı emisyonu için en önemli parametrenin koruyucu gaz karışımı

olduğunu ve bu faktörün etkisinin ~ %80 (en az %95 güvenilirlik seviyesi) olduğunu göstermiştir.

- Koruyucu gaz karışımı faktörünün yanında, koruyucu gaz debisi ve kaynak hızı faktörlerinin etki oranları sırasıyla, ~ %12,5 (en az %95 güvenilirlik seviyesi) ve ~ %4,5 (en az %90 güvenilirlik seviyesi) olarak hesaplanmıştır. İncelenen beş proses faktörü içinde akım ve serbest tel boyu

faktörlerinin ise istatistiki açıdan önemli olmadığını göstermektedir.

5. Tartışma ve Öneriler

Karbondioksit gazı, renksiz, kokusuz, patlayıcı olmayan basit boğucu bir gazdır. İş Güvenliği ve Sağlık İdaresi (OSHA), CO₂ için 8 saatlik sürede ortalama değer olarak 5000 ppm'i kabul etmektedir. Devlet Endüstriyel Hijyenistleri Amerikan Konferansı (ACGIH) ise CO₂ için zaman ağırlıklı ortalama eşik sınır değeri olarak 5000 ppm (%0,5 hac.) ve kısa süreli maruziyet için de eşik değeri olarak 30000 ppm (%3 hac.) değerini baz almaktadır. Amerikan Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH) ise zaman ağırlıklı ortalama tavsiye edilen maruziyet sınırı olarak 10000 ppm, 10 dakikalık sürede ise 30000 ppm'lik tavan değerlerini benimsemekle birlikte, diğer kurumların önerdiği değerleri de uygun bulmaktadır [15].

Karbondioksitin solunması, kardiyovasküler sistem ile solunum sistemini hedef almaktadır ve bunun bazı yan etkileri mevcut bulunmaktadır. Bu yan etkiler arasında baş ağrısı, baş dönmesi, solunum güçlüğü, mide bulantısı ve kusma, kırılganlık, kalp atış hızında ve kan basıncında artış sayılabilmektedir [16], [17]. %8'den fazla CO₂ konsantrasyonları ani dolaşım yetersizliklerine sebep olabilmektedir [16]. Deneylerde ölçülen CO₂ emisyonu değerleri, ani dolaşım yetersizliklerini tetikleyecek seviyede olmamakla birlikte elde edilen ölçümlerin çoğunda, 5000 ppm'lik zaman ağırlıklı ortalama eşik sınır değerinin üzerine çıktığı görülmüştür. Bu ölçüm sonuçları, kısa süreli maruziyet eşik değerinin altında ancak kayda değerdir; dolayısıyla önleyici ve koruyucu tedbirler gerekmektedir. Bu tedbirlerin başında özellikle, kaynak yapılan yerde yeterli havalandırmanın ve duman emiliminin sağlanması, ayrıca kaynak yapılan işletmenin genel olarak havalandırılması gerekmektedir. Ayrıca aktif karbonlu ağız

maskeleri, filtreli yarım yüz veya solunum destekli tam yüz maskeleri gibi kişisel koruyucu donanımların da kullanımı önem arz etmektedir.

Karbondioksit emisyonunun başlıca kaynakları olarak, sanayi tesisleri, konutlar ile kara, hava ve deniz ulaşım araçları sayılabilmektedir; dolayısıyla her sektörde ve alanda karbondioksit emisyonlarını azaltmak önceliklerin arasında olmalıdır. Mukavemet ve kalite gereksinimlerinin karşılanması koşuluyla, kaynakta da en düşük gaz emisyonunu veren parametrelerle çalışmak hem çalışan sağlığının hem de çevrenin korunması açısından önem arz etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje no: 2013-06-01-GEP01 ve 2013-10-01-KAP05), Türk Loydu ve Kaynak Tekniği San. ve Tic. A.Ş. (Askaynak) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Talay, A. A., Deniz, C. ve Durmuşoğlu, Y. (2014). Gemilerde verimi arttırmak için uygulanan yöntemlerin CO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik etkilerinin analizi, *Journal of ETA Maritime Science*, 2(1):61-74.
- [2] Keçeci, T. ve Arslan, Ö. (2014). Gemi kazalarına neden olan köprü üstü kaynaklı eksikliklerin istatistiksel açıdan incelemesi, *Journal of ETA Maritime Science*, 2(1):41-46.
- [3] Mert, T., Bilgili, L., Şenöz, K. M., Çelebi, U. B. and Ekinci, S. (2016). The effect of parameter selection on fume formation rate in SMAW of AH-36 shipbuilding steel and analysis with ANOVA Method, *Energy, Transportation and Global Warming*, Springer.
- [4] Mert, T., Şenöz, K. M., Bilgili, L., Çelebi, U. B. ve Ekinci, S. (2016). Investigation

- of fume formation rate in SMAW of 316L stainless steel with different electrodes using Taguchi and Anova, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 4(2):291-296.
- [5] Sowards, J. W., Lippold, J. C., Dickinson, D. W. and Ramirez, A. J. (2008). Characterization of welding fume from SMAW electrodes — Part I, *Welding Journal*, 87(4):106-s-112-s.
- [6] Pires, I., Quintino, L., Miranda, R. M. ve Gomes, J. F. P. (2006). Fume emissions during gas metal arc welding, *Toxicological & Environmental Chemistry*, 88(3):385-394.
- [7] Carpenter, K. R., Monaghan, B. J. ve Norrish, J. (2009). Analysis of fume formation rate and fume particle composition for gas metal arc welding (GMAW) of plain carbon steel using different shielding gas compositions, *ISIJ International*, 49(3):416-420.
- [8] Pires, I., Quintino, L. ve Miranda, R. M. (2007). Analysis of the influence of shielding gas mixtures on the gas metal arc welding metal transfer modes and fume formation rate, *Materials & Design*, 28(5):1623-1631.
- [9] Xin, H., Geng, Z. ve North, T. (2001). Fume generation during solid and metal cored wire welding, *Welding Journal*, 80(7):173s-183s.
- [10] Srinivasan, K. ve Balasubramanian, V. (2011). Effect of heat input on fume generation and joint properties of gas metal arc welded austenitic stainless steel, *Journal of Iron and Steel Research International*, 18(10):72-79.
- [11] Mert, T. (2017). The analysis of the effect of parameters in gas metal arc welding of structural steel with metal cored wire on welding fume using Taguchi method and ANOVA, *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(1):133-139.
- [12] Castner, H. (1995). Gas metal arc welding fume generation using pulsed current, *Welding Journal*, 74(2):59s-68s.
- [13] Pires, I., Quintino, L., Amaral, V. ve Rosado, T. (2010). Reduction of fume and gas emissions using innovative gas metal arc welding variants, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(5):557-567.
- [14] EN ISO Standardı 15011-1. (2009). Health and safety in welding and allied processes — Laboratory method for sampling fume and gases Part 1: Determination of fume emission rate during arc welding and collection of fume for analysis.
- [15] Centers for Disease Control and Prevention (2017). The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Carbondioxide. Erişim Tarihi: 01 06 2017, <http://www.cdc.gov/niosh/pel88/124-38.html>.
- [16] The Linde Group. (2017). Carbondioxide safety data sheet. Erişim Tarihi: 01 06 2017, http://www.linde-gas.com/internet.global.lindegas.global/en/images/Compressed%20carbon%20dioxide17_24354.pdf?v=1.0..
- [17] Centers for Disease Control and Prevention (2017). The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Carbondioxide. Erişim Tarihi: 01 06 2017, <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0103.html>.



The Impact of Perceived Service Quality on Satisfaction: An Application on Marina Customers in Turkey

Görkem DİKEÇ¹, Ali Cemal TÖZ²

¹Dokuz Eylül University, Institute of Social Sciences, Turkey
gorkem_dikec@hotmail.com, ORCID ID: orcid.org/0000-0003-3696-5536

²Dokuz Eylül University, Maritime Faculty, Turkey
ali.toz@deu.edu.tr, ORCID ID: orcid.org/0000-0001-5348-078X

Abstract

The main purpose of this study was to investigate the impact of perceived service quality on customer satisfaction in marinas in Turkey. A total of 134 customers from eight marinas which were included in the sample have participated to the research. The impact of services that customers receive on perceived service quality levels was analyzed. This study mainly concludes that there is direct impact of quality of the services on customer satisfaction in marinas in Turkey. The results also show that the highest impact on customer satisfaction was "reliability and competence", followed by "management, planning and standards", and "physical assets, respectability and environment". Furthermore, the study shows that foreign and Turkish customers have significantly different opinions on some service quality variables. In the future a more comprehensive study could be done during high season. In addition, the survey could include additional languages at other marinas, which would increase the sample size. Future studies could compare marinas in other countries.

Keywords: Marina, Service Quality, Customer Satisfaction, Turkey.

Algılanan Hizmet Kalitesinin Memnuniyete Etkisi: Türkiye'deki Marina Müşterileri Üzerine Bir Uygulama

Öz

Bu araştırmanın temel amacı Türkiye'de, marinalarda algılanan hizmet kalitesinin müşteri memnuniyeti üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu kapsamda örnekleme dâhil edilen sekiz marinadan toplam 134 müşteri araştırmaya katılmıştır. Bu müşterilerin almış oldukları hizmetlerin algıladıkları hizmet kalitesi düzeylerine etkisi analiz edilmiştir.

Bu çalışmada Türkiye'de marinalarda hizmet kalitesinin müşteri memnuniyetine doğrudan etkisi bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca araştırmanın sonuçları göstermektedir ki, müşteri memnuniyetindeki en büyük etkinin "güvenilirlik ve yetkinlik" değişkenleri olduğu, bu değişkenleri "yönetim, planlama ve standartlar" ve "fiziksel varlıklar, saygınlık ve çevre" değişkenlerinin izlediği sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra, bu çalışmada, yabancı ve Türk müşterilerin bazı hizmet kalitesi değişkenleri üzerinde yüksek anlamlılık düzeylerinde farklı görüşlere sahip oldukları görülmektedir. Gelecekte, bu çalışmanın yüksek sezonda, daha geniş bir ölçekte, farklı coğrafyaları ve farklı ulustan müşterileri de kapsayacak şekilde genişletilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Marina, Hizmet Kalitesi, Müşteri Memnuniyeti, Türkiye.

1. Introduction

Marine tourism is a continually growing sub-branch with an increasing contribution to tourism in general. The marine tourism industry consists of several business forms [1]. Yacht tourism, one of the largest components, is an activity that combines several natural and man-made aspects. In particular, it involves the active use of shores [2]. According to Arlı [3] an increase in the number of marinas and mooring capacities leads to competition and drives marina businesses to provide higher-quality services. Despite the recent increase in the number of marinas, there are still fewer than in most countries in Europe. There are only 63 marinas in Turkey, which is a country that is surrounded by water on three sides and has a shoreline of 8337 km [4].

The ever-changing expectations of marina customers have been the most important determining factor in the increasingly competitive environment. Variability in marina customers' quality perceptions reveals the importance of determining service quality variables. Within this scope two specific objectives of this study can be defined. First one is to explore the service quality determinants in marinas. Second is to determine and analyze the differences in the perceptions of customers on service quality determinants in marinas and their impact on customer satisfaction. This explorative study will focus on the relationship between perceived service quality and customer satisfaction.

Previous studies [3, 12, 13, 14] mostly focused on analyzing the only perceptions of customers on service quality determinants. In this study comparison of the perceptions and impact of service quality determinants on customer satisfaction are analyzed.

This paper uses the SERVQUAL service quality model developed by Parasuraman, Zeithaml and Berry [5]. Service quality is evaluated by the discrepancy between

customer expectations and perceptions [6, 7]. Meeting the expectations of customers based on their needs and wants ensures that service is perceived as high quality [7].

A qualitative study was conducted based on the 22 expressions in the SERVQUAL survey form, which is adequately organized to reveal the dimensions of services provided at marinas. The interview form was used by experts in semi-structured interviews. Data were obtained from the qualitative study using the data collection tool that was developed to measure the effect of service quality and customer satisfaction variables. In parallel, a field study was conducted with the participation of yacht owners and captains who receive services from marinas. The data obtained were analyzed and a general evaluation was made. In the conclusion, the findings of qualitative and quantitative studies were compared.

2. Literature Review

In the current competitive environment between marinas, it is important to maintain existing customers and acquire new ones and hence service quality and perception are essential. This study evaluates service quality through customers' perception of services. Customer satisfaction plays a very important role in marketing and sustainability of activities.

Customers perceive the services they purchase in two ways: Satisfaction obtained during service and quality of service [8, 9]. Provision of customer satisfaction with quality service has an important place in marketing. Increasing service quality requires researching the needs and wants of yacht owners and captains as well as their perception of service quality. A review of current literature showed that perceived service quality and customer satisfaction are important on a daily basis. There are five dimensions of SERVQUAL methodology which measure the level of service quality [8].

Tangibility: As the name suggested that all the tangible things or physical facilities including personnel, equipment, building and renovation etc..

Reliability: It describes the capabilities to fulfill promised services accurately and dependably.

Responsiveness: It describes the intentions of the firm and its willingness towards customers' help.

Assurance: It involves the understandings and courtesy of employees, their capabilities to convey confidence and trust.

Empathy: It consists of caring and customized responsiveness to customers. This empathy contains communication, access and understanding the customer.

There are several studies [3, 10, 11, 12, 13, 14] on service quality based on information from marina managers and yacht owners and captains. Durukan [10] reported that the yacht mooring facilities in the Aegean region was customer oriented. Based on information from 35 yacht owners, he reported that yacht owners looked first at the reliability of marina authorities and employees, and secondly, the prices. They preferred marinas where they could berth their yachts. The least important factor when choosing a marina was the degree of name recognition in the yachting

community. Akaltan and Nas [11] examined factors that affected customers' marina choices. Interviews were done with 35 yacht owners and captains. The top three factors that customers took into consideration were the location of the marina (preferring one that is located on north-south routes), availability of adequate and clean showers and toilets, and an active social life around the marina. Cosar and Nas [12] studied the criteria that affected marina preferences of yacht users. The most important factor stood out as security, followed by hygiene and cleanliness of shared areas (showers and toilets), social activities provided to the owners and captains of yachts, the living area, and other similar factors [12]. Sipahi, Onay, and Tanyeri [13] concluded that marinas that provided "good facilities" to yacht owners and captains, offered "new destination opportunities," and offered activities and services around the marina played an important role in marina preferences. The studies related to the marina service quality determinants are shown in Table 1.

Studies that measured service quality usually use SERVQUAL [14]. The study conducted by Sari [14] concluded that "physical assets, reliability, eagerness, reliability, understanding the customer and

Table 1. Literature Related to the Service Quality Determinants in Marinas in Turkey

| METHOD | STUDY | AUTHOR(S) | YEAR |
|---------------------------|--|-----------------|------|
| SWOT Analysis | Analyzing the quality of Aegean region marinas in the perspective of customers | Durukan | 2004 |
| Regression | Marina operations and services management: An analytic research on the relationship between service quality perceptions of yachters and their satisfaction from marina services, repurchase and recommend intentions | Sari | 2011 |
| Servqual | The analysis of impact level of marinas' promotional components in terms of demographical features | Arlı | 2012 |
| Semi structured Interview | Analyzing the marina selection factors: An application on the marina located Cesme | Cosar and Nas | 2013 |
| Semi structured Interview | The marina selection criteria of yacht owners: An application of IC Cesme marina | Akaltan and Nas | 2013 |
| Regression | Adaptation of hospitality service quality scales for marina services | Sari et al. | 2016 |

communication” have a direct impact on customer satisfaction. In another study on the quality of service provided at marinas, Arlı [3] used the SERVQUAL scale and identified service quality dimensions such as physical conditions, eagerness, amenability, trust, accessibility, boat services, security, empathy, and professionalism. Sari et al. [15] conducted a study to explore adaptation processes of hospitality service quality scales for marina services. These factors have a significant impact on the general satisfaction of customers. The literature shows that there is no study performed to analyze impact of service quality determinants on customer satisfaction in marinas in Turkey. The main contribution of this study to the literature is the exploration of impact of perceived service quality on customer satisfaction in marinas in Turkey.

3. Materials and Method

3.1. Sample and Data Collection

The study was done in two stages, one qualitative and one quantitative. The goal of the qualitative study was to evaluate the quality of services offered at marinas. SERVQUAL questions were asked of eight medium and top-level managers at seven marinas in and around Izmir and Aydn. They were interviewed between 29 November and 30 December 2014. The final survey form was developed based on feedback during previous studies. Convenience sampling was employed, which is a non-random (judgmental) sampling

method. The survey form was prepared both in English and Turkish and used with yacht owners and captains who received mooring services between 4 April and 17 May 2014 at the following marinas: Dirinler Levent Marina, IC Cesme Marina, Setur Altinyunus Marina, Port Alacati Marina, Teos Marina in the İzmir province; Setur Kusadasi Marina, D-Marin Didim Marina in the Aydn province; and Ece Saray Marina in the Mugla province. Field research collected a total of 146 survey forms; 12 were excluded due to erroneous or incomplete filling. The remaining 134 valid forms were included in the analysis; 31 were in English and 103 were in Turkish.

3.2. Model of the Research

The model of the study was adopted and modified from the empirical study by Dehghan [16] depicted in Figure 1. The figure shows the relationship between service quality and customer satisfaction and the determinants that defines each of them.

The model indicates that perceived service quality is considered as an initial determinant of customer satisfaction [17]. It shows that the quality of service measured by the SERVQUAL variables provide customer satisfaction. There are lots of specific techniques have been used in conceptual discussions and experimental practices of customer satisfaction, yet they seem to have at least one thing in common: They refer to the customer’s relationship over time toward one specific object [18].



Figure 1. The Conceptual Model of Study

Source: Adopted from [16]

The steps of the study are illustrated in Figure 2. According to the figure, initially literature review was conducted, and then quantitative method following qualitative technique was performed. Finally, analysis was carried out and findings were discussed.

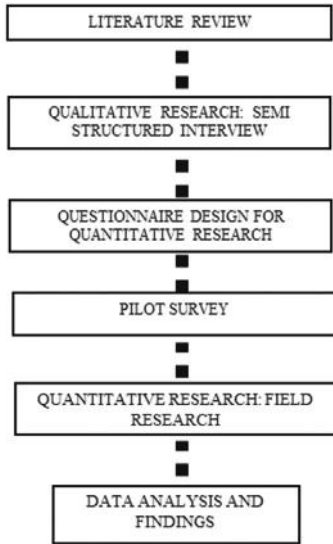


Figure 2. The Steps of Study

3.3. Results

In this study both qualitative and quantitative techniques were used to determine impact of perceived service quality on marina customers’ satisfaction in Turkey. The results of those techniques

are explained in detail below.

3.3.1. Qualitative Research

In this study initially a qualitative study has been conducted to determine the service quality determinants in marinas. The Semi-Structured Interview technique, which is the ability to gather opinions from experts from various area of expertise, has been selected to bring about consensus in this study [19]. This technique which is utilized to explore service quality determinants in marinas, contributed to create data collection tool for quantitative research process. The details of interview are shown in Table 2.

A face-to-face interview was conducted with the above-mentioned experts and new variables were added to the service quality variables obtained from the literature. Besides, permission has been obtained from the experts in the negotiations for the publication of the identity information. As a result of the interview, in the light of the feedback from the customers, it was seen that the new service quality variables in practice came to the forefront. The determinants of perceived service quality obtained from literature review and interview are shown in Table 3.

It is clear from the table that there are some service quality determinants considered as an important in addition to

Table 2. Details of Interviewees

| Expert | Company | Profession | Venue | Date |
|-----------------|------------------------|-----------------------|--------|----------|
| Onur KUNDUZ | Port Alacati Marina | Marina Director | Office | 29.11.14 |
| Can AKALTAN | Cesme Marina | General Manager | Office | 01.12.14 |
| Hakan TELLİOĞLU | Setur Cesme Marina | Marina Director | Office | 01.12.14 |
| Bora ERGEZGİN | Dirinler Levent Marina | Marina Director | Office | 02.12.14 |
| Yıldız KAHRAMAN | Teos Marina | General Manager Asst. | Office | 13.12.14 |
| Zeynep ALTAN | Setur Kusadasi Marina | Front Office Manager | Office | 20.12.14 |
| Çağlar ALTUNTAŞ | Setur Kusadasi Marina | Marina Director | Office | 20.12.14 |
| Selçuk BALCI | D-Marin Didim Marina | Marina Director | Office | 30.12.14 |

Table 3. Main Sources of Determinants that Used in Questionnaire

| Determinants | Literature Review | Interview | Determinants | Literature Review | Interview |
|--|-------------------|-----------|--|-------------------|-----------|
| Geographical position | √ | √ | Main infrastructures | √ | √ |
| Marine pollution prevention procedures | √ | √ | Super structures | √ | √ |
| Reliability | √ | √ | Common use areas | √ | √ |
| Risk assessment procedures | √ | √ | Boat yard facilities | √ | √ |
| Crisis management procedures | √ | √ | Refueling and waste disposing facilities | √ | √ |
| Quality management applications | √ | √ | Repairing facilities | √ | √ |
| Operational performance | √ | √ | Social activities | √ | √ |
| Managerial performance | √ | √ | Existence of yacht equipment suppliers | √ | √ |
| Security services | √ | √ | Existence of spare part suppliers | √ | √ |
| Shelter infrastructure | √ | √ | Presentability level of staff | √ | √ |
| Working hours | √ | √ | Knowledge level of staff | √ | √ |
| Cleanliness level of sea water | | √ | Foreign language level of staff | √ | √ |
| Pricing and charging policy | | √ | Communication skill level of staff | √ | √ |
| Group marina membership | | √ | Individual attention | √ | √ |
| Car parking capacity | | √ | Quality and speed of internet service | √ | √ |
| Blue flag criteria | | √ | Feedback service quality | √ | √ |
| Golden anchor criteria | | √ | Cheerful service | √ | √ |
| Depth for berthing | | √ | Sportive and social activities | | √ |
| Reputation and prestige | | √ | Visual appeal | | √ |

literature review. Sea water quality, pricing policy, international quality indicators (blue flag, golden anchor), reputation, visual appeal, group marina membership, car parking capacity, social activities and berthing depth were also considered as service quality determinants by experts.

According to face to face interview

results; suggestions and complaints received by the customers should be taken into consideration more quickly by marina management and the necessary improvements should be made on time. This result indicates that the reaction time is so slow.

Moreover, although the existence

of the quality management system is important to the customer, it is seen that the implementation of this system is more important. At this stage, the customer wants to feel that an existing system is being implemented effectively.

3.3.2. Quantitative Research

The Cronbach Alfa value was used to evaluate the consistency of participants' answers. The reliability value of section B, which measures service quality in the data collection, was calculated as 0.966 (96.6%).

Of the 134 marina customers who

Table 4. Profile of Respondents

| Variables | | N | % | Variables | | n | % |
|---------------------|-----------------|-----|-------|------------------------|-------------------|------|------|
| Sex | Male | 119 | 88.8 | Type of Boat | Sailing | 68 | 55.7 |
| | Female | 15 | 11.2 | | Motor Yacht | 66 | 49.3 |
| | Total | 134 | 100 | | Total | 134 | 100 |
| Marital Status | Married | 100 | 74.6 | Purpose of Service | Private | 124 | 92.5 |
| | Single | 34 | 25.4 | | Commercial | 10 | 7.5 |
| | Total | 134 | 100 | | Total | 134 | 100 |
| Age | 19-25 | 10 | 7.5 | Sea Experience (Years) | <5 | 27 | 20.1 |
| | 26-35 | 27 | 20.1 | | 6-10 | 30 | 22.4 |
| | 36-45 | 27 | 20.1 | | 11-20 | 41 | 30.6 |
| | >46 | 70 | 52.2 | | >21 | 36 | 26.9 |
| | Total | 134 | 100 | | Total | 134 | 100 |
| Income (Annual/\$) | <10.000 | 42 | 31.3 | Flag of Boat | Turkish | 33 | 24.6 |
| | 10.000-50.000 | 61 | 45.5 | | United States | 66 | 49.3 |
| | 50.000-100.000 | 14 | 10.4 | | United Kingdom | 27 | 20.1 |
| | >100.000 | 17 | 12.7 | | Germany | 5 | 3.7 |
| | Total | 134 | 100 | | Other | 3 | 2.1 |
| Nationality | Turkish | 103 | 76.9 | Total | 134 | 100 | |
| | Other | 31 | 23.1 | Assignments on Board | Owner | 72 | 53.7 |
| | Total | 134 | 100 | | Captain | 44 | 32.8 |
| Professional Status | Retired | 20 | 14.9 | | Owner/Captain | 11 | 8.2 |
| | Sailor | 54 | 40.3 | | Other | 7 | 5.2 |
| | Director | 21 | 15.7 | Total | 134 | 100 | |
| | Self-employment | 9 | 6.7 | Education Status | Primary School | 4 | 3.0 |
| | Engineer | 10 | 7.5 | | Secondary School | 8 | 6.0 |
| | Doctor | 8 | 6.0 | | High School | 42 | 31.3 |
| | Other | 12 | 9.0 | | Bachelor's Degree | 56 | 41.8 |
| Total | 134 | 100 | MBA | | 20 | 14.9 | |
| | | | PHD | | 4 | 3.0 | |
| Total | 134 | 100 | Total | 134 | 100 | | |

n: Number of respondents, %: Percentage

participated, 88.8% (119) were male and 11.2% (15) were female. Of the boats included in the study, 55.7% (68) were sailboats and 49.3% (66) were motorboats. Most of the boats had foreign flags, 49.3% (USA), and 24.6% of the boats had Turkish flag. Of the Turkish boats, 23 were for used private purposes and 10 were for commercial purposes.

Table 4 shows that most of the respondents were university graduates (41.8%, 56 people). Of the 134 participants, 76.9% (103) were Turkish nationals, and 23.1% (31) were foreign nationals; 40.3% (54) were sailors and 15.7% (21) were boat managers; 45.4% (61) earned US\$ 10,000–50,000 annually. Almost half of the respondents had 10 or more years' experience of working on a boat; 53.7% (72) were yacht owners, 32.8% (44) were yacht captains, and 8.25% (11) were yacht owner-captains. Most boats were for private purposes (92.5%, 124), which is a striking result. Most Turkish participants work sea-related professions whereas most foreign participants are retired. In European countries, with the economic value of yacht tourism, employment and types of income investment and operation stages is increasing. Nevertheless, the increase in the number of older and retired people in European countries as well as the importance given to navigational activities explains why most foreign respondents are retired. In addition, most customers who purchase service at marinas are yacht owners and captains; they do not need yacht

captains. Table 5 shows the participants' nationality, and type of boat.

As for the distribution of boat types used by marina customers in the study, Turkish respondents mostly used motor yachts whereas foreign nationals preferred sailboats. It is thought that this difference is due to the fact that foreign customers, who have more time to spend more time at sea, prefer sailboats whereas Turkish customers who have shorter vacations choose boats that offer a more effective use of time.

During the low tourism season, most Turkish customers choose the IC Cesme marina while most foreign national customers choose Ece Saray Marina. Turkish customers prefer motor yachts and foreigners prefer sailboats.

In order to determine differences in perceptions of service quality, hypotheses were tested. The main hypotheses 1–3 evaluate differences in customers' perception of service quality.

H₁: Turkish and foreign yacht owners and captains evaluate marina service quality differently.

H₂: Yacht owners and captains of sailboats and motorboats evaluate marina service quality differently.

H₃: Yacht owners and captains of boats flying flag from different countries evaluate service quality of services offered at marinas differently from those who use motorboats.

To test hypotheses 1, a total of 43 items were tested. Since 31 respondents

Table 5. Distribution of Customers Regarding to Marina and Boat Type

| Respondents | IC Çeşme | Setur Çeşme | Port Alacati | Levent | Setur Kusadasi | Teos | Ece Saray | D-Marın Didim |
|-------------|-----------|-------------|--------------|--------|----------------|------|-----------|---------------|
| Turkish | 27 | 11 | 11 | 5 | 12 | 18 | 10 | 9 |
| Other | 7 | - | - | - | 6 | 2 | 16 | - |
| Respondents | Sail Boat | | | | Motor yacht | | | |
| Turkish | 42 | | | | 61 | | | |
| Other | 26 | | | | 5 | | | |

are foreigners, 31 Turkish participants were chosen randomly from marinas that are dominated by foreign national respondents (Ece Saray Marina, IC Cesme Marina, Setur Kusadasi Marina, Teos Marina). The two groups were compared.

When the mean values of the accepted sub-hypothesis related to hypothesis 1 are examined, it can be seen that there is significant difference in the perceptions of foreign customers and Turkish customers for the $H_{1.1}$ and $H_{1.2}$, $H_{1.4}$, $H_{1.5}$, $H_{1.6}$ sub-hypotheses.

According to the findings that foreign and Turkish customers have significantly different opinions on the adequacy of infrastructure, superstructure and common use areas of marinas, specifically services for the disabled, and services for boat repairing and overhauling. Although foreigners are not evenly distributed among marinas, reaching conclusions for four marinas is possible.

To test hypothesis 2, as shown in Table 6, when the mean values of sub-

hypotheses with significant differences between yacht owners/yacht captains is examined, $H_{2.1}$, $H_{2.24}$ and $H_{2.26}$ have higher mean values for sailboat users. The size of sailboats' accommodation is relatively smaller and uncomfortable than motor yachts. That's why sailboat users perceive service quality of physical facilities higher than motor yacht users.

To test hypothesis 3, since 33 participants had Turkish flags, 33 foreign flagged boats were chosen randomly from marinas where Turkish boats were more common (Ece Saray Marina, IC Cesme Marina, Setur Kusadasi Marina, Teos Marina, D-Marin Didim). The groups were compared in the same way as in hypothesis 1. When the mean values of accepted sub-hypotheses are examined, it can be seen that the sub-hypotheses $H_{3.11}$, $H_{3.16}$, $H_{3.26}$, $H_{3.27}$, $H_{3.28}$, $H_{3.31}$, $H_{3.32}$, $H_{3.33}$ and $H_{3.43}$ had higher mean values for Turkish flagged boats. Hence Turkish flagged boats report better service at these marinas.

Table 6. Results of Supported Hypotheses

| Sub Hypotheses | Mean ³ | T ⁴ | Two Tails ⁵ | Result |
|--|------------------------|--|------------------------|-----------|
| H₁: Turkish and foreign yacht owners/yacht captains evaluate service quality of following services differently. | | | | |
| H_{1.1}: The infrastructure of the marina (transportation, communication etc.) is modern and technological. | 1:3.1613 2:3.9032 | T ¹ :-2.614 T ² :-2.614 | .011 .011 | Supported |
| H_{1.2}: "The superstructure of the marina (mooring and harboring facilities, shower-restroom etc.) is modern and technological" | 1:3.3548 2:3.9032 | T ¹ :-2.031 T ² :-2.031 | .047 .047 | Supported |
| H_{1.4}: Common use areas (shower & restroom etc.) are sufficient in number. | 1:3.6452 2:4.2903 | T ¹ :-2.641 T ² :-2.641 | .011 .011 | Supported |
| H_{1.5}: The infrastructure of the marina is convenient for the disable yachters and visitors. | 1:2.7097 2:3.4839 | T ¹ :-3.151 T ² :-3.151 | .003 .003 | Supported |
| H_{1.6}: Lifting and launching services in the marina is sufficient. | 1:3.3226 2:4.0323 | T ¹ :-2.592 T ² :-2.592 | .012 .012 | Supported |
| ¹ Turkish Yacht Owner/Yacht Captains ² Foreigner Yacht Owner/Yacht Captains | | | | |
| H₂: Yacht owners/yacht captains who use sailboats evaluate service quality of following services offered at marinas differently from those who use motor yachts. | | | | |
| H_{2.1}: "The infrastructure of the marina (transportation, communication etc.) is modern and technological." | 1:4.1324 2:3.6818 | T ¹ :2.429 T ² : 2.419 | .016 .017 | Supported |
| H_{2.24}: "Marina staff is always cheerful, helpful and polite." | 1: 4.4118 2: 4.0606 | T ¹ : 2.030 T ² : 2.022 | .044 .045 | Supported |

./..

Table 6. Results of Supported Hypotheses (cont')

| Sub Hypotheses | Mean ³ | T ⁴ | Two Tails ⁵ | Result |
|---|-----------------------|--|------------------------|-----------|
| H _{2.26} : "Marina staff fulfills the expected service in a timely manner." | 1:4.3529 2: 3.9394 | T ¹ : 2.518 T ² : 2.502 | .013 .014 | Supported |
| ¹ Sailing Boat ² Motor yacht | | | | |
| H ₃ : Yacht owners/yacht captains who drive boats under different flags evaluate service quality of following services offered at marinas differently from those who use motorboats. | | | | |
| H _{3.11} : "Social activities at the marina are sufficient." | 1:3.5161 2:2.5161 | T ¹ : 2.744 T ² : 2.744 | .008 .008 | Supported |
| H _{3.16} : "Marina staff is well-groomed and presentable." | 1:4.6129 2:3.9355 | T ¹ :2.598 T ² : 2.598 | .012 .012 | Supported |
| H _{3.26} : "Marina staff fulfills the expected service in a timely manner." | 1:4.5484 2:3.7742 | T ¹ :3.181 T ² : 3.181 | .002 .002 | Supported |
| H _{3.27} : "Marina staff fully fulfills the expected service." | 1:4.4839 2:3.8387 | T ¹ :2.631 T ² : 2.631 | .011 .011 | Supported |
| H _{3.28} : "Enter and exit procedures of the boats are performed timely at the marina." | 1:4.6452 2:4.1613 | T ¹ :2.354 T ² : 2.354 | .022 .023 | Supported |
| H _{3.31} : "Security services provided at the marina are sufficient." | 1:4.2903 2:3.4194 | T ¹ : 2.770 T ² : 2.770 | .007 .008 | Supported |
| H _{3.32} : "Marina is protected against bad weather conditions." | 1:4.6452 2:4.0323 | T ¹ : 2.953 T ² : 2.953 | .004 .005 | Supported |
| H _{3.33} : "Marina staff is highly skilled." | 1:4.5484 2:3.8710 | T ¹ : 2.888 T ² : 2.888 | .005 .006 | Supported |
| H _{3.35} : "Marina staff pays attention individually to its customers." | 1:4.5161 2:3.7742 | T ¹ :3.103 T ² : 3.103 | .003 .003 | Supported |
| H _{3.36} : "Communication skills of the marina staff are high." | 1:4.5161 2:3.9677 | T ¹ : 2.447 T ² : 2.447 | .017 .017 | Supported |
| H _{3.43} : "Sporting activities provided to the customers are sufficient." | 1:3.2903 2:2.2903 | T ¹ :2.847 T ² : 2.847 | .006 .006 | Supported |
| ¹ Turkish ² Foreigner | | | | |

³Mean values are based on 5 point Likert type scale. ⁴Test value, ⁵Significance level.

