

Sayı / Number: 209

GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ

GMO JOURNAL OF SHIP AND MARINE TECHNOLOGY



TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI
The Turkish Chamber of Naval Architects and Marine Engineers

GMO



Gemi İnşa sektörüne yön veren ve önde gelen kuruluşlarından olan meslek odamızın Yalova Şubesinin açılışı 19 Ekim 2017 Perşembe günü gerçekleşecektir. Yalova'da bulunan üyelerimizin şube açılışına iştirak etmelerinden mutluluk duyacağız.

GMO Yalova Şube Açılışı

Tarih : 19 Ekim 2017 Perşembe

Saat : 12:30

Adres : Atatürk Bulvarı Kat:1 No:103 Hasgencer İş Merkezi Altınova/ Yalova

Katılım bilginizi 17 Ekim 2017 Salı gününe kadar yalova@gmo.org.tr adresine iletmeniz rica olunur.

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası

EDİTÖRDEN / EDITORIAL

Değerli Meslektaşlar ve Okurlar,

Beş bilimsel makale ile Gemi ve Deniz Teknolojisi dergimizin 209. sayısını sizlere sunmaktan mutluluk duymaktayız. İlk makalede altı serbestlik derecesine sahip doğrusal olmayan gemi hareketleri ve gemiye etkileyen kuvvetler konusunda yapılmış çalışmalar gözönüne alınarak, gemi hareketlerinin matematik modellemesinde kullanılan denklemler derlenmiştir. Diğer bir çalışmada, son zamanlarda denizcilik sektöründeki yaşanan ekonomik gelişmelere değinmeye çalışacak, bu gelişmelerin küresel denizcilik piyasasında ve gemi inşa sektöründe ne gibi etkileri olduğuna ve ülkemize yansımaları incelenmiştir. Üçüncü sırada, serbest yüzey etkisi altında zorlanmış yalpa hareketi yapan yalpa omurgasına sahip iki boyutlu gemi kesiti etrafındaki akış RANS çözücü kullanılarak incelenmiştir. Sonraki makalede HVAC sisteme sahip bir gemi için nem, hız ve enerji denklemleri oluşturularak benzetim ve PID kontrol çalışmaları yapılmıştır. Bu sayımızdaki son makalede; Türk bayraklı gemilerde meydana gelen iş kazaları ve risk etmenlerinin incelenmiştir.

Dergimizi TR kapsamına aldirmek için başvuruda bulunacağımızı ve ilgili kriterleri sağlamak amacıyla de yoğun bir çalışma dönemine girdiğimizi memnuniyetle bilgilerinize sunarız.

Saygılarımızla.

Prof. Dr. Ahmet Dursun ALKAN
Baş Editör

Distinguished Colleagues and Readers,

We are happy to present the issue 209 with five scientific articles. The first study deals with compiling the equations used in the mathematical modeling of the ship motion with reference to work on non-linear ship motions with six degrees of freedom and ship-acting forces. The second study addresses the recent economic developments in the industry and find out the implications of these developments in the global maritime market and shipbuilding industry and their reflections on Turkey. In the third paper, the flow around a forced rolling two dimensional hull section with bilge keel at free surface is simulated by using RANS solver. The next paper deals with the simulation and PID control of ship HVAC systems where moisture, velocity and energy equations are derived. The last paper gives an investigation report of the occupational accidents and risk factors occurred on the Turkish flagged ships.

Presented for your kind knowledge, we take action for our journal to be inserted in TR-Index coverage.

Best regards,

Prof. Ahmet Dursun Alkan PhD
Editor-in-Chief



Sahibi / Publisher:

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

İmtiyaz Sahibi / Owner

İlker CİVELEK

Baş Editör / Editor-in-Chief

Prof. Dr. Ahmet Dursun ALKAN

Yardımcı Editör / Associate Editor

Doç. Dr. Ömer Kemal KINACI

Yayın Komisyonu / Editing Committee

Salih BOSTANCI
Batuhan KARATAŞ
Tuğba TIKTAŞ

Yönetim / Management

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

Yayın Türü / Publication Type / Sayı / Number

Sürekli Yayın (3 Aylık) / Periodical, 3 months
Sayı / Number : 209

Basıldığı Yer ve Tarih / Printed in / Date

Cenkler Matbaacılık Amb. San. Tic. Ltd. Şti.
İ. Karaoğlanoğlu Cad. Civan Sok. No: 7
Seyrantepe, 4 Levent, İstanbul, Türkiye
T: +90 212 283 02 77 – 264 18 21
F: +90 212 264 05 31
www.cenkler.com

ISSN 1300-1973

Baskı Tarihi / Date of print : October 2017
Baskı Sayısı / Number of prints : 500



GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası'nın 3 ayda bir yayınlanan, üyelerinin meslekle ilgili bilgilerini geliştirmeyi, ulusal ve askeri deniz teknolojisine katkıda bulunmayı, özellikle sektörün ülke çıkarları yönünde gelişmesini ve teknolojik yeniliklerin duyurulmasını amaçlayan uluslararası hakemli bir bilimsel dergidir. Basın Ahlak Yasası'na ve Basın Konseyi ilkelerine kendiliğinden uyar. GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ'nde yayınlanan yazılardaki görüş ve düşünceler bunlara ilişkin yasal sorumluluk yazara aittir. Bu konuda GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ herhangi bir sorumluluk üstlenmez. Yayınlanmak üzere gönderilen yazılar ve fotoğraflar, yayınlansın ya da yayınlansın iade edilmez. GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ'nde yayınlanan yazılardan kaynak belirtmek koşulu ile tam ya da özet alıntı yapılabilir.

GMO Journal of Ship and Marine Technology is an open access journal. The readers have the right to read, download and print the articles free of charge. While using any part of this journal partially or fully, proper citation of the work is expected.

Editörler Kurulu / Editorial Board

- Prof. Dr. Karin ANDERSSON (Chalmers University, Gothenburg, Sweden)
- Prof. Dr. Mehmet ATLAR (Strathclyde University, Glasgow, UK)
- Prof. Dr. Şakir BAL (Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL (Gedik University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Serdar BEJİ (Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Volker BERTRAM (DNV-GL, Hamburg, Germany)
- Prof. Dr. M.Sander ÇALIŞAL (Piri Reis University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Fahri ÇELİK (Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Bettar O. EL-MOCTAR (University of Duisburg-Essen, Duisburg, DE)
- Prof. Dr. Oral ERDOĞAN (Piri Reis University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Odd M.FALTINSEN (NTNU, Trondheim, Norway)
- Prof. Alberto FRANCESCUTTO (University of Trieste, Trieste, Italy)
- Prof. Dr. Ömer GÖREN (Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Atilla İNCECIK (Strathclyde University, UK)
- Prof. Dr. Nurhan KÂHYAOĞLU (Piri Reis University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Rumen KISHEV (Varna Technical University, Varna, Bulgaria)
- Prof. Dr. Ercan KÖSE (Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey)
- Prof. Dr. Abdi KÜKNER (Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Gökdeniz NEŞER (Dokuz Eylül Technical University, Izmir, Turkey)
- Prof. Dr. Aykut ÖLÇER (World Maritime University, Sweden)
- Prof. Dr. Süleyman ÖZKAYNAK (Piri Reis University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Ing.Claudio PENZA (University of Naples "Federico II", Naples, Italy)
- Prof. Dr. Philippe RIGO (University of Liege, Liege, Belgium)
- Prof. Dr. Oğuz S. SÖĞÜT (Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Ahmet TAŞDEMİR (Piri Reis University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Ing.Giorgio TRINCAS (University of Trieste, Trieste, Italy)
- Prof. Dr. Osman TURAN (Strathclyde University, Glasgow, UK)
- Prof. Dr. Omar YAAKOB (Universiti Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia)
- Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ (Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey)
- Dr. Veysel ALANKAYA (National Defence University, Istanbul, Turkey)
- Dr. Yiğit Kemal DEMİREL (Strathclyde University, Glasgow, UK)
- Dr.Fatih ERDEN (National Defence University, Istanbul, Turkey)
- Dr. Emrah ERGİNER (Dokuz Eylül University, Izmir, Turkey)
- Dr. Güner ÖZMEN (Dokuz Eylül University, Izmir, Turkey)
- Dr. Emre PEŞMAN (Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey)
- Dr. Bekir ŞENER (Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey)
- Dr. Tahsin TEZDOĞAN (Strathclyde University, Glasgow, UK)
- Dr. Serkan TÜRKMEN (Newcastle University, Newcastle, UK)
- Dr. Uğur Oral ÜNAL (Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey)
- Ing. Markus Wolfgang HAAS (SICK AG, Düsseldorf, Germany)
- Mr. Klaus ANDREASEN (BAWAT A/S, Hørsholm, Denmark)