Hypothesis 4 and 5 evaluate perceived differences in service quality of people in different roles (owner or captain) and professions.

H₄:Customers in different roles (owner or captain) evaluate the quality of marina services differently.

H₅:Customers of different professions evaluate the quality of marina services differently.

To test hypothesis 4, as shown in Table 7 there are significant differences for items H_{4.1}, H_{4.6}, and H_{4.43} between yacht owners and captains. According to the Tukey test,

there are significant differences between yacht captains and owners in H_{4.1} (0.012), between captains and owners (0.024) in H_{4.6} and between yacht owner-captain and yacht owner (0.039) in H_{4.43}.

To test hypothesis 5, as shown in Table 7, sub-hypotheses H_{5.1} and H_{5.21} were accepted. In other words, there were significant differences between of yacht owners and captains with different professions. According to the post hoc Tukey test, there were significant differences for the "retired or other professions" group in H_{5.1} (0.026) and for the "self-employed or

Table 7. Results of Supported Hypotheses

| Sub Hypotheses | Mean ³ | T ⁴ | Two Tails ⁵ | Result |
|--|---|----------------------------|------------------------|-----------|
| H₄ : Customers in different positions are evaluating the quality of following services offered at marinas differently. | | | | |
| H_{4.1} : "The infrastructure of the marina (transportation, communication etc.) is modern and technological." | Yacht Owner Yacht Captain Yacht Owner/ Yacht Captain | 4.1389 3.5455 3.8889 | 4.224 | Supported |
| H_{4.6} : "Lifting and launching services in the marina are sufficient." | Yacht Owner Yacht Captain Yacht Owner/ Yacht Captain | 4.2361 3.7045 3.8889 | 3.662 | Supported |
| H_{4.43} : "Sporting activities provided to the customers are sufficient." | Yacht Owner Yacht Captain Yacht Owner/ Yacht Captain | 3.1667 2.8409 2.2222 | 3.312 | Supported |
| H₅ : Customers in different professional groups are evaluating the quality of following services offered at marinas differently. | | | | |
| H_{5.1} : "The infrastructure of the marina (transportation, communication etc.) is modern and technological." | Retired Self Employed Other | 3.7000 3.7500 4.5000 | 6.068 | Supported |
| H_{5.21} : "Parking capacity and conditions in the marina are sufficient." | Retired Self Employed Other | 2.7000 3.2024 3.7667 | 3.629 | Supported |

³Mean values are based on 5 point Likert type scale. ⁴Test value, ⁵Significance level.

other profession" group (0.003). In **H_{5.21}**, there was a significant difference for the "retired or other profession" group (0.025).

The factor analysis was conducted to classify items under the group of factors. Table 8 illustrates the results of a factor analysis, which identified five relevant groups:

- 1) Reliability and competence,
- 2) Management, planning, and standards,
- 3) Physical assets, reputation, and environment,
- 4) Location and suppliers,
- 5) Maintenance and repair.

The high KMO value of 0.903 shows that variables conform to the factor analysis. In addition, the Bartlett test was 0.1%, which shows high significance (p=0.000). A reliability analysis was done for each factor group (Table 6). The first group had the highest reliability, 0.953, whereas the fifth group had the lowest reliability, 0.659. The relationship level among factors was

calculated by Correlation analysis. The correlation matrices of factors are shown in Table 9.

Correlation analyzes are performed to determine the relationships between variables handled by the same scale type. In social sciences, there is a weak correlation between 0 and (+, -) 0.19, a medium correlation between (+, -) 0,20 and (+, -) 0,39 and 0,40 to (+, -) 0.59 is considered to be highly correlated (14). As understood from Table 9 that there is high correlation between Factor 1 and Factor 2/3, and medium correlation among others.

Multiple regression analysis was used to evaluate the impact of perceived service quality on customer satisfaction. The dependent variable was the last item of the survey, overall satisfaction, which showed that 89.6% were generally satisfied. The model summary of regression analysis is illustrated in Table 10.

Table 8. Factor Analysis Results for Service Quality Variables Perceived by Yacht Owners/Yacht Captains

| Factors | | Factors | |
|---|------|--|------|
| Factor 1: Reliability and Competence α: .953 | | Remuneration policy and tariff of the marina are convenient. | .605 |
| Marina staff is always cheerful, helpful and polite. | .770 | Marina staff always takes into consideration the customers' priorities and interests. | .525 |
| Marina staff makes customers feel special. | .765 | Marina engages in activities dealing with marine pollution. | .498 |
| Marina staff fulfills the expected service in a timely manner. | .763 | Internet service of the marina is efficient. | .448 |
| Marina staff pays attention individually to its customers. | .744 | Factor 3: Physical Assets, Reputation and Environment α: .890 | |
| Marina staff is highly skilled. | .736 | Common use areas (shower & restroom etc.) are clean. | .728 |
| Communication skills of the marina staff are high. | .715 | Physical conditions of marina accommodation and facilities are adequate. | .675 |
| Enter and exit procedures of the boats are performed timely at the marina. | .702 | The superstructure of the marina (mooring and harboring facilities, shower-restroom etc.) is modern and technological. | .624 |
| Marina staff fully fulfills the expected service. | .671 | The bunkering services are sufficient. | .607 |
| Marina staff is eager in problem solving. | .669 | Common use areas (shower & restroom etc.) are sufficient in number. | .592 |
| Marina staff directs the customers correctly. | .652 | The infrastructure of the marina is convenient for the disable yachters and visitors. | .564 |
| Marina staff is well-groomed and presentable. | .627 | Cleaning and hygiene conditions in the marina are sufficient. | .508 |
| Language skills of the marina staff are satisfactory. | .593 | Waste collection services are sufficient. | .475 |
| Marina staff dedicates enough time to help in all the customer needs. | .567 | Customer feedback (opinions, complaints, suggestions etc.) are considered important. | .469 |
| The services provided at the mooring and harboring facilities are sufficient. | .556 | Sea water of the marina is clean. | .433 |
| The infrastructure of the marina (transportation, communication etc.) is modern and technological. | .555 | The reputation of marina in the industry is high. | .419 |
| Security services provided at the marina are sufficient. | .531 | Factor 4: Geographical Location and Suppliers α: .759 | |
| Factor 2: Management, Planning and Standards α: .901 | | The location of the marina is close to the strategical points (airport, hospital etc.) | .746 |
| Marina meets the requirements of international standards (blue flag, anchor regulation) adequately. | .732 | Supplying spare part is sufficient. | .671 |
| Sporting activities provided to the customers are sufficient. | .709 | Supplying yachting equipment is sufficient. | .535 |
| Parking capacity and conditions in the marina are sufficient. | .648 | Marina is protected against bad weather conditions. | .504 |
| Social activities at the marina are sufficient. | .625 | Factor 5: Repair and Maintenance α: .659 | |

./-

Table 8. Factor Analysis Results for Service Quality Variables Perceived by Yacht Owners/Yacht Captains (cont')

| Factors | | Factors | |
|---|------|---|------|
| Marina crisis management activities are carried out in an effective manner. | .618 | Lifting and launching services in the marina is sufficient. | .700 |
| Marina risk management activities are carried out in an effective manner. | .605 | Repair and maintenance services of the marina are sufficient. | .485 |

Table 9. Correlation Matrices

| Factors | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Reliability and Competence | 1 | ,742** | ,758** | ,542** | ,530** |
| Management, Planning and Standards | ,742** | 1 | ,717** | ,566** | ,551** |
| Physical Assets, Reputation and Environment | ,758** | ,717** | 1 | ,567** | ,575** |
| Geographical Location and Suppliers | ,542** | ,566** | ,567** | 1 | ,495** |
| Repair and Maintenance | ,530** | ,551** | ,575** | ,495** | 1 |

** p<0,01

Table 10. Regression Model Summary

| Model | R | R2 | Adjusted R2 | Estimated standard deviation | Sig |
|-------|------|------|-------------|------------------------------|------|
| 1 | .416 | .173 | .141 | .56924 | .000 |

In regression analysis, the F value shows whether a test is statistically significant (p<0.05). R² is a coefficient that shows the extent to which changes in the dependent variable are explained by independent variables. R² was 0.173, and 17% of “customer satisfaction from marinas”, which is the dependent variable, is explained by

service quality variables offered at marinas. Regression analysis results are shown in Table 11.

The F value was 5.353 and the p value was 0.000, so the regression model was statistically significant. This means that estimating customer satisfaction with at least one of the independent variables is

Table 11. Multiple Regression Analysis Results

| | Beta | Std. Error | Std. Beta | t value | p value |
|---|----------|------------|-----------|---------|----------------------|
| Independent Variables | .791 | .049 | | 16.086 | .000** |
| Reliability and Competence | .150 | .049 | .244 | 3.039 | .003** |
| Management, Planning and Standards | .144 | .049 | .235 | 2.919 | .004** |
| Physical Assets, Reputation and Environment | .125 | .049 | .204 | 2.532 | .013* |
| Geographical Location and Suppliers | -.032 | .049 | -.052 | -.647 | .519 |
| Repair and Maintenance | .073 | .049 | .119 | 1.475 | .143 |
| F: 5.353 p: 0.000 | R2: .173 | | | | **p<0.01, *p<0.05 |

statistically possible. The p values of the three of the five independent variables are less than 0.05 so they are all statistically significant. In other words, hypotheses H_6 , H_7 , H_8 are supported but H_9 and H_{10} are rejected.

The following survey items had a direct impact on overall satisfaction: Reliability and competence (B: .150; $p < 0.05$), management, planning, and standards (B: .144; $p < 0.05$), physical assets, respectability, and environment (B: .125; $p < 0.05$). The highest impact on customer satisfaction was “reliability and competence” with B: .150 value, followed by “management, planning and standards” with B: .144, and “physical assets, respectability and environment” with B: .125 value. This means that these factors have a 15%, 14.4% and 12.5% impact on customer satisfaction, respectively. The coefficient of the three variables shows that they have a direct positive impact on customer satisfaction.

4. Conclusion and Discussion

The main result of this study is that there is direct impact of perceived service quality on customer satisfaction in marinas in Turkey. The findings showed that there is positive statistical significance among the three dimensions of service quality (reliability and competence, management, planning, and standards, and physical assets, respectability and environment) and customer satisfaction. In order to increase service quality and ensure customer satisfaction, the most pressing items are “reliability and competence” variables, then those under “management, planning, and standards,” and finally “physical assets, respectability, and environment.” Hence “reliability and competence” variables should be given priority toward improving satisfaction and increasing repeat visits and recommendations.

This study concludes that environmental condition of marinas in Turkey perceived

as low by all customers. Sea water quality is not at satisfactory level due to fact that there are lots of contaminators cause water pollution. The sea water quality has to be improved in marinas. It can be provided with some preventive measures such as increased disincentives and with promotive procedures.

Turkish customers are satisfied with the knowledge, skill, and punctuality of marina personnel and services, whereas non-Turkish customers significantly lower perceptions in this regard. This can be explained as foreigners’ experience difficulties in terms of communicative skills. The problem both created by knowledge and level of speaking foreign language. Thus the marina administration must test the knowledge and communication skill level of its personnel both before and after recruitment. These findings imply that recruiting competent staff may be a critical aspect for foreign customers in judging the quality of marina services.

Foreigners have a more optimistic perception of the quality of service that they receive. It can be simply explained as they are probably happy with life in general. Because they are older, richer retired people on vacation.

Another significant conclusion of this paper is that captains of boats at marinas that are located far from city centers perceive sports and social activities as more important. Such activities must be found not only in high season but also during low season. Hence customers place importance on spending quality time at marinas.

The marinas in the study have more foreign customers, even in low season. Considering the location and climate of Turkey, it can be concluded that in Mediterranean Region yacht tourism season begins earlier than in other regions.

According to data, service quality is higher at the following marinas: Ece Saray Marina, IC Cesme Marina, Setur Kusadasi

Marina, and Teos Marina. Hence foreign customers are more satisfied than Turkish customers. However, some variables are evaluated as low by both groups. These include internet services at marinas, sports activities, and social activities. For these services, which are common concerns of both Turkish and foreigner customers, improvements must be made and their sustainability must be ensured so that customer satisfaction can be kept at the highest level.

Foreign language levels of marina personnel are very important for dealing with foreign customers. In addition, infrastructure and superstructure suitable for handicapped yacht owners and captains or their guests and special equipment and systems are crucial for foreign customers. Services offered for disabled yachters at Ece Saray Marina, IC Cesme Marina, Setur Kusadasi Marina, Teos Marina were evaluated as high by foreign customers. The infrastructure components that were included are pedestals located in suitable intervals on piers, decks and floating docks that provide water and electricity, transportation, a communication network inside the marina, parking lot, and similar services. Modern and technological infrastructure components have an impact on the satisfaction of both Turkish and foreign yacht owners and captains.

In this study, a research model was conducted for marina businesses that are active in Turkey. There were some limitations of the study. Efforts were made to reach out to all active marinas in Turkey, but study did not include most of them all. The surveys were conducted during low season, which explains the low number of yacht owners and captains who were moored at marinas. In addition, the survey was only in English and Turkish, so those who did not speak these languages could not participate.

In the future a more comprehensive

study could be conducted during high season. In addition, the survey could include additional languages at other marinas, which would increase the sample size. Future studies could compare marinas in other countries.

Acknowledgments

The authors would like to thank the management boards of marinas where field research was conducted for their support and assistance.

Disclosure Statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

- [1] Orams, M. (1999). *Marine tourism: development, impacts and management*. London: Routledge.
- [2] Akbayırlı, K., Devenci, D. A., Balcı, G., Kurtuluş, E. (2016). Container Port Selection in Contestable Hinterlands. *Journal of ETA Maritime Science*, 2016; 4(3): 249-265.
- [3] Arlı, E. (2012). Marina işletmeciliğinde tutundurma bileşenlerinden etkilenme düzeyinin demografik özellikler açısından incelenmesi *Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2012: (1): 25-52.
- [4] Heron, R. and Juju, W. (2012). *The marina: sustainable solutions for a profitable business*. London: Routledge.
- [5] Parasuraman, A., Zeithaml, V., Berry, L. (1985). A conceptual model of service quality and its implications for future research. *Journal of Marketing*, 1985: 49 (4): 41-50.
- [6] Parasuraman, A., Zeithaml V. A., Berry, L. (1988). Servqual: a multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing*, 1988: 64 (1): 12-37.

- [7] Donnelly, M., Wisniewski, M., Dalrymple, J., Curry, A. C. (1995). Measuring service quality in local government: the servqual approach. *International Journal of Public Sector Management*, 1995: 8 (7): 15-20.
- [8] Zeithaml, V. A. and Bitner, M. J. (1996). *Services marketing*. New York: The Mc Graw-Hill.
- [9] Kocbek, A. D. (2005). Yiyecek içecek sektöründe hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyeti: etnik restoranlara yönelik bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- [10] Durukan, R. C. (2004). Ege bölgesindeki yat bağlama tesislerinin müşteri yönlü değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- [11] Akaltan, C. and Nas, S. (2013). Ziyaretçi yatçıların yat limanlarını tercih etme sebepleri: IC Çeşme marina uygulaması. *Proceedings of 2. Marine Tourism Conference*, İzmir.
- [12] Cosar, B. and Nas, S. (2014) Deniz turizminde yat limanı tercihini etkileyen faktörlerin tespiti: Çeşme bölgesi yat limanları üzerine bir çalışma. *Proceedings of 2. Marine Tourism Conference*, İzmir.
- [13] Sipahi, G., Onay, A., Tanyeri, M. (2015). Uluslararası pazarlarda Türk marinalarının marka konumlandırma stratejileri: Çeşme ve Didim marina örnekleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 2015:7(1):113-145.
- [14] Sarı, F. Ö. (2011). Marina işletmelerinde hizmet yönetimi: yatçıların hizmet kalitesi algılamaları ile marinadan tatminleri, tekrar tercih ve tavsiye etme eğilimleri arasındaki ilişkinin analitik incelenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- [15] Sari, F. O., Bulut, C., Pirnar, I. (2016). Adaptation of hospitality service quality scales for marina services. *International Journal of Hospitality Management*, 54: 95-103.
- [16] Dehghan A. 2006. Relationship between service quality and customer satisfaction: In the case of CCG (Customer Centric Group) CO.
- [17] Boohene. R. and Agyapong G. K. Q. (2011). Analysis of the antecedents of customer loyalty of telecommunication industry in Ghana: the case of Vodafone. *International Business Research*, 2011: 4 (1): 229-240.
- [18] Soderlund, M. (1998). Customer satisfaction and its consequences on customer behavior revisited. *International Journal of Service Industries Management*, 1998: 9(2): 169-88.
- [19] Stewart, D. J. and Cash, W.B. (1985). *Interviewing principles and practices*. New York: Mc Graw Hill.



Silindir ve Kürelerin Suyu Girişlerinde Esnekliğin ve Katı Yüzey Özelliklerinin Dövünme Yüklerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Fatih Cüneyt KORKMAZ, Bülent GÜZEL

Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye
fkorkmaz@yildiz.edu.tr, ORCID ID: orcid.org/0000-0001-9250-5265
bguzel@yildiz.edu.tr, ORCID ID: orcid.org/0000-0001-6915-4209

Öz

Bu çalışmada gemilerdeki dövünme yükleri, dövünme esnasında gerçekleşen enerji transferi gözönünde bulundurularak, deneysel olarak incelenmiştir. Suyu giren cisimlerin serbest su yüzeyinde oluşturduğu deformasyonlar incelenmiş ve çarpma kuvvetleri gerinim ölçerler vasıtasıyla farklı giriş hızlarında ölçülmüştür. Deneyler, suya giriş esnasında yüzeylerinin serbest su yüzeyi ile yaptığı giriş açısının her bir derinlik aşamasında farklılık gösterdiği silindir ve küre ile gerçekleştirilmiştir. Serbest düşme deneyleri, araştırılan geometrinin belirli yükseklikten suya girişi sağlanarak üzerine gelen çarpma kuvvetlerini ölçmek ve deforme olan suya transfer edilen enerjinin bu kuvvetlerle olan ilişkisini incelemek üzere kurgulanmıştır. Boyutsuz bir değer olan dövünme katsayısının (C_s) deneyler neticesinde elde edilen değerleri, analitik ve nümerik yöntemlerle elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Yüzeyi tırtıklı bir silindirin suya giriş esnasında su yüzeyini farklı şekilde deforme ettiği ve bu farklılığın dövünme kuvvetini de etkilediği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda farklı elastisite modülüne sahip malzemelerle üretilen silindirler kullanılarak elastisitenin dövünme üzerine etkisi araştırılmış ve elastisitenin dövünme kuvvetlerinin etkisini azalttığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çarpma Kuvveti, Dövünme, Suyu Giriş.

Experimental Investigation of the Effects of Flexibility and Surface Properties on Slamming Loads in Water Entry of Cylinders and Spheres

Abstract

This study investigates the slamming impacts experimentally considering the energy transfer from solid to fluid during slamming. Deformations on free water surface by solid objects entering water were observed and impact forces were measured via strain gauges at different entrance velocities. Experiments were conducted by using cylinders and spheres whose surfaces' entrance angles into the water change at different depth levels. Free fall tests were designed to measure impact forces of the investigated shapes by immersing them into the water from a definite height and to investigate the relation of the energy transferred to the water with this force. The slamming coefficient, C_s is calculated from experimental results and then compared with analytical and numerical results.

It is observed that the cylinder with ridged surface deforms the free water surface differently and this difference affects the slamming force as well. The effect of flexibility is also studied by using cylinders of different elasticity and it is shown that flexibility decreases the effect of slamming forces.

Keywords: Impact Force, Slamming, Water Entry.

1. Giriş

Dövünme, genellikle ağır deniz koşullarında, teknenin baş kısmı ve karinası sudan ayrılp yeniden su yüzeyine çarptığında çoğunlukla baş ya da başa yakın bölgeler gibi su yüzeyi ile yüzer gövde arasındaki göreceli hızın büyük olduğu yerlerde meydana gelen, birkaç milisaniye içerisinde birkaç yüz kPa değerlerine kadar ulaşabilen yüksek basınç yüküdür [1]. Bu basınç yükü suyun içerisine dalmış olan cismin yüzeyi boyunca dağılmakta ve katı-sıvı etkileşiminin ilk yaşandığı ve jet akışının gerçekleştiği yerde maksimuma ulaşmaktadır. Bu yükler borda, kiriş ve perdeler gibi gemi yapısal elemanlarını etkilediği gibi, neden olduğu titreşim anten, direk ve elektronik aksamalarda da hasara yol açabilmektedir [2]. Gemiye etki eden zayıf dövünme kuvvetleri bile gemi gövdesinde kırbaçlama etkisi oluşturur. Özellikle geminin baş ve kış kısımlarında oluşan bu etki burulma momentini önemli ölçüde artırır. Beraberinde gemi malzemelerinde yorulmalara ve mikron mertebede çatlaklara neden olur. Bu etkiler zamanla büyüyerek düşük genlikli çarpmalarda bile gemi gövdesinde yırtılmalara sebep olabilir. Willis ve diğerleri [3] dövünme kaynaklı hasarlara maruz kalmış 400'den fazla Amerikan gemisini inceledikleri çalışmalarında, bu gemilerin toplam tamir masraflarının altı milyar doların üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Dövünme alanındaki teorik çalışmaların öncüsü Von Karman'dır. Von Karman [4], deniz uçaklarının suya inişleri esnasında maruz kaldıkları hidrodinamik etkileri incelediği çalışmada problemi üç boyuttan iki boyutlu bir kesite indirgeyerek çözüm yolunda önemli bir adım atmış ve momentum teoremi ile ek-kütleyi temel alan bir teorik model geliştirmiştir. Sonrasında Wagner [5], problemi su yüzeyine düşen düz bir plaka boyutuna indirgeyerek ve yükselen suyu da hesaba katarak Von Karman'ın teorik modelini modifiye

etmiştir. Çok sonraları Zhao ve Faltinsen [6] ile Mei [7] açıkörur gönderim metodunu kullanarak ve daha lineer bir yaklaşım uygulayarak Wagner'in çalışmalarını önemli ölçüde geliştirmişlerdir.

Dövünme yüklerinin tespiti amacıyla gerçek anlamdaki ilk düşme testi Chuang [8] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bir kesitin suya düşmesi şeklinde tasarlanan deneyde sırasıyla, 1, 3, 6, 10 ve 15 derecelik kalkıntı açılarında kesitler test edilmiş, dip bölgesinden başlayarak çeşitli aralıklarda yerleştirilen sensörlerle çarpma esnasında oluşan basınç ölçülmüştür. Deney sonucunda 1 dereceden 3 dereceye kadar olan kalkıntı açılarında çarpma esnasında su yüzeyiyle kesit arasında sıkışan havanın hesap katılması gerektiği saptanmıştır. Engle [9] bir dizi düşme testi yaparak kesitte meydana gelen dövünme yüklerini deneysel olarak tespit etmiş ve deneysel verileri çeşitli teorik modellerle karşılaştırmıştır. Çalışması sonucunda 10 derecelik açıya sahip kesitte meydana gelen maksimum basınç katsayısının tespitinde Chuang'ın yönteminin daha iyi sonuç verdiğini, Wagner'in sonuçlarının ise yüksek olduğunu tespit etmiştir.

Dövünme yüklerinin gemi yapısı üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi için gözlemlenmesi gereken önemli bileşenden biri maksimum basınç katsayısıdır. Yettou ve diğ. [10] yürüttükleri deneysel çalışmalarında farklı düşme yükseklikleri, kalkıntı açıları ve kesit kütlelerinin kesit üzerindeki basınç dağılımına etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda kesit kütlesi ve düşme yüksekliğinin basınç katsayısı üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığını, basınç katsayısını etkileyen en önemli etkenin kalkıntı açısı olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak kesit kütlesi ve düşme yüksekliğinin basınç katsayısına bir etkisi olmamasına rağmen, kesitin suya giriş sonrasındaki hızını etkilediğini iddia etmişlerdir. Lewis ve diğ. [11] de 25 derece kalkıntı açılı iki boyutlu bir kesit modelinin

dövünme yüklerini deneysel olarak incelemiş, deneyler esnasında kesitin serbest düşüşünü yüksek hızlı kamerayla kaydederek düşüşün serbest su yüzeyinde yarattığı değişimi gözlemlemişlerdir. Katı cisimlerin suya girişi sırasında serbest su yüzeyinde meydana gelen su yükselmesi, yığıntılar, jet akışı ve su sıçramasını içeren bozulma nümerik modellerde ve analitik incelemelerde nonlineariteden kaynaklı karmaşıklıklardan dolayı göz ardı edilmektedir. Cointe ve Armand [12] ve Panciroli ve diğ. [13] suya transfer edilen enerjinin büyük bir kısmının su yükselmesine ve jet akışına transfer edildiğini asimptotik analiz ve PIV ölçümleriyle göstermişlerdir.

Literatürde az da olsa malzemenin esnekliğinin dövünme yüklerine etkisini inceleyen çalışmalar mevcuttur. Peseux ve diğ. [14] farklı kalınlık ve kalkıntı açılarındaki iki boyutlu modellerle gerçekleştirdikleri deneylerde hem rijit hem de deforme olabilen malzemeleri test etmişler, elde ettikleri deneysel verileri sonlu elemanlar yöntemi kullanarak buldukları sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Van Nuffel [15] yaptıkları çalışmada içi boş elastik bir silindirle düşme testleri yaptıktan sonra aynı silindirin içini beton ile doldurarak aynı testleri tekrarlamış ve yapıdaki esnekliğin dövünme kuvvetini sönmlediğini dolayısıyla dövünme yüklerinin rijit haldeki gelen yüklerden çok daha az ölçüldüğünü belirtmiştir. Faltinsen [16] küçük kalkıntı açılarında hidroelastisitenin önemini göstermiştir. Bereznitski [17] 2D beam üzerine nümerik bir çalışma yürütmüş ve hidroelastisitenin etkisinin çok kısa süreli çarpmalarda ve sifıra yakın kalkıntı açılarında önemli olduğunu göstermiştir. Daha sonra Faltinsen [18], Cooper [19], Panciroli ve diğ. [20] rijid olmayan paneller ve deforme olabilen kamalarla düşme testleri yaparak hidroelastisiteyi araştırmışlardır. Panciroli [21] elastik bir silindirle düşme testleri gerçekleştirmiş ve çarpmanın etkisiyle test

silindirinin elipse dönüştüğünü ve toplam deformasyonun birinci mod şekle göre gerçekleştiğini göstermiştir.

Sonuç olarak, dövünme gemilerde ve off-shore yapılarda hasarlara neden olabilmekte, tedbir amaçlı gönüllü hız kesmelere sebebiyet verdiği için ulaşım zamanlarını uzatmakta, yakıt sarfiyatı ve egzoz emisyon miktarlarını artırmaktadır. Bu nedenle güvenli bir yapısal dizayn ve optimum bir seyir için bu yüklerin önceden tespit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla ve gemilerde yaşanan dövünme yüklerini azaltmaya yönelik olarak, sakin su koşullarında, bir tekne kesitinde meydana gelen dövünme yüklerini deneysel olarak araştırmak için kapsamlı bir deney çalışması yürütülmüş, iki ve üç boyutlu farklı geometrik nesnelere üzerine gelen toplam yükler ve diğer suya giriş karakteristikleri analiz edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar benzer deneylerin bilgisayar ortamında modellenerek elde edilmiş sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada değişken kalkıntı açısı karakteristiğine sahip gemi bulbına benzerliğinden dolayı silindir ve küre şekilli cisimlerle çalışılmış ve bu tür cisimlerin suya girişleri enerji transferi açısından incelenmiştir.

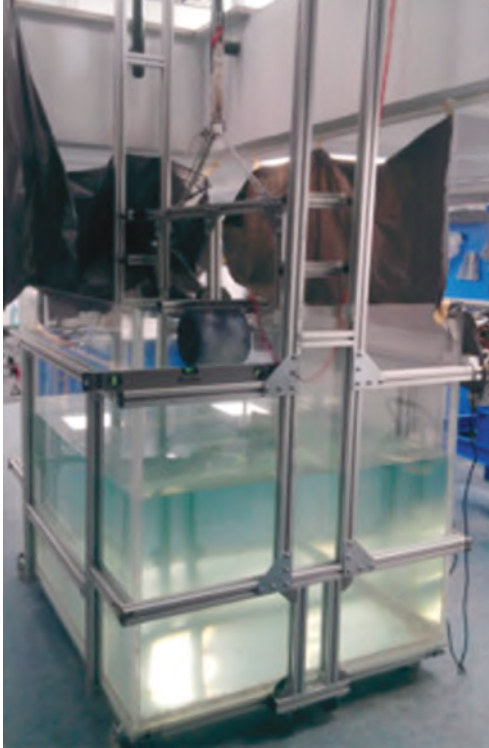
2. Deney Düzenegi ve Metodoloji

Günümüzde gemilerdeki dövünme yüklerinin hesaplanmasında kullanılan farklı sayısal modeller bulunsa da bu modeller yardımıyla geminin maruz kaldığı dövünme yükünü net olarak tespit etmek hala mümkün olamamaktadır. Dövünme yüklerinin meydana gelişinin kompleks bir hidrodinamik hadise olması, yüksek nonlinearite içermesi ayrıca problem içerisinde serbest yüzey etkisinin bulunması analitik yada nümerik metotlarla dövünme hesabının yapılmasını güçleştirici faktörlerdir.

İnşa edilen Türk Gemi İnşa sektörüne katkı sunacağı öngörülen deney düzenegi;

test edilecek gemi form kesitlerinin belirli hızlarda suya girişinin sağlanması için 1 m x 1.7 m x 1.2 m boyutlarında 10 mm kalınlığında akrilik camdan yapılmış bir su tankı, taşıyıcı araba ve düşme mekanizması içermektedir (Şekil 1). Tankın dört tarafının da akrilik olması suya giriş karakteristiklerinin gözlemlenmesine olanak vermektedir. Tank deneyler esnasında yaklaşık 80 cm derinlikte su ile doldurulmaktadır. Literatürden bilindiği üzere bu derinlikte sıg su etkisi olmamakta ve tanktan su kaybı yaşanmadan ölçüm alma ve gözlem yapma imkanı bulunmaktadır. Düşme deneyleri esnasında taşıyıcı araba kaynaklı herhangi bir sallantı yaşanmaması ve titreşim oluşmaması için deney düzeneği dört ayağından, en üstünden ve en altından betona sabitlenmiştir.

Deneysel düzende alüminyum konstrüksiyondan teşkil bir taşıyıcı



Şekil 1. Su Tankı ve Çerçevesi

yapı üzerinde belirli bir yükseklikte tutulan nesnelere su dolu tank içerisine bırakılmaktadır. Deney düzeneğiyle 4 metreye kadar çeşitli yüksekliklerden taşıyıcı araba vasıtasıyla üzerine bağlı olan test nesnelere farklı mesafelerden suya girişleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu da 9 m/s'lik giriş hızına kadar deney yapmayı mümkün kılmaktadır.

Suya girişte test nesnelere etki eden toplam kuvvet değerleri gerinim ölçerler vasıtasıyla ölçülmüştür. Bu amaçla Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd. marka WFLA-6-11-3L model su geçirmez gerinim ölçerler kullanılmış, veri transferi de National Instrument 9235 marka DAQ ile sağlanmıştır. Bütün deneylerde 10 kHz'lik bir örnekleme frekansında gerinim değerleri ölçülmüştür. Phantom Miro ex4 marka hızlı kamera kullanılarak 1400 fps hızında videolar çekilmiş ve jet akışı, su yükselmesi, pile up (yığıntı) ve cisim ardında oluşan kavite yüksek çözünürlükteki resimler üzerinden analiz edilmiştir. Bu şekilde gemi kesitinin suyla teması anında su yüzeyinde meydana getirdiği hidrodinamik etkiler gözlemlenebilmiştir.

Literatürde az sayıda araştırma suya girişi sağlanan cisimlerin esneklikleri üzerine deneysel çalışma mevcuttur. Biri UPVC diğeri alüminyumdan olmak üzere farklı elastisiteye sahip iki silindir deneysel çalışmalarda karşılaştırılmıştır. Kullanılan silindirlerin rijidlik seviyeleri, $FS=EI/(R_m)^3$ ilişkisi ile; E, malzeme elastisitesi, I, atalet momenti ve R_m , ortalama yarıçap, hesaplanmıştır. Alüminyum silindirin bu değerlendirmeye göre UPVC silindire göre yaklaşık dört kat daha rijid olduğu tespit edilmiştir.

3. Deney Sonuçları

Yürütülen deney serileri ile farklı geometride, esneklik değerlerinde ve yüzey özellikleri durumunda dövünme sırasında cisme gelen kuvvetlerin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Özellikle

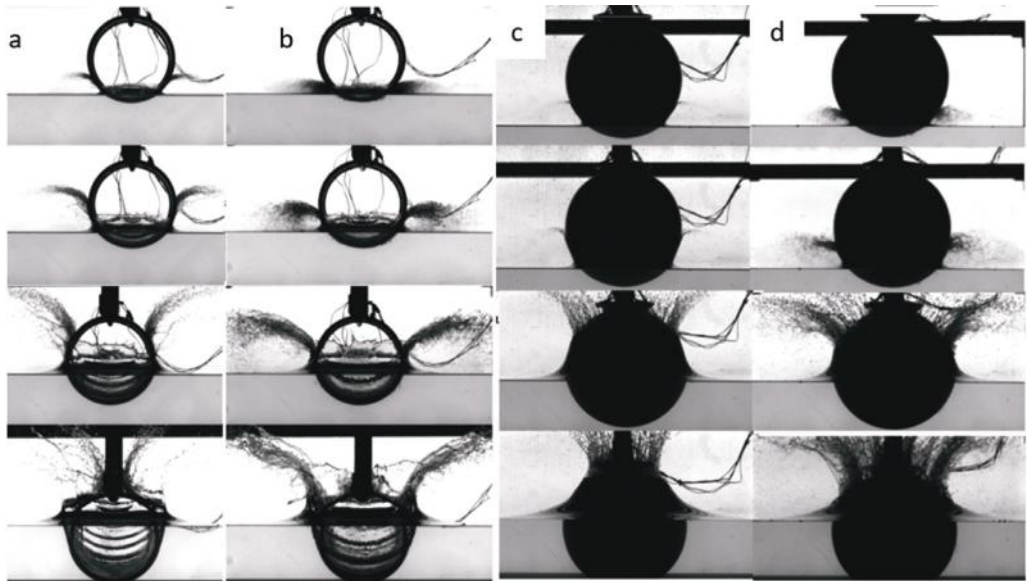
yüzey karakteristiğinin etkisi ile ilgili olarak literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Silindir modeller UPVC ve alüminyum olmak üzere iki farklı malzemeden, küre modeli ise akrilikten üretilmiştir. Tablo 1'de test edilen cisimlerin geometrik ve kütleli özellikleri gösterilmiştir. Bu tür geometrilerin suya girişi değişken açılı giriş olarak gruplandırılır ve cismin yüzeyi ile su yüzeyi her derinlik aşamasında farklı açı değeri göstermektedir. Silindir ve küre şeklindeki cisimlerin suya girişteki ilk temaslarında açı en küçük değeri (0 derece) gösterirken, suya girdikçe bu açı değeri artarak değişkenlik gösterir.

Bu tür modeller geometrik açıdan bulbul karakteristiği gösterdiği için genellikle hull altı dövünme çalışmalarında tercih edilmektedir.

Katı cisimler suya giriş yaptığı andan itibaren sahip oldukları enerjinin bir kısmını suya aktarırlar. Serbest su yüzeyiyle ilk temas halinde çarpışma sprey olarak tabir edilen küçük bir su kümesini pülverize olarak dışarıya doğru iter, bu durumda cismin düşey hızı çok fazla değişmemektedir. Cisim penetrasyona devam ettikçe daha fazla kinetik enerjisini su kümesine transfer ettiğinden düşey hızı azalmakta ve cismin kenarlarından daha fazla miktarda su yukarıya doğru yükselmektedir.

Tablo 1. Test Nesnelerinin Geometrisi ve Ağırlıkları

| | Silindir (S1) | Silindir (S2) | Silindir (S3) | Küre (K1) |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| Kütle (taşıyıcı ile) | 16 kg | 11 kg | 15 kg | 12 kg |
| Çap | 22 cm | 12 cm | 15 cm | 30 cm |
| Kalınlık | 1 cm | 0.2 cm | 0.6 cm | 0.4 cm |
| Malzeme | UPVC | Alüminyum | Alüminyum | Akrilik |

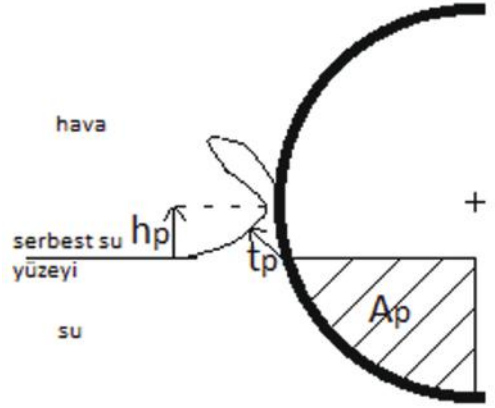


Şekil 2. Farklı Yüksekliklerden Düşürülen Cisimlerin Suya Giriş Aşamaları

Silindir (S1) a) 15 cm'den 11, 22, 42 ve 78 ms ve b) 50 cm'den 6, 14, 26 ve 48 ms, Küre (K1) c) 15 cm'den 18, 26, 65 ve 95 ms ve d) 50 cm'den 9, 15, 40 ve 58 ms

Bu yükselme pileup olarak adlandırılır ve tam su hattında jet akışı oluşmaya başlar. Tam bu anda cisim büyük bir reaksiyon kuvvetiyle karşılaşır ki buna dövünme kuvveti denir. Dövünme kuvveti ve yükselen suyun karakteristikleri cismin giriş hızına ve şekline bağlıdır. Şekil 2’de 15 cm ve 50 cm’den bırakılan silindir ve kürenin serbest düşme testleri sırasında elde edilen farklı aşamalarda suya giriş anları görülmektedir. 15 cm’den bırakılan cisimlerin hızları ve kinetik enerjileri düşük olduğu için cisim suyu çok fazla dışarıya doğru itmemekte, bu sebeple arkasında kavite oluşturamadan enerjisinin az bir kısmı ile az miktarda suyu sıçratmaktadır. Deforme olan su yüzeyi oluşan yığıntılarla (pileup) birlikte cismin üzerine kapanmaktadır. Cisim daha yüksek enerjiye sahip olduğunda ise, yani cisim ile serbest su yüzeyi arasındaki yükseklik arttırıldığında (50 cm) yüzeyle etkileşim halindeki su belirli bir mesafe cismin yüzeyini takip ettikten sonra stabilitesi bozulduğu için yüzeyden ayrılmakta ve suya transfer edilen enerji daha yüksek olduğundan dolayı daha büyük kütlede yığıntılar cisimden dışarıya doğru uzaklaşmakta ve cismin arkasında kavite oluşmasına neden olmaktadır. Suya giren cisim transfer ettiği enerjisinin yarısını yükselen suya (jet flow) verirken kalan yarısını da yığıntılardaki (pileup) su kütesine vermektedir (Cointe ve Armand [12]). Panciroli ve diğ. [13] ise yaptığı PIV ölçümlerinden deforme olana suya giden enerjinin %60-80 oranlarında daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Yani serbest su yüzeyindeki değişimler ile suya giren cisimlerin enerjilerinin aktarımı arasında doğrudan bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Aktarılan enerji miktarlarını yükselen su kütesinin hacmi üzerinden boyutsuz olarak karşılaştırmak için sabit kalkıntı açılı (kama) geometriler için tanımlanmış boyutsuz bir katsayı olarak ıslatma faktörü literatürde mevcuttur.

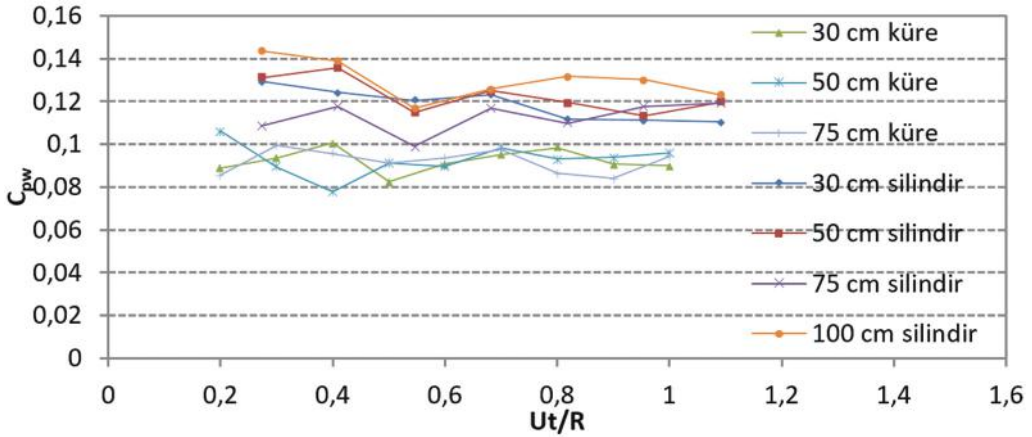
Benzer şekilde değişken açılı cisimlerin suya giriş sırasında oluşturduğu deforme olup



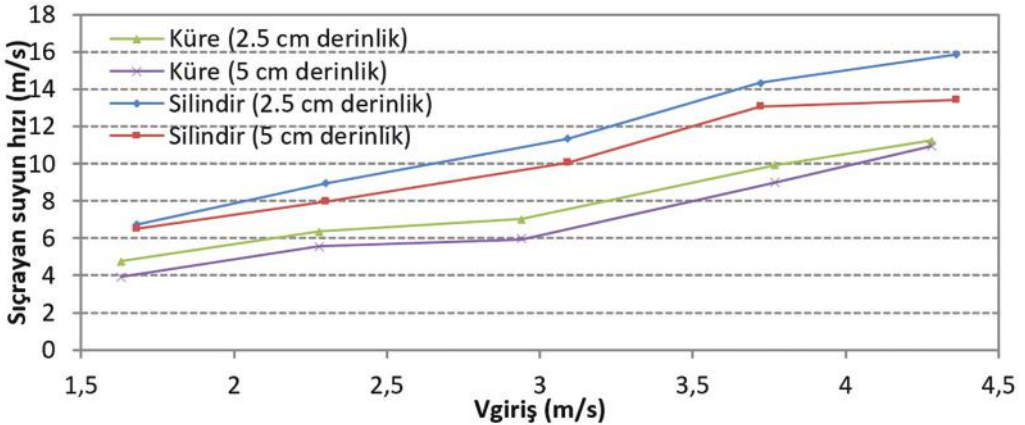
Şekil 3. Pileup (Yığıntı) Katsayısının Hesabında Kullanılan Parametreler

yükselen su miktarlarını karşılaştırmak için Korkmaz&Güzel [22] tarafından $C_{pw} = (h_p * t_p) / A_p$ olarak boyutsuz bir pileup katsayısı tanımlanmıştır (Şekil 3). Bu katsayı cismin hemen etrafında deforme olup yükselen su kütesinin iki boyutlu düzlemdeki kalınlık (t_p) ve yükseklik (h_p) çarpımının, silindir deplasmanının yarısına olan oranından oluşur. Böylece suya farklı hız ve geometride giren cisimlerin ne kadarlık bir su kütesini deforme edip ne kadar uzağa itebildikleri, dolayısıyla ne kadarlık bir enerji transferi gerçekleştiği karşılaştırılabilmektedir.

Şekil 4’te silindir ve küre için ölçülen C_{pw} değerleri boyutsuz batma derinliğine (Ut/R) göre gösterilmiştir. Silindirin pile-up katsayısı farklı giriş hızlarında derinlik arttıkça 0.12 civarında sabit bir değer gösterirken küreninki 0.09 mertebelerinde yine sabit bir değer göstermektedir. C_{pw} katsayısının tanımından ve Şekil 4’ten pileup içerisindeki su kütesinin cismin deplasmanı ile lineer olarak doğru orantılı olduğu söylenebilir. Bu da gösterir ki, aynı cismin farklı hızlarda girişlerinde oluşan yığıntıların cismin suya giren alanına oranı birbirine yakındır. Farklı yüksekliklerden suya giriş yapan cisimlerin özellikle başlangıç safhalarındaki katsayı farklılığı enerjinin sadece yığıntılarla değil aynı zamanda jet akışı ve sıçrayan suyla birlikte uzaklaşan su kütesiyile de enerji



Şekil 4. Silindir (S1) ve Kürenin (K1) Farklı Yüksekliklerden Suyu Girişlerinde Oluşturdukları Pileup (Yığıntı) Katsayısı Değerleri



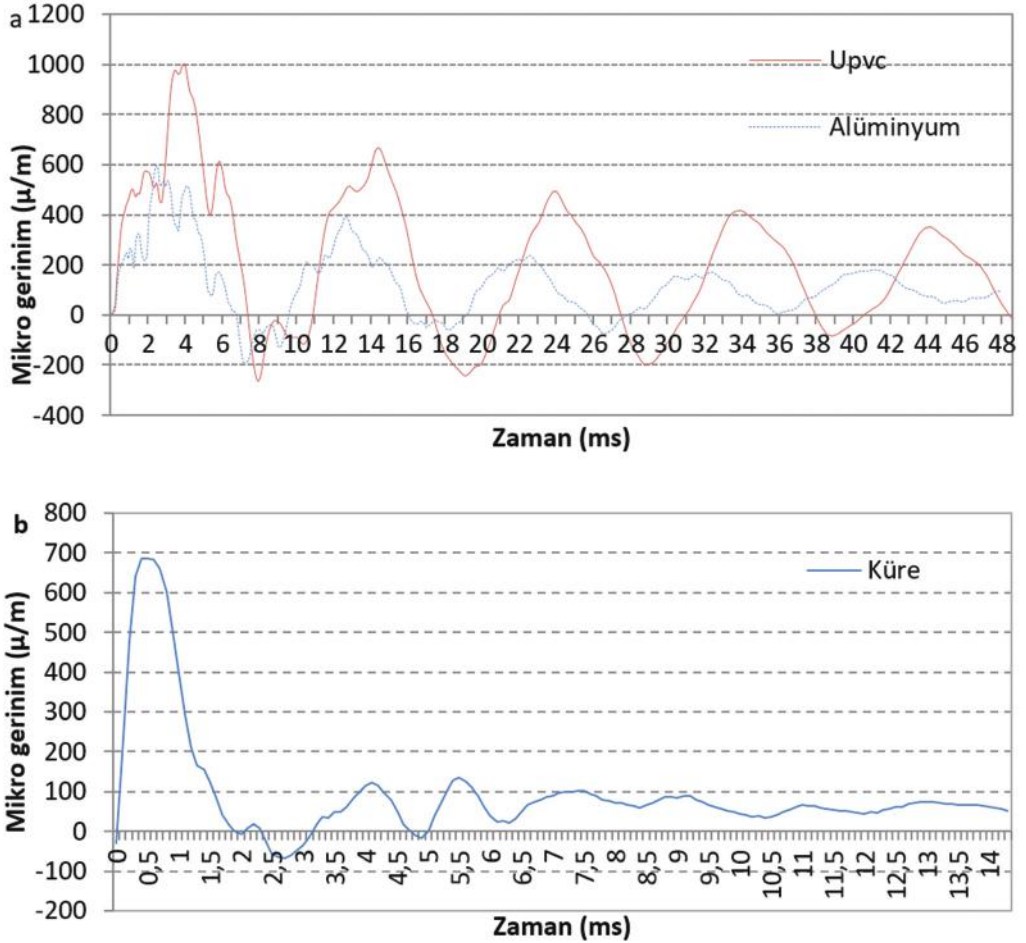
Şekil 5. Cisimlerin Suyu Girişi Sırasında Sıçrayan Suların Hızları

transferinden dolayı kaynaklanmaktadır. Yükseklik arttıkça cismin sahip olduğu enerji de cisme gelen çarpma kuvvetleri de artmaktadır. Suyu giriş sırasında daha yüksekten düşürülen cismin sahip olduğu yüksek kinetik enerji çarpma esnasında daha fazla miktarda ve daha yüksek hızda su sıçraması meydana getirmektedir. Şekil 5'te giriş hızına göre cismin iki farklı derinlik anına denk gelen ortalama sıçrayan su hızları gösterilmiştir. Beklenildiği gibi giriş hızı arttıkça sıçrayan suyun hızı da artmaktadır. Silindirde enerji transferi iki eksende sıçrayan suya aktarılırken, kürede bu olay üç eksende gerçekleşmektedir.

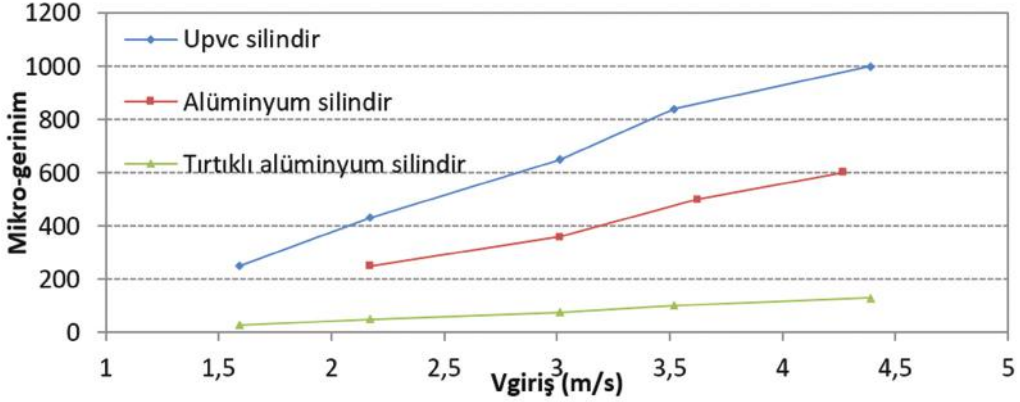
Test cisimlerinin suya girişleri esnasında maruz kaldıkları çarpma kuvvetlerini ölçmek için gerinim ölçer pullar kullanılmıştır. Genel olarak gerinim ölçerler elastik deformasyonu ölçerler. Bu deformasyon çarpma kuvvetiyle doğru orantılıdır ve çarpma yönünde maksimumdur. Bu yüzden çevresel gerinim çarpma kuvvetine bir analogi sağlamaktadır. Bu amaçla farklı elastisiteye sahip iki silindirin ve kürenin alt kısımlarının iç yüzeylerine çevresel yönde gerinim ölçerler yapıştırılmış ve dövünme sırasında maruz kalınan toplam kuvvetler ölçülmüştür. Şekil 6'da cisimlerin yaklaşık 4,36 m/s hızla suya girişleri esnasında ölçülen gerinim değerleri yalnız

olarak gösterilmiştir. Gerinim değerlerinde gözlemlenen osilasyon cisimlerin esnekliklerinden kaynaklanmaktadır. Taşıyıcıyla birlikte silindirlerin doğal frekansı birbirlerine yakın olduğu için osilasyonların frekansı da benzerlik teşkil etmektedir. UPVC silindir suya girdikten yaklaşık 4 mili saniye sonra gerinim değeri tepe noktasına ulaşırken, alüminyum silindirde bu 2,2 mili saniye civarlarında gerçekleşmektedir. UPVC silindirinin merkezi ilk çarpma anından serbest su yüzeyi seviyesine ulaşmaya kadar üç osilasyon gözlemlenmekte ve peak gerinim değeri 1000'den 498'e inerken alüminyum

silindirde iki osilasyon gözlemlenmekte ve peak gerinim değeri 600'den 400'e inmektedir. Peak değere ulaşma süreleri ve silindir merkezlerinin su yüzeyine ulaşma süreleri oranlandığında birbirine yakın değerler çıkmakta bu da geometriden bağımsız olarak peak değerinin aynı açılmalı olarak uzunluğa denk geldiğini göstermektedir. Yani nispeten daha rijid olan alüminyum silindirde daha az sönümlenme meydana gelmektedir. Kürede ise daha rijid olan yapıyla maksimum kuvvet 0,5 mili saniyede tepe noktasına ulaşmakta ve çok daha az osilasyon yaparak sönümlenmektedir.



Şekil 6. a) UPVC ve Alüminyum Silindirlerin b) Akrilik Kürenin 1 m'den Suya Girişlerinde Ölçülen Yalın Gerinim Değerleri



Şekil 7. Silindirlerin Farklı Giriş Hızlarında Ölçülen Maksimum Gerinim Değerleri

Dövünme sırasındaki çarpma kuvvetlerini elde edebilmek için cisimlere monte edilen gerinim ölçerler düşme testleri sırasında ölçülen maksimum gerinim değerini vermektedir. Bu sebeple maksimum gerinim (maksimum çarpma kuvveti) giriş hızıyla doğru orantılıdır. Şekil 7'de bu ilişki üç farklı silindir (S1, S2, S3) için gösterilmiştir. Burada yüzeyi tırtıklı ve et kalınlığı daha fazla olan dolayısıyla daha rijid olan bir silindirin sonuçları da gösterilmiştir. Daha sonra statik sıkıştırma testleri yürütülerek cisimlere belirli yükler uygulanmış ve gerinim-kuvvet değişimi belirlenmiştir. Statik olarak elde edilen gerinim-kuvvet ilişkisi dövünme esnasında ölçülen gerinim değerlerini toplam çarpma kuvvetine dönüştürmek için kullanılmıştır.

Suya giren herhangi bir cisme etki eden çarpma kuvvetinin mevcut teorilere göre yapılan analitik hesabında giriş, cismin şekli bağımsız düz bir levha girişi olarak modellenmiş ve levha üzerindeki basınç dağılımının integrasyonu ile toplam kuvvet elde edilmiştir. Von Karman'ın yaklaşımında silindirin suya girişi sırasında çarpma kuvvetinin hesabı için düz plağın yarı genişlik, $b(t)$ üzerindeki basınç dağılımının integrasyonu vasıtasıyla (Şekil 8) birim uzunluk başına etki eden kuvvet [15]:

$$F_l = \int_{-b(t)}^{b(t)} p_l(x, t) dx \quad (1)$$

olarak elde edilmiştir. Von Karman'ın yaklaşımında suyun deformasyonu hesaba katılmayıp x_{max} derinlik değeri, Ut ile elde edilmiştir.

$$x_{max} = \pm \sqrt{-4U^2t^2 + 2RUt} \quad (2)$$

Burada U , cismin hızını, t , geçen süreyi ifade etmektedir ve R silindir yarıçapıdır.

Bu durumda kuvvet değeri:

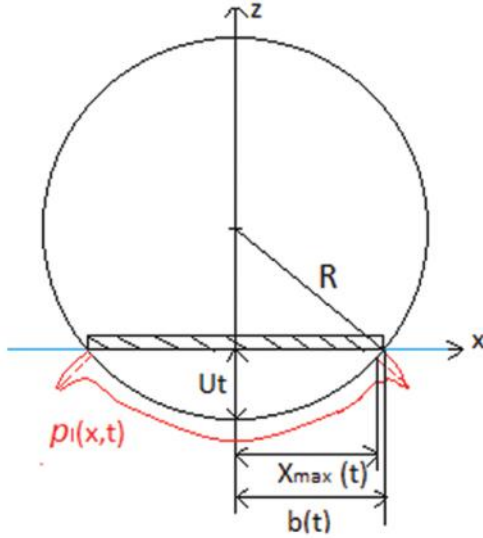
$$\begin{aligned} F_l &= \int_{-b(t)}^{b(t)} p_l(x, t) dx \\ &= \rho RU^2 \left[2 \arctan \left(\frac{\sqrt{1 - 2\frac{Ut}{R}}}{\sqrt{2\frac{Ut}{R}}} \right) + 2 \sqrt{2\frac{Ut}{R} \left(1 - 2\frac{Ut}{R} \right)} \right. \\ &\quad \left. - 2 \sqrt{2 \arctan \frac{Ut}{R} \left(1 - 2\frac{Ut}{R} \right)} \right] \quad (3) \end{aligned}$$

olarak elde edilmiştir [15].

$$\text{Dövünme katsayısı; } C_s = \frac{F_l}{\rho R L V_{giriş}^2}$$

birim kuvvetin F_l ; suyun yoğunluğu, ρ , silindirin yarıçapı, R , silindirin uzunluğu, L ve giriş hızının karesinin, $V_{giriş}^2$ çarpımları sonucunda çıkan sonuca bölümü ile bulunur.

Von Karmanın yaklaşımı ile dövünme katsayısı, $\lim_{t \rightarrow 0} C_s \text{ Von Karman} = \pi$ olarak elde edilir. Dövünme katsayısı silindirin ilk temasından sonra maksimum değere ulaştıktan sonra ilerleyen aşamalarda azalarak devam eder.



Şekil 8. Silindirin Suya Girişinde Von Karman'ın Yaklaşımı [15]

Wagner'in yaklaşımında ise suyun deformasyonu da hesaba katılır ve x_{\max} değeri;

$$x_{\max} = \pm 2\sqrt{-U^2 t^2 + RUt} \quad (4)$$

olarak elde edilir. Değişen temas alanı neticesinde dövünme katsayısı;

$$C_s = \frac{F_l}{\rho R L V_{\text{giriş}}^2} = \lim_{t \rightarrow 0} C_s \text{ Wagner} = 2\pi \quad (5)$$

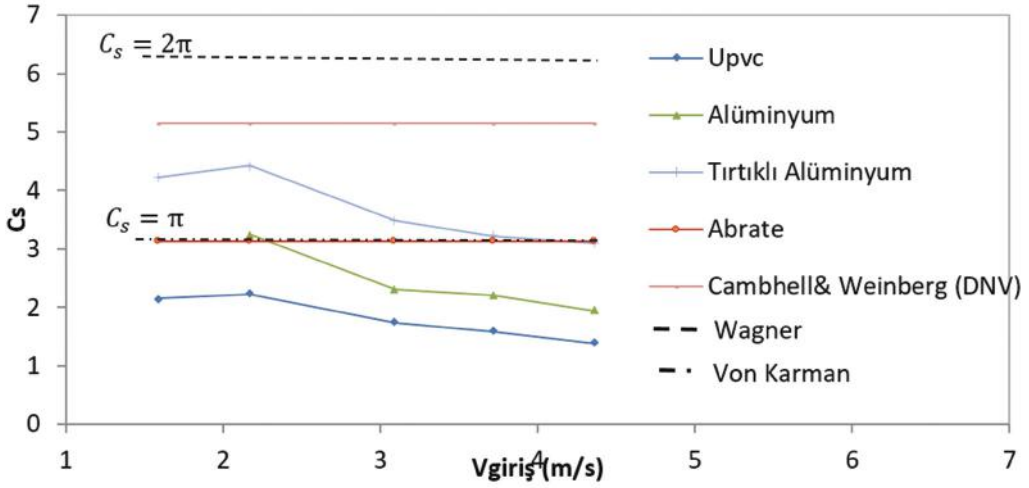
olarak ve yine başlangıçta maksimum ancak bu sefer Von Karman'ın değerinin iki katı olarak elde edilir [23].

Deneyler sırasında elde edilen maksimum çarpma (dövünme) kuvvetlerinin teoriyle karşılaştırılması dövünme katsayısı, C_s üzerinden Şekil 9'da gösterilmiştir. Daha elastik olan UPVC silindirde daha düşük dövünme değerleri elde edilirken daha rijid olan alüminyum

silindirlerde nispeten daha yüksek dövünme katsayısı değerlerine ulaşılmıştır. Bununla birlikte Şekil 7'de görüleceği üzere üç farklı silindirde de çarpma kuvveti giriş hızının artmasıyla artmaktadır. Ancak artış oranı üçünde de farklıdır. Momentum teorisine göre ise rijid cisimler için çarpma kuvveti, F_l ile giriş hızının karesi, $V_{\text{giriş}}^2$ doğru orantılıdır [4, 5]. Yani $V_{\text{giriş}}^2$ arttıkça F_l de aynı oranda artar, bu yüzden rijid cisimler için C_s , dövünme katsayısı giriş hızına göre değişmez. Wagner'in [5] çözümünde bu katsayı bütün giriş hızlarında 2π iken, Von Karman'ın [4] çözümünde π 'dir. Rijid kabulü yapılan benzer analitik ve nümerik çalışmalarda da C_s değeri sabittir (Şekil 9). Esnek malzemelerde ise çarpma sırasında enerjinin bir kısmı absorbe edildiği için giriş hızı arttıkça çarpma kuvveti esnekliğe bağlı olarak daha az oranda artmaktadır. Şekil 7'de üç farklı esnekliğe sahip silindirin farklı hız-kuvvet (deformasyon) ilişkisi görülmektedir. Örneğin test edilen en düşük hızla en yüksek hız arasında 2.76 kat fark varken ($V_{\text{giriş}}^2=7.6$) (rijid cisim kabulünde kuvvetin de 7.6 kat artması gerekirken) tırtıklı alüminyum silindirde max gerinim 4.6 kat artmakta iken nispeten daha esnek olan UPVC silindirde ise 4 kat artış gözlemlenmektedir. Buna göre esnek malzemelerde C_s değeri, teorinin aksine, artan hızla birlikte azalmaktadır (Şekil 9).

4. Tırtıklı Yüzeyle Cisimlerin Suya Girişi

Serbest su yüzeyinde oluşan deformasyonun şekli ve miktarı giren cismin ne kadarlık bir kinetik enerjiye sahip olduğuna ve sahip olduğu bu enerjinin ne kadarlık bir kısmını suya transfer edebildiğine göre değişir. Eğer cisim ilk çarpma anından itibaren su içerisinde batıp ilerledikçe serbest su yüzeyindeki deformasyon az oluyorsa cisim enerjisini ayrılan su kütlelerine fazla aktaramıyor ve enerjinin büyük kısmı kendi üzerinde kalıyor demektir. Bu durumda enerjinin ve momentumun korunumu gereği cisim

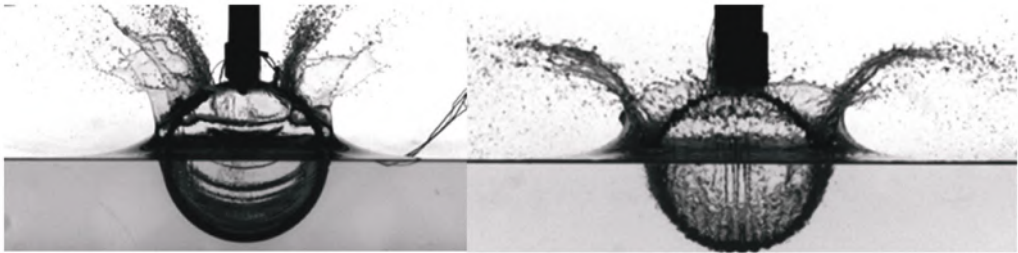


Şekil 9. Silindirlerin Farklı Giriş Hızlarında Hesaplanan Maksimum Dövünme Katsayıları

üzerinde ciddi çarpma yükleri meydana gelmektedir. Serbest su yüzeyinde meydana getireceği deformasyonu araştırmaya yönelik dış yüzeyi tırtıklı bir silindirin suya girişi de çalışılmıştır. Silindir yüzeyinin tırtıklı olması çarpma sırasında tırtıklar arasında hava sıkışmasına neden olmakta ve ıslak temas alanını azaltmaktadır. Şekil 10'da 15 cm'den serbest bırakılan tırtıklı ve pürüzsüz yüzeyli silindirlerin suya girişleri esnasında benzer aşamalardaki anlık fotoğrafları karşılaştırılmıştır. Resimlerden görüleceği üzere tırtıklı silindirin suya giriş esnasında oluşturduğu yığıntı ve sıçrattığı su miktarları daha fazla olmakta, yani başlangıçta hemen hemen aynı kinetik enerjiye sahip olmalarına rağmen cisimler suya girişlerinden itibaren farklı miktarlarda enerjilerini deforme olan suya aktarmaktadırlar. Dahası tırtıklı

silindirin arkasında kavite oluşurken pürüzsüz yüzeyli silindirin arkasında kavite oluşmamakta ve jet akışı silindirin yüzeyinden ayrılmadan yüzeyi takip ederek tepe noktasında kapanmaktadır. Kısaca pürüzsüz yüzeye nazaran tırtıklı silindirin daha az ıslak yüzeye sahip olması enerji transferi miktarının artmasına neden olmuştur.

Gemilerde dövünme ve sıvı çalkantısı kaynaklı kuvvetlerin etkisinin azaltılması gemi seyir performansını olumlu yönde etkileyeceğinden bu etkileri azaltmaya yönelik bazı çalışmalar yürütülmektedir. Örneğin Akyıldız&Ünal [24] tanktaki sıvı çalkantısını deneysel olarak çalışmışlar ve tank iç yüzeylerinde uyguladıkları perdeler sayesinde çalkantı esaslı basınç değerlerinde düşme olduğunu tespit etmişlerdir. Bu bağlamda tırtıklı yüzeylerin



Şekil 10. Pürüzsüz (Sol) ve Tırtıklı Silindirin 15 cm Yükseklikten Suyu Girişi

de çarpma kuvvetlerinin etkisini azaltması bu alanda pratik uygulamalara imkan vermektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada silindir ve küre şeklindeki cisimlerin suya girişleri çalışılmış ve çarpma kuvvetleri değişen geometri ve giriş hızlarına göre tespit edilmiştir. Gövde esnekliğinin suya giriş anında çarpma kuvvetlerini (dövünme) azalttığı gözlemlenmiştir. Suya giren cisimlerin hidrodinamiği kinetik enerji transferi açısından incelenmiş, deforme ettikleri su miktarları karşılaştırılmış ve aynı zamanda ıslak yüzey alanını azaltıcı uygulamalar denenerek tırtıklı yüzeye sahip silindirlerin suya girişi ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, suya giriş anında daha fazla kinetik enerji transferi gerçekleştiğinde cisimlerin daha az çarpma etkilerine (dövünme) maruz kaldığı tespit edilmiştir. Bu tür uygulamalar gemilerde gerçekleştirildiğinde daha az bölgesel hasarlar meydana gelecek, yorulma hasarları azalacak, daha konforlu seyahatler daha hızlı ve daha az yakıt harcanarak gerçekleştirilebilecektir.