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Gemilerin Altı Serbestlik Dereceli Hareketlerinin Matematik Modellemesi Mathematical Modeling of the Ships' Six-Degree-of-Freedom Motions <i>Ömer Sinan Şahin</i>	5
Denizcilik Sektöründeki Son Gelişmeler ve Türkiye Üzerindeki Yansımaları Recent Developments in Maritime Sector and Reflections to Turkey <i>Ahmet Taşdemir, Mehmet Akman, Nazmi Çeşmeci</i>	19
Yalpa Omurgası Genişliğinin Yalpa Sönümüne Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi Numerical Investigation of the Effect of Bilge Keel Width on Roll Damping <i>Burak Yıldız, Hüseyin Yılmaz</i>	31
Gemi İçindeki Nem ve Sıcaklık Değişiminin PID ile Kontrolü PID Control of Humidity and Temperature Exchange in a Ship <i>Tarık Koçal, Ata Muğan</i>	44
Türk Bayraklı Gemilerde Meydana Gelen İş Kazaları ve Risk Etmenlerinin Analizi Analysis of Occupational Accidents and Risk Factors Occurred on Turkish Flagged Ships <i>Fatih Yılmaz, Mustafa Necmi İlhan</i>	55



SÖYLEŞİ

AĞIR SANAYİDE KADININ YERİ

**GMO KADIN
KOMİSYONU
ÖĞRENCİLERLE
BULUŞUYOR**

Tarih : 29 Eylül 2017 Cuma

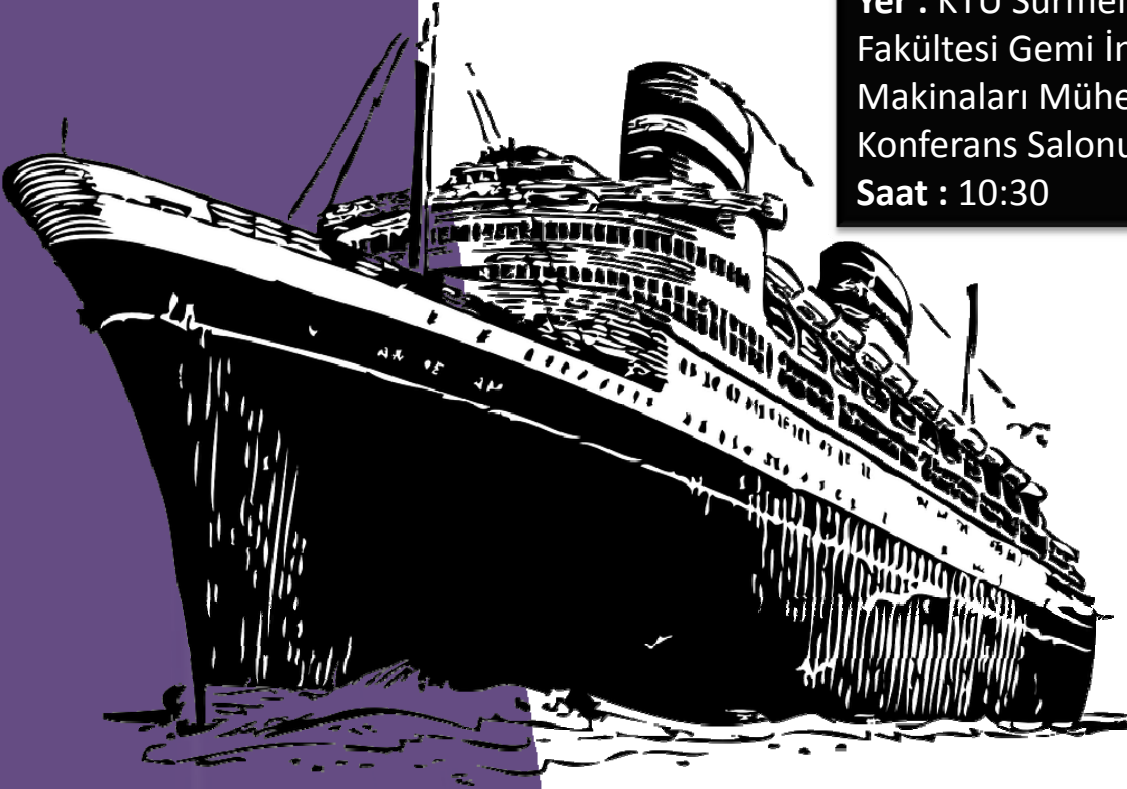
Yer : KTÜ Sürmene Deniz Bilimleri

Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi

Makinaları Mühendisliği Bölümü

Konferans Salonu

Saat : 10:30



Katılım Bilgi: gmo@gmo.org.tr

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası

Mathematical Modeling of the Ships' Six-Degree-of-Freedom Motions

Ömer Sinan Şahin¹

osinan.sahin@erdogan.edu.tr

¹ Recep Tayyip Erdogan University, Department of Marine Engineering, Rize

Summary

A ship between waves is exposed to the effects of waves, currents, winds, etc., and dynamic forces resulting from the motions of the ship. For this reason, it is necessary to establish motion equations to examine the motion of vessels under environmental influences and to make dynamic analyzes. The purpose of this paper is to compile the equations used in the mathematical modeling of the ship motion with reference to work on nonlinear ship motions with six degrees of freedom and ship-acting forces. The components of the equations consist of inertial forces and moments, restoring forces and moments, and damping forces and moments. The equations compiled in this study can be used to obtain the mathematical model of the vessels by adapting them to various ship sizes and types.

Keywords: Ship motions, mathematical modeling, ship modeling

Gemilerin Altı Serbestlik Dereceli Hareketlerinin Matematik Modellemesi

Ömer Sinan Şahin¹

osinan.sahin@erdogan.edu.tr

¹ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, Rize

Özet

Dalgalar arasındaki bir gemi, çevresinden gelen dalga, akıntı, rüzgâr gibi etkiler ile geminin kendi hareketlerinden kaynaklanan dinamik kuvvetlere maruz kalır. Bu nedenle çevresel etkiler altındaki gemilerin hareketlerini incelemek ve dinamik analizlerini yapmak için hareket denklemleri oluşturmaya ihtiyaç duyulur. Bu makalenin amacı altı serbestlik derecesine sahip doğrusal olmayan gemi hareketleri ve gemiye etkileyen kuvvetler konusunda yapılmış çalışmalarını referans alarak, gemi hareketlerinin matematik modellemesinde kullanılan denklemleri derleme çalışmasıyla sunmaktır. Denklemlerin bileşenleri atalet kuvvetleri ve momentleri, doğrultucu kuvvetler ve momentler ve sönümlenme kuvvetleri ve momentlerinden oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında derlenen denklemler, çeşitli gemi boyutlarına ve tiplerine uyarlanarak söz konusu gemilerin matematiksel modelini elde etmek için kullanılabilir niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Gemi hareketleri, matematik modelleme, gemi modellemesi

1. Giriş

Gemiler gerek seyir halinde gerekse durağan haldeyken rüzgâr, dalga, su direnci, yolcu veya yüklerden kaynaklanan dengesizlik gibi etkilere maruz kalırlar. Bu anlamda gemi, maruz kaldığı etkilere rağmen kendisinden beklenen performansını kaybetmemeli, yolcu güvenliği sağlayarak ve rotasını koruyarak görevini yerine getirmelidir. Bu sebeplerden dolayı bir tekne dizayn aşamasında iyi modellenmeli ve gerekli denizcilik özellikleri analiz edilmelidir.