Teşekkür

Bu araştırma finansal olarak Yıldız Teknik Üniversitesi BAP koordinatörlüğü tarafından (Proje no: 2013-10-01-KAP03) desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Faltinsen, O. M. (1990). Sea loads on ships and offshore structures. Cambridge University Press, Cambridge.
- [2] Faltinsen, O. M. (2005). Hydrodynamics of high-speed marine vehicles. Cambridge University Press, New York.
- [3] Willis, M.E., Dalzell, R.G., Kline, R.G., Maclean, W.M., Townsend, H.S., Ochi, M.K., Ochi, M.D. (1994). Technical and Research Bulletin 2-30: Notes on Ship Slamming, Panel HS-2, Impact Loading and Response, The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- [4] Von Karman (1929). The impact on sea plane floats during landing, Tech. Report 321, NACA.
- [5] Wagner, H. (1932). Phenomena associated with impacts and sliding on liquid surfaces, translation of "Über stoss und Gleitvorgänge an der Oberfläche von Flüssigkeiten", Zeitschrift für Angewandte Mathematik Und Mechanik. 12(1): 193-215.
- [6] Zhao, R. and Faltinsen, O.M. (1993). Water Entry of Two-dimensional Bodies, Journal of Fluid Mechanics, 246(1):593-612.
- [7] Mei, X., Liu, Y., Yue, D.K.P. (1999). On the water impact of general two-dimensional sections, Journal of Applied Ocean Research, 21(1):1-15.
- [8] Chuang, S. (1967). Experiments on Slamming of Wedge- Shaped Bodies, J. of Ship Research, 11: 190-198.
- [9] Engle, A., Lewis, R. (2003). A comparison of hydrodynamic impacts prediction methods with two dimensional drop test data, Marine Structures, 16: 175-182.
- [10] Yettou, E. M., AD, A., Champoux, Y. (2006). Experimental study on the water impact of a symmetrical wedge, Fluid Dynamics Research, 38(1):47-66.
- [11] Lewis S. G., Dominic A Hudson, Stephen R Turnock and Dominic J T. (2010). Impact of a free falling wedge with water: Synchronized visualization, pressure and acceleration measurement, Fluid Dyn. Res. 42(3): 035509(30pp).
- [12] Cointe, R. and Armand, J.L., (1987). Hydrodynamic impact analysis of a cylinder, J. Offshore Mech. Arct. Eng. 109(3): 237-243.

- [13] Panciroli, R., Shams, A., Porfiri, M., (2015). Experiments on the water entry of curved wedges: High speed imaging and particle image velocimetry, *Ocean Engineering*, 94(1):213-222.
- [14] Peseux, B., Gornet, L., Donguy, B. (2003). Hydrodynamic impact: Numerical and experimental investigations, *Journal of Fluids and Structures*, 21(1): 277-303.
- [15] Van Nuffel, D. (2014). Experimental Study of the Slamming Induced Pressures, Forces and Deformations of Quasi-Rigid and Deformable Bodies during Vertical Water Entry, Ph.D. Thesis, Ghent University, Belgium.
- [16] Faltinsen, O.M., (1997). The effect of hydroelasticity on ship slamming, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 355: 575-591.
- [17] Bereznitski, A. (2001). Slamming: The role of hydroelasticity, *Int. Shipbuild. Prog.*, 48(4): 333-351.
- [18] Faltinsen, O.M., (2000). Hydroelastic Slamming, *J. Marine Science Technology*, 49-65.
- [19] Cooper, M., McCue, L., (2011). Experimental study on deformation of flexible wedge upon water entry, 9th Symposium on High Speed Marine Vehicles, May, Naples, Italy.
- [20] Panciroli, R., Abrate, S., Minak, G., Zucchelli, A., (2012). Hydroelasticity in water-entry problems: Comparison between experimental and SPH results, *Composite Structures*, 94: 532-539.
- [21] Panciroli, R., Ubertini, S., Minak, G., Jannelli, E., (2015). Experiments on the dynamics of flexible cylindrical shells impacting on a water surface, *Experimental Mechanics*, 55, 1537-1550.
- [22] Korkmaz F. C. and Guzel B. (2017). Water entry of cylinders and spheres under hydrophobic effects; Case for advancing deadrise angles. *Ocean Engineering* 129(1): 240-252.
- [23] Abrate, S., (2013). "Hull slamming". *Appl. Mech. Rev.* 64(6):1-35.
- [24] Akyildiz H. and Unal E. (2014). Dönme Hareketi Verilen Rijit Silindirik Bir Tankta Sıvı Çalkantısının Deneysel İncelenmesi. *Journal of ETA Maritime Science* 2(2): 131-142.

This Page Intentionally Left Blank



Jenerik Bir Firkateyn için Egzoz Gaz Dağılımının Sayısal Analizi

Erinç DOBRUCALI¹, Selma ERGİN²

¹Deniz Harp Okulu, Türkiye

erincdobrucali@gmail.com, ORCID ID: orcid.org/0000-0001-5027-8949

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Türkiye

ergin@itu.edu.tr, ORCID ID: orcid.org/0000-0001-8343-2455

Öz

Bu çalışmada, jenerik bir firkateyn için egzoz gaz sıcaklığının ve sapma açısının, egzoz gazları ve emisyonlarının dağılımına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Süreklilik, momentum, enerji, kütle transferi ve türbülans denklemleri sonlu hacim metodu kullanılarak çözülmüştür. Egzoz gaz yayılımının sapma açısı, egzoz sıcaklığı, kaldırma kuvveti ve türbülans etkilediği tespit edilmiştir. Sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans nedeniyle egzoz gazlarının yayılımının düzensizleştiği, egzoz gazlarının insan sağlığına olumsuz etkilerinin gerçekleşebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklıklarının artışı ile egzoz gazlarının momentumlarının az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu, NOX, konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı tespit edilmiş olup bu durumda egzoz emisyonlarının seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personeli olumsuz etkileyebileceği değerlendirilmiştir. Son olarak da egzoz gaz yayılımı analitik olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar sayısal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Egzoz Gaz Yayılımı, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Sapma Açısı, Firkateyn.

A Numerical Analysis of Exhaust Smoke Dispersion for a Generic Frigate

Abstract

In this study, the effects of exhaust outlet temperature and yaw angle on the exhaust gas and emission dispersion for a generic frigate are investigated numerically. The conservation of energy, momentum, mass, species and turbulence equations have been solved by using the finite volume method. It is found that the exhaust smoke dispersion is affected by yaw angle, buoyancy and turbulence, as well as exhaust outlet temperature. The results show that the dispersion of the exhaust gases and the emission is affected adversely with increasing the yaw angle. It is defined that this phenomenon can be dangerous for the human health and the frigate. The momentum of the exhaust gases is rising slightly with increasing exhaust outlet temperature and the NOx concentrations tend to decrease volumetrically with exhaust outlet temperature. In this case, crew on the upper deck may be affected, adversely. The computations are validated with the flow visualization tests carried out in a wind tunnel. The agreement between the numerical and experimental results is found to be good. Furthermore, the exhaust gas dispersion is obtained analytically and the results are compared with the numerical results.

Keywords: Exhaust Gas Dispersion, Computational Fluid Dynamics, Yaw Angle, Frigate.

1. Giriş

Bu ekonomi ve bilgi çağında daha büyük, hızlı ve çok daha karmaşık gemilere ihtiyaç olduğu aşikardır. Bunun bir sonucu olarak egzoz gazları ile ortaya çıkan kirlilik ve ısıdan kaynaklı zararları kontrol etmek maksadıyla gemilerin bacaları için doğru dizayn standartları üretme gerekliliği mevcuttur. Ayrıca, gemi bacalarından çıkan zararlı egzoz gazlarının dünya çapında ve ciddi anlamda kurallara bağlanması şarttır.

Bacadan çıkan egzoz gazları içinde partiküller, CO₂, CO, SO_x ve NO_x gibi insan sağlığını ve çevreyi etkileyen zararlı emisyonlar vardır. Gemilerde bacadan çıkan zararlı gazlar ve baca gazının yüksek sıcaklığı, güverte üzerindeki elektronik cihazları, makinelerin hava emiş yollarını, helikopter hareketi yapan savaş gemilerinde helikopterin iniş kalkış hareketini ve güverte üzerindeki personelin sağlığını olumsuz şekilde etkilemektedir.

Bütün bu sebeplerden dolayı egzoz gazı içindeki zararlı gazların ve sıcaklığın yayılımının bilinmesi özellikle helikopter hareketi yapan savaş gemilerinde geminin dizayn aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerdendir. Fakat günümüzde geminin dizayn aşamasında bu probleme gerektiği kadar önem verilmediği değerlendirilmektedir. Genelde, egzoz gazlarının güverteye düştüğü, hava emiş kanallarına girdiği, helikopter hareketini etkilediği ve bacadan çıkan gazların sıcaklıklarının elektronik cihazlara büyük zararlar verdiği, son donatım aşamasında, deniz tecrübelerinde veya geçici teslim esnasında tespit edilebilmektedir. Bu geç tespit baca dizaynının değiştirilmesi ve üst bina yerleşiminin değiştirilmesi gibi maliyetli ve problemlili düzenlemelerin yapılmasını ortaya çıkarabilmektedir. Gemilerin egzoz gaz yayılımlarının belirlenmesi konusu önemini gün geçtikçe arttırmakta, gemi teslim aşamasında büyük maliyetlerin oluşmaması için geminin ön dizayn aşamasında farklı çalışma/

seyir koşulları altında egzoz gazlarının yayılımının ve izinin bilinmesi ve bunun kullanması çok önemli olmaktadır.

Bu kapsamda değerlendirilirse, bir geminin baca dizaynı 1970'li yıllardan beri araştırma konusu olmuş, literatürde gemi üzerinde oluşan hava akımının etkilerinin ve gemilerde egzoz gaz dağılımının incelendiği çalışmalar bulunmaktadır [1-6]. Ancak özellikle helikopter platformuna sahip savaş gemilerinin egzoz gazı yayılımı, egzoz gazlarının kızılötesi ize etkileri ve egzoz gazlarının sıcaklık bakımından üst binadaki elektronik sistemlere ve helikopter hareketine etkilerini vurgulayan detaylı bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada amaç helikopter platformuna sahip tipik bir savaş gemisi için egzoz gaz yayılımını sayısal olarak modellemek, egzoz gaz yayılımına etki eden faktörleri inceleyerek sonuçları sunmaktır. Bu kapsamda literatürdeki gemi baca dizaynları, egzoz gazlarının yayılımı, seyir halindeki gemilerde gemi formundan dolayı oluşan hava akımı ve bunun helikopter iniş kalkışına etkileri, akım görüntüleme deneyleri detaylı olarak incelenmiş ve önceki çalışmalar bölümünde sunulmuştur.

Seçilen fırkateynin tahrik sistemi dört ana dizel motordan oluşan birleşik CODAD sistemidir. Fırkateynin tam boyu (L_{OA}) 110 m, draftı (T) 4.1 m ve genişliği (B) 14.2 m'dir. Gemide helikopter hareketine imkan sağlayan helikopter platformu bulunmaktadır. Deneysel çalışmada egzoz gazlarının yayılımı, rüzgar tüneline yerleştirilen 1/100 ölçekli fırkateyn modeli ve akım görüntüleme teknikleri kullanılmıştır. Akım görüntüleme deneyleri İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Fakültesi Trisonik Laboratuvarında bulunan boyutları itibarı ile ölçekli model üzerinde duvar etkisi yaratmayacak bir rüzgar tüneline (8 L_{OA} x 4 B x 4 T) gerçekleştirilmiştir [30]. Geminin pruvası ile rüzgarın nispi yönünden oluşan farklı sapma açısının ($\Psi=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$) egzoz gaz

yayılmına etkisi incelenmiş ve elde edilen deneysel sonuçlar sayısal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Sayısal çalışmanın deneysel sonuçlarla karşılaştırılması sonrasında, gerçek boyutlardaki tipik fırkateyn modeli sayısal çalışma esnasında duvar etkisi yaratmayacak boyutlardaki dikdörtgenler prizması ($10 L_{OA} \times 5 B \times 5 T$) içine yerleştirilerek sayısal modelleme yapılmıştır. Egzoz gazları ile fırkateyn üst binası arasındaki etkileşimi çözebilmek için üç boyutlu momentum, süreklilik ve enerji denklemleri ile türbülans ve kütle transferi denklemleri sonlu hacim metodu kullanılarak çözülmüştür. Matematiksel modellemenin detayları Bölüm 4'de açıklanmış olup incelenen parametrelere (Ψ, K) ilişkin detaylar için bakınız Ref [32].

Yapılan çalışmada deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların uyum içinde oldukları görülmüştür. Fırkateyn ileri yolda seyir halindeyken sapma açısının, egzoz gaz sıcaklığının seçilen tipik fırkateyn bacasından çıkan egzoz gazlarının yayılımına ve egzoz emisyonlarına etkisi ile egzoz gazlarının gemi üst binası ile etkileşimi sayısal olarak incelenmiş ve sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans nedeniyle egzoz gazlarının yayılımının düzensizleştiği, egzoz gazlarının insan sağlığına olumsuz etkilerinin gerçekleşebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklıklarının artışı ile egzoz gazlarının momentumlarının az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu, bu durumda egzoz emisyonlarının personeli olumsuz etkileyebileceği değerlendirilmiştir. Son olarak da egzoz gaz yayılımı analitik olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar sayısal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

2. Önceki Çalışmalar

Sivil tankerlerde, savaş gemilerinde egzoz gazlarının yayılımı, gemilerin seyir

halinde üst binalarının oluşturduğu hava akımının özellikle helikopter iniş/kalkışına olan etkileri, egzoz sıcaklıklarının gemi üzerinde bulunan elektronik sistemlere etkileri, baca dizaynı ve gemilerde üst bina yerleşiminin önemi, araştırma gemilerinde ölçüm sistemlerinin yerleşimi için yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar ile rüzgar tünellerindeki akım görüntüleme deneyleri üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Egzoz gaz yayılımına ilişkin yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

1977 yılında D.McCallum ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada geçmişten günümüze değişen deniz taşımacılığında kullanılan gemilerin değişiminden kısaca bahsedilerek, halihazırda bacadan çıkan zararlı gazların yarattıkları olumsuz etkilerden bahsedilmiştir. Savaş gemilerinde ve ticari gemilerde baca dizaynının nasıl yapılacağı adım adım anlatılmaktadır. Dizayn prosedürlerini etkileyen; baca yüksekliğinin seçimi, hız oranı ve baca şeklinin seçimi, gaz sıcaklığı ve izinin kontrolünden bahsedilmiştir. Sonuç olarak yardımcı sınıf bir gemi olan AO-177 yağ gemisinin bacası örneklenmiş, daha sonrada USS Foster adlı bir destroyerin bacasından çıkan egzozun sıcaklık yayılımı incelenmiştir [7, 8].

2001 yılında Eunseok Jin ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ticari bir geminin üst bina modeli ele alınmıştır. Yapılan sayısal çalışmada CFD programı kullanılmış, kütle, momentum ve enerji denklemlerinin yanı sıra $k-\epsilon$ türbülans modeli 3 boyutlu olarak ele alınmıştır. Değişken parametreler olarak üst bina yüksekliği, baca-üst bina mesafesi ve baca/ üst bina yükseklik oranı kullanılmıştır. Seçilen bu parametrelere göre yapılan sayısal çalışmanın sonucunda bacadan çıkan zararlı gazlardan NO_2 ve partikül izi tespit edilmiş ve optimum baca yüksekliği, üst bina baca arası mesafe belirlenmiştir [9].

2005 yılında Moat ve arkadaşlarının

yaptıkları çalışmada seçilen tipik bir gemide rüzgar hızını ölçen anemometre gibi cihazların, geminin seyir halindeyken etrafında oluşan hava akımından nasıl etkilendikleri incelenmiş ve CFD yazılımı kullanılarak gemi üç boyutlu olarak modellenmiştir. Geminin üst binasında akışın bozulduğu ve anemometre gibi hassas cihazların bu akış bozulmasından etkilendikleri tespit edilmiştir. Bu sayısal çalışmada bu tip cihazların yerleşimi konusunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir [10]. Ayrıca 2003 yılında S.Popinet ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada da bir araştırma gemisi üç boyutlu olarak modellenmiş ve geminin üzerinde bulunan tüm ölçüm cihazlarının farklı seyir şartlarında geminin oluşturduğu hava akımından nasıl etkilendikleri hem deneysel hem de sayısal olarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir [11].

2007 tarihinde Kulkarni P.R. ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada tipik bir savaş gemisi modeli seçilmiş, CFD kullanılarak yapılan sayısal çalışmada tekne kısmı olmadan sadece üst binası alınarak dört farklı üst bina baca yerleşimi belirlenmiştir. Kütlelenin ve momentumun korunum denklemlerinin yanında $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmış ve yerçekimi (buoyancy effect) ihmal edilmiştir. Değişken parametreler olarak dört farklı baca konfigürasyonu yanında, dört farklı hız oranı $K=1, 2, 3, 4$ (V_s/V_w) ve yedi farklı rüzgar açısı ψ (00, 50, 100, 150, 200, 250, 300) kullanılmış ve 112 farklı modelleme yapılmıştır. 2007'de yayınlanan bu sayısal çalışma sonucunda elde edilen sayısal verilerin ışığı altında hangi baca yerleşiminin daha verimli olduğu, egzoz gazının bacadan çıkış hızının minimum ne kadar olması gerektiği tespit edilmiş olup daha sonra yapılacak olan deneysel model çalışması için bir kaynak oluşturulmuştur [12].

2010 yılında Huang ve arkadaşlarının

yaptıkları çalışmada seçilen tipik bir geminin etrafındaki egzoz gazlarının yayılımı sayısal olarak incelenmiştir. Momentum, kütlelenin korunumu ve enerji denklemleri üç boyutlu olarak çözülmüştür. Geminin farklı deniz ve dalga durumlarında bacasından çıkan egzoz gazının NO_x emisyonu ile sıcaklık yayılımının incelendiği çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir [13].

Bunların dışında savaş gemilerinde gemi üst yapısı etrafındaki akışın simülasyonu, bu akışın helikopter hareketına etkilerinin farklı yöntemlerle sayısal olarak incelendiği literatürde sayısal çalışmalar (örneğin [14-16]) olduğu gibi günlük hayatta bina bacalarından çıkan egzoz emisyonlarının deneysel ve sayısal olarak modellendiği çalışmalar da bulunmaktadır [17-18].

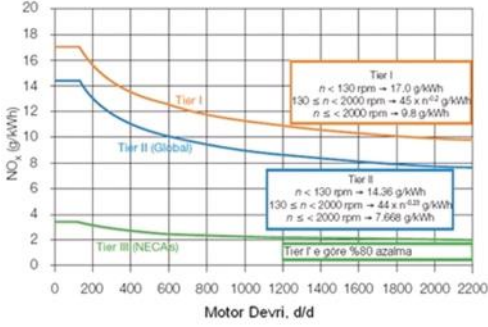
Bu çalışmanın başlıca amacı, sapma açısı ve egzoz gaz sıcaklığının seçilen tipik bir fırkateynin bacasından çıkan egzoz gazlarının yayılımına ve egzoz emisyonlarına olan etkilerinin sayısal olarak incelenmesidir.

3. Egzoz Emisyon Limitleri

Tipik fırkateyn bacasından çıkan egzoz gazlarında, çevreye ve insan sağlığına zararlı CO_2 , CO, HC, PM, NO_x ve SO_x emisyonları bulunmaktadır. Özellikle NO_x emisyonunun, insan sağlığına ve iklim değişimi gibi çevreye olumsuz etkileri vardır [19-21]. Bu kapsamda hava kirliliği açısından önemli olan NO_x emisyonunu azaltmak amacıyla değişik sistemler geliştirilmiştir [22]. Bu çalışmada da farklı parametreler için NO_x emisyonunun hacimsel olarak yayılımı ele alınmıştır.

Gemilerden kaynaklı hava kirliliğinin önlenmesine ilişkin kurallar 19 Mayıs 2005 yılında yayınlanan MARPOL 73/78 EK VI ile belirlenmiştir. Bu kapsamda ozon tabakasına ve insan sağlığına en zararlı egzoz emisyonlarından NO_x ve SO_x emisyonlarına ilişkin kurallar sırasıyla MARPOL 73/78 EK VI Kural 13 ve Kural 14'de açıklanmıştır [23].

Buna göre bu çalışma kapsamında modellenen tipik fırkateyn için NO_x emisyonu Şekil 1'de gösterilen ve halihazırda yürürlükte bulunan "Tier II" de belirtilen değerlerin geçerli olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 1. Gemilerde İzin Verilen Maksimum NO_x Emisyonları [23]

Aynı zamanda gemilerden yayılan sülfür oksit (SO_x) ve partikül emisyonları aşağıda belirtilen, gemi dizel yakıtı içindeki kükürt oranına sınır koyularak veya temizleme sistemleri kullanılarak kontrol edilmektedir. Bu çalışmada modellenen savaş gemisinde % 3 m/m kükürt oranına sahip dizel yakıtın kullanıldığı kabul edilmiştir.

- % 4.50 m/m 01 Ocak 2012'ye kadar
- % 3.50 m/m 01 Ocak 2012 ve sonrası
- % 0.50 m/m 01 Ocak 2020 ve sonrası

Çevre ve Orman Bakanlığının 06 Haziran 2008 yılında yürürlüğe soktuğu 26898 sayılı "Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği" Türkiye'de hava kalitesinin değerlendirilmesine yönelik hazırlanmıştır [24]. Bu yönetmeliğin amacı; hava kirliliğinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek yada en aza indirmek için hava kalitesi hedeflerini oluşturmak ve tanımlamak, buna göre hava kalitesini değerlendirmek, hava kalitesinin yeterli olduğu yerlerde durumu koruyarak iyileştirmek, hava kalitesi hakkında bilgi toplamak ve uyarılarla halkı bilgilendirmektir. Bu kapsamda egzoz emisyonlarının insan

sağlığına zarar vermemesi için aşağıda belirtilen limit değerlerin üzerine çıkmaması gerekmektedir.

- SO_2 gazı için saatlik limit değer $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- NO_2 gazı için saatlik limit değer $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- CO gazı için sekiz saatlik limit değer $10 \text{mg}/\text{m}^3$

4. Matematiksel Model

Genel olarak baca gazı yayılımı ölçekli modeller ile rüzgar tünellerinde incelenmektedir [12]. Bu yöntem çok uzun zaman alıcı ve pahalı olabilmektedir. Rüzgar tüneli deneylerinin yerine sayısal hesaplamalar ile geliştirilen programlar geminin dizayn aşamasında kullanılarak bir çok farklı baca geometrisi ve üst bina yerleşimi hızlı aynı zamanda da ucuz bir şekilde modellenilebilmektedir. Bu çalışmada gemi üst yapısı ve egzoz gazlarının etkileşimi, helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada iki denklemlilik k-ε türbülans modeli kullanılmış olup üç boyutlu yönetici denklemler sonlu hacim metodu ile hesaplanmıştır. Ağ sistemi tetrahedral ve uyarlanabilir ağ sistemi olup hesaplamalar ağdan bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma gemilerde egzoz gazları ile gemi üst yapı etkileşiminin çözümünde sayısal modellemenin çok etkili bir araç olduğunu kanıtlamıştır.

Egzoz gazları ile gemi üst yapısı etkileşimini belirleyebilmek maksadıyla aşağıdaki yönetici denklemler sonlu hacim metodu kullanılarak sayısal olarak hesaplanmıştır [25,26]. Sürekli durumda ($\partial/\partial t = 0$), sıkıştırılmayan akışkan ($\text{Ma} \leq 0.3$) kabulü yapılmıştır. Kartezyen koordinatlarda, yönetici denklemler tensör notasyonu kullanılarak aşağıda verilmiştir.

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \quad (4.1)$$

Momentum Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\mu_{eff} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}) - \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (4.2)$$

Enerji Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_{t,eff} \frac{\partial T}{\partial x_j}) + \rho g_i \quad (4.3)$$

Kütle Transferi Denklemi:

$$\frac{\partial \rho Y_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V Y_i) = \nabla \cdot (\Gamma_i \nabla Y_i) + R_i \quad (4.4)$$

Gemi üst yapısı üzerindeki türbülans bölgesi egzoz gazlarının güverteye düşme probleminde çok önemli bir faktördür. Türbülans bölgesinin yüksekliği başlıca geminin yapısına bağlı olmakla birlikte pratik olarak rüzgar hızından bağımsızdır [12]. Egzoz gazlarının güverteye düşme (smoke downwash) problemini çözebilmek için, türbülans bölgesi sınırının muhtemel yüksekliğinin ve bacadan çıkan egzoz gazlarının bu türbülans bölgesine girmesine engel olacak baca yüksekliğinin bilinmesi gereklidir [12].

k-ε modeli türbülans modelleme çalışmalarında pratik olarak kullanılan en kolay modellerden birisidir [27]. Daha karmaşık modeller türbülans yayılımı ve sıcaklık farkı ile oluşan kaldırma kuvveti (buoyancy) etkilerini daha iyi sunabilirler ancak bunların çözümü için ekstra gayret gereklidir ve genelde yetersiz kalırlar [12]. Murakami yaptığı çalışmada k-ε modelinin ortalama rüzgar hızını doğru olarak tahmin ettiğini fakat keskin köşeler etrafında türbülans kinetik enerjisi daha iyi öngördüğünü, ayrıca k-ε modelinin sayısal modelin yakınsama zamanını ciddi anlamda kısaltıp parametrik çalışmaları mümkün hale getirdiğini belirtmiştir [28]. Bu çalışmada da k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Türbülans Kinetik Enerji :

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_{k,eff} \frac{\partial k}{\partial x_j}) + P - \rho \varepsilon \quad (4.5)$$

Türbülans kinetik enerjisi yayılım oranı:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_{\varepsilon,eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}) + C_1 P \frac{\varepsilon}{k} - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4.6)$$

Yukarıdaki denklemlerde efektif viskozite :

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (4.7)$$

şekindedir. Türbülans viskozitesi ise

$$\mu_t = C_\mu \rho k \frac{k}{\varepsilon} \quad (4.8)$$

şeklinde hesaplanır. Yukarıdaki C_μ bir sabittir. Denklem (4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6)'daki Γ difüzyon katsayısı olup sırasıyla μ_{eff} / σ_T , μ_{eff} / σ_k ve $\mu_{eff} / \sigma_\varepsilon$ olarak hesaplanır. Denklemlerde verilen sabitlerin değerleri ise $C_1=1.44$, $C_2=1.92$, $C_\mu=0.09$, $\sigma_T=1.0$, $\sigma_k=1.0$ ve $\sigma_\varepsilon=1.3$ 'dür. Bu değerler birçok zorlanmış konveksiyon çalışmalarında kullanılmıştır. Denklem (4.5) ve (4.6)'daki P terimi türbülans enerjisinin üretimini göstermekte ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [31].

$$P = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4.9)$$

Bu denklemlerin ayrıklaştırılması için SIMPLEC (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations Consistent) algoritmasını kullanılan sonlu hacim metodu seçilmiştir. Sonlu hacim metodunda akış küçük kontrol hacimlerine bölünmüş ve her bir hacim için yukarıda bahsedilen denklemler çözülmüştür. Çalışmada iki denklemlilik k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Ağ sistemi ise tetrahedral

ve uyarlanırlar ağ sistemi olup, Şekil 2'de hesaplamalarda kullanılan ağ sistemi gösterilmiştir. Ağ büyüklüğünden bağımsız çözüm elde etmek için hesaplamalar farklı ağ büyüklükleri (19705, 31999, 76036, 122994, 190364, 312547 ve 398211 hücreli ağ) için tekrarlanmış ve sonucun ağdan bağımsız olduğu (312547 hücreli hesaplama ağı) durum ele alınmıştır. Ağdan bağımsız elde edilen sonuçlar için bakınız Ref [32].

Hesaplama alanının girişinde giriş (inlet) sınır şartı olarak sabit hız ($du/dx=0$) ve sıcaklık ($dT/dx=0$), çıkışında ise çıkış (outlet) sınır şartı olarak basınç sınır şartı ($P_{out}=P_{atm}$) kullanılmıştır. Duvar (Wall) sınır şartı olan sınırlarda hız sıfıra eşit olup ($u=v=w=0$) adyabatik sınır şartı kullanılmıştır ($q=0$). Simetri sınır şartı olan sınırlarda ise hız vektörlerinin normali sıfırdır. Baca çıkışında da sabit hız ve sıcaklık sınır şartı kullanılmıştır. Türbülans büyüklükleri k ve ε için giriş

sınır şartı sırasıyla $k=\frac{3}{2}(U_{ref}T_i)^2$, $\varepsilon=C_\mu^{3/4}k^{3/2}l$ olarak hesaplanır ve $l=0.07L$ 'dir [25]. Burada L hesaplama alanının karakteristik uzunluğudur. Çıkış ve simetri ekseninde $\partial k / \partial n = 0$ ve $\partial \varepsilon / \partial n = 0$ 'dır.

Ayrıca helikopter platformuna sahip tipik fırkateynin ana makinasına giren %21 O_2 +%79 N_2 hava ve %97 HC +%3 S

yakıt karışımı olarak belirlenmiştir [20]. Yanma sonucu ortaya çıkan emisyonlar ise %13 O_2 +%75 N_2 +%5 CO_2 +%5 H_2O + %1 NO_2 +%0.5 SO_2 + %0.5 CO , Y_i sınır şartı olarak verilmiştir [20].

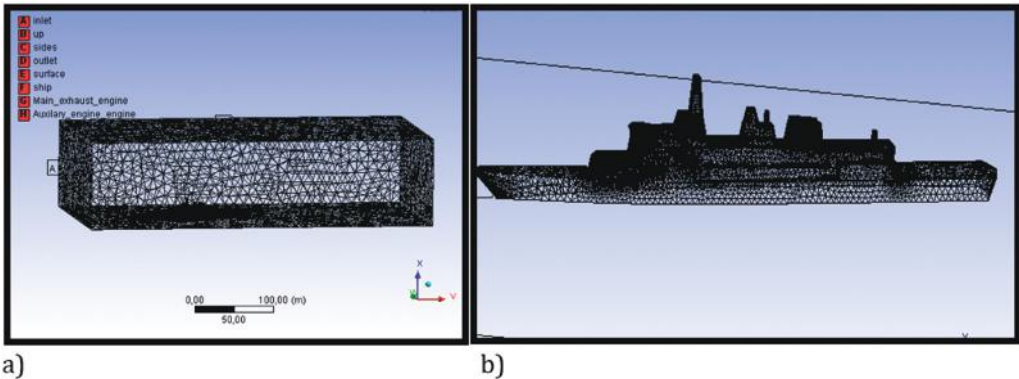
Helikopter platformuna sahip gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn modeli üzerinde gerçekleştirilen sayısal çalışmada literatürde benzer boyutlara sahip savaş gemileri için belirli sürat kademelerinde/değişik makine yüklerinde bacadan çıkan egzoz gazlarının ölçülmüş değerleri kullanılmış olup; bu değerler Tablo 1'de gösterilmiştir [8]. Bu çalışmada geminin ağır yolda seyir yaptığı kabul edilmiştir.

Tablo 1. Tipik Fırkateyn Çalışma Şartları

| Sürat | Gemi hızı (knot) | Egzoz çık. sic. [T_s] ($^{\circ}C$) | Egzoz çık. hızı V_s (m/s) |
|----------------|------------------|---|-----------------------------|
| Max sürat | 28 | 415 | 80 |
| İktisadi sürat | 20 | 343 | 57 |
| Ağır yol | 5 | 315 | 17 |

5. Deneysel Çalışma

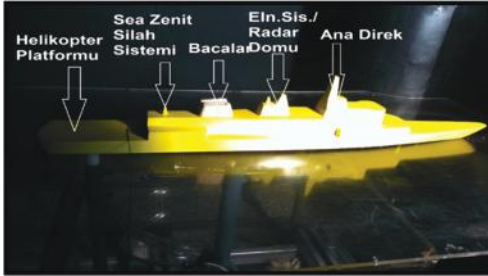
Helikopter platformuna sahip, üst güvertesinde egzoz gazlarından etkilenebilecek elektronik/silah sistemleri bulunan, 1/100 ölçekli tipik bir fırkateyn akımgörüntüleme deneylerindeki kullanılmak üzere rüzgar tüneline yerleştirilmiş ve



Şekil 2. Sayısal Çalışmadaki Hesaplama Ağı **a)** Hesaplama Alanı **b)** Fırkateyn Yüzeyindeki Ağ

farklı hız oranları, sapma açıları ve farklı baca geometrileri için deneyler yapılmıştır. 1/100 ölçekli tipik bir fırkateyn modeli Şekil 3'te gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan fırkateynin ileri/tornistan yolda egzoz gazlarından etkilenebilecek ana direk ve üzerindeki cihaz/sistemler, radar kubbesi (domu), Sea Zenith silah sistemi ve dümenevi bulunmaktadır. Bu fırkateynin seçilmesinin sebebi baca etrafında egzoz gazı sıcaklığından etkilenebilecek elektronik sistemlerin olması ve helikopter platformuna sahip olmasıdır.

Seçilen fırkateynin tahrik sistemi dört ana dizel motordan oluşan birleşik CODAD sistemidir. Fırkateynin boyu 110 m, draftı 4.1 m ve genişliği 14.2 m'dir. Gemide helikopter hareketine imkan sağlayan helikopter platformu bulunmaktadır. Deneysel çalışmada egzoz gazlarının yayılımı, rüzgar tüneline yerleştirilen

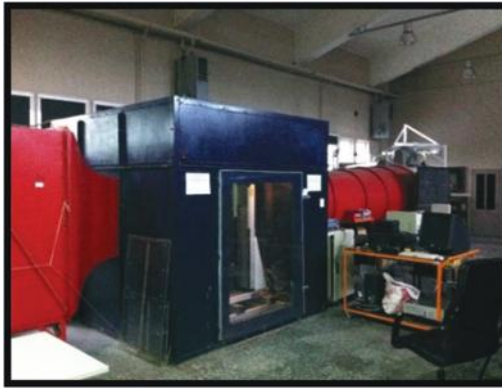


Şekil 3. 1/100 Ölçekli Tipik Fırkateyn Ahşap Modeli

1/100 ölçekli fırkateyn modeli ve akım görüntüleme teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Akım görüntüleme deneyleri İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Fakültesi Trisonik Laboratuvarında bulunan rüzgar tüneline gerçekleştirilmiştir. Rüzgar tüneline ise Şekil 4'te gösterilmiştir.

Rüzgar tüneline akım görüntüleme deneylerinde değişken parametre olarak beş farklı baca modeli, geminin pruvası ile rüzgarın nispi yönünden oluşan dört farklı sapma açısı, $\Psi=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ ve tornistan ile gemi bacasından çıkan egzoz gazlarının hızının rüzgar tüneline giriş hızına oranından oluşan beş farklı hız oranı, $K=\infty, 0.135, 0.203, 0.407$ ve 0.815 gözönüne alınmıştır. Bahsedilen değişkenlerin egzoz gazlarının yayılımına etkisi deneysel olarak incelenmiş, elde edilen sonuçlar sayısal modelleme sonuçlarının doğruluğunun gösterilmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmada sayısal model sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla sapma açısının etkisi incelenmiş ve Bölüm 7.1'de tartışılmıştır.

Rüzgar tüneline akım görüntüleme deneylerine başlamadan önce rüzgar tüneline boyutlarının 1/100 ölçekli tipik fırkateyn modeline etkileri incelenmiştir. Blokaj etkisi, akış önüne test için yerleştirilen nesnenin kesit alanının test



a)



b)

Şekil 4. Rüzgar Tüneli a) Dıştan Görünüm b) İçten Görünüm

bölümünün kesit alanına oranı ile ilişkili olup, düzeltme gerektiren bir husustur. Bu oran genellikle 0.01 ile 0.10 arasında değişecek şekilde model veya test nesnesi boyutları seçilir [30]. Bahse konu oranın, gemi modeli 0° de iken % 2.781, model 10°lik açı ile döndürüldüğünde % 4.7, 20°lik açı ile döndürüldüğünde ise % 7.2 olduğu hesaplanmıştır. Dolayısıyla, rüzgar tüneli boyutlarının akım görüntüleme deneylerine bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

6. Egzoz Gazlarının Yörüngesinin Analitik Olarak Hesaplanması

Gemi bacasından çıkan egzoz gazları sıcaklık farkından oluşan kaldırma kuvvetine (buoyancy) sahip sıcak gaz kütesidir ve bu kaldırma kuvveti egzoz gazının izini etkiler [8]. Egzoz gazlarının izi analitik olarak aşağıdaki gibi belirlenebilir [8].

Eğer V_w rüzgar hızı sabit ve $\frac{d\rho}{dy}=0$ ise $X < X_c$ için;

$$\frac{y}{R_s} = \frac{(V_s/V_w)(X/R_s)^{1/2}}{(\beta + \alpha V_s/V_w)^{1/2}} \quad (6.1)$$

Denklem (6.1)'daki y değeri egzoz gazlarının baca merkezinden uzaklaştıkça çizdikleri izi ifade etmektedir. X_c değeri ise denklem (6.2)'den hesaplanmaktadır.

$$X_c = \left(\frac{2\beta^2}{3} \right)^2 \left(\frac{V_s/V_w}{\beta + \alpha V_s/V_w} \right)^3 \frac{L_m^3}{L_b^2} \quad (6.2)$$

$X > X_c$ için ise y değeri;

$$y = \left(\frac{3}{2\beta^2} \right)^{1/3} L_b^{1/3} X^{2/3} \quad (6.3)$$

olarak hesaplanmaktadır. Yapılan hesaplamalarda baca merkezinden yatay mesafe "X" her zaman " X_c " den küçüktür. Dolayısıyla analitik çalışmada denklem (6.1) kullanılmıştır. Denklem (6.1)'da V_s egzoz çıkış hızını, V_w rüzgarın giriş hızını,

R_s egzoz çıkış bacası yarıçapını, X ise baca merkezinden yatay mesafeyi belirtmektedir. $\alpha=0.15$ universal bir sabit olmakla birlikte β bir sabit değil, hız oranı ve Fr sayısına bağlı bir değer olup $0.8 < \beta < 1.2$ arasında değerler almaktadır. Bu çalışmada $\beta = 1.2$ olarak alınmıştır.

Denklem (6.2)'da yer alan L_m ve L_b sırasıyla momentun uzunluk ölçeği ve sıcaklık farkı ile oluşan kaldırma kuvveti (buoyancy) uzunluk ölçeği olarak Denklem (6.4) ve (6.5)'de açıklanmıştır.

$$L_m = R_s \left(\frac{V_s}{V_w} \right) \quad (6.4)$$

$$L_b = \left(\frac{F_s}{V_w^3} \right) \quad (6.5)$$

Denklem (6.5)'te yer alan F_s aşağıdaki Denklem (6.6)'de açıklanmıştır.

$$F_s = V_s R_s^2 \delta g \quad (6.6)$$

Bu denklemde g yer çekimi ivmesini,

$\delta = \frac{\rho_\infty - \rho_s}{\rho_\infty} = \frac{T_s - T_\infty}{T_s}$ kaldırma kuvveti (buoyancy) oranını ifade etmektedir. Tam boyutlu tipik fırkateyn modeli için yapılan çalışmada egzoz çıkış sıcaklığı $T_s=315^\circ\text{C}$, ortam sıcaklığı ise $T_\infty=15^\circ\text{C}$ olarak sabit alınmıştır. Bu çalışmada tipik fırkateyn modeli için farklı 5 hız oranı için egzoz gazlarının baca merkezinden çıktığı andan itibaren izledikleri yörünge yukarı belirtilen yöntem ile hesaplanmış ve Bölüm 7.4'de sunulmuştur.

7. Sonuçlar ve Tartışma

7.1. Deneysel ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırması

1/100 ölçekli tipik fırkateyn model için, egzoz çıkış hızı (V_s) 2.03846 m/s, rüzgar tüneli giriş hızı (V_w) 2.5 m/s ($K=0.815$, gemi ileri yolda, ortam sıcaklığı 21.6°C ve sabit baca geometrisi) kullanıldığında elde

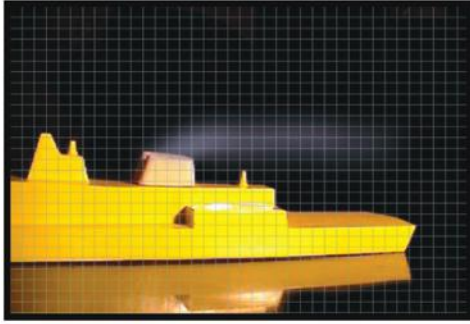
edilen sayısal ve deneysel sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir.

Aşağıdaki Şekil 5'ten de anlaşılacağı gibi sapma açısı $\Psi=0^\circ$ dan $\Psi=20^\circ$ 'ye çıktıkça egzoz gazlarının helikopter platformunun üstüne düştüğü hem sayısal hem de deneysel çalışmadan görülmektedir. Sonuç olarak bağıl rüzgâr hızının geminin pruvası ile yaptığı açı olan sapma açısı büyüdükçe egzoz gazlarının

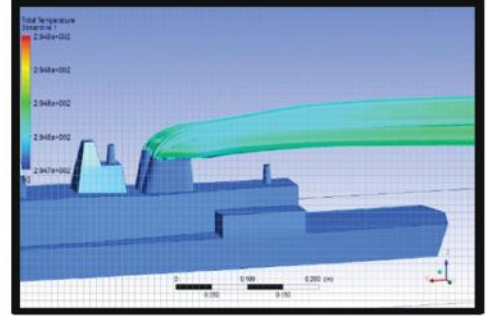
helikopter platformuna düşme eğiliminin hızla artmakta olduğu, bu kapsamda sayısal sonuçların deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

7.2 Sapma Açısının Egzoz Gaz Yayılmına Etkisi

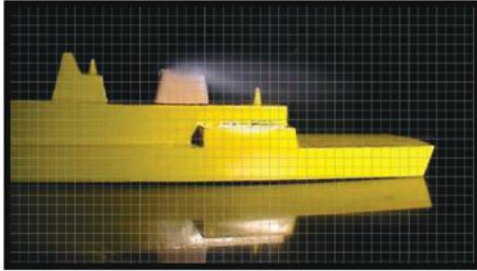
Tipik firkateyn 5 knot sürat ile ileri yolda giderken, rüzgâr baştan 20 knot ile esmektedir. Egzoz çıkış hızı 17 m/s,



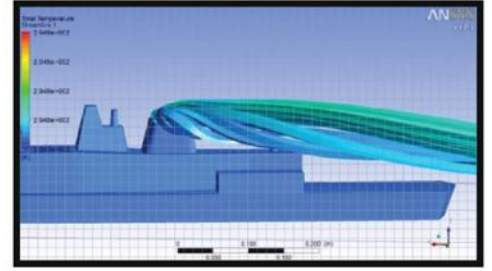
a)



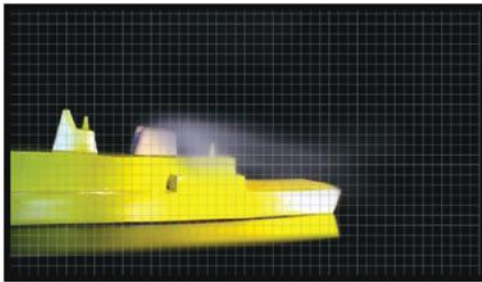
b)



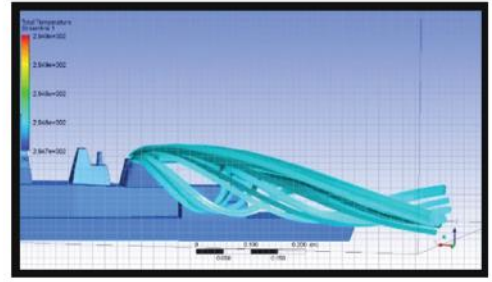
c)



d)



e)



f)

Şekil 5. Sapma Açısının Egzoz Gaz Yayılmına Etkisi. a) $\Psi=0^\circ$ Deneysel Sonuç, b) $\Psi=0^\circ$ Sayısal Sonuç, c) $\Psi=10^\circ$ Deneysel Sonuç, d) $\Psi=10^\circ$ Sayısal Sonuç, e) $\Psi=20^\circ$ Deneysel Sonuç, f) $\Psi=20^\circ$ Sayısal Sonuç

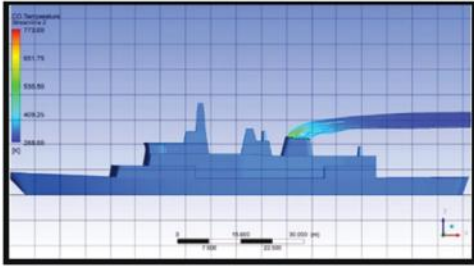
egzoz çıkış sıcaklığı 315°C 'dir. Bu şartlar altında $K=1.32$ 'dir. Belirtilen şartlar altında gerçek boyutlarında helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynin yönü ve nispi rüzgârdan oluşan sapma açısı ($\Psi=0^{\circ}, 10^{\circ}, 20^{\circ}$, ve 30°) değişiminin egzoz gazlarının yayılımına etkileri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 6'dan da görüldüğü gibi fırkateyn 5 knot sürat ile ileri yolda seyir yaparken, rüzgar baştan 20 knot ile estiğinde egzoz çıkış hızı 17 m/s, egzoz çıkış sıcaklığı 315°C iken geminin yönü ve nispi rüzgardan oluşan sapma açısı $\Psi=0^{\circ}, 10^{\circ}, 20^{\circ}$ ve 30° değişiminin etkisinin olumsuz yönde olduğu görülmüştür. Sapma açısı $\Psi=0^{\circ}$ dan $\Psi=30^{\circ}$ ye değiştiği durumlarda egzoz gazlarının helikopter platformu üzerine düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle $\Psi=10^{\circ}$ den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda egzoz gazlarının yayılımının düzensizleştiği, egzoz sıcaklığının baca

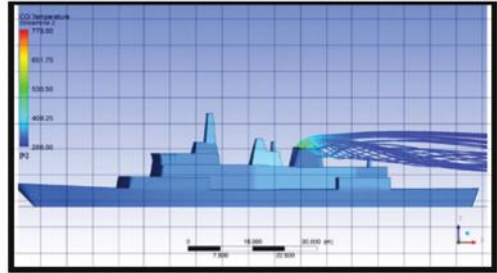
arkasında bulunan silah sistemlerine zarar verebileceği görülmüştür.

Ayrıca yine gerçek boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında sapma açısı $\Psi=0^{\circ}, 10^{\circ}, 20^{\circ}$ ve 30° olarak değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 7'de gösterilmiştir.

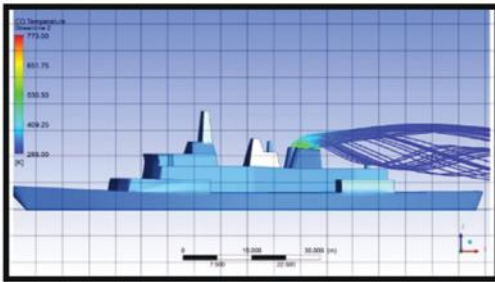
Sapma açısı $\psi=0^{\circ}$ dan $\psi=30^{\circ}$ ye değiştiğinde egzoz gazlarından NO_x gazının helikopter platformu üzerine doğru yöneldiği Şekil 7'den anlaşılmaktadır. Özellikle $\psi=20^{\circ}$ 'den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda insan sağlığına en zararlı egzoz gaz emisyonlarından NO_x gazının yayılımının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna düştüğü dolayısıyla egzoz gazlarının insan sağlığına olumsuz etkileri ile karşılaşılabileceği değerlendirilmektedir.



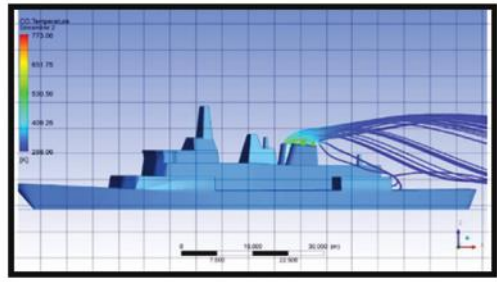
a)



b)

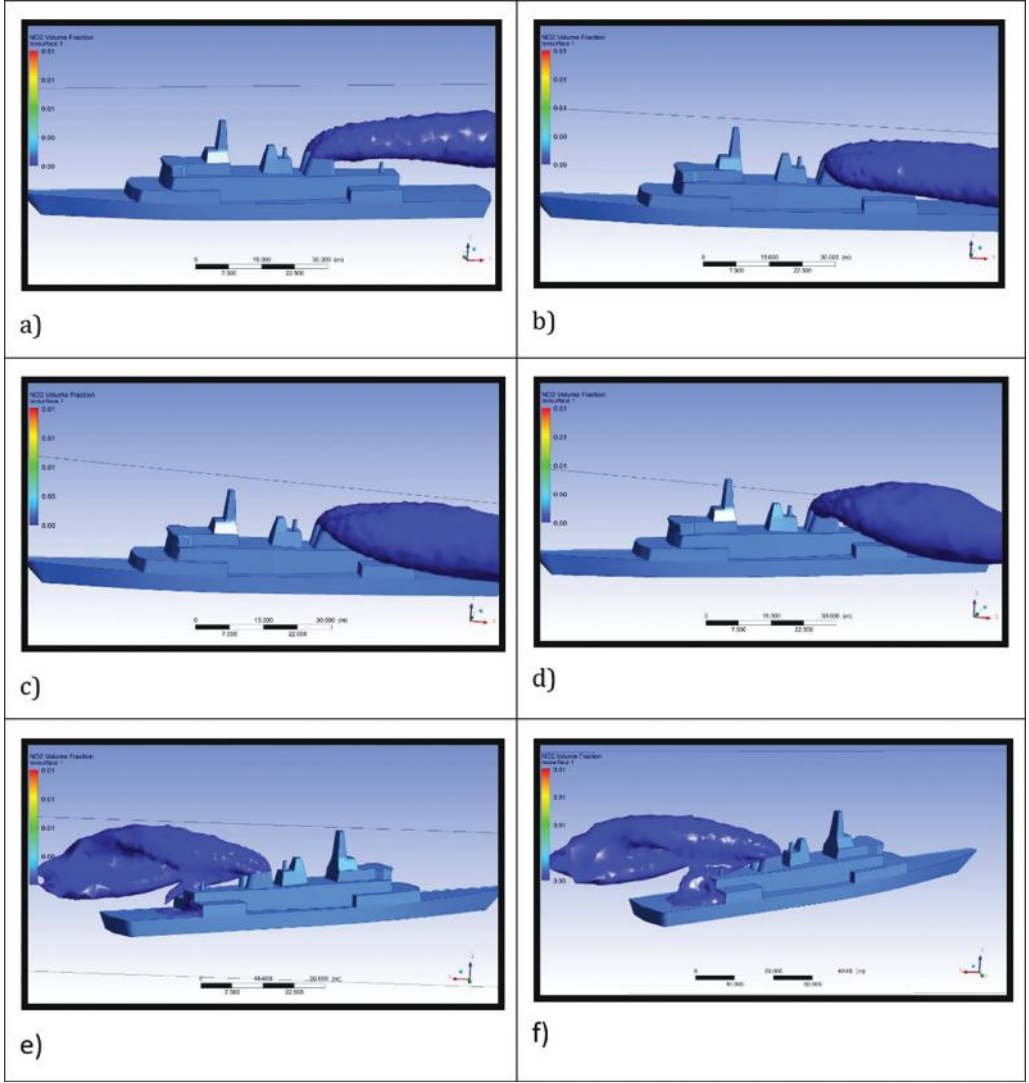


c)



d)

Şekil 6. Sapma Açısının Egzoz Gazlarının Yayılımına Etkisi
a) $\psi=0^{\circ}$, b) $\psi=10^{\circ}$, c) $\psi=20^{\circ}$, d) $\psi=30^{\circ}$



Şekil 7. Sapma Açısının NO_x Yayılımına Etkisi

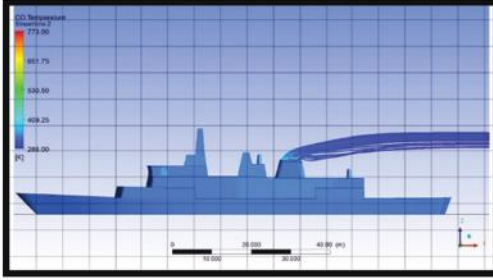
a) $\psi=0^\circ$, **b)** $\psi=10^\circ$, **c)** $\psi=20^\circ$, **d)** $\psi=30^\circ$ **e)** $\psi=20^\circ$ Sancak Borda Görünüş **f)** $\psi=30^\circ$ Sancak Borda Görünüş

7.3 Egzoz Gaz Çıkış Sıcaklığının Egzoz Gaz Yayılımına ve NO_x Yayılımına Etkisi

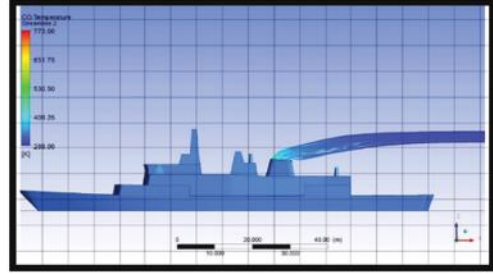
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda iken hız oranı $K=1.32$ için egzoz gazlarının çıkış sıcaklıklarının $T_s=100^\circ C$ 'den $T_s=500^\circ C$ 'ye değişiminin bacadan çıkan egzoz gazlarının yayılımına etkileri Şekil 8'de gösterilmiştir.

Helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için (Hız oranı $K=1.32$)

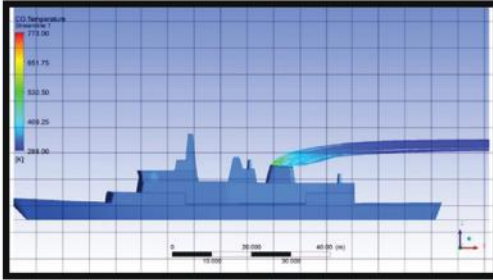
gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz sıcaklığının $T_s=100^\circ C$ ile $T_s=500^\circ C$ arasında değiştiği durumlarda egzoz gazlarının yayılımı incelendiğinde egzoz gaz sıcaklığı arttığında egzoz gazlarının momentumlarının az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu görülmüştür. Egzoz gazlarının yükselme eğiliminin sıcaklık farkından dolayı oluşan kaldırma kuvveti (Buoyancy) etkilerinden



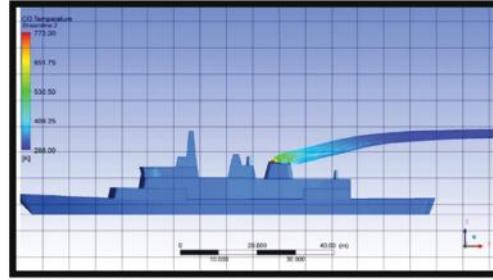
a)



b)



c)



d)

Şekil 8. Egzoz Çıkış Sıcaklığının Egzoz Gazlarının Yayılımına Etkisi

a) $T_s = 100\text{ }^\circ\text{C}$, **b)** $T_s = 200\text{ }^\circ\text{C}$, **c)** $T_s = 300\text{ }^\circ\text{C}$, **d)** $T_s = 500\text{ }^\circ\text{C}$

ortaya çıkabileceği değerlendirilmektedir. Ancak sonuç olarak belirtilen seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gaz yayılımının olumsuz etkilerinin olmayacağı düşünülmektedir.

Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda hız oranı $K=1.32$ iken egzoz gazlarının çıkış sıcaklığının $T_s=100\text{ }^\circ\text{C}$ 'den $T_s=500\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye değiştiği durumlarda egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları ise Şekil 9'da gösterilmiştir.

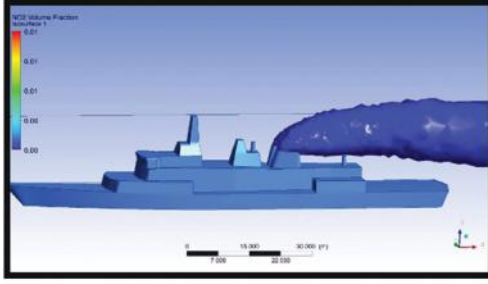
Helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için gerçek seyir şartlarında egzoz sıcaklığı $T_s=100\text{ }^\circ\text{C}$ ile $T_s=500\text{ }^\circ\text{C}$ arasında değiştiğinde egzoz gazı içindeki NO_x gaz konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı, egzoz gazı sıcaklığı arttırıldığında NO_x gazının momentumunun az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu, egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100\text{ }^\circ\text{C}$ olduğu durumda egzoz emisyonunun seyir esnasında görevi gereği üst

güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği Şekil 9'da görülmüştür. Sonuç olarak belirtilen seyir şartlarında egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100\text{ }^\circ\text{C}$ olduğu durum haricinde bacadan çıkan egzoz gaz emisyonlarının olumsuz etkilerinin olmayacağı değerlendirilmektedir.

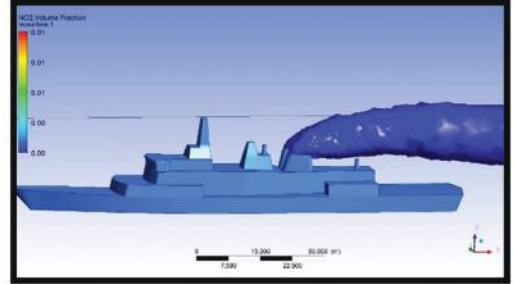
7.4 Sayısal ve Analitik Sonuçların Karşılaştırması

Tam boyutlu tipik fırkateyn modeli için yapılan bu sayısal çalışmada farklı 5 hız oranı ($K=0.601$, $K=0.7349$, $K=1.32$, $K=2.772$ ve $K=3.242$) için egzoz gazlarının baca merkezinden çıktığı andan itibaren izledikleri yol (Yörüngesi) analitik olarak hesaplanmış ve Şekil 10'da sunulmuştur.

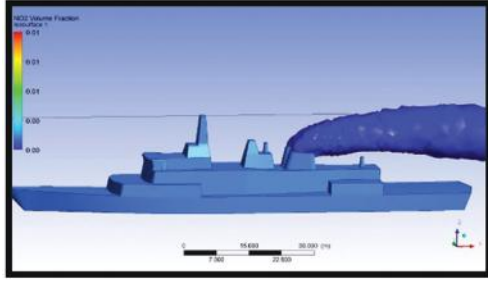
Şekil 10'da 0,0 noktası savaş gemisinin baca merkez eksenidir. x-ekseni merkezden yatay, y-ekseni merkezden dikey mesafeyi ve mor, mavi, yeşil, kırmızı ve siyah renkteki eğriler ise farklı hız oranları için



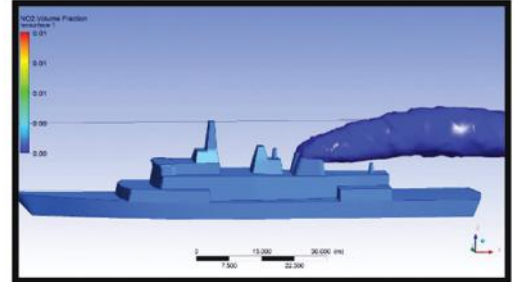
a)



b)

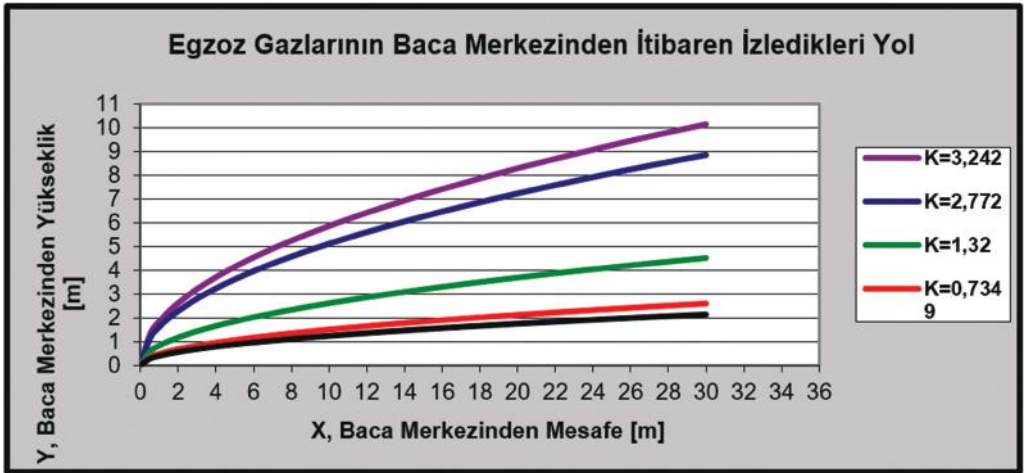


c)



d)

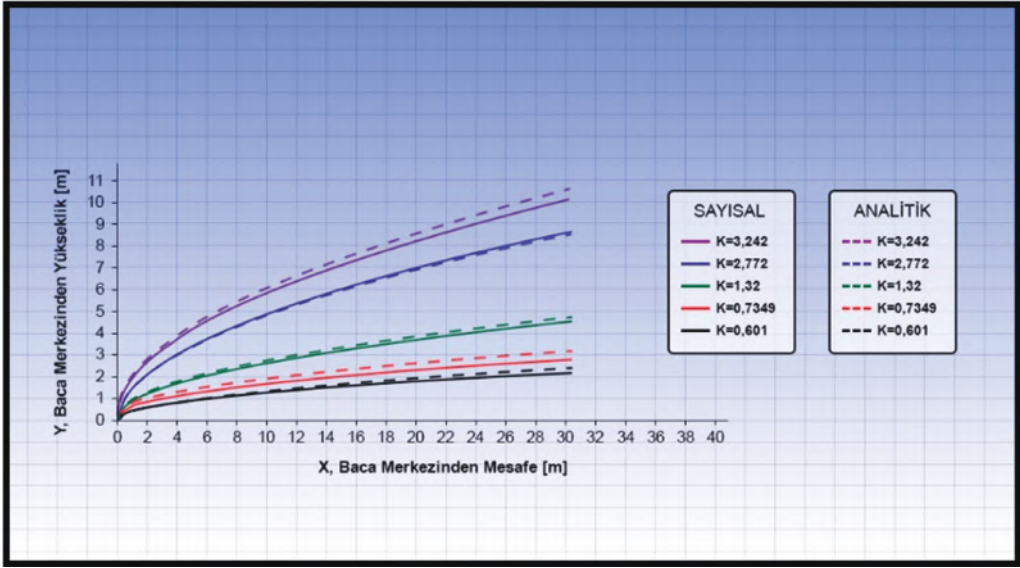
Şekil 9. Egzoz Çıkış Sıcaklığının NO_x Yayılımına Etkisi
a) $T_s = 100^\circ C$, b) $T_s = 200^\circ C$, c) $T_s = 300^\circ C$, d) $T_s = 500^\circ C$



Şekil 10. Farklı Hız Oranları için Egzoz Gazlarının İzledikleri Yol (Analitik Çözüm Sonuçları)

(Sırasıyla $K=0.601$, $K=0.7349$, $K=1.32$, $K=2.772$ ve $K=3.242$) egzoz gazlarının baca çıkışından itibaren izledikleri yolu göstermektedir. Analitik olarak egzoz gazlarının yörüngeleri incelendiğinde hız oranı arttırıldığı zaman egzoz gazlarının

sayısal çalışmada olduğu gibi yükseldiği görülmektedir. Ayrıca egzoz gazlarının izledikleri yol hem sayısal hem de analitik olarak karşılaştırılmış ve Şekil 11'de sunulmuştur.



Şekil 11. Farklı Hız Oranları için Egzoz Gazlarının İzledikleri Yol-Sayısal ve Analitik Sonuçların Karşılaştırması

Şekil 11'den anlaşılacağı gibi hem sayısal hem de analitik olarak egzoz gazlarının izledikleri yol hız oranı arttıkça artmaktadır. Analitik sonuçlarla sayısal sonuçlar arasındaki fark ise hız oranı $K=0.601$ için ortalama % 3.8, hız oranı $K=0.7349$ için % 4.2, hız oranı $K=1.32$ için % 2.7, hız oranı $K=2.772$ için % 1.6 ve hız oranı $K=3.242$ için % 4.8 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sayısal ve analitik sonuçların arasındaki farkın %4.8'den fazla olmadığı bundan dolayı sayısal modelleme sonunda elde edilen sonuçların analitik sonuçlar ile uyum sağladığı değerlendirilmektedir.

8. Değerlendirmeler

Bacadan salınan egzoz gazları içinde partiküller, CO_2 , NO_x , CO ve SO_x gibi insan sağlığını ve çevreyi etkileyen emisyonlar mevcuttur. Egzoz gazlarının güverteye düşüşü, baca gazlarının yukarıya yönelmesinden daha hızlı bir şekilde güverteye ve helikopter platformuna doğru dağılmasına sebep olmaktadır. Bu egzoz gazlarının ana ve yardımcı makina girişlerinden ve geminin havalandırma

sisteminden emilmesi ve bunlara ek olarak yüksek sıcaklıkların üst binadaki elektronik cihazları etkilemesi ile dumanın helikopter hareketini etkilemesi gibi bir çok olumsuz etkileri bulunmaktadır. Diğer taraftan, askeri teknolojilerdeki gelişmelerin sonucu olarak egzoz gaz yayılımı ve baca dizaynı, kızılötesi iz ve radar kesit alanı (RKA) açısından önemli bir hale gelmiştir. Yüksek sıcaklıklar radar kulesi ve güverte üzerindeki sıcaklığa duyarlı cihaz/sensörler için tehlikeli olabilmektedir. Bütün bu sebeplerden dolayı egzoz gazı içindeki zararlı gazların ve sıcaklığın yayılımının bilinmesi ve özellikle helikopter hareketi yapan savaş gemilerinde gemi tekne formunun tasarım aşamasında ele alınması çok önemlidir.