Gemi hareketlerinin matematiksel modellemesi geminin dinamik stabilitesini analiz etmek ve dinamik stabilitesini iyileştirmek amaçlı yalpa kanat, trim tab, interseptör, T foil vb. sistemler tasarlamak için yapılabilir. Böylece geminin operasyonel performansını en iyi şekilde sürdürmesi sağlanarak, yolcu ve personel emniyetli; gemideki yük ve donanımların ise hasarsız şekilde seyri sağlanır.

Gemilerden beklenen bir diğer özellik de gemi kontrol edilebilirliği olarak da adlandırabileceğimiz manevra kabiliyetine sahip olmalarıdır. Manevra kabiliyeti temel olarak geminin kontrollü bir şekilde dönme, rota tutuşu, hızlanma, yavaşlama ve geriye hareket etme performansı konularını oluşturmaktadır. Geminin manevra kabiliyetini simüle etmek ya da gemi için kontrolcü tasarımı yapmak için de matematik modelden yararlanılır. Elde edilen matematik model üzerinden yapılan kontrolcü tasarımı ile gemiye etkiyen bozucu unsurların etkileri azaltılarak sistem dinamiğinin daha kararlı hale gelmesi sağlanır.

Nomoto ve diğerleri (1957) yılındaki çalışmalarında savrulma hareketi için Newton yasasından yararlanarak ikinci dereceden hareket modeli oluşturulmuş ve bu modelin altı serbestlik dereceli hareket modeline göre daha basit ve kullanışlı olduğunu göstermiştir.

Abkowitz (1964), boyuna öteleme, yan öteleme ve savrulma hareketlerinde bir gemi üzerinde etkili olan kuvvetlerin önemli bir gelişimini sunmuştur. Hidrodinamik kuvvetlerin Taylor serisi açılımını seyir hızı için test etmiştir ve kuvvetlerin rasgele bir doğruluk derecesinde modellenebileceği formül elde etmiştir. Böylece modeli doğrusal hareket denklemlerine indirgeyebilme imkânı tanımıştır.

Kaplan ve diğerleri (1969) yaptıkları teorik ve deneysel çalışmalar ile bir hücumbotun eğimli bir kumsala girişi ve geri çekilişi için altı serbestlik dereceli hareket modelini çıkarmışlardır. Bu çalışma ile hücumbotun altı serbestlik derecesi hareketini etkileyen dalga ortamının değişken özelliklerini veren denklemler elde edilmiştir. Bu formüller, veriler ve fikirler dalgalarda iniş teknesi davranışının gerçek zamanlı bir bilgisayar simülasyonunun geliştirilmesinde kullanılabilir niteliktedir.

Son ve Nomoto (1982), yalpa hareketinin gemi üzerine etki ettiği kuvvetleri ve momentleri üretmek için Abkowitz modelini geliştirmiştir.

Browning (1990) doktora tezinde, çeşitli boyutta ve formda tekneler olduğu için büyük gemilere uygun olan modellerin bu teknelere uygun olmadığını göz önünde bulundurarak küçük tekne hareketleri için matematik model oluşturmuştur.

Fossen ve Fjellstad (1995), gerçeğe daha yakın matematik model elde edebilmek için geminin içinde bulunduğu ortamın hidrodinamik ek su kütle, Coriolis ve atalet kuvvetleri de hesaba katarak çalışmalar yapmıştır.

Ross doktora tezinde (2008), Kirchhoff'un eklenen kütleli konvolüsyon integral formülünü kullanarak dalgalar yoluyla bir gemi manevrasında doğrusal olmayan hareket denklemlerini geliştirmiştir. Kirchhoff denklemleri, sistem kinetik enerjisinin türevlerinden hareket denklemlerini elde etmek için kullanılan bir dizi ilişkidir. Euler-Lagrange denklemlerinin özel durumlarıdır. Elde edilen denklemler Coriolis ve merkezci kuvvetler de verir.

Peşman (2011) doktora tezinde düzenli dalgalar için, doğrusal olmayan sönüm ve doğrultma momenti terimlerinden oluşan 1 serbestlik dereceli "parametrik yalpa hareketi modeli" oluşturmuştur. Modelde, zaman ve anlık yalpa açısıyla değişen analitik doğrultma momenti kullanılarak, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerinin yalpa hareketi üzerindeki etkisini modelin bünyesine katmıştır. Çalışmasında oluşturduğu bilgisayar koduyla sönüm katsayılarının, zamana bağlı olarak hesaplanabildiğini ifade etmiştir. Ayrıca bu çalışmada, başlangıç şartlarının yalpa hareketi üzerindeki

etkisi de incelenmiş olup, son olarak karışık deniz durumu için yalpa hareketi analizi yapıldığını, sonuçların düzgün deniz için yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırıldığını, özellikle baş dalgalarında sonuçların birbirleriyle uyum içerisinde olduğunu göstermiştir.

2. Matematiksel modelleme

Bir sistemin matematik kavramları ve dili kullanarak açıklanmasına matematiksel model denir. Bir matematiksel model geliştirme süreci de matematiksel modelleme olarak adlandırılır. Matematiksel modeller, doğa bilimleri ve mühendislik disiplinlerinde ve sosyal bilimler alanında kullanılmaktadır. Bir model, bir sistemi açıklamak ve farklı bileşenlerin etkilerini incelemek ve davranış hakkında öngörülerde bulunmak için yardımcı olabilir (Ford, 1999).

Bir problemin çözümünü bulmak için deneysel yöntemlere başvurmanın maliyetinin çok yüksek olduğu ya da deneysel yollara başvurmanın imkânsız olduğu durumlarda sistemlerin nasıl davranacağını ön görebilmek için matematiksel modelleme kullanılır. Elde edilen matematiksel model ile bilgisayar ortamında gerçeğe yakın bir simülasyon oluşturulabilir ve problemin fiziksel gerçeğini anlayarak çözümüne yönelik çalışmalar yapılabilir.

Fiziksel bir problemin matematiksel modelinin oluşturulmasında izlenecek yol şu şekilde özetlenebilir (Koç, 2016):

- Problemden rol oynayan büyüklükler, parametreler ve değişkenler belirlenir,
- Gerçeğe en yakın şekilde gerekli kabuller yapılır ve belirlenen değişkenler arasındaki ilişki incelenir,
- Problem ile ilgili fiziksel yasalardan ve prensiplerden yola çıkılarak fiziksel problem matematiksel bir formül ile ifade edilir,
- Geliştirilen matematiksel model ile problem çözülür ve elde edilen sonuçlar analiz edilir.

3. Gemi hareketleri matematiksel modeli

Gemi hareketlerinin matematiksel modellerinin kullanımı, gemilerin denizlerdeki davranışlarını tahmin etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu sayede gerçek ortamdaki gemi tepkilerinin bilgisayar ortamına gerçeğe yakın bir şekilde aktararak simülasyonlarının oluşturulmasına imkân tanınır.

Gemiler altı serbestlik derecesinde hareket eden sistemlerdir. Bu altı serbestlik derecesi doğrusal hareketler olan; boyuna öteleme, yan öteleme, dalıp çıkma ve açılma hareketleri olan yalpa, baş kışırma, savrulma hareketlerinden oluşur. Gemi hareketlerinin matematiksel modellemesi söz konusu altı serbestlik dereceli hareketlerin denklemlerinin oluşturulmasıyla elde edilecektir. Oluşturulacak olan matematiksel modelin gerçeğe olabildiğince yakın olması için bu hareketlerin birbirleriyle olan etkileşimlerinin ve dümen, pervane, yalpa kanatları gibi sistemlerin etkileri de hesaba katılması gerekmektedir. Hareketlerin modellemesinde kullanılacak semboller ve ifadeler Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Altı serbestlik derecesi hareketleri tanım ve gösterimleri

Hareket/Dönüş Yönü	Kuvvet ve Momentler	Doğrusal ve Açısal Hız	Konum ve Aç
x-ekseninde doğrusal hareket (Boyuna öteleme)	X	u	x
y-ekseninde doğrusal hareket (Yan öteleme)	Y	v	y
z-ekseninde doğrusal hareket (Dalıp-çıkma)	Z	w	z
x-ekseninde dönme hareketi (Yalpa)	K	p	φ
y-ekseninde dönme hareketi (Baş-kıç vurma)	M	q	θ
z-ekseninde dönme hareketi (Savrulma)	N	r	ψ

3.1. Hareket denklemleri

Genel olarak hareket denklemleri oluşturulurken Lagrange yöntemi ya da Newton'un ikinci yasası kullanılır. Gemiye etki eden hidrodinamik kuvvetler ve momentleri türetmek için, literatürde iki yaklaşım kullanılmıştır. Birinci yaklaşım, kuvvet fonksiyonunun Taylor serisine dayanan matematiksel eşitlikleri kullanmaktadır. İkinci yaklaşım, dış kuvvetleri ve momentleri türetmek için geminin ıslak yüzeyine etki eden hidrodinamik basınçtan yararlanmaktadır (İbrahim ve Grace, 2009).

Newton hareket kanunları ile kütle merkezine göre elde edilen moment denklemlerinin genel hali aşağıdaki şekildedir (Fossen ve Fjellstad, 1995);

$$I_0 \dot{\omega} + \omega \times (I_0 \omega) + m r_G \times (\dot{v}_0 + \omega \times v_0) = m_0 \quad (1)$$

ω = Açısal hız vektörü

$\dot{\omega}$ = Gemiye bağlı referans ekseninde ω 'nın zamana bağlı türevi

I_0 = Atalet momenti

m = Gemi kütlesi

$r_G = [x_G, y_G, z_G]^T$ = Ağırlık merkezi

v_0 = Doğrusal hız vektörü

\dot{v}_0 = Gemiye bağlı referans ekseninde kütle merkezinin ivmesi yani doğrusal hızın zamana bağlı türevi

m_0 = Dış kuvvetlerden kaynaklanan moment

(1)'deki denklem altı serbestlik dereceli hareketlerin her birine uyguladığımızda hareket denklemleri,

$$\begin{aligned}
 X &= m[\dot{u} + qw - rv + x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(rp + \dot{q})] \\
 Y &= m[\dot{v} + ru - pw - y_G(p^2 + r^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(qp + \dot{r})] \\
 Z &= m[\dot{w} + pv - qu - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q}) + y_G(rp + \dot{p})] \\
 K &= I_x \dot{p} + (I_z - I_y)qr + m[y_G(\dot{w} + pv - qu) - z_G(\dot{u} + ru - pw)] \\
 M &= I_y \dot{q} + (I_x - I_z)rp + m[z_G(\dot{u} + qw - rv) - x_G(\dot{w} + pv - qu)] \\
 N &= I_z \dot{r} + (I_y - I_x)pq + m[x_G(\dot{v} + ru - pw) - y_G(\dot{u} + qw - rv)]
 \end{aligned} \tag{2}$$

şeklinde elde edilir (Fossen, 1994).

Eşitliklerdeki m gemi kütleini; $u, v, w, \dot{u}, \dot{v}, \dot{w}$ doğrusal hız ve ivmeleri; $p, q, r, \dot{p}, \dot{q}, \dot{r}$ açısal hız ve ivmeleri; I_x, I_y, I_z eksenler etrafındaki atalet momentlerini; X, Y, Z, K, M, N ise kuvvet ve momentleri temsil eder.

Hidrodinamik etkiler altında, zorlayıcı çevre faktörlerinden arındırılmış altı serbestlik dereceli doğrusal olmayan gemi hareket denklemlerinin vektörel olarak ifadesi aşağıdaki gibidir (Fossen ve Fjellstad, 1995).

$$M_{RB} \dot{\nu} + C_{RB}(\nu)\nu = \tau_{RB} \tag{3}$$

M_{RB} = Rijid gövde atalet matrisi

$C_{RB}(\nu)$ = Coriolis matrisi

τ_{RB} = Kuvvetler ve momentler vektörü

Rijid gövde atalet matrisi aşağıda gösterildiği şekilde ifade edilir (Fossen, 1994).

$$M_{RB} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & mz_G & -my_G \\ 0 & m & 0 & -mz_G & 0 & mx_G \\ 0 & 0 & m & my_G & -mx_G & 0 \\ 0 & -mz_G & my_G & I_x & -I_{xy} & -I_{xz} \\ mz_G & 0 & -mx_G & -I_{yx} & I_y & -I_{yz} \\ -my_G & mx_G & 0 & -I_{zx} & -I_{zy} & I_z \end{bmatrix}, \nu = \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \\ \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} \tag{4}$$

Coriolis matrisi,

$$C_{RB}(\nu) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -m(y_G q + z_G r) & m(y_G p + w) & m(z_G p - v) \\ m(x_G q - w) & -m(z_G r + x_G p) & m(z_G q + u) \\ m(x_G r + v) & m(y_G r - u) & -m(x_G p + y_G q) \end{bmatrix} \nu = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (5)$$

ile ifade edilir (Fossen, 1994).

Gemi su yüzeyinde hareket ederken hidrodinamik, doğrultucu ve ek kütle atalet kuvvet ve momentlerine maruz kalır. Herhangi bir anda gemi birim boyuna etkiyen kuvvet ve momentler şu şekilde ifade edilir (Fossen, 1994).

$$\tau_H = -M_A \dot{\nu} - C_A(\nu)\nu - D_p(\nu)\nu - G(\eta) \quad (6)$$

τ_H = Hidrodinamik kuvvetler

$M_A \dot{\nu}$ = Ek kütle matrisi

$C_A(\nu)\nu$ = Ek kütle Coriolis matrisi

$D_p(\nu)\nu$ = Sönüm matrisi

$G(\eta)$ = Doğrultucu kuvvetler

3.1.1. Ek kütle kuvvet ve momentleri

Ek kütle kuvvetleri, gemi etrafında gemi hareketleri sonucu yer değiştiren akışkanın meydana getirdiği etkidir. Bu etki eklenmiş kütle ve eklenmiş coriolis matrisleri olarak iki kısımda ifade edilir. Bu kuvvet ve moment eşitlikleri akışkan kinetik enerji ifadesinden elde edilir (Lamb, 1932).

$$T_A = \frac{1}{2} v^2 M_A v \quad (7)$$

Burada M_A ek kütle matrisini ifade eder (Fossen ve Fjellstad, 1995).

$$M_A \cong \begin{bmatrix} X_{\dot{u}} & X_{\dot{v}} & X_{\dot{w}} & X_{\dot{p}} & X_{\dot{q}} & X_{\dot{r}} \\ Y_{\dot{u}} & Y_{\dot{v}} & Y_{\dot{w}} & Y_{\dot{p}} & Y_{\dot{q}} & Y_{\dot{r}} \\ Z_{\dot{u}} & Z_{\dot{v}} & Z_{\dot{w}} & Z_{\dot{p}} & Z_{\dot{q}} & Z_{\dot{r}} \\ K_{\dot{u}} & K_{\dot{v}} & K_{\dot{w}} & K_{\dot{p}} & K_{\dot{q}} & K_{\dot{r}} \\ M_{\dot{u}} & M_{\dot{v}} & M_{\dot{w}} & M_{\dot{p}} & M_{\dot{q}} & M_{\dot{r}} \\ N_{\dot{u}} & N_{\dot{v}} & N_{\dot{w}} & N_{\dot{p}} & N_{\dot{q}} & N_{\dot{r}} \end{bmatrix}, v = \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \\ \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Yukarıdaki matriste yer alan ek su kuvvetlerinin türevleri aşağıda örnek olarak verilmiştir.