Bu çalışmada fırkateyn ileri yolda seyir halindeyken sapma açısının ($\Psi=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ ve 30°), egzoz gaz sıcaklığının ($T_s=100^\circ C, 200^\circ C, 300^\circ C$ ve $500^\circ C$) seçilen tipik fırkateyn bacasından çıkan egzoz gazlarının yayılımına ve egzoz emisyonlarına etkisi ile egzoz gazlarının gemi üst binası ile etkileşimi sayısal olarak incelenmiştir. Sapma açısı arttıkça özellikle $\Psi=10^\circ$ 'den

sonra gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda egzoz gazlarının yayılımının düzensizleştiği, egzoz sıcaklığının baca arkasında bulunan silah sistemlerine zarar verebileceği, NO_x emisyon yayılımının da güverte üzerindeki görevli personele zarar verebileceği görülmüştür. Gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz sıcaklığının $T_s=100^{\circ}C$ 'den $T_s=500^{\circ}C$ 'e artmasıyla egzoz gazlarının momentumlarının az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu ancak belirtilen seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gaz yayılımının olumsuz etkilerinin olmayacağı değerlendirilmiştir. Ayrıca bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklıklarının artışı ile egzoz gazlarının momentumlarının az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu, NO_x , konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı tespit edilmiş olup bu durumda egzoz emisyonlarının seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personeli olumsuz etkileyebileceği değerlendirilmiştir. Son olarak egzoz gaz yayılımı analitik olarak da incelenmiş ve elde edilen sonuçlar sayısal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Egzoz gazlarının yörüngeleri incelendiğinde hız oranı artırıldığı zaman egzoz gazlarının sayısal çalışmada olduğu gibi yükseldiği görülmektedir. Bu kapsamda sayısal modelleme sonunda elde edilen sonuçların analitik sonuçlar ile uyum sağladığı değerlendirilmektedir.

Gemi bacasından yayılan egzoz gaz izinin tahmin edilmesi, olayın, rüzgar hızı ve yönü, türbülans seviyesi, geminin üst bina geometrisi, gazların akış hızı gibi birçok parametreye bağlı olmasından dolayı oldukça karmaşıktır. Fakat, bu çalışma, hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak bu karmaşık analizlerin kolaylıkla yapılabileceğini göstermektedir.

Sembol/Kısaltma Listesi

| | |
|--------------------------------|---|
| C_p | :Özgül ısı kapasitesi ($m^2/s^2 K$) |
| B | :Isıl genleşme katsayısı |
| E | :Türbülans kinetik enerji yayılımı (m^2/s^3) |
| K | :Isıl iletim katsayısı |
| K | :Türbülans Kinetik Enerjisi (m^2/s^2) |
| K | :Hız Oranı (V_e/V_w), (V_s/V_w) |
| l | :Uzunluk Ölçeği (m) |
| L | :Model uzunluğu/Karakteristik Uzunluk (m) |
| Ma | :Mach sayısı |
| P | :Türbülans enerjisi üretimi |
| R_i | : Y_i formasyon oranı |
| T_s | :Egzoz çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$) |
| T_i | :Türbülans Şiddeti |
| U | :Geminin seyir hızı (m/s) |
| CFD | :Computational Fluid Dynamics |
| CODAD | :Birleşik dizel ve dizel |
| U_{ref} | :Referans Ortalama Hız (m/s) |
| V_e, V_s | :Egzoz çıkış hızı (m/s) |
| V_w | :Rüzgar tüneli giriş hızı (m/s) |
| V_{ship} | :Gemi hızı (m/s) |
| Y_i | :Her bir i karışımı için Kütle Akısı |
| X | :Baca merkezinden yatay mesafe (m) |
| N | :Kinematik viskozite (m^2/s) |
| P | :Yoğunluk (kg/m^3) |
| μ | :Dinamik Viskozite ($N.s/m^2$) |
| Γ | :Difüzyon katsayısı |
| μ_{eff} | :Efektif viskozite ($N.s/m^2$) |
| μ_t | :Türbülans viskozitesi ($N.s/m^2$) |
| Ψ | :Sapma açısı (Bağlı rüzgarın gemi pruvası ile yaptığı açı) ($^{\circ}$) |
| α | :Isıl yayılma katsayısı |
| $\alpha, \beta, C_\mu, \sigma$ | :Sabit sayılar |
| MARPOL | :Marine Pollution |

Kaynaklar

- [1] Kulkarni P.R., Singh S.N. ve Seshadri V. (2005). Flow Visualization Studies of exhaust Smoke-Superstructure Interaction on Naval Ships, Naval Engineering Journal, Vol.117, 41-56.
- [2] Vijayakumar R., Seshadri V., Singh S.N. ve Kulkarni P.R. (2008). A Wind Tunnel Study on the Interaction of Hot Exhaust from the Funnel with the

- Superstructure of a Naval Ship. IEEE Sections Congress. 978-1-4244-2126.
- [3] Harrell J.P. (1977). Experimentally Determined Effects Of Eductor Geometry on The Performance Of Exhaust Gas Eductors For Gas Turbine Powered Ships Naval Postgraduate School, Master Thesis.
- [4] Overcamp T.J. (2001). A review of Conditions Leading to Downwash in Physical Modeling Experiments, Atmospheric Environment 35, pp 3503-3508.
- [5] Richard G. ve Steven J.Z. (2002). Wind Tunnel Testing to Determine Unsteady Loads on a Helicopter Fuselage in a Ship Airwake, ICAS 2002 Congress.
- [6] Michael K. J. (1988). Flow Visualization of the Airwake Around a Model of a DD-963 Class Destroyer in a Simulated Atmospheric Boundary Layer Naval Postgraduate School, Master Thesis.
- [7] McCallum D. (1976). Technical Practices Manual For Surface Ship Stack Design Navsec Report 6136-76-18.
- [8] Baham G.J. ve McCallum D. (1977). Stack Design Technology For Naval And Merchant Ships, Sname Transaction, 85, 324-349.
- [9] Eunseok J., Jaedon Y. ve Yongsoo K. (2001) A Cfd-Based Parametric Study on The Smoke Behavior of A Typical Merchant Ship, Elsevier Science
- [10] Moat B., Yelland M., Pascal R. ve Molland A. (2005). An Overview of the Airflow Distortion at Anemometer Sites on Ships, International Journal of Climatology Int. J. Climatol. 25 : 997-1006.
- [11] Popinet S., Smith M. ve Stevens C. (2004). Experimental and Numerical Study of the Turbulence Characteristics of Airflow around a Research Vessel, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol. 21 1575-1589.
- [12] Kulkarni P.R., Singh S.N. ve Seshadri V. (2007). Parametric Studies of Exhaust Smoke-Superstructure Interaction on a Naval Ship Using CFD, Computer&Fluids, 36, 794-816
- [13] Huang J., Carrica P.M. ve Sternl A. (2010). A Method to Compute Ship Exhaust Plumes with Waves and Wind, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 10.1002/flid.2499 .
- [14] Wilkinson C.H., Zan S.J., Gilbert N.E. ve Funk J.D. (1998). Modelling and Simulation of Ship Air Wakes for Helicopter Operations-A Collaborative Venture, RTO AVT Symposium.
- [15] Syms G.F. (2008). Simulation of Simplified-Frigate Airwakes Using A Lattice-Boltzmann Method, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96, 1197-1206.
- [16] Syms G.F. (2004). Numerical Simulation Of Frigate Airwakes, International Journal of Computational Fluid Dynamics, 18(2), 199-207.
- [17] Blockena B., Stathopoulos T., Saathoff P. ve Wang X. (2008). Numerical Evaluation of Pollutant Dispersion in the Built Environment : Comparisons between Models and Experiments, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96 (2008) 1817-1831.
- [18] Lateb M., Masson C., Stathopoulos T. ve Bédard C. (2010). Numerical Simulation of Pollutant Dispersion Around a Building Complex, Building and Environment, 45 (2010) 1788-1798.
- [19] Heywood J.B. (1998). Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill.
- [20] Emission Control Two Stroke Low Speed Diesel Engines, MAN B&W Diesel A/S, December 1996.
- [21] Quandt E. (1996). European Technology for Reducing Exhaust Pollution form Naval Ship Engines, Naval Surface Warfare Center,

- NSWCCD-TR-80-96/2.
- [22] Ergin S. (2007). Gemi Dizel Motorları için Geliştirilen Egzos Emisyon Kontrol Sistemi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, Sayı 173, 7-11
- [23] MARPOL 73/78 Annex VI, (2005). Regulation for the Prevention of Air Pollution from Ships.
- [24] Çevre ve Orman Bakanlığının, 06 Haziran 2008 tarihli, 26898 sayılı "Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği.
- [25] Versteeg H.K. ve Malalasekera W. (1995). An Introduction to Computational Fluid Dynamics.
- [26] ANSYS, CFX 12.1
- [27] Gosman A.D. (1999). Developments in CFD for Industrial and Environmental Applications in Wind Engineering. J Wind Eng Ind Aerodyn ;81 : 21-39.
- [28] Murakami S. (1993). Comparison of various turbulence models applied to a bluff body. J Wind Eng Ind Aerodyn 1993;46-47 : 21-36.
- [30] Kaykısızlı H. (2006). Rüzgar Tüneli ve Akış Görüntüleme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi.
- [31] Versteeg H.K. ve Malalasekera W. (1995). An Introduction to Computational Fluid Dynamics.
- [32] Dobrucalı E. (2013). Savaş Gemilerinde Egzos Gazlarının Yayılımının Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.



Bir Balast Tankı Modelinde Sediman Birikimi Açısından Kritik Bölgelerin Tespiti

Ceren BİLGİN GÜNEY, Devrim Bülent DANIŞMAN, Şafak Nur ERTÜRK BOZKURTOĞLU, Fatma YONSEL

İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Türkiye
bilgincer@itu.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0003-3445-8688
bulent.danisman@itu.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0001-6320-5351
erturk@itu.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0002-8494-1988
fyonsel@itu.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0002-6617-1043

Öz

Balast tankları, enine ve boyuna mukavemet elemanlarının yer aldığı, birbirine bağlı birçok bölmeden oluşan oldukça karmaşık bir geometrik yapıya sahiptir. Tankların bu yapısı nedeniyle tank içinde çeşitli bölgelerde sediman birikmekte ve deşarj edilememektedir. Balast tanklarında biriken sediman istilacı türlerin taşınması, tank korozyonu ve gemi işletmeciliğinde maliyet artışı gibi birçok probleme neden olabilmektedir. Bu çalışmada, laboratuvar ölçeğinde üretilmiş klasik bir tanker çift dip balast tankı modelinde sediman birikimi açısından kritik bölgeler deneysel olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları sediman birikiminin yoğunluklu olarak merkez omurga hattı etrafında gerçekleştiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Balast Tankı, Sediman Birikimi, Tank Tasarımı, İstilacı Türler.

Determination of Critical Sediment Accumulation Zones in A Ballast Tank Model

Abstract

Ballast tanks have a highly complicated geometric structure consisting of several interconnected sections where transverse and longitudinal strength elements are involved. Because of this structure of the tanks, sediment accumulates in various regions within the tank and can not be discharged. The accumulation of sediment in ballast tanks can cause many problems such as the transport of invasive species, tank corrosion and cost increase in ship operation. In this study, critical zones were experimentally determined in terms of sediment accumulation in a conventional tanker double bottom ballast tank model produced at laboratory scale. The results of the study show that sediment accumulation occurs intensively around the central line.

Keywords: Ballast Tank, Sediment Accumulation, Tank Design, Invasive Species.

Not: Çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmekte olan 115Y740 numaralı "Sediman Birikimini Azaltacak Balast Tankı Tasarımı" projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

1. Giriş

Balast tanklarında sediman birikiminin miktarı balast operasyonunun yapıldığı bölgeye, deniz suyu derinliğine, deniz durumuna, gemi kapasitesine ve balast tankının fiziksel yapısına bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir [1-3]. Bununla birlikte onlarca ton sediman tanklarda birikebilmekte [4], bazı ticari gemilerde ise bu miktar 200 tonu bulabilmektedir [5]. Zamanla yüksekliği 10-15 santimetreye ulaşan bu sedimanın boşaltılabilmesi ise ancak kuru havuzlama esnasında gerçekleştirilmektedir. Balast tanklarında biriken sediman istilacı türlerin taşınması, tank korozyonu ve gemi işletmeciliğinde maliyet artışı gibi birçok probleme de neden olmaktadır [6].

Yabancı türlerin balast tanklarında taşınarak ulaştıkları yeni bölgelerde sebep oldukları sağlık, çevresel ve ekonomik problemler dünya genelinde ulusal, bölgesel ve uluslararası düzeyde çeşitli yasal düzenlemelerin yapılmasını gerektirmiştir. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO - International Maritime Organization) tarafından, 2004 senesinde üye ülkelerin imzasına açılan "Gemi Balast Sularının ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi" bu konuda küresel düzeyde atılan en önemli adımdır. Sözleşme 8 Eylül 2018'de yürürlüğe girecektir. Türkiye bu sözleşmeye 2014 senesinde taraf olmuştur (Resmi Gazete, Sayı: 28974). Sözleşmeye göre, taraf olan devletlerin bayrağını taşıyan 400 GT ve üzeri ticari gemilerin, sözleşmenin yürürlüğe girme tarihi olan 8 Eylül 2017 sonrasındaki ilk Uluslararası Petrol Kirliliği Önleme Belgesi (IOPP Belgesi - International Oil Pollution Prevention Certificate) yenileme sürveyinde, balast suyu deşarj standartlarını [7] sağlayacak balast suyu arıtım sistemleriyle donatılmış olması gerekecektir [8, 9]. Bu sistemlerinse IMO G8 (MEPC, 174 (58)) rehberine uygun olarak verilmiş Tip Onayı Sertifikasına sahip

olması gerekmektedir. Dünya genelinde farklı ülkelerden çeşitli üreticilerin piyasaya sunduğu 73 adet IMO Tip Onayına sahip balast suyu arıtma sistemi bulunmaktadır [10]. Birbirinden farklı teknolojileri bir arada kullanan bu sistemlerin optimum kullanım aralıkları daha çok balast tanklarında su fazındaki aktif organizmalar üzerinde etkilidir [11-13]. Oysa gemiler balast operasyonu esnasında tanklarına sadece su değil, alüvyal yapıda askı halde sediman da almaktadır. Daha sonra bu sedimanın çökmesiyle tank dibinde oluşan birikinti birçok dayanıklı organizmaya ev sahipliği yapmaktadır [14-18]. Bu da, balast suyu arıtılmış dahi olsa, sedimanda hayatta kalan organizmalar nedeniyle biyolojik istila riskinin devamına yol açmaktadır. Bu riskin en aza indirilmesi için IMO Gemi Balast Sularının ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi'nde balast sedimanı alımı, yönetimi ve bertarafı konusunda düzenlemeler getirilmiştir; gemiler için sediman yönetimi zorunlu kılınmıştır. Sözleşmeye göre gemilerin emniyet ve operasyonel etkinlikten ödün vermeden, sedimanların alımını asgariye indirme, sediman atmaya kolaylaştırma ve sediman atma ve örnekleme için girişi kolaylaştırma yaklaşımı ile tasarlanması ve inşa edilmesi gerekmektedir (Kural B-5). Bunun sağlanabilmesi için MEPC G12-Gemi üzerinde sediman kontrolünün sağlanmasına yönelik tasarım ve inşa standartları ile ilgili rehberi yayınlamıştır [19]. Bu rehber sediman miktarının azaltılması için yapılacak çalışmaları ve alınacak önlemleri teşvik edip, destekler niteliktedir.

Balast suyu arıtım sistemlerinin birinci aşamasında yer alan filtrasyon gibi mekanik yöntemler büyük ve orta boyutlu partiküller üzerinde etkilidir [20, 21] ve mevcut balast suyu arıtma sistemlerinde kullanılan ön arıtma teknolojileri ise genelde 50µm ve üstündeki partikülleri tutabilecek şekilde tasarlanmıştır [22]. Oysa balast tanklarına

alınan sedimanın büyük bir çoğunluğu ISO sınıflandırmasına göre (ISO 14688-1:2002) kil ($<2\mu\text{m}$), silt ($2\mu\text{m}-63\mu\text{m}$) ve kum ($63\mu\text{m}-2\text{mm}$) formundadır [23]. Bu nedenle arıtım sistemlerinin kullanımı alınacak sediman miktarını bir miktar azaltacaktır ancak küçük boyuttaki partiküllerin tanka alınmasını ve tank diplerinde çamur oluşturacak şekilde çökmesini ise önleyemeyecektir.

Tankların temizleneceği iki kuru havuzlama arasındaki süre boyunca birikerek artmaya devam edecek sedimanın taşınması, geminin bu süre içinde taşıyabileceği toplam kargo kapasitesinde de kümülatif bir düşüşe neden olacaktır. Ayrıca sedimanın, içeriğine bağlı olarak değişen çeşitli mekanizmalarla, balast tanklarında korozyonu hızlandırdığı da bilinmektedir [24-26]. Tüm bunlara ek olarak diğer önemli bir husus ise, IMO Sözleşmesi'nin yürürlüğe girmesinden sonra, sedimanın boşaltılmasının sadece "Sediman alım tesislerinde" kontrollü bir şekilde gerçekleştirilecek olmasıdır [27,28]. Sediman boşaltılması konusunda benzer zorunluluk, IMO sözleşmesine taraf olmayıp, çok daha katı kurallar getiren Amerika Birleşik Devletleri'nin karasularına girecek gemiler için de geçerlidir [28]. Bu da gemi işletmeciliğine

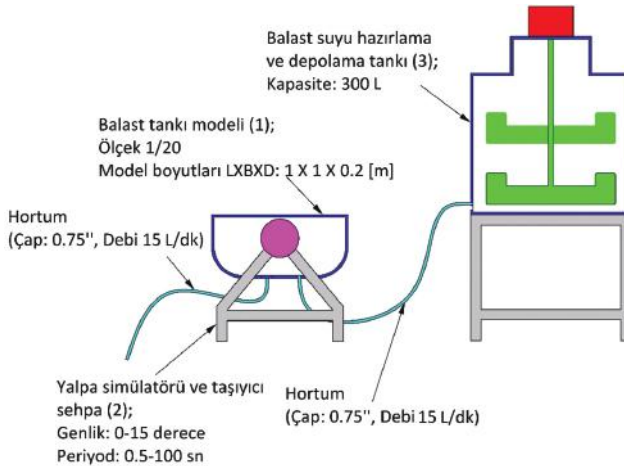
ek bir bedel getirecektir.

Balast tankları, geminin yapısal bütünlüğünün korunması amacıyla kullanılan enine ve boyuna mukavemet elemanlarının yer aldığı, birbirine bağlı birçok bölmeden oluşan oldukça karmaşık bir geometrik yapıya sahiptir. Bu yapısı nedeni ile balast tanklarının tamamen boşaltılması mümkün olamamaktadır. Bu çalışmada, klasik bir tanker çift dip balast tankı modelinde sediman birikimi açısından kritik bölgeler deneysel olarak tespit edilmiştir. Deneyler İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Teknolojisi ve Oşinografi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Deneysel Sistemi

Deneysel sistemi üç ana kısımdan oluşmaktadır. Sistemin merkezinde balast tankı modeli yer almaktadır ve bu modelin bir yalpa simülatörü vasıtasıyla düzenli hareket yapması sağlanmaktadır (Şekil 1). Deneylerde kullanılan yapay balast suyu ise balast suyu hazırlama tankında hazırlanarak sistemde yer alan boru devresiyle doğrudan balast tankı modeline doldurulmaktadır. Tank yine aynı devre kullanılarak boşaltılmaktadır.



Şekil 1. Deneysel Sistemin Şematik Gösterimi

Balast tankı modeli:

Bu çalışmada, hâlihazırda balast tankı olarak kullanılmakta olan gerçek bir tanker çift dip yapısının 1/20 ölçeğinde modeli kullanılmıştır. Bir tanker çift dip balast tankında mevcut olan tüm ana elemanları içeren modelde, elemanlarda bulunması gereken hafifletme ve fare delikleriyle bölmeler arasındaki su geçişini sağlayan boşluklar da yer almıştır. Merkez omurga hattı boyunca su geçirmez tülani ile ayrılan modelde, bu hattın sağ ve solunda kalan kısımlar iki farklı tank olarak ele alınmıştır. İskele ve sancak olarak düşünülebilecek bu tanklar aynı zamanda birbirinin kontrolü olarak işlev görmüştür. Her bir tank, boyuna ve enine elemanlar nedeniyle toplam 24'er bölme olarak imal edilmiştir.

Modelde 7 posta yer almıştır. Bölmeler, modelin başından arka tarafına doğru postalar arasında 1'den 8'e kadar numaralandırılmıştır. Modelin iskele tarafı A, B, C harfleri ile tanımlanırken sancak tarafı D, E, F harfleri ile tanımlanmıştır (Şekil 2). Gemilerde balast suyu genellikle her bir tanka bir tek noktadan alınmakta ve aynı noktadan deşarj edilmektedir. Çift dipte yer alan balast tanklarının sonunda, merkez hatta yakın bir yerde bulunan balast suyu doldurma/boşaltma noktası, modelde de iskele ve sancak taraflarındaki tanklarda aynı şekilde yerleştirilmiştir.

Yalpa simülâtörü ve taşıyıcı sehpa:

Gemi hareketleri altı serbestlik

derecesinde tanımlanmaktadır ancak çalışmanın pratikliği açısından deney sisteminde sadece yalpa hareketi göz önünde bulundurulmuştur. Tasarlanan bu sistemle, balast tankı modeline farklı açı ve periyotlarda düzenli olarak yalpa hareketi yaptırılabilir. Dizayn edilmiş olan yalpa simülâtörü 1 m² alana sahip olup yaklaşık 500 kg taşıma kapasitesine sahiptir. Yalpa periyodu en düşük 0.5 sn ve genliği en fazla 15 derece olacak şekilde kademelerle ayarlanabilir. Simülâtör kontrol ünitesi aracılığıyla farklı periyotlarda hareket senaryoları da uygulanabilmektedir. Yalpa simülâtörü ve boru devresi taşıyıcı sehpa üzerinde yer almaktadır (Şekil 3). Deneylerde kullanılan yapay balast suyu, balast suyu hazırlama tankından modele, sistemde yer alan boru devresiyle doğrudan doldurulmaktadır. Balast alımı esnasında pompaya kadar tek bir boruyla gelen su buradan iskele ve sancak tarafında bulunan tanklara dağıtılmaktadır. Modelden balast suyu deşarjı yine bu devreler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Suyun akış yönü vanalar ile belirlenmektedir. Pompa sistemi ek boruyla tankın temizlenmesi için vakum sistemi olarak da kullanılmaktadır.

Yapay balast suyu hazırlama tankı:

Çökeltme oluşumunu laboratuvar ortamında inceleyebilmek amacıyla içinde askı halde sediman bulunan yapay balast suyunu hazırlamak üzere kullanılmaktadır.



Şekil 2. Deney Sisteminde Kullanılan Balast Tankı Fiziksel Modeli

Tank içinde biri dipte, diğeri dipten 50 cm yükseklikte birbirine dik olarak konumlandırılmış iki farklı kanat sistemi vardır. Bu kanatlar sayesinde sedimanın dibe çökmesi engellenmektedir. Kanatlar, karıştırma sisteminde mevcut olan şanzıman ve zamanlayıcı sayesinde, sürekli tek yönlü veya istenilen aralıklarla çift yönlü dönme hareketi yapabilmektedir.



Şekil 3. Yalpa Simülatorü ve Taşıyıcı Sehpa

2.2. Yapay Balast Suyu

Yapay balast suyu hazırlanırken kullanılacak sedimanın partikül boyutunun belirlenmesinde bazı kriterler göz önünde bulundurulmuş ve kil boyutunda ($<2 \mu\text{m}$) sediman kullanımının deneysel çalışma için uygun olduğu tespit edilmiştir.

Göz önünde bulundurulan kriterlerden ilki deney ölçeğidir. Balast tankı modelinde bölmeler arasında su geçişini sağlayan boşluklar ve fare delikleri oldukça dar boşluklardır. Gerçek gemiden model ölçeğine geçildiğinde su geçiş boşluklarının en dar yeri 40 mm'den 2 mm'ye, fare deliklerinin çapları 120 mm'den 6 mm, kaynak geçiş yerlerinin çapları ise 36 mm'den 1,8 mm'ye düşmektedir. Kullanılacak sedimanın partikül boyutunun, bu boşluklarda gerçek hayattakinden daha fazla tıkanıklığa neden olmayacak şekilde ölçeklendirilmesi gerekmiştir. Öte yandan

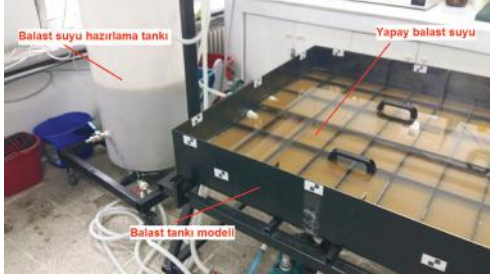
balast tanklarında biriken sedimanın büyük bir kısmı kil ve silt boyutundadır ($<63 \mu\text{m}$) [23]. Seçilecek olan partikül boyutunun, deney ölçeği ile büyütüldüğünde, 63 μm değerinin altında kalması gerekmektedir. Bunlara ek olarak piyasada mevcut olan balast suyu arıtma sistemlerinin ön arıtma teknolojilerinin (filtre, hidrosiklon vb.) çalışma aralığı göz önünde bulundurulmuş, sistemlerin önemli bir kısmının 40 μm ve üzeri partikülleri bertaraf edebildiği tespit edilmiştir. Belirtilen faktörler birlikte değerlendirildiğinde partikül boyutu $<2 \mu\text{m}$ olan kil kullanımının deney ölçeğinde büyütüldüğünde $<40 \mu\text{m}$ partikül boyutuna denk geleceği ve yukarıda belirtilen kriterler çerçevesinde geometrik boyutlar açısından uygun olacağı tespit edilmiştir.

Diğer taraftan askıda kalmış olan sedimanın su kolonunda çökerek, dipte çökelti oluşturması birçok faktörle birlikte partiküllerin özelliğine bağlı olarak değişecektir. Buna bağlı olarak doğrudan deniz dibinden elde edilecek sediman çok farklı fraksiyonlar içerecektir. Bu fraksiyonlar, partikül boyutunun yanı sıra sedimanın alındığı yere ve zamana göre farklılık gösterecektir. Bu da deneylerin tekrarlanabilirliğini ve sonuçların karşılaştırılabilirliğini olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle çalışmada deniz sedimanı yerine endüstriyel olarak üretilen bentonit kili kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada kullanılan yapay balast suyu, askıda halde 10 g/L sediman içerecek şekilde bentonit kili ve şebeke suyunun karıştırılması suretiyle hazırlanmıştır. Normal şartlarda balast sedimanı deniz dibinde suya doymuş halde olduğundan, bu karışım balast suyu hazırlama tankında deneyler için tanka alınmadan önce 24 saat süreyle karıştırılmıştır.

2.3. Deneysel Çalışma

Bu çalışma klasik bir boyuna sistem tankerin çift dip balast tankındaki

kritik birikim bölgelerinin tespiti için gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan yapay balast suyu, balast tankı modeline doldurularak yalpa simülatörü yardımıyla dokuz günlük üç balast seferi simüle edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Deneysel Çalışma

Çalışma, her bir balast seferinin 3-4 şiddetinde bir denizde (yalpa açısı $\phi=5^\circ$; yalpa periyodu $T=15,65$ sn) gerçekleştiği varsayılarak yapılmıştır. Sistemin çalışma süresi ve doldurulup-boşaltılma sayıları simüle edilecek seyir süresi ve tekrarlanacak seyir sayısına bağlı olarak belirlenmiştir. Deney parametreleri Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Deney Parametreleri

| Parametre | Gemi | Model |
|-----------------------------|-------|-------|
| Model Ölçeği | - | 1/20 |
| Balast Tankı Genişliği [m] | 20 | 1 |
| Balast Tankı Boyu [m] | 20 | 1 |
| Balast Tankı Yüksekliği [m] | 1.6 | 0.08 |
| Deniz Durumu | 3-4 | 3-4 |
| Yalpa Açısı [Derece] | 5 | 5 |
| Yalpa Periyodu [sn] | 15.65 | 3.5 |
| Seyir Süresi [s] | 215 | 48 |
| Seyir Sayısı | 3 | 3 |

Deneyler süresince balast tankı modeli %90 oranında doldurulduktan sonra 48 saat süre ile sistem çalıştırılmış ve boşaltılmıştır. Mevcut suyun boşaltılması için, normal bir balast deşarj işleminde olduğu gibi, deşarjın sonuna doğru modelin kıçta 5° trim yapması sağlanmıştır. Boşaltma işlemi

sonunda modelde kalan sedimanın üstüne yeni yapay balast suyu alınmış ve sistem 48 saat süreyle yeniden çalıştırılmıştır. Sonrasında aynı süreç bir kez daha tekrar edilmiştir. Bu şekilde toplam üç balast seferinin simülasyonunun ardından deney tamamlanmıştır.

Deney sonunda kritik olduğu gözlenen tank bölmelerinden toplanan sediman, önceden sabit tartıma getirilmiş beherlere alınarak etüvde $103-105^\circ\text{C}$ sıcaklıkta sabit ağırlık elde edilene kadar kurutulmuştur. Daha sonra her bir bölmede biriken toplam katı madde, ilgili bölmelerden toplanan sedimandaki buharlaştırma kalıntısının yani beherdeki ağırlık artışının ölçülmesi ile tespit edilmiştir.

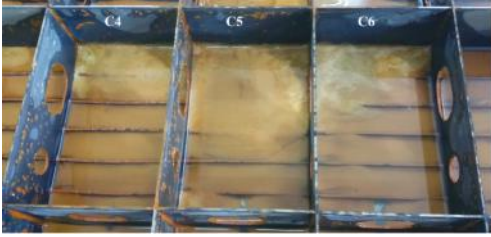
3. Sonuçlar

Deney sonunda iskele ve sancak tarafındaki her iki tankta da sediman birikiminin yoğunluklu olarak merkez omurga hattı etrafında gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 5). Merkez omurga hattında en yoğun birikim ise tank



Şekil 5. Merkez Omurga Hattı Etrafında Sediman Birikimi

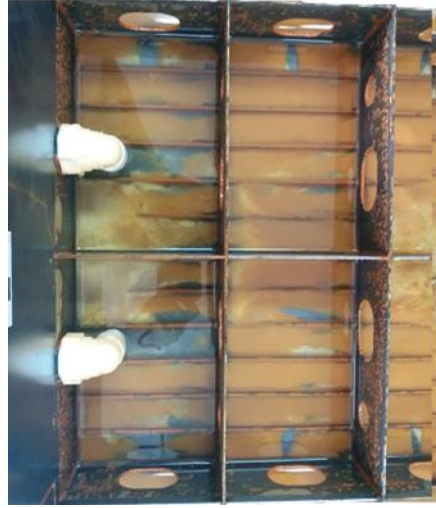
ortasında yer alan bölmelerde (iskele tarafında C4, C5, C6, sancak tarafında D4, D5, D6) gözlenmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Sediman Birikiminin En Yoğun Olduğu Bölmeler

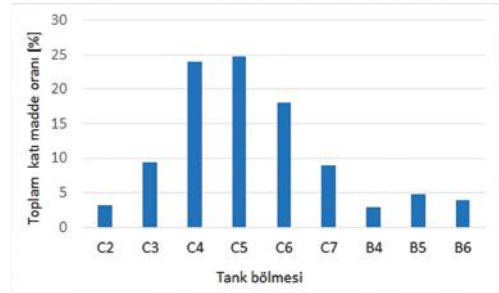
Bu bölmelerde su geçirmez olan merkez tulani yakınlarında sediman yüksekliği 20 mm'ye kadar ulaşırken, en düşük yerlerde 5 mm civarında gerçekleşmiştir. Özellikle C5 ve D5 bölmelerinde sediman yüksekliğinin merkez hat civarında 10-15 mm aralığında olduğu, bu merkez hatta en uzak yerlerde ortalama 5-6 mm civarına düştüğü tespit edilmiştir. Bununla birlikte fare delikleri etrafında lokal olarak sedimsiz bölgelerin de yer aldığı dikkati çekmektedir. (Şekil 7). Çalışmada, sediman birikiminin orta kesitten uzaklaştıkça azaldığı belirlenmiştir. En çok sedimanın tespit edildiği C5 ve D5 bölmelerine aynı sırada komşu olan B5 ve E5 bölmelerinde sediman yüksekliği 5 mm altında kalmıştır. Öte yandan trim nedeni ile modelin baş tarafında dipte çamur dışında su kalmazken, arka tarafında önemli bir miktarda su kaldığı, özellikle tankın en arkasında yer alan sintine dönümlerindeki suyun deşarj edilmesinin mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, modelde iskele ve sancak tarafında, C8 ve D8 bölmelerinde yer alan deşarj noktalarının arkasına doğru su geçirmez elemana bitişik olan köşelerde önemli bir miktar sedimanın deşarj edilemediği, bu noktalarda sediman yüksekliğinin 15 mm'ye ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 7).

Merkez hat boyunca kritik olduğu gözlenen bölmeler ve bu bölmelere komşu olan bölmelerden toplanan sedimanın



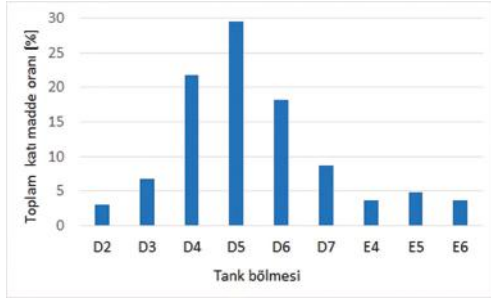
Şekil 7. Fare Delikleri Civarında Sedimsiz Hatlar ve Doldurma/Boşaltma Noktaları Civarında Sediman Birikimi

toplam katı madde ağırlığı tespit edilmiştir. Tank dibinde gerçekleşecek birikintinin ağırlığı deney koşulu ve gerçek koşullara göre değişiklik göstereceğinden sonuçlar oransal olarak değerlendirilmiştir. İskele ve sancak tarafında, her bir bölmeden elde edilen katı maddenin, o tanktan elde edilen toplam katı maddeye oranı sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9 ile verilmektedir.