$$X_{\dot{u}} \cong \frac{\partial X}{\partial \dot{u}}, X_{\dot{v}} \cong \frac{\partial X}{\partial \dot{v}}, X_{\dot{w}} \cong \frac{\partial X}{\partial \dot{w}} \quad (9)$$

Ek su kütle Coriolis matrisi ise aşağıdaki şekilde ifade edilir (Fossen ve Fjellstad, 1995).

$$C_v \cong \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -a_3 & a_2 \\ 0 & 0 & 0 & a_3 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & 0 & -a_2 & a_1 & 0 \\ 0 & -a_3 & a_2 & 0 & -b_3 & b_2 \\ a_3 & 0 & -a_1 & b_3 & 0 & -b_1 \\ -a_2 & a_1 & 0 & -b_2 & b_1 & 0 \end{bmatrix}, v = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (10)$$

Coriolis matrisindeki a ve b değişkenleri,

$$\begin{aligned} a_1 &= X_{\dot{u}}u + X_{\dot{v}}v + X_{\dot{w}}w + X_{\dot{p}}p + X_{\dot{q}}q + X_{\dot{r}}r \\ a_2 &= X_{\dot{v}}u + Y_{\dot{v}}v + Y_{\dot{w}}w + Y_{\dot{p}}p + Y_{\dot{q}}q + Y_{\dot{r}}r \\ a_3 &= X_{\dot{w}}u + Y_{\dot{w}}v + Z_{\dot{w}}w + Z_{\dot{p}}p + Z_{\dot{q}}q + Z_{\dot{r}}r \\ b_1 &= X_{\dot{p}}u + Y_{\dot{p}}v + Z_{\dot{p}}w + K_{\dot{p}}p + K_{\dot{q}}q + K_{\dot{r}}r \\ b_2 &= X_{\dot{q}}u + Y_{\dot{q}}v + Z_{\dot{q}}w + K_{\dot{q}}p + M_{\dot{q}}q + M_{\dot{r}}r \\ b_3 &= X_{\dot{r}}u + Y_{\dot{r}}v + Z_{\dot{r}}w + K_{\dot{r}}p + M_{\dot{r}}q + N_{\dot{r}}r \end{aligned} \quad (11)$$

şeklinde gösterilir (Berge ve Fossen, 2000).

3.1.2. Sönüm kuvvet ve momentleri

Yüzen bir geminin hidrodinamik etki ile dengesi bozulması halinde sönüm kuvvet ve momentleri oluşur. Gemiye etkileyen potansiyel sönüm etkisi dikkate alındığında her bir eksendeki sönüm kuvvet ve matrisi aşağıdaki gibidir (Berge ve Fossen, 2000).

$$D(v) = - \begin{bmatrix} X_u & X_v & X_w & X_p & X_q & X_r \\ Y_u & Y_v & Y_w & Y_p & Y_q & Y_r \\ Z_u & Z_v & Z_w & Z_p & Z_q & Z_r \\ K_u & K_v & K_w & K_p & K_q & K_r \\ M_u & M_v & M_w & M_p & M_q & M_r \\ N_u & N_v & N_w & N_p & N_q & N_r \end{bmatrix} , v = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (12)$$

3.1.3. Pervane kuvvet ve momentleri

Pervane ileri yönde itme kuvveti oluşturduğu için X doğrultusunda oluşan kuvvet,

$$X_{propeller} = C_{pu} \rho \eta^2 D_p^4 K_t \quad (13)$$

denklemleri ile hesaplanır (Browning, 1990).

Ayrıca pervanenin baş-kıç vurma hareketi ekseninde oluşturduğu moment,

$$M_{propeller} = C_{pq} \rho \eta^2 D_p^5 K_t \quad (14)$$

denklemlerinden elde edilir (Browning, 1990).

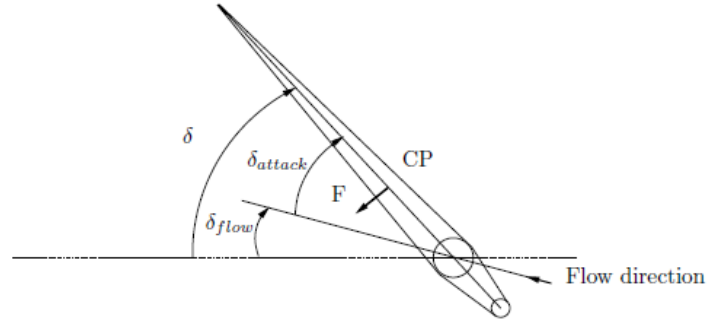
Gemi matematik modelindeki pervane etkisi,

$$\tau_t = \begin{bmatrix} C_{pu} \rho \eta^2 D_p^4 K_t \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ C_{pq} \rho \eta^2 D_p^5 K_t \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

şeklinde ifade edilir (Browning, 1990). Denklemlerdeki ρ akışkanın öz kütlesini, η pervane çapını, D_p pervanenin çapını, K_t pervane sabitini, C_{pu} pervane azalım katsayısını ve C_{pq} pervane yalpa katsayısını temsil eder.

3.1.4. Dümen kuvvet ve momentleri

Hidrodinamik modeldeki bir diğer kuvvet dümenin kuvvetidir. Geminin dönüş hareketi yapmasını sağlayarak sapma yönünde hareketi oluşturur. Dümenin etkisini analiz edebilmek için Şekil 2'de verilen yapısını incelemelidir.



Şekil 1. Dümene açıları (SNAME, 1950).

CP basınç merkezini; F dümene kuvvetini; δ dümene açısını; δ_{attack} akış ile dümene arasındaki açıyı; δ_{flow} akış açısını ifade eder.

Gerçek bir akış içerisindeki dümene etki eden toplam bileşke kuvvet dümene orta düzlemine neredeyse diktir. Dümene dik olarak kabul edilen bileşke kuvvetin büyüklüğü aşağıdaki şekilde ifade edilir. Aşağıdaki ifadede dümene ile akış arasındaki açı ve dümene durma açısının birbirine göre durumları göz önünde bulundurularak iki farklı kuvvet denklemi verilmiştir (Lewis, 1988).

$$F = \begin{cases} \frac{1}{2} \rho C_F A_r V_{av}^2 \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{\delta_{attack}}{\delta_{stall}}\right) & \text{if } |\delta_{attack}| < \delta_{stall} \\ \frac{1}{2} \rho C_F A_r V_{av}^2 \operatorname{sgn}(\delta_{attack}) & \text{if } |\delta_{attack}| \geq \delta_{stall} \end{cases} \quad (16)$$

Dümene kuvvetleri;

$$X_{dümen} = -F(u, V_{av}, v, r, \delta) \sin(\delta)$$

$$Y_{dümen} = F(u, V_{av}, v, r, \delta) \cos(\delta) \quad (17)$$

$$Z_{dümen} = 0$$

ve momentleri;

$$[K_{dümen} \quad M_{dümen} \quad N_{dümen}]^T = (CP - CG) \times [X_{dümen} \quad Y_{dümen} \quad Z_{dümen}]^T \quad (18)$$

şeklinde ifade edilir.

Yukarıdaki denklemlerde C_F kaldırma katsayısı; A_r dümene yüzey alanı; V_{av} dümene geçen ortalama akış hızı; δ_{attack} dümene ile akış eksenindeki açı; δ_{stall} dümene durma açısıdır.

3.1.5. Rüzgâr kuvvet ve momentleri

Gemilerin su üstünde kalan kısmı hava sürtünmesine maruz kaldığı için bu parametreyi de matematiksel modele ilave etmek faydalı olacaktır.

Gemi yüzeyine etkiyen rüzgâr kuvvet ve momenti, rüzgâr hızı ve açısı ile bağlantılı olarak tanımlanır (Fossen, 1994).

$$V_R = \sqrt{u_R^2 + v_R^2} \quad (19)$$

V_R = Bağlı rüzgâr hızı

u_R = x yönündeki rüzgâr hızı

v_R = y yönündeki rüzgâr hızı

$$\gamma_R = \tan^{-1}(v_R / u_R) \quad (20)$$

γ_R = Gemi pruvasına göre bağlı rüzgâr açısı

$$u_R = V_W \cos(\gamma_R) - u + u_c \quad (21)$$

$$v_R = V_W \sin(\gamma_R) - v + v_c \quad (22)$$

V_W = Ortalama rüzgâr hızı

u = x yönündeki gemi hızı

v = y yönündeki gemi hızı

u_c = x yönündeki akıntı hızı

v_c = y yönündeki akıntı hızı

Rüzgâr kuvvet ve moment vektörü;

$$\tau_{wind} = [X_{wind}, Y_{wind}, N_{wind}]^T \quad (23)$$

şeklinde verilir (Fossen, 1994).

Rüzgâr boyuna öteleme, yan öteleme ve savrulma hareketlerini etkilediği için (21)'de sadece X ile Y kuvvetleri ve N momenti hesaba katılmıştır.

$$X_{wind} = \frac{1}{2} C_{X_w}(\gamma_R) \rho_\omega V_R^2 A_T \quad (24)$$

$$Y_{wind} = \frac{1}{2} C_{Y_w}(\gamma_R) \rho_\omega V_R^2 A_L \quad (25)$$

$$N_{wind} = \frac{1}{2} C_{N_w}(\gamma_R) \rho_\omega V_R^2 A_L L \quad (26)$$

$C_{X_w}, C_{Y_w}, C_{N_w}$ = Rüzgâr açısına bağlı rüzgâr yükleme katsayısı

ρ_ω = Hava yoğunluğu

A_T = Enine tasarlanan alan

A_L = Üstyapının tasarlanan yanal alanı

L = Geminin tam boyu

(22), (23) ve (24)'de verilen denklemlerden rüzgâr etkisinin neden olduğu kuvvetler ve moment hesaplanabilir (Isherwood, 1972).

3.1.6. Akıntı kuvvet ve momentleri

Gemilerin su altında kalan alanı akıntı etkisine maruz kalır. Akıntı etkisi, bir önceki bölümde verilen rüzgâr etkisi ile benzer şekilde modellenir.

$$\tau_{current} = [X_{current}, Y_{current}, N_{current}]^T \quad (27)$$

vektörü ile ifade edilen akıntı etkisinin oluşturduğu kuvvet ve moment aşağıdaki şekilde hesaplanır (Remery ve Oortmerssen, 1973).

$$X_c = \frac{1}{2} \rho V_c^2 C_{X_c}(\alpha_c) A_{TS} \quad (28)$$

$$Y_c = \frac{1}{2} \rho V_c^2 C_{Y_c}(\alpha_c) A_{LS} \quad (29)$$

$$N_c = \frac{1}{2} \rho V_c^2 C_{N_c}(\alpha_c) A_{LS} L \quad (30)$$

V_c = Akıntı hızı

$C_{X_c}, C_{Y_c}, C_{N_c}$ = Akıntı açısına bağlı akıntı yükleme katsayısı

α_c = Gemi pruvasına göre bağlı akıntı açısı

A_{TS} = Su altında kalan tasarlanan enine alan

A_{LS} = Su altında kalan tasarlanan yanıl alan

3.1.7. Dalga kuvvet ve momentleri

Bir diğer çevresel etki olan dalga etkisi,

$$\tau_{wave} = [X_{wave}, Y_{wave}, N_{wave}]^T \quad (31)$$

vektörü ile ifade edilir (Fossen, 1994).

Dalganın zaman bağlı X, Y kuvvetleri ve N momenti aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır (Kallström, 1979).

$$X_{wave}(t) = \sum_{i=1}^N \rho g B L T \cos \beta s_i(t) \quad (32)$$

$$Y_{wave}(t) = \sum_{i=1}^N -\rho g B L T \sin \beta s_i(t) \quad (33)$$

$$N_{wave}(t) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{24} \rho g B L (L^2 - B^2) \sin 2\beta s_i^2(t) \quad (34)$$

B = Geminin genişliği

L = Geminin uzunluğu

T = Geminin su çekimi

β = Gemi eksenine dalganın geliş açısı

s_i = Dalga eğimi

Dalga eğimi

$$s_i(t) = A_i k_i \sin(\omega_{ei} t + \phi_i) \quad (35)$$

denklemleri ile hesaplanır (Fossen, 1994).

i = Dalga bileşeni

ω_{ei} = Dalga bileşeni i 'ye karşılık gelen karşılama frekansı

4. Sonuç ve değerlendirme

Bu çalışmada, altı serbestlik derecesinde geminin hareketlerini tanımlayan matematik modelleri gözden geçirilmiştir. Newton'un ikinci hareket yasası etrafında geliştirilen denklemler, çeşitli çalışmalardan derlenip gemi matematik modeli ortaya konulmuştur. Ortaya konulan matematik model, belirli bir gemi modeli ile sınırlı değildir; farklı boyuttaki ve tipteki gemilere uygulanabilecek özelliktedir.

Denklemlerde, her bir bileşen ayrı ayrı ele alınmıştır. Böylece yeni uygulamalara uyacak şekilde farklı parametreler, kuvvetler, sistem dinamikleri denkleme ilave edilebilir, çıkarılabilir veya değiştirilebilir. Örneğin bozucu etki olarak rüzgâr kuvveti; ek bir dinamik sistem olarak yalpa kanat sistemi, denklemleri oluşturulup gemi matematik modeline ilave edilerek etkileri incelenebilir.

Yeni çalışmalar ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler doğrultusunda, daha doğru matematiksel modelleri formüle etmek ve oluşturulan gemi modelinin simülasyonlarının daha ayrıntılı ve doğru olması imkânı elde edilecektir. Ayrıca matematik modelde kullanılan verileri üretmek için deneysel çalışmalara daha çok önem verilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

Abkowitz, M. A., (1964). "Lectures on ship hydrodynamics—steering and maneuverability," Tech. Rep. Hy-5, Hydro- and Aerodynamics Laboratory, Lyngby, Denmark.

Berge, S.P. and Fossen, T.I., (2000). "On the Properties of the Nonlinear Ship Equations of Motion", Mathematical and Computer Modeling of Dynamical Systems, 365-381.

Browning, A.W., (1990). "A Mathematical Model to Simulate Small Boat Behaviour", Ph.D. Thesis, Bournemouth Polytechnic.

Ford, A. (1999). "Modeling the environment: an introduction to system dynamics models of environmental systems", Island Press, Washington DC, ISBN: 1-55963-601-7.

Fossen, T.I., Fjellstad, O.E., (1995). "Nonlinear Modelling of Marine Vehicles in 6 Degrees of Freedom", *Journal of Mathematical Modelling of Systems*, 17-28.

Fossen, Thor I. (1994). "Guidance and Control of Ocean Marine Vehicles", ISBN 0-471-94113-1. John Wiley & Sons Ltd, UK.

Ibrahim, R. A., Grace, I. M., (2009). "Modeling of Ship Roll Dynamics and Its Coupling with Heave and Pitch", Department of Mechanical Engineering, Wayne State University, Detroit, MI 48202, USA.

Isherwood, R. M., (1972). "Wind Resistance of Merchant Ships", *RINA Trans. Vol. 115*, pp. 327-338.

Kallström, C. G., (1979). "Identification and Adaptive Control Applied to Ship Steering", PhD Thesis, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Kaplan, P., Ward, W. L. and Sargent, P. T., (1969). "A Mathematical Model for An Assault Boat Motion in Waves", Technical Report, Naval Training Device Center, Florida, USA.

Koç, S., (2016). "Bitki Örtüsü İçeren Açık Kanal Akımının ANSYS CFX Programı ile Sayısal Modellemesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Lamb, H., (1932). "Hydrodynamics", Cambridge University Press, London.

Lewis, E.V., (1988). "Principles of Naval Architecture vol II: Resistance, Propulsion and Vibration", The Society of Naval Architecture and Marine Engineers, New York.

Nomoto, K., Taguchi, T., Honda, K. and Hirano, S., (1957). "On the Steering Qualities of Ships", Technical Report, International Shipbuilding Progress, 4.