Şekil 8. İskele Tarafında Biriken Sedimanın Bölmelere Göre Dağılımı

Katı madde oranları incelendiğinde, sediman birikiminin iskele tarafında C4-C5-C6 bölmelerinde, sancak tarafında ise D4-D5-D6 bölmelerinde yoğunluklu olarak gerçekleştiği görülmektedir. İskele ve sancak tanklarında biriken sedimanın



Şekil 9. Sancak Tarafında Biriken Sedimanın Bölmelere Göre Dağılımı

büyük bir kısmı, tank ortasında yer alan su geçirmez elemanın sağında ve solunda 4. ve 5. postalar arasındaki bölmelerde (C5 ve D5) bulunmaktadır. Bu bölmelerden tank dibine doğru, deşarj noktasına yaklaşıldıkça (iskelede C6, C7; sancak D6, D7) sediman oranı azalmaktadır. Bununla birlikte C ve D hatları boyunca en az sediman modelin üst kısmında (C2 ve D2) bölmelerinde birikmektedir. Bunun nedeni ise deşarj esnasında modele yaptırılan trim nedeni ile tank sedimanının yer çekimi etkisinde alt bölmelere doğru hareket etmesidir. Diğer taraftan C5 ve D5 bölmelerinden deşarj noktalarına doğru inildikçe (iskele tarafında C6, C7; sancak tarafında D6, D7) sediman miktarı azalmaktadır.

4. Değerlendirme

Balast tanklarında biriken sediman istilacı türlerin taşınmasında önemli bir etmendir. Özellikle birçok sucül organizmanın uyku/dinlenme evresindeki dayanıklı kistleri veya yumurtaları çok olumsuz koşullarda dahi sediman içinde canlı kalabilme yeteneğine sahiptir. Bunun sonucunda balast suyu arıtılmış olsa bile, sedimandan suya geçebilecek organizmalar olması, biyolojik istila riskinin devam etmesine neden olmaktadır. Bu riskin devamının diğer bir sonucu da, arıtma sistemiyle donatılmış gemilerin balast sularının bile IMO standartları karşılayamama olasılığıdır. Ayrıca sedimanın kümülatif birikimi, birikim

süresine bağlı olarak, yük kapasitesinde kayba neden olurken tanklarda korozyonu hızlandırmaktadır. Tüm bunlar değerlendirildiğinde tank dibinde biriken sedimanın çevresel kaygıların yanı sıra, gemi ve gemi işletmeciliği açısından da önemli sonuçları olduğu açıktır.

IMO, Balast Suyu Sözleşmesine göre gemilerin, emniyet ve operasyonel etkinlikten ödün vermeden, sedimanların alınımı asgariye indirecek ve de sediman atmaya kolaylaştıracak şekilde tasarlanması ve inşa edilmesi gerekmektedir. IMO tarafından işaret edildiği biçimde tank tasarımı yapılabilmesi için öncelik olarak hedef alınacak bölgelerin belirlenebilmesi büyük önem arz etmektedir. Etkisi yüksek çözüm önerileri ancak problemlerinin tespiti ile mümkün olacaktır.

Bu çalışmada klasik bir boyuna sistem tankerinin çift dip balast tankındaki kritik birikim bölgelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar sediman birikiminin yoğunluklu olarak merkez omurga hattı etrafında gerçekleştiğini göstermektedir. Bu bölgelerde sediman birikimini azaltmak için yapısal tedbirlerin alınması büyük bir öneme sahiptir. Özellikle bu bölgenin tasarımında, gemi güvenliğinden ödün vermeden, su akışını kolaylaştıracak tedbirler alınmalı, suyun geçebileceği geçiş boşlukları genişletilerek akış kolaylaştırılmalıdır. Merkez omurga hattına komşu olan bölgelerde, tülaneler ve dolu döşeklerin kesiştiği yerlerdeki açıklıklar genişletilmeli; mümkün olan yerlere ilave boşluklar eklenmelidir. Boyuna iç dip tülanelerdeki hafifletme delikleri inşa sürecinin kolaylaştırılması amacıyla dipten yukarıda, tülani yüksekliğinin orta kısmına doğru yerleştirilmektedir. Gemi inşa sürecini bir miktar zorlaştıracak olsa da en azından bu bölgede, hafifletme deliklerinin gemi dibine bitiştilmesi, tank dip kalıntısının azaltılması açısından faydalı olacaktır.

Balast tanklarının geometrisi gemi

tipine, gemi özelliklerine ve tankın gemideki konumuna bağlı olarak değişmektedir. Ancak balast tankları genel olarak, enine ve boyuna mukavemet elemanları nedeniyle karmaşık bir geometriye sahiptir. Tankların bu yapısı, alınan balast suyu tekrar boşaltılmak istendiğinde tank içindeki akış alanında hızın yavaşlamasına, hatta bazı noktalarda yerel hızın sıfıra düştüğü durma noktalarının oluşmasına neden olmaktadır. Balast tankı tasarımı özellikle IMO "Gemi Balast Sularının ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi"nin yürürlüğe girmesiyle yakın gelecekte daha büyük bir önem arz edecektir. IMO'ya bağlı MEPC tarafından yayınlanan G12 rehberi balast tanklarının tasarım ve inşasına yönelik standart ve öneriler içermektedir. Gemilerin tasarım sürecinde balast tankı geometrisi için hesaplamalı akışkan dinamiği temelli nümerik çalışmalar yapılması ve akış alanında hızın yavaşladığı veya durduğu noktaların tespiti oldukça faydalı olacaktır. Zira bu noktalar sediman birikiminin en çok görülebileceği yerlerdir. Problemler bölgelerin belirlenmesi ve G12 rehberinin dikkate alınarak tasarım sürecinin tamamlanması, sediman birikiminin azaltılması açısından oldukça önemlidir.

Teşekkür

Çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenmekte olan ve hâlihazırda devam eden 115Y740 no'lu "Sediman Birikimini Azaltacak Balast Tankı Tasarımı" projesi kapsamında hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Armstrong, G. (2003). Ballast system design for flow through exchange of ballast water. 1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium, IMO, Londra, 26-27 Mart 2001, London.
- [2] Dickman, M., Zang, F. (1999). Mid-ocean Exchange of container vessel ballast water: Effects of vessel type in the transport

of diatoms and dinoflagellates from Manzanillo, Mexico, to Hong Kong, China. Marine Ecology Progress Series. 176: 253-262.

- [3] Rigby, G., Taylor, A. (2001). Ballast water management and treatment options. International Maritime Technology. 113: 79-99.
- [4] Drake, L. A., Jenkins, P. T., Dobbs, F. C. (2005). Domestic and international arrivals of NOBOB (no ballast on board) vessels to lower Chesapeake Bay, Marine Pollution Bulletin. 50 (5): 560-565.
- [5] Johengen, T., Reid, D., Fahnenstiel, G., MacIsaac, H., Dobbs, F., Doblin, M., Jenkins, P. (2005). Assessment of Transoceanic NOBOB Vessels and Low-Salinity Ballast Water as Vectors for Nonindigenous Species Introductions to the Great Lakes. Cooperative Institute for Limnology and Ecosystems. Research, School of Natural Resources and Environment, University of Michigan.
- [6] Bilgin Güney, C., Ertürk Bozkurtoglu, Ş.N., Danışman, D.B., Yonsel, F. (2016). Another Challenge: Sediments of The Ballast Tanks. 1. Uluslararası Gemi ve Deniz Teknolojisi Kongresi (GMO-SHIPMAR), İstanbul, 08-09. Aralık.
- [7] IMO, (2004). International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. International Maritime Organization. 14 Şubat Londra.
- [8] IMO (2016) Global treaty to halt invasive aquatic species to enter into force in 2017. Basın Açıklaması: International Maritime Organization. 08 Eylül 2016.
- [9] MEPC (2008). Guidelines for Approval of Ballast Water Management System, RESOLUTION MEPC.174(58).
- [10] IMO (2017), List of ballast water management systems which received Type Approval Certification by their respective Administrations. Erişim tarihi: 16 Temmuz 2017, <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/Table%20of%20>

- BA%20FA%20TA%20updated%20November%202016.pdf.
- [11] California State Lands Commission. (2007). Assessment of the efficacy, availability and environmental impacts of ballast water treatment systems for use in California waters. Produced for California State Legislature, California State Land Commission Marine Facilities Division, California, A.B.D.
- [12] Derek, K. G., Duggan IC, Macisaac HJ. (2006). Can sodium hypochlorite reduce the risk of species introductions from diapausing invertebrate eggs in non-ballast ships?. *Marine Pollution Bulletin*. 52: 689-695.
- [13] Raikow, D. F., Reid, D.F., Maynard, E.E., Landrum, P.F. (2006). Sensitivity of aquatic invertebrate resting eggs to SeaKleen® (menadione): A test of potential ballast tank treatment options, *Environmental Technology and Chemistry*. 25 (2): 552-559.
- [14] Bailey S.A., Duggan, I.C., Kanavillil, N., MacIsaac, H.J. (2007). Sediments in ships: Biota as biological contaminants. *Aquatic Ecosystem Health & Management*. 10(1):93-100.
- [15] Celiavillac, M., Kaczmarek, I., Ehrman, J.M. (2013). The diversity of diatom assemblages in ships ballast sediments: colonization and propagule pressure on Canadian ports. *Journal of Plankton Research*. 35 (6): 1267-1282.
- [16] Fahnenstiel, G., Hong, Y., Millie, D., Doblin, M., Johengen T, Reid, D. (2009) Marine dinoflagellate cysts in the ballast tank sediments of ships entering the Laurentian Great Lakes. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 30 (7): 1035-1038.
- [17] Sutherland, T.F., Levings, C.D. (2013). Quantifying non-indigenous species in accumulated ballast slurry residuals (swish) arriving at Vancouver, British Columbia. *Progress in Oceanography*. 115: 211-218.
- [18] Radziejewska, T., Gruszka, P., Rokicka-Praxmayer, J. (2006). A home away from home: a meiobenthic assemblage in a ship's ballast water tank sediment, *Oceanologia*, 48 (S): 259-265.
- [19] MEPC (2012). Guidelines on design and construction to facilitate sediment control on ships. MEPC.209(63).
- [20] California State Lands Commission. (2009). Assessment of the efficacy, availability and environmental impacts of ballast water treatment systems for use in California waters. Produced for California State Legislature, California State Land Commission Marine Facilities Division, California, A.B.D.
- [21] Cluskey, D.K.M., Holdø A.E. 2009. Optimizing the hydrocyclone for ballast water treatment using computational fluid dynamics. *International Journal of Multiphysics*, 3: 221-234.
- [22] Bilgin Güney, C. (2017) Balast Suyu Arıtım Sistemlerinin İncelenmesi. Teknik Rapor: İTÜ Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü. Rapor No: DEN 2017 / 2.
- [23] Maglič, L., Zec D., Frančić, V. (2016). Ballast water, sediment element analysis. *Marine Pollution Bulletin* 103 (1-2): 93-100.
- [24] Cleland, J.H. (1995) Corrosion risk in ships' ballast tanks and the IMO pathogen guidelines, *Engineering Failure Analysis*, 2 (1): 79-84.
- [25] Heyer, A., D'Souza, F., Leon Morales, C.F., Ferrari, G., Mol, J.M.C., de Wit, J.H.W. (2013). Ship ballast tanks a review from microbial corrosion and electrochemical point of view. *Ocean Engineering*. 70: 188-200.
- [26] Soarez, C.G., Garbatov, Y., Zayed, A., Wang, G. (2008). Corrosion wastage model for ship crude oil tanks. *Corrosion Science*. 50: 3095-3106.
- [27] MEPC. (2005). Guidelines for Ballast Water Management and Development of Ballast Water Management Plans (G4). Resolution MEPC.127(53).
- [28] MEPC. (2006). Guidelines for Sediment Reception Facilities (G1). Resolution MEPC.152(55).
- [29] USCG. (2012), Ballast Water Discharge Standard Final Rule. U.S. Coast Guard.



İçten Yanmalı Bir Motorun Emme Manifoldunun Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile Tasarımı

Tolga DEMİRCAN, Zahir Emre POLAT, Hasan Tahir POLAT

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Türkiye
 togademircan@gmail.com; ORCID ID: orcid.org/0000-0003-4805-6428
 emrepolat_94@outlook.com; ORCID ID: orcid.org/0000-0002-3024-4546
 hasanpolat_1907@hotmail.com; ORCID ID: orcid.org/0000-0002-8267-7714

Öz

Günümüzde içten yanmalı motorlar otomotiv, denizcilik, havacılık vb. birçok sektörde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek silindri ve küçük boyutlarda yapılabileceği gibi, özellikle gemilerde kullanılmak üzere çok büyük boyutlarda da üretilebilmektedir. İçten yanmalı motorlar, birden çok parçanın birleşmesi ile oluşan kompleks yapılardır. Ayrıca silindir içerisinde gerçekleşen yanma olayı da oldukça hızlı ve karmaşık bir reaksiyondur. Dolayısıyla bir motorun güç performansı birden çok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden en önemlilerinden biri de yanmanın, ideal yanmaya yakın koşullarda sağlanabilmesidir. Bu ise, silindir içerisinde reaksiyona giren oksijen ve yakıtın uygun oranlarda karışması ile mümkün olabilmektedir. Bir motorun sürekli yüksek performansta çalışabilmesi için, yakıtın sürekli olarak, hava ile yeterli oranda beslenmesi gerekmektedir. Bu hava beslemesi emme manifoldu aracılığı ile gerçekleşir. Dolayısıyla iyi bir yanmanın sağlanabilmesi için emme manifold tasarımı önemli bir rol oynamaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada; bir dizel motorda emme havasının ihtiyaç duyulan miktarda sağlanabilmesi için, emme manifoldunun giriş açılarının etkileri ele alınmıştır. Farklı giriş açıları için Ansys Fluent paket programı aracılığı ile simülasyonlar yapılmış ve akış karakteristiklerine olan etkileri irdelenmiştir. Simülasyonlardan elde edilen sonuçlar ışığında, manifold içerisindeki hız ve basınç dağılımları elde edilmiş ve çıkış debi değerleri aracılığıyla optimum şartlar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Emme Manifoldu, Manifold Akış Analizi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD).

Designing Intake Manifold of an Internal Combustion Engine Using Computational Fluid Dynamics

Abstract

Today, internal combustion engines are widely used in many sectors such as automotive, marine, aviation, etc. They can be produced in single cylinders and small sizes for the automotive sector as well as in very large sizes for use on ships. Internal combustion engines are complex structures formed by joining multiple parts. In addition, the combustion inside the cylinder is a very quick and complicated reaction. Therefore, the power performance of the motor depends on multiple factors. One of the most important of these factors is approaching burning to ideal burning conditions. This is possible by mixing oxygen and fuel in the cylinder in a suitable ratio. For an engine to work at a high performance constantly, the

fuel must be supplied continuously with sufficient air. The intake manifold is used for this air supply. Therefore, intake manifold design plays an important role for good combustion. For this purpose, in this study, the effects of the inlet angles of the intake manifold are discussed so that a sufficient amount of intake air can be supplied to a diesel engine. With the help of the Ansys Fluent package program, simulations were made for different manifold inlet angles and the effects of the inlet angles on flow characteristics were discussed. In the light of the results obtained from the simulations, velocity and pressure distributions in the manifold were obtained and optimum conditions were determined by outlet flow rate.

Keywords: Intake Manifold, Manifold Flow Analysis, Computational Fluid Dynamics (CFD).

1. Giriş

Günümüzde araştırmacılar yüksek verimde çalışan bir motorun geliştirilmesi için birçok çalışma yapmaktadır. Bir içten yanmalı motor kompleks bir yapıdan oluştuğu ve bir çok farklı parçası bulunduğu için, verimi de tüm bu parçalara belirli oranlarda bağlıdır. Dolayısıyla sistemin tüm veriminin artırılabilmesi için, motoru oluşturan bu parçaların verime olan katkılarının artırılması, kısaca optimum geometri ve optimum çalışma parametrelerine ulaşması gerekmektedir. Motorun verimin etkileyen en önemli faktörlerden biri de, yanma odasına giren yakıtın tamamının yanmasının sağlanmasıdır. Bu durum yakıtın tamamı ile yanma reaksiyonuna girecek olan oksijenin, doğru miktarda ve doğru hız ve basınçlarda yanma odasına gönderilmesi ile sağlanır. İçten yanmalı motorlarda yeterli oksijeni yanma odasına göndermek için emme manifoldları kullanılır. Emme manifoldunun temel görevi, yeterli miktarda taze dolgu karışımını yanma odasına taşımasıdır. Emme manifoldlarının her silindirlere, eşit miktarda ve eşit oranda dolgu gönderebilecek şekilde tasarlanması ısı verim açısından çok önemlidir. Eğer yanlış tasarlanırsa motor silindirleri iyi bir yanma için ihtiyaç duyulan gerekli oksijen miktarını alamayacak ve eksik yanma gerçekleşecektir. Bu durumda hem motorun verimini, dolayısıyla güç performansını düşürmekte, hem de çevreye salınan zararlı emisyonların miktarının artmasına sebep olmaktadır.

Emme manifoldlarının tasarımının, silindir içerisindeki yanmayı, dolayısıyla motorun güç performansını doğrudan etkilemesinden dolayı, literatürde emme manifoldları ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Singla ve arkadaşları, içten yanmalı bir motorun emme manifoldunun tasarımının iyileştirmesi amacıyla farklı geometriler için tasarımlar yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, geliştirdikleri tasarımın gerçek manifolda göre, 1. çıkış hızının %16 oranında arttığı ve diğer çıkışlar da ise yaklaşık %5 ile %7 oranında artış gösterdiğini belirtmişlerdir [1]. Porter ise hesaplamalı akışkan dinamiğini kullanarak, emme manifoldunun iç geometrisinin iç akış üzerindeki etkilerini incelemiştir. Emme manifoldu için en iyi akış oranının, 5 derece difüzör açısına ve 20mm - 30mm boğaz yarıçapına sahip olduğu sonucuna varmıştır. Çalışmada ele aldığı akış koşulları için, yalnızca difüzör açısını 2 derece değiştirilmesi ile, akış hızların % 16'ya kadar yükselebileceğini belirtmiştir [2]. Srisattha ve arkadaşları, ağır hizmet tipi bir dizel motorun emme manifoldu içerisindeki hava akışının geçici davranışını incelemiştir. 1000 dev/dk motor devri için, 120 ve 360 derecelik krank açıları, akış içerisinde girdap oluşumu olduğunu bildirmişlerdir [3].

Jemni ve arkadaşları, LPG'ye dönüştürülmüş bir dizel motorun emme manifoldunun tasarımının, silindir içerisindeki akış ve motor performansı üzerindeki etkilerini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Emme

manifoldunun optimum hale getirilmesi sonucunda, ilgili motorun fren gücünün %16, fren momentinin %13.9 ve fren ısı veriminin yaklaşık %12.5 oranında arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca motorun, özgül yakıt tüketiminin (BSFC) yaklaşık %28 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir [4]. Thamarakanan ve arkadaşları, 3 silindri bir motorun emme manifoldu içerisindeki akışını sayısal olarak incelemişlerdir. Emme manifoldunun plenum haznesinde yaptıkları değişikliklerin, akışın yapısını olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir [5]. Aadepu ise, bir içten yanmalı motorun emme manifoldu tasarımı ile hacimsel verimin artırılması üzerine çalışmıştır. Sonuç olarak, incelediği motor için, manifoldun geliştirilmesi ile yaklaşık olarak %7 hacimsel verim artışı sağlandığını belirtmiştir [6].

Kabsuri içten yanmalı çok silindri bir motorun emme manifoldu tasarımını sayısal olarak yapmış ve optimum manifold geometrisi ve çalışma şartları belirlemiştir [7]. Xinjie ise yapmış olduğu çalışmada, bir otomobil motorunun emme manifold yapısını, farklı modeller için sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Farklı modeller için elde etmiş olduğu sonuçları birbirleri ile kıyaslayarak optimum manifold tasarımını belirlemiştir [8]. Priyadarsini emme manifoldu içerisinde gerçekleşen akışı hesaplamalı akışkan dinamiğini (HAD) kullanarak incelemiştir. Bu amaçla, giriş borusu ve plenum bağlantısını tekrar modellemiştir. Sonuçta, manifold içerisinde basınç kaybının azaldığını, kütle akışının ise arttığını belirtmiştir [9]. Biberici ve arkadaşları, çok silindri buji ateşlemeli bir motorda emme manifoldunu hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile sayısal olarak incelemişlerdir. İnceledikleri manifoldun altı çıkışından, en düşük hız değerlerinin çıkış 1 ve 6 da gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Manifold geometrisini yeniden tasarlayarak bu durumu gidermişlerdir [10]. Liu ise yapmış olduğu

çalışmada, 6 silindri bir dizel motorun emme ve egzoz manifoldlarını sayısal olarak optimize etmiştir. Manifoldların 2 farklı tasarımı için analizler yapmış ve her iki tasarımda da verimliliğin arttığını belirtmiştir [11].

Holkar ve arkadaşları ise, bir motorun hava emiş sistemini Ansys Fluent paket programını kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir. Analizlerinin sonucunda, emme manifoldundaki hava emiş kayıplarının plenum haznesi, port ve valften kaynaklandığını belirtmişlerdir [12]. Jemni ve arkadaşları, bir LPG'ye dönüştürülmüş bir dizel motorun emme manifoldunu sayısal olarak incelemişlerdir. İki farklı manifold modeli için, hava-yakıt oranını ve özgül yakıt tüketimini belirlemişlerdir. Manifoldun optimize edilmesi ile, hava-yakıt oranını %7 ve özgül yakıt tüketiminin ise yaklaşık % 28 oranında geliştiğini gözlemlemişlerdir [13].

Gürbüz ve arkadaşları, hidrojen yakıtı ile çalışan kıvılcım ateşlemeli içten yanmalı bir motorda, girdaplı akışın yanma ve motor performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Giriş açısının değerini 0°- 30° aralığında değiştirerek, motorun 1400-1800 dev/dk devir aralığı için çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, incelemiş oldukları içten yanmalı motorun performansının, giriş açısının 20° olduğu durum için yaklaşık olarak %3 arttığını belirtmişlerdir [14]. Gürbüz ve Buran, hidrojenle çalışan içten yanmalı bir motorun kıvılcım bölgesinde gerçekleşen akış içerisindeki yoğun türbülansın, motor performansı ve yanma parametreleri üzerine olan etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Buji bölgesi etrafında oluşan yoğun türbülanslı yapının, motorun performansını motorun devir hızına bağlı olarak, yaklaşık % 4.3 ile % 7.8 aralığında artırdığını belirtmişlerdir [15].

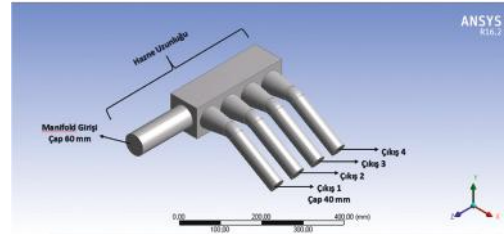
Hiticas ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmalarında, içten yanmalı bir motorun performansına emme manifoldunun

etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla bir BMW model aracın manifoldunu 3 boyutlu modelleyerek, manifold içerisindeki hava akışını hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla analiz etmişlerdir. Sonuçta mevcut manifold modelini, doldurma derecesi, hidrolik direnç, basınç düşüşü ve sıcaklık açısından modifiye ederek geliştirmişlerdir [16]. Seshadri, bir Honda motorunun emme manifoldunu tasarımını sayısal olarak yapmıştır. Çalışmasında manifoldun akış analizi için Star CCM+ paket programını, tüm motorun performans analizi için ise Ricardo Wave paket programını kullanmıştır. Geliştirdikleri yeni tasarım sayesinde basınç kaybını %8 azaltmış ve emme manifoldunun tüm koşullarında üniform bir akış sağlamıştır [17].

Görüldüğü üzere literatürde, emme manifoldlarının tasarımı üzerine deneysel ve sayısal çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalara göre, emme manifoldunun geometrisinin ve çalışma koşullarının motorun güç performansını etkilediği söylenebilir. Literatür incelendiğinde, manifold geometrisi üzerinde birçok çalışma olmasına rağmen, manifold çıkış açılarının etkileri üzerine yapılan çalışmalara pek rastlanılmamıştır. Önceden de belirtildiği üzere, bir motorun güç ve performansını etkileyen faktörlerden önemli bir tanesi silindir içerisindeki yanmanın ideal yanmaya yakın olarak gerçekleştirilebilmesidir. Bu durumda silindir içerisine gönderilen taze dolgunun optimum koşullarda gönderilebilmesine bağlıdır. Emme manifoldunun geometrisi, verim ve güç artışında önemli bir faktördür. Manifoldun çıkış açısı, silindire giren taze dolgunun akış karakteristiklerini, dolayısıyla debisini etkilemektedir. Bundan dolayı, bu çalışmada bir emme manifoldunda farklı çıkış açıları için analizler yapılarak, akış yapısına olan etkileri sayısal olarak incelenmiştir.

2. Problemin Tanımı ve Matematiksel Formülasyon

Bu çalışmada incelenen emme manifoldunun geometrisi ve koordinat sistemi Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere dört zamanlı dizel bir motor için geliştirilmiş olan emme manifoldu, giriş borusu, hazne hacmi ve dört adet çıkış borusundan oluşmaktadır. Modelin manifold giriş çapı 60 mm ve çıkış borularının çapları ise 40'ar mm olacak şekilde sabit tutulmuştur. Manifoldun hazne hacmi, silindir şeklinde 60 mm çapa sahip giriş kısmı ve 100 mm kenar uzunluğuna sahip kare prizma şeklinde dağıtım kısmı olmak üzere iki farklı bölümün birleşimi ile oluşmuştur ve toplam uzunluğu 460 mm olarak belirlenmiştir. Çıkış borusunun, hazne hacmi orta eksenine ile yaptığı açı ise 0°, 15°, 30° ve 45° olacak şekilde değiştirilerek, 4 farklı model için simülasyonlar yapılmıştır.



Şekil 1. Problemin Geometrisi

2.1. Problemin Diferansiyel Denklemleri Süreklilik Denklemleri.

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

Momentumun Denklemleri.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \bar{u}_i \bar{u}_j') \quad (2)$$

Enerji Denklemleri.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right) \right] + \frac{1}{\rho c_p} \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho c_p \bar{u}_j \bar{T}') \quad (3)$$

Türbülans k-ε Denklemleri.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \epsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - S_\epsilon \quad (5)$$

Bu denklemlerde, u hız bileşeni, u' hız bileşenindeki çarpıntı, T sıcaklık, P basınç, α ısı yayılım katsayısı, C_p sabit basınçta özgül ısı, ρ yoğunluk, μ viskozite, k türbülans kinetik enerjisi, ϵ türbülans kinetik enerjisi yutulumu, G_k türbülans kinetik enerji üretimi, S_k ve S_ϵ ise kaynak terimleridir. Türbülans viskozitesi ise aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

Bu modelde kullanılan sabitler ise aşağıdaki şekilde alınmıştır [17].

$$C_{1\epsilon}=1.44, C_{2\epsilon}=1.92, C_\mu=0.09, \sigma_k=1.0, \sigma_\epsilon=1.3$$

Burada, σ_k türbülans kinetik enerji Prandtl sayısını, σ_ϵ türbülans yutulumu Prandtl sayısını ifade etmektedir.

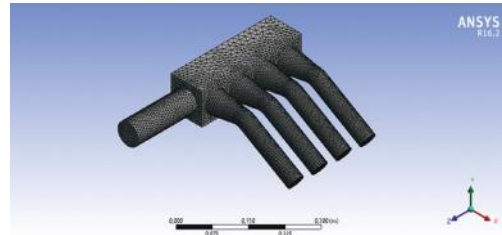
2.2. Sınır Şartları

Problem çözüm alanındaki akışın basınç farkı ile oluştuğu düşünülmüştür. Bu amaçla manifoldun girişi ile çıkışları arasında bir basınç farkı oluşturularak problem çözülmüştür. Literatürde olan diğer çalışmalar incelenerek, onlara paralel olacak şekilde giriş basıncı atmosfer basıncı olacak şekilde 101325 Pa olarak alınmış, çıkış basıncı ise yine literatüre [12] dayanarak 90000 Pa olarak belirlenmiştir. Akışkan olarak ise 300 K sıcaklığa sabit hava kullanılmıştır. Manifoldun alüminyum malzemeden yapıldığı ve tüm yüzeylerinin kaymasızlık şartını sağladığı varsayılmıştır.

2.3. Optimum Ağ Yapısı

Çözüm alanı içerisinde, hız ve basınç gibi incelenecek olan değişkenlerin, değerlerinin değişimlerinin yoğun olduğu bölgelere daha sık, yine hız sınır tabakasının oluştuğu yüzeylere yakın kısımlara çok sık, geri kalan bölgelere daha gevşek olacak şekilde bir ağ

yapısı oluşturulmuştur [19]. Bu çalışmada ele alınan problemin çözümünde kullanılan ağ yapısı Şekil 2'de verilmektedir. Ağ yapısından bağımsız sonuçlar elde etmek amacıyla farklı eleman sayılarına sahip ağ yapıları için simülasyonlar yapılmış ve ele alınan 4 farklı manifold geometrisi için 140000 ile 180000 eleman sayılarına sahip optimum ağ yapıları belirlenmiştir. Simülasyonlar bu optimum ağ yapıları kullanılarak yapılmıştır.

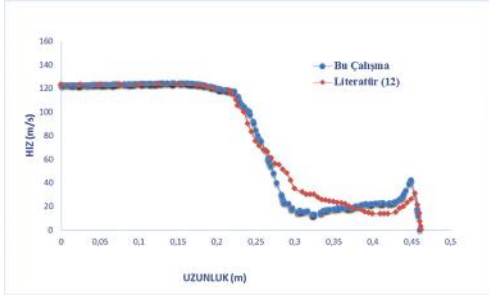


Şekil 2. Problemin Ağ Yapısı

2.4. Sayısal Metodun Doğruluğunun Test Edilmesi

Bu çalışmada ele alınan problem Ansys Fluent paket programı kullanılarak, uygun sınır şartları ile sayısal olarak çözülmüştür. Fakat simülasyonlar sonucunda elde edilen sayısal sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini kontrol etmek amacıyla, öncelikle literatürde daha önce Holkar ve arkadaşları tarafından dört silindirli bir motorun 30° çıkış açısına sahip emme manifoldu için yapılmış olan benzer başka bir çalışmanın [12] geometrisi ve sınır şartları kullanılarak test analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, referans alınan ilgili çalışmanın sonuçları ile birlikte irdelenerek kıyaslanmıştır. Her iki çalışma için çizilen, akış hızının hazne hacmi uzunluğuna göre değişimi Şekil 3'te birlikte verilmektedir.

Şekil 3 incelendiğinde, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile, ilgili çalışmadan [12] elde edilen sonuçların birbirine oldukça benzer olduğu görülmektedir. Özellikle başlangıçtan 0,2 m' ye kadar değerlerin birbiriyle oldukça yakın olduğu, bu mesafeden sonra ufak farklılıklar



Şekil 3. Sayısal Sonuçların Literatür [12] ile Karşılaştırılması

göstermesine rağmen genel profilin yine birbirine oldukça benzer olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan sayısal metodun ve elde edilen sonuçların doğruluğu ve güvenilirliğinin kabul edilebilir ölçülerde olduğu söylenebilir.

3. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada içten yanmalı bir dizel motorun emme manifoldu içerisinde gerçekleşen akışa, manifold hava çıkış geometrisinin etkileri incelenmektedir. Ele alınan emme manifoldu bir adet giriş kısmı, hazne hacmi ve 4 adet çıkış borusundan (koşucudan) oluşmaktadır. Bu 4 koşucunun, hazne hacminin eksenine ile yaptığı açı değiştirilerek dört farklı model geometri oluşturulmuştur. Bu modellerin koşucu çıkış açıları sırasıyla 0°, 15°, 30° ve 45° olacak şekilde belirlenmiştir. Bu dört farklı model için simülasyonlar yapılarak elde edilen sonuçlar, aşağıda birlikte verilerek değerlendirilmiştir.

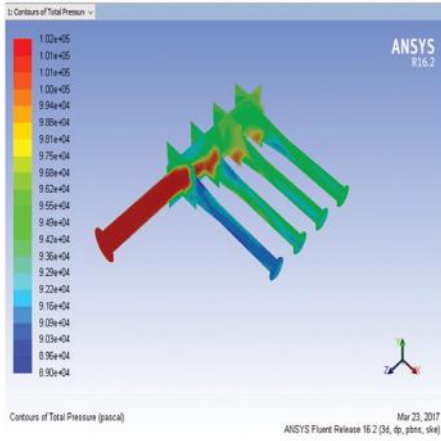
Şekil 4'te tasarımı yapılmış 4 farklı modelin toplam basınç eş bölgeleri birlikte verilmektedir. Şekiller incelendiğinde giriş kısmındaki basınç dağılımının, tüm modeller için hemen hemen aynı değerlerde ve yapıda olduğu görülmektedir. Fakat akışkanın giriş kısmından, hazne hacmine geçmesinin hemen ardından bir basınç düşüşü gözlemlenmiştir. Bu durum 4 model içinde benzer yapıdadır. Tüm modeller için, akışkanın ilerlemesi ile hazne

hacmi boyunca basınç kaybı görülmektedir. Fakat bu kayıp, çıkış borusu eğim açısı arttıkça artış göstermektedir. Eğim açısı 0° olan ilk modelde özellikle hazne hacminin ilk yarısında yüksek basınçların etkili olmasına rağmen, artan eğim açısı ile bu kısımdaki basınç düşmekte ve son model olan 45°'lik eğim açısında basınç düşüşü oldukça belirgin olarak görülmektedir.