Peşman, E., (2011). "Boyuna Dalgalarda Gemilerin Yalpa Hareketi Analizi", Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Remery, G. F. M. and Van Oortmerssen, G., (1973). "The Mean Wave, Wind and Current Forces on Offshore Structures and Their Role in the Design of Mooring Systems", Offshore Technology Conference, pp. 169-184, Texas, USA.

Ross, A., (2008). "Nonlinear Manoeuvring Models for Ships: a Lagrangian Approach", Ph.D. thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.

SNAME (1950). "Nomenclature for treating the motion of a submerged body through a fluid", Technical Report Bulletin 1-5. Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, USA.

Son, K. H. and Nomoto, K., (1982). "On the coupled motion of steering and rolling of a high-speed container ship," *Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 20, pp. 73-83.

Recent Developments in Maritime Sector and Reflections to Turkey

Ahmet Taşdemir¹, Mehmet Akman², Nazmi Çeşmeci³

atasdemir@pirireis.edu.tr¹, makman@pirireis.edu.tr², ncesmeci@pirireis.edu.tr³

¹Piri Reis University, Maritime Faculty, Department of Marine Operations Engineering, İstanbul

²Piri Reis University, Maritime Vocational School, İstanbul

Abstract

According to a Mayan belief, in order to relax and strengthen the spirit after a certain period of rapid living, it is necessary to occasionally think about, analyze and evaluate the past. This was believed to be beneficial both for the rest of the soul and for the development of the mind. In order to understand and evaluate the maritime sector better and to be able to make strategic decisions for the future, we have to get rid of the effects of actual happenings in maritime markets and calmly evaluate the events from a wide perspective.

In this study, we will try to address the recent economic developments in the industry and find out the implications of these developments in the global maritime market and shipbuilding industry and their reflections on Turkey. Moreover, we will examine in particular shipbuilding, container, tanker and bulk markets on a global basis in the light of current data and finally we will refer to some precautions that can be taken in Turkey.

Keywords: Maritime Economics, Shipbuilding, Tanker, Bulk Carrier, Container

Denizcilik Sektöründeki Son Gelişmeler ve Türkiye Üzerindeki Yansımaları

Ahmet Taşdemir¹, Mehmet Akman², Nazmi Çeşmeci³

atademir@pirireis.edu.tr, ncesmeci@pirireis.edu.tr, makman@pirireis.edu.tr

¹ Piri Reis Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, İstanbul

² Piri Reis Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, İstanbul

³ Piri Reis Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Denizcilik Meslek Yüksekokulu, İstanbul

Özet

Bir Maya inancına göre, hızlı yaşanan belirli bir süreç sonunda ruhu dinlendirmek ve güçlendirmek adına, ara sıra geriye dönüp geçmiş üzerine düşünmek ve geçmişi analiz edip değerlendirmek gerekiyor. Bunun hem ruhun dinlenmesine hem de aklın gelişmesine faydaları olduğuna inanılmaktaydı. Biz de denizcilik sektöründe yaşananları daha sağlıklı anlayabilmek ve geleceğe dönük stratejik kararlar alabilmek için, denizcilik piyasalarında son dönemlerde yaşanan güncel olaylara ilişkin dinamiklerin etkisinden kurtulup, yaşanan olayları daha geniş açıdan ve sakin ve sağlıklı bir şekilde değerlendirme durumundayız.

Bu çalışmada, son zamanlarda denizcilik sektöründeki yaşanan ekonomik gelişmelere değinmeye çalışacak, bu gelişmelerin küresel denizcilik piyasasında ve gemi inşa sektöründe ne gibi etkileri olduğuna ve ülkemize yansımalarına bakmaya çalışacağız. Bu çalışma kapsamında özellikle konteyner, kuru yük ve tanker piyasalarını güncel veriler ışığında küresel bazda irdelenecek ve son olarak bu verileri temel alarak ülkemizde alınabilecek bazı önlemlere değineceğiz.

Anahtar Kelimeler: Denizcilik Ekonomisi, Gemi İnşa, Tanker, Kuru Yük, Konteyner

1. Giriş

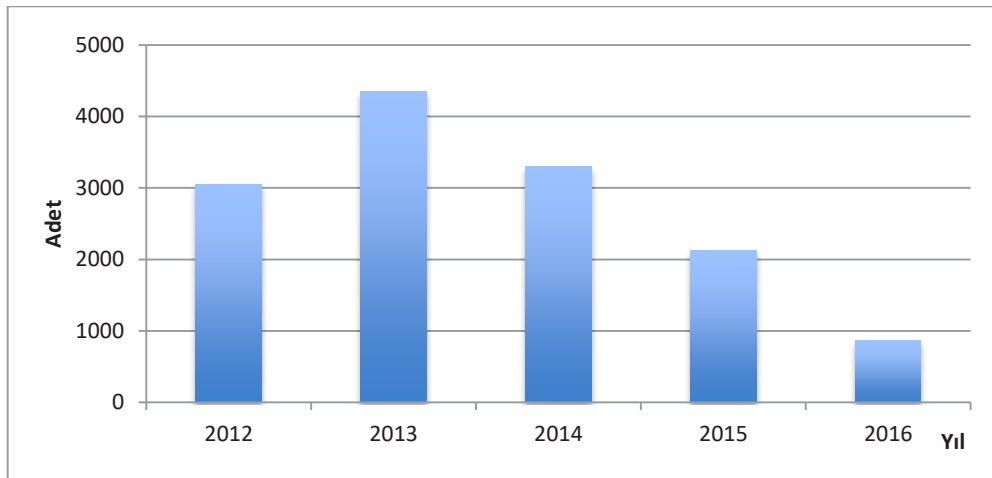
Bilindiği üzere, ekonomik ve ekolojik olmasından dolayı dünya üzerinde yapılan uluslararası ticaretin yaklaşık %90'ı deniz yolu ile yapılmaktadır (IMO, 2012). Tarihin başlangıcından itibaren süregelen bu durum, günümüzdeki hassas küresel ekonomik değişimlerin denizcilik sektörü üzerindeki hızlı ve doğrudan etkilerini ortaya koymaktadır. 2000'li yılların başından günümüze kadarki süreçte ise denizcilik sektöründe, denizcilik tarihinde benzeri görülmemiş gelişmeler yaşandı. Sektörde bahsedilen dönemin ilk yarısında, bir yandan yaşanan küreselleşmeye bağlı olarak dünya piyasalarındaki likidite bolluğu diğer yanda ise başta Çin, Hindistan ve benzeri ülkeler olmak üzere, ülkelerin taleplerindeki artış ile birlikte çok karlı kazançlar sağlandı (OECD, 2015). Sektör altın yıllarını yaşayarak bu dönemde filo, liman, tersane ve finans alanlarında kapasitelerini artırarak yeni yatırımlara yöneldi. Daha sonraları ise, dünya genelinde yaşanan malum ekonomik sorunlardan dolayı küresel ticarileşme hızını kaybedince, uluslararası deniz taşımacılığına olan talep de kısa bir süre içerisinde hızla azaldı. Navlunların yüksek oranlarda düşmesinin sonuçları da aynı şekilde denizcilik sektörü için ağır, şiddetli ve yıkıcı oldu. Sektör, altın çağını yaşadığı bu

dönemin ilk safhalarında elde ettiği çift haneli kârları sağlamaktan çok uzaklaştı. Yine de sonuçlar sektör için ne kadar yıkıcı olsa da ileriye dönük sağlıklı stratejik kararlar alabilmek ve sektörün varlıklarını sürdürebilmek için hem soğukkanlılığı koruyarak sektörde yaşananları iyi analiz etmek hem de sonuçlardan dersler çıkarmak uygun olacaktır.