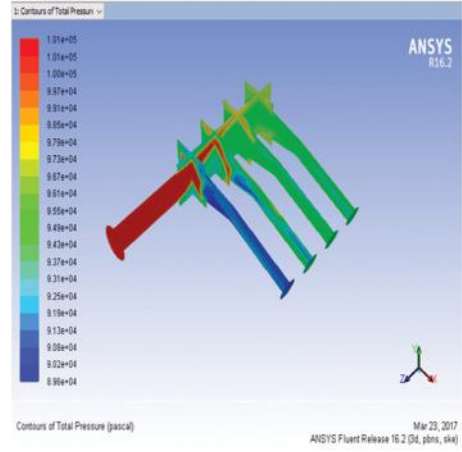
Akışkanın hazne hacminden koşuculara geçmesini takiben tekrardan bir basınç düşüşü gerçekleşmektedir. Bu düşüş, birinci koşucuda çok baskındır ve net olarak görülmektedir. Diğer 3 koşucuda gerçekleşen basınç düşüşleri benzer orandadır. Dolayısıyla bu koşucuların basınç dağılımları da benzerlik göstermektedir. Bu durum tüm eğim açıları için benzer olarak gözlemlenmiştir. Eğim açısının artması ise, koşucularda özellikle eğimin başladığı dirsek bölgelerinde lokal kayıpların artmasından dolayı, toplamda belli bir ölçüde basınç kaybına sebep olmaktadır.

Şekil 5'te ise, tasarımı yapılmış 4 farklı modelin hız vektör dağılımları birlikte verilmektedir. Şekillerden de görüldüğü üzere, emme manifoldunun giriş kısmında gerçekleşen hız dağılımları tüm eğim açıları için benzer yapıda ve benzer değerlerdedir. Akışkanın giriş kısmından, hazne hacmine geçmesi ile artan hacimden dolayı ani bir hız düşüşü görülmektedir. Hazne hacmi uzunluğu boyunca bu düşüş devam etmektedir. Fakat tüm eğim açıları için bu bölgede, genel manada bir hız düşüşü gözlemlense de, lokal olarak incelendiğinde eğim açılara göre hızlarda farklılıklar söz konusudur. Bu durum çıkış bölgesinde açı farklılıklarından kaynaklanan basınç farklılıklarının, bu bölgeleri farklı oranlarda etkilemesi ile ilişkilendirilebilir.

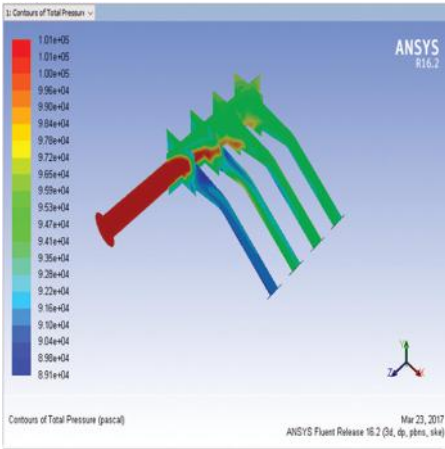
Şekiller incelendiğinde, hız vektörleri koşuculara göre farklılık göstermektedir. İlk koşucuda düşük hız değerleri gözlemlenirken, diğer üç koşucuda ilk koşucuya oranla daha yüksek hız değerleri gözlemlenmiştir. Bu üç koşucunun hız



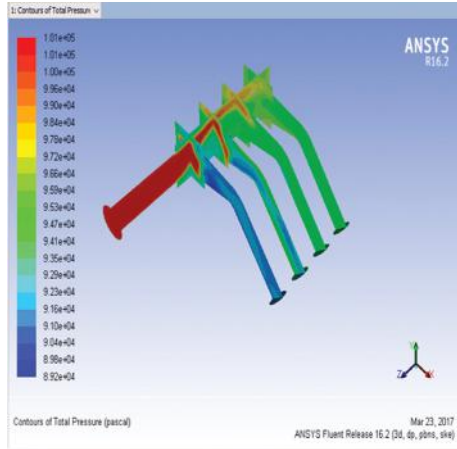
a)



b)



c)



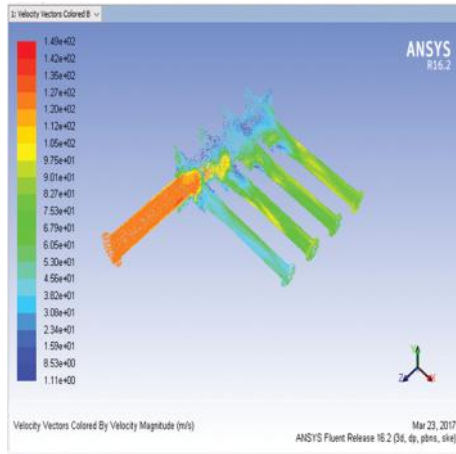
d)

Şekil 4. Eğim Açısına Göre Basınç Eş Bölgeleri **a) 0°, b) 15°, c) 30°, d) 45°**

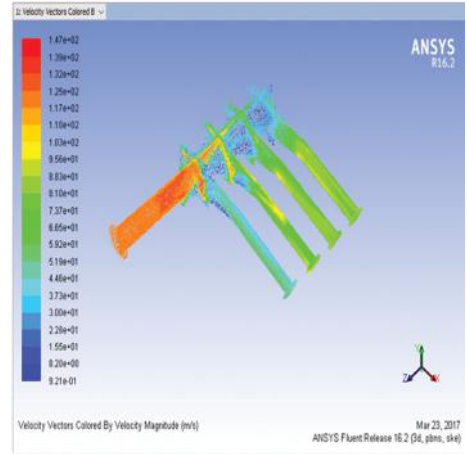
değerleri ve dağılımları genel olarak incelendiğinde ufak farklılıklarla benzer yapıdadır. Bu durum eğim açlarına göre tasarlanan modellerin tümünde benzer yapıdadır. Fakat özellikle eğimin gerçekleştiği dirsek bölgeleri incelendiğinde, eğim açlarına göre hız değerlerinde lokal farklılıklar tespit edilmiştir.

Şekil 5'te koşuculara göre, manifolddan çıkan debinin farklı eğim açıları için değişimi birlikte verilmektedir. Şekil incelendiğinde ilk koşucu için çıkan

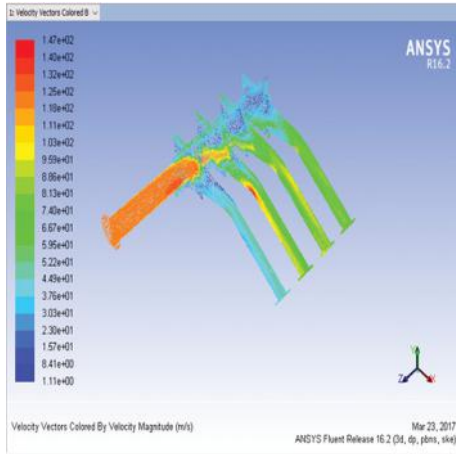
debinin düşük seviyelerde olduğu, ikinci koşucuda çıkış debisinin arttığı ve diğer iki koşucuda ise debideki değişimin az olduğu söylenebilir. Bu durum tüm eğim açıları için genel olarak benzer bir eğilimde olmasına rağmen, koşucular tek tek incelendiğinde farklılıklar göstermektedir. Örneğin birinci koşucuda en yüksek çıkış debisi değeri, 0° eğim açısına sahip modelde gerçekleşirken, en düşük debi ise 30° eğim açısında gözlemlenmiştir. Fakat bu durum ikinci koşucuda tam ters bir yapı göstermektedir. Koşucularda gerçekleşen çıkış debilerinin,



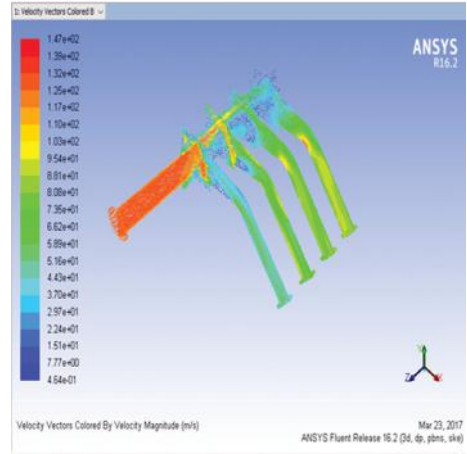
a)



b)



c)



d)

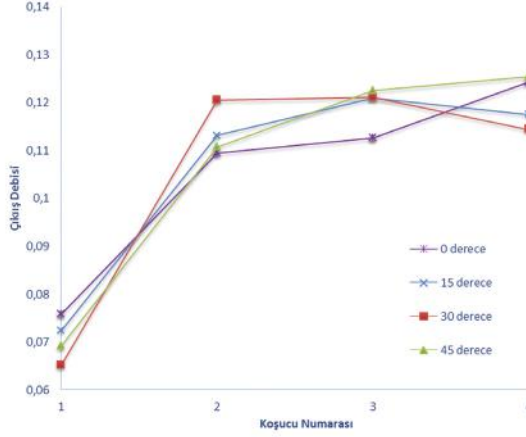
Şekil 5. Eğim Açısına Göre Hız Vektör Dağılımları a) 0°, b) 15°, c) 30°, d) 45°

eğim açılara göre farklılık göstermesi, çözüm alanı içerisinde akan akışkanın basınç ve hız dağılımlarının lokal olarak farklılıklar göstermesi ile alakalıdır.

Bir motor için manifold tasarımı yapılırken, sürekli ve performanslı bir güç üretimi için tüm silindirlere benzer debide temiz akışkan alınması istenir. Şekil 5 incelendiğinde, 15° eğim açısına sahip modelde tüm koşucuların gönderdiği debi miktarının, diğer eğim açılara sahip modellere oranla daha birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla bu modelin eğim açısı olan 15°, dizel bir motorda incelenen eğim açıları içerisinde, optimum hava girişini sağlayabilecek optimum çıkış açısı olarak kabul edilebilir.

Şekil 6'da ise koşuculara göre, manifolddan çıkan ortalama akışkan hızının, farklı eğim açıları için değişimi birlikte verilmektedir. Görüldüğü üzere ilk koşucuda çıkış hızları her model için diğer koşuculara oranla daha düşük değerdedir. Bu durum bu koşucunun, diğer koşuculara oranla yanma odasına hava

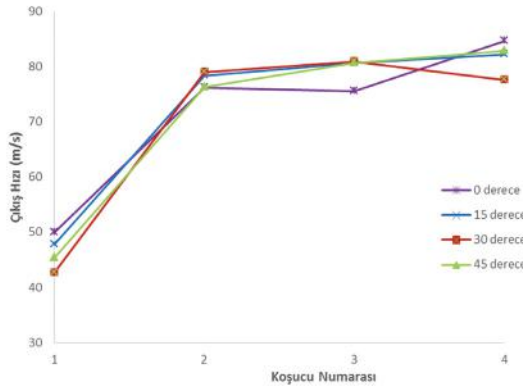


Şekil 6. Farklı Eğim Açılı için, Çıkış Debisinin Koşuculara Göre Değişimi

girişi beslemede daha sorunlu olduğunun bir göstergesidir. Diğer koşucularda ortalama çıkış hızları, birinci koşucuya göre daha yüksek değerde olmakla birlikte, birbirlerine yaklaşık değerlerdedir. Bir manifold tasarımında, koşuculardan çıkan akışkanın hızlarının birbirlerine yakın olması, motor performansının sürekliliği için istenen bir durumdur. Dolayısıyla ilk koşucu hariç diğer üçünde bu durum tüm eğim açıları için karşılanabilir ölçüdedir.

Manifold çıkışının eğim açısının değişimi ile ise, koşucularda gerçekleşen çıkış hızlarının değerlerinde farklılıklar oluşmaktadır. Önceden de belirttiği üzere, 15° eğim açısına sahip modelde, ilk koşucu

ve diğerleri arasında büyük hız farklılıkları bulunmasına rağmen, dört koşucudan çıkan akışkanın ortalama hız değerleri, diğer eğim açılı modellere göre nispeten daha yakındır. Dört model baz alındığında, 15° eğim açısı için geliştirilen modelin koşucularının çıkış hızları arasındaki bu ufak iyileşme, motorun güç performansının ve termal veriminin artırılmasının ne kadar zor ve kompleks olduğu düşünüldüğünde, verim ve performans da kabul edilebilir bir artışa sebep olabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla 15° eğim açısı için geliştirilen emme manifoldu modelinin, optimum manifold geometrisi olarak seçilebileceği söylenebilir.



Şekil 7. Farklı Eğim Açılı için, Çıkış Ortalama Hızının Koşuculara Göre Değişimi

4. Sonuçlar

Bu çalışma da; bir dizel motorda yanmanın gerçekleştiği kısım olan silindirlere taze hava akışını sağlayan emme manifoldunun içerisindeki hava akışının karakteristikleri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla, bir hava girişi, bir hazne hacmi ve dört adet hava çıkışına sahip bir emme manifold geometrisi ele alınmıştır. Bu manifoldun hava çıkış borularının ekseninin, hazne hacminin merkez eksenine ile yaptığı açılar değiştirilerek, dört farklı model belirlenmiştir. Bu modeller Ansys Fluent paket programı aracılığı ile sayısal olarak modellenmiş ve simülasyonlardan elde edilen veriler yardımıyla, eğim açısının akış karakteristikleri üzerine olan etkileri irdelenmiştir.

Çözüm alanı içerisinde gerçekleşen basınç ve hız dağılımları, her model için tüm geometride genel olarak benzerlik göstermektedir. Fakat, özellikle hidrodinamik sınır tabakaların geometrik değişimlerden dolayı bozulduğu bölgeler olan, hazne hacminin girişi ve çıkış borularındaki dirsek kısımlarında gerçekleşen basınç ve hız dağılımlarında, eğim açısının değişimine göre lokal farklılıklar gözlemlenmiştir. Ayrıca ilk koşucu ile, diğer üç koşucu arasında, hız ve basınç değerleri arasında kayda değer bir fark olduğu görülmüştür. Yine koşuculardan çıkan akışkanın hız ve debileri incelendiğinde ilk koşucunun çıkış debisi, diğerlerine göre daha düşük seviyelerde gerçekleşmektedir. Bir motorda, daha yüksek performans için, tüm silindirlere giren hava debilerinin birbirlerine yakın olması istenmesinden dolayı, bu durum motor performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Farklı eğim açıları için yapılan simülasyonlardan elde edilen verilere göre, dört koşucu için elde edilen çıkış hız ve debileri incelendiğinde, tüm koşucular arasındaki farkın minimum olduğu, dolayısıyla dört koşucunun

birbirlerine en yakın olduğu modelin, eğim açısının 15° olarak tasarlandığı geometri olduğu gözlemlenmiştir. Burada gözlemlenen iyileşmenin, bir motorun güç performansının ve termal veriminin artırılmasının ne kadar zor ve kompleks bir yapıda olduğu düşünüldüğünde, verim ve performans da kabul edilebilir bir artışa sebep olabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada tasarlanan manifold geometrisi için, 15° eğim açısına sahip emme manifoldu modelinin, optimum manifold geometrisi olarak seçilebileceği söylenebilir.

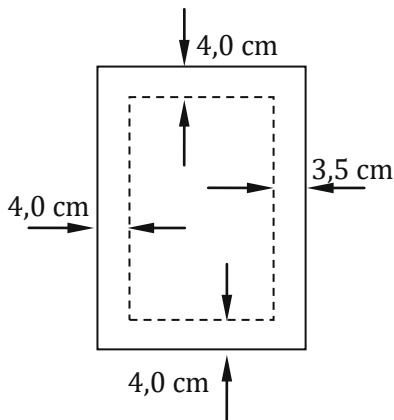
Kaynaklar

- [1] Singla, S., Sharma, S., ve Gangacharyulu, D. (2015). Study of design improvement of intake manifold of internal combustion engine. *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, 2015: 3(Special Issue): 234-242.
- [2] Porter, M. A. (2009). Intake Manifold Design using Computational Fluid Dynamics, University of New South Wales at the Australian Defence Force Academy *Journal of Undergraduate Engineering Research*, 2008: 1(2).
- [3] Srisattha, T., Issarakul, S., Wechsattol, W. ve Wannatong, K. (2011). Transient behavior of air flow through the intake manifold of a heavy duty diesel engine. *Applied Mechanics and Materials*, 2011: 87: 146-150.
- [4] Jemni, M. A., Kantchev, G. ve Abid, M. S. (2011). Influence of intake manifold design on in-cylinder flow and engine performances in a bus diesel engine converted to LPG gas fuelled, using CFD analyses and experimental investigations. *Energy*, 2011: 36(5): 2701-2715.
- [5] Thamaraiakanan, R., Anish, M., Kanimozhi B., George, T. ve Koshy, V. G. (2015). Design and analysis of

- an intake manifold in an IC engine. Applied Mechanics and Materials, 2015: 766-767: 1021-1027.
- [6] Aadepu S., Prasanth, I. S. N. V. R. ve Naik, J. M. (2014). Design of intake manifold of IC engines with improved volumetric efficiency. International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management And Research, 2014: 1(6): 26-33.
- [7] Kabsuri, V. (2013). Analysis of an intake manifold in a multi-cylinder SI engines. International Journal of Conceptions on Mechanical and Civil Engineering, 2013: 1(1), 2357-2760.
- [8] Xinjie, Z. (2015). Computational fluid dynamics analysis and runner test of automobile engine intake manifold structure. International Journal of Vehicle Structures & Systems, 2015: 7(2): 66-70.
- [9] Priyadarsini, I. (2016). Flow analysis of intake manifold using computational fluid dynamics. International Journal of Engineering and Advanced Research Technology, 2016: 2(1): 1-5.
- [10] Biberici, M. A., Ataman, T., Gedik, E. ve Çelik, M. B. (2016). Çok silindirli buji ateşlemeli bir motorda emme manifoldunun hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile sayısal olarak incelenmesi. Journal of Advanced Technology Sciences, 2016: 5(2): 120-130.
- [11] Liu, J. (2016). Numerical optimization of a 6-cylinder diesel engine intake and exhaust manifold, Master thesis, Purdue University.
- [12] Holkar, R., Sule-Patil, Y. N., Pise, S. M., Godase, Y. A. and Jagadale, V. S. (2015). Numerical simulation of steady flow through engine intake system using CFD. Journal of Mechanical and Civil Engineering, 2015: 12(1): 30-45.
- [13] Jemni, M. A., Kantchev, G., Abid, M. S. (2012). Intake manifold design effect on air fuel mixing and flow for an LPG heavy duty engine. International Journal Of Energy And Environment, 2012: 3(1), 61-72.
- [14] Gürbüz, H., Akçay, İ. H., Buran, D. (2014). An investigation on effect of in-cylinder swirl flow on performance, combustion and cyclic variations in hydrogen fueled spark ignition engine. Journal of the Energy Institute, 2014: 87, 1-10.
- [15] Gürbüz H., Buran D. (2016). Experimental study on effect of concentrated turbulence around the spark plug zone in a swirling flow on a hydrogen SI engine performance and combustion parameters, Journal of Energy Engineering, 2016: 142(3).
- [16] Hiticas, I., Iorga, D., Mihon, L., Uricanu, N. and Picioarea, G. (2012). The influence of the intake manifold system concerning the performances of the internal combustion engine. Fiability & Durability / Fiabilitate si Durabilitate, 2012: 7: 29-35.
- [17] Seshadri, S. (2015). Design and CFD analysis of the intake manifold for the Honda CBR250RR engine. Master Thesis, Mechanical Engineering the University of Texas.
- [18] Malalasekera, W. And Versteeg, H. K. (2005). An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method, Longman.
- [19] Patankar, S.V. (1980). Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw-Hill Book Company, New York.

This Page Intentionally Left Blank

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

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.
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*, 2104: 65(4):187-191.

Book

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

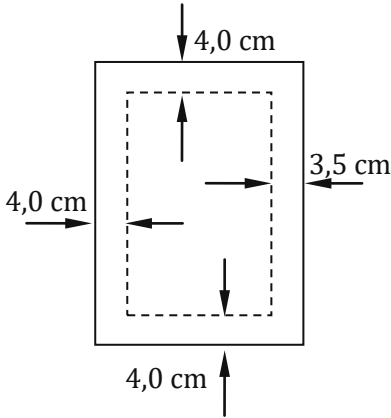
Thesis

- [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, 2104:65(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 3 (2017)

| | | |
|-------------------------|--------------------------------|--------|
| Halil SARAÇOĞLU | İstanbul Technical University | Turkey |
| Habib GÜRBÜZ | Süleyman Demirel University | Turkey |
| Hakan Serhad SOYHAN | Sakarya University | Turkey |
| Ersan BAŞAR | Karadeniz Technical University | Turkey |
| Muhammet BORAN | Karadeniz Technical University | Turkey |
| Nurten VARDAR | Yıldız Technical University | Turkey |
| Seyfettin BAYRAKTAR | Yıldız Technical University | Turkey |
| Ali DOĞRUL | Yıldız Technical University | Turkey |
| Ahmet ERGİN | İstanbul Technical University | Turkey |
| Selda OTERKUS | University of Strathclyde | UK |
| Derya ATLAY IŞIK | Muğla Sıtkı Koçman University | Turkey |
| Erdal ARLI | Kocaeli University | Turkey |
| Azim GÖKÇE | Sakarya University | Turkey |
| Ömer SAVAŞ | Yıldız Technical University | Turkey |
| Faruk VAROL | Sakarya University | Turkey |
| Ángel Martín COSTA RIAL | University of A Coruña | Spain |
| Selma ERGİN | İstanbul Technical University | Turkey |



Journal of ETA Maritime Science

JEMS
JOURNAL

Volume 5 Issue 3 (2017) is indexed in

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

OAJI Open Academic
.net Journals Index



INDEX  COPERNICUS
INTERNATIONAL



 **INFOBASE INDEX**





PTST'17

PILOTAGE / TOWAGE SERVICES
AND TECHNOLOGIES CONGRESS

www.ptstcongress.org

27th - 28th OCTOBER 2017
HILTON - IZMIR / TURKEY



Dear Sir/Madam,

The Pilotage / Towage Services and Technologies Organizational Committee is pleased to announce the Pilotage / Towage Services and Technologies Congress 2017 – PTST '17, which will be held from 27th - 28th October 2017 at the Hilton Hotel in Izmir, Turkey. The PTST '17 jointly organized in cooperation with "Chambers of Marine Engineer", "Turkish Maritime Pilots' Association", "Turkish Chamber of Shipping" and "Turkish Shipbuilders' Association" is addressed to scientists and professionals in order to share their expert knowledge, experience and research results concerning all aspects of pilotage services, towage services, tugboat architecture and construction industry and related technological developments at academic level.

All works related to theoretical developments and applications of pilotage and /or towage services are welcome. Topics of interest include, but are not limited to;

Congress Topics

- Pilotage services
- Pilotage information technologies
- Towage and mooring services
- Information technologies for towage services
- Human factor and pilotage
- Port modeling studies
- Maneuvering at port
- Safe maneuvering essentials
- Tug propulsion technologies
- Tugboat building
- Equipment and technologies for ship mooring and sheltering
- Tugboat design and human interface
- Smart tugboats and pilotage services
- Alternative fuel systems in towage

Submission

Abstract submission date of the congress is **June 30, 2017**. Abstracts (up to 400 words) may be submitted in Turkish or in English; the presentations will be done in the submission language. The submissions must include a title, names of author(s), university and department affiliations, e-mail addresses, postal addresses and five (5) keywords. Abstracts should not exceed one page and must be sent to the ptstcongress2017@gmail.com. All submissions to the PTST '17 will be reviewed by at least two independent reviewers.

Accepted submissions will be announced by **July 07, 2017**. Last day for the delivery of full texts of the submissions is **August 18, 2017**. Upon evaluation, best paper will be awarded.

Key Dates

| | |
|-------------------------------------|--|
| Deadline for Abstract Submission | : 30 th of June, 2017 |
| Announcement of Accepted Abstract | : 07 st of July, 2017 |
| Deadline for Full Paper | : 18 th of August, 2017 |
| Announcement of Accepted Full Paper | : 15 st of September, 2017 |
| Congress Day | : 27 th – 28 th of October, 2017 |

www.jemsjournal.org



JEMS
JOURNAL OF ETA MARITIME SCIENCE



Paper submitted and presented at the PTST '17 will be published in the Congress Proceedings or JEMS Journal (Journal of ETA Maritime Science) [www.jemsjournal.org] published by UCTEA, The Chamber of Marine Engineers.

We are waiting for your registration, title and short abstract of your contribution till **June 30th 2017**. For more information please visit www.ptstcongress.org

Registration

Early Registration until September,29

| | |
|----------------------|---------|
| Participant | 300.-TL |
| Master & PhD Student | 150.-TL |

Late Registration after September,30

| | |
|----------------------|---------|
| Participant | 420.-TL |
| Master & PhD Student | 210.-TL |

Registration fees can be transferred to the bank with details given in web site of www.ptstcongress.org. The form also includes credit card information. Please send the payment receipt and the registration form via e-mail or fax below.

E-mail: ptst@claros.com.tr
Fax: +90 232 463 23 84

We look forward to welcoming you in Izmir/Turkey.

Organized by:



Web : ptstcongress.org

E-Mail : ptstcongress@gmail.com

Mobile : +90 532 331 51 31

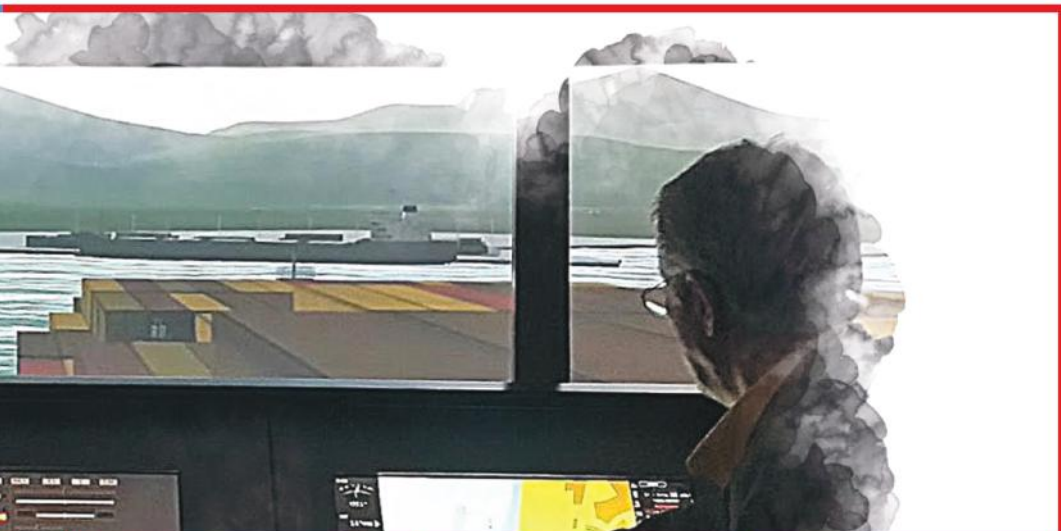


COMMITTEES

Organizing Committee

Prof. Dr. Selçuk NAS (Congress Organizing Chair)
 Res. Asst. Emin Deniz ÖZKAN
 Res. Asst. Yunus Emre ŞENOL
 Asst. Prof. Dr. Barış KULEYİN
 Res. Asst. Erdem KAN
 Alev TUNÇ
 Assoc. Prof. Dr. Ersan BAŞAR
 Res. Asst. Murat PAMIK
 Ali Burçin EKE
 Asst. Prof. Dr. Görkem KÖKKÜLÜNK
 Res. Asst. Onural Alper ŞAHİN
 Ali GÜRÜN
 Asst. Prof. Dr. Mustafa NURAN
 Res. Asst. Ömer ARSLAN
 Altan KÖSEDOĞLU
 Asst. Prof. Dr. Oğuz ATİK
 Res. Asst. Remzi FİSKİN
 Aykut EROL
 Asst. Prof. Dr. Yusuf ZORBA (Congress Secretary)
 Res. Asst. Saliha Saadet KALENDER
 Ersan GÜRGÜL
 Ahmet Yaşar CANCA
 Res. Asst. Taha Talip TÜRKİSTANLI
 Hakan IŞIKCI

Ayşe Aslı BAŞAK
 Res. Asst. Yiğit GÜLMEZ
 Res. Asst. Müge BÜBER
 Hakan SEN
 Bora KAYACAN
 Lecturer Ali Cem KUZU
 Kazım BAKAN
 Cahit İSTİKBAL
 Lecturer Volkan FİDAN
 Kemalettin GÜR
 Feramuz AŞKIN
 Res. Asst. Burcu ÇELİK
 Korhan DORUK
 Derya Yenice OFLU
 Tolga SENOĞLU
 Murat KIRAN
 Gizem CEVİK
 Serkan KAHRAMAN
 Noyan ALTUĞ
 Hakkı TOROS
 Umut ARAS
 Pınar KORKMAZ
 Murat TUNCER
 Yusuf ÖZTÜRK
 Serdar ERDİNÇLER
 Salih BİLAL
 Seda TURHAN



Academic Committee

Prof. Dr. Adi Maimun Abdul Matik
Universiti Teknologi Malaysia, MALAYSIA
Prof. Dr. A. Güldem CERİT
Dokuz Eylül University, TURKEY
Prof. Dr. Abdi KÜKNER
Istanbul Technical University, TURKEY
Prof. Dr. Ali TAKINACI
Istanbul Technical University, TURKEY
Prof. Dr. Bahar TOKUR
Ordu University, TURKEY
Prof. Dr. Bahri SAHİN (President)
Yıldız Technical University, TURKEY
Prof. Dr. Ei-ichi KOBAYASHI
Kobe University, JAPAN
Prof. Dr. Ender ASYALI
Dokuz Eylül University, TURKEY
Prof. Dr. Hakkı KİŞİ
Dokuz Eylül University, TURKEY
Prof. Dr. Masao FURUSHO
Kobe University, JAPAN
Prof. Dr. Mehmet BİLGİN
Istanbul University, TURKEY
Prof. Dr. Muhammet BÖRAN
Karadeniz Technical University, TURKEY
Prof. Dr. Mustafa ALTUNÇ
Near East University, TRNC
Prof. Dr. Nikitas NIKITAKOS
University of the Aegean, GREECE
Prof. Dr. Oral ERDOĞAN (President)
Piri Reis University, TURKEY
Prof. Dr. Sakir BAL
Istanbul Technical University, TURKEY
Prof. Dr. Shota Kuntchulia
Batumi State Maritime Academy, GEORGIA
Prof. Dr. Selcuk NAS
Dokuz Eylül University, TURKEY

Prof. Dr. Tanel SAHİN
Recep Tayyip Erdoğan University, TURKEY
Prof. Irakli SHARABIDZE (President)
Batumi State Maritime Academy, GEORGIA
Assoc. Prof. Dr. Cengiz DENİZ
Istanbul Technical University, TURKEY
Assoc. Prof. Dr. Erdal ARLI
Kocaeli University, TURKEY
Assoc. Prof. Dr. Ersan BAŞAR
Karadeniz Technical University, TURKEY
Assoc. Prof. Feiza MEMET
Constanta Maritime University, ROMANIA
Assoc. Prof. Dr. Gheorghe BATRINCA
Constanta Maritime University, ROMANIA
Assoc. Prof. Dr. Kadir ÇİCEK
Istanbul Technical University, TURKEY
Assoc. Prof. Dr. Metin ÇELİK
Istanbul Technical University, TURKEY
Assoc. Prof. Dr. Özcan ARSLAN
Istanbul Technical University, TURKEY
Assoc. Prof. Dr. Serdar KUM
Istanbul Technical University, TURKEY
Assoc. Prof. Dr. Özkan UĞURLU
Karadeniz Technical University, TURKEY
Assoc. Prof. Dr. Yusuf ZORBA
Dokuz Eylül University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Ali Cemal TÖZ
Dokuz Eylül University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Alper KILIÇ
Bandırma On Yedi Eylül University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Banş KULEYİN
Dokuz Eylül University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Burak KÖSEÖĞLU
Dokuz Eylül University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Cristina DRAGOMIR
Constanta Maritime University, ROMANIA
Asst. Prof. Dr. Ögüz ATIK
Dokuz Eylül University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Cemil YURTDÖREN
Istanbul Technical University, TURKEY

Asst. Prof. Dr. Ercan YÜKSEKYILDIZ
Ordu University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. İsmail ÇİCEK
Istanbul Technical University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Momoko KITADA
World Maritime University, SWEDEN
Asst. Prof. Dr. Murat YILDIZ
Istanbul University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Mustafa NURAN
Dokuz Eylül University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Münip BAŞ
Istanbul Technical University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Serim PAKER
Dokuz Eylül University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Tanzer SATIR
Istanbul Technical University, TURKEY
Asst. Prof. Dr. Zhiming YUAN
University of Strathclyde, UK
Dr. Angelica M. BAYLON
Maritime Academy of Asia and the Pacific,
PHILIPPINES
Dr. Gesa PRAETORIUS
World Maritime University, SWEDEN
Dr. Iraklis LAZAKIS
University of Strathclyde, UK
Dr. Nebojsa NIKOLIC
University of Rijeka, CROATIA
Dr. Marcel·la Castellis i SANABRA
Polytechnic University of Catalonia, SPAIN
Dr. Rafet Emek KURT
University of Strathclyde, UK
Dr. Shi HE
University of Strathclyde, UK
Dmytro ZHUKOV
Odessa National Maritime Academy,
UKRAINE
Heikki KOIWISTO
Satakunta University of Applied Sciences,
FINLAND

This Page Intentionally Left Blank