Bu çalışmada, küresel ekonomideki gelişmelere kısaca değinilmeye müteakip, bu gelişmelerden doğrudan etkilenmesi kaçınılmaz olan denizcilik sektöründeki son gelişmeler ele alınacaktır. Konu, sektörün temel elemanları bazında incelendiğinde resmin tamamını görme imkânı verebilecektir. Sektörün temel elemanları kapsamında; gemi inşa sanayi (çelik piyasaları ve kilit rol oynayan ülkelerin büyüme oranları dâhil), konteyner piyasası (petrol fiyatlarındaki eğilim dâhil), tanker ve kuru yük pazarındaki gelişmeler ayrı ayrı incelenerek gelecek için tahminlerde bulunulmaya çalışılacaktır. Bu değerlendirmeleri müteakip, Türkiye'nin bu sektördeki konumu, tehdit ve fırsatlar bazında ele alınarak öneriler geliştirilecektir.

2. Gemi inşa piyasası

Clarksons Research (2017) verilerine son yılların yeni gemi inşa siparişleri irdelendiğinde, yeni inşa siparişlerinde düşüşün devam ettiği görülmektedir (Şekil 1). Yine bu araştırmaya göre, dünya denizcilik sektöründe, 2016 yılı Eylül ayına kadar toplam 23,5 milyar dolar tutarında yatırım yapıldığı ve bunun da 2015'teki aynı dönem ile kıyaslandığında yaklaşık % 60'lık bir düşüş anlamına geldiği anlaşılmaktadır.

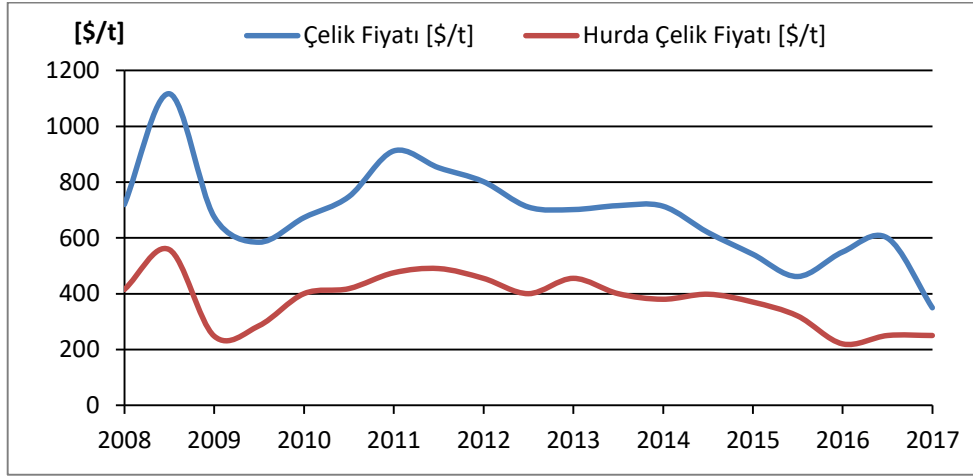


Şekil 1. 2012-2016 Yılları arasındaki toplam yeni inşa sözleşmeleri

2016 yılında yeni inşadaki siparişlerin ekseriyetini küçük tonajlı kimyasal tankerler oluştururken, çok az sayıda da olsa VLCC (very large crude carrier) ve Suezmax gemileri sipariş edildi. Kuru yük gemilerinde ise çok az sayıda sipariş verildi. Benzer bir durum da, yatırımın sadece 1,7 milyar USD'ye ulaştığı konteyner sektöründe kendini gösterdi. Konteyner segmentinde, gerçekleştirilen 69 yeni inşa sözleşmesinden 61'i 3.000 TEU'dan küçük gemiler olurken, ancak 8 gemi 14.000 TEU kapasitesini üzerinde oldu. Bu siparişlerin büyük bir çoğunluğunun Asya-Pasifik ülkeleri Çin (6.5 milyon GT), Japonya (2.9 milyon GT) ve Güney Kore (2.4 milyon GT) tarafından gerçekleştirileceğini belirtmek gerekir.

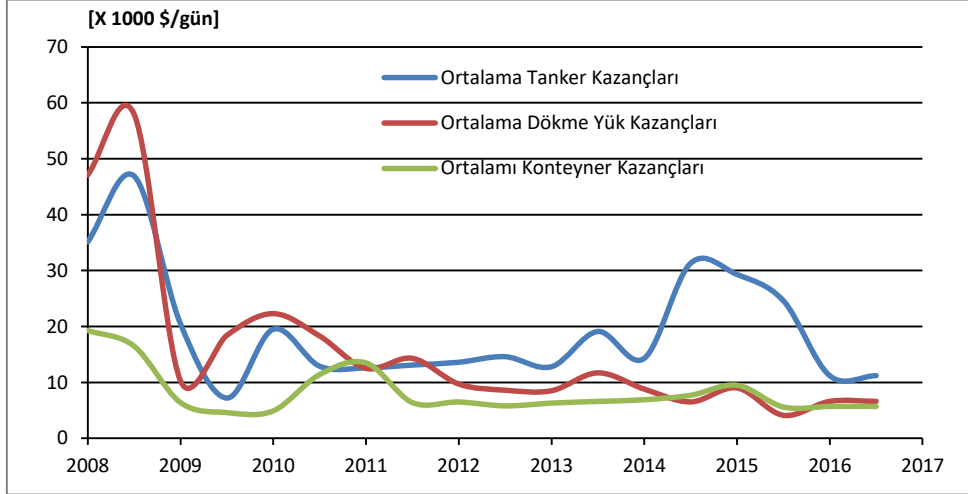
Bilindiği üzere gemi inşa sektörünün temel yapı malzemesi olan çeliğin üretiminde hurda çelik ve demir cevheri kullanılmaktadır. Son dönemlerde hurda çelik, demir cevherine nazaran daha fazla kullanıldığı için, hurda çelik fiyatının takip, analiz ve önceden tahmin edilmesi daha fazla önem kazanmaktadır. Şekil 2'de her iki piyasada fiyat dalgalanmalarının birbiriyle yakın ilişkide olduğu görülmektedir (LME, 2017). 2011

yılının ilk çeyreğinden sonra 2016 yılı başına kadar düşen fiyatların, yılbaşından itibaren tekrar yükselişe geçtiği görülmektedir.



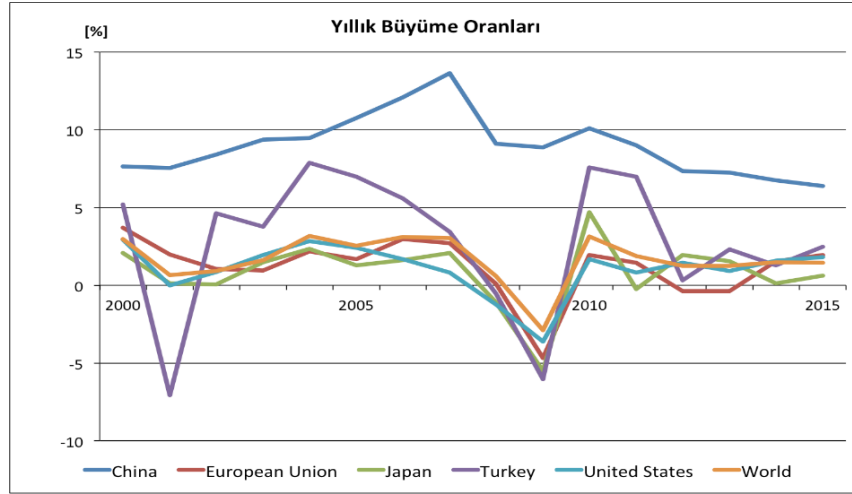
Şekil 2. Yıllara göre çelik ve hurda fiyatındaki değişimler

2008 yılının ortalarından itibaren denizcilik sektöründe yaşanan küresel krizden sonra, krize bağlı olarak ortalama gemi kazançlarında da hızlı düşüşler gözlenmiştir (Clarkson, 2017). 2014 başı itibariyle tanker piyasalarında hafif canlanma gözlenirse de, özellikle 2015 yılı içerisinde bu piyasada da kazançların tekrar düşüşe geçtiği görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Yıllara göre bazı taşımacılık segmentlerindeki ortalama günlük gemi kazançları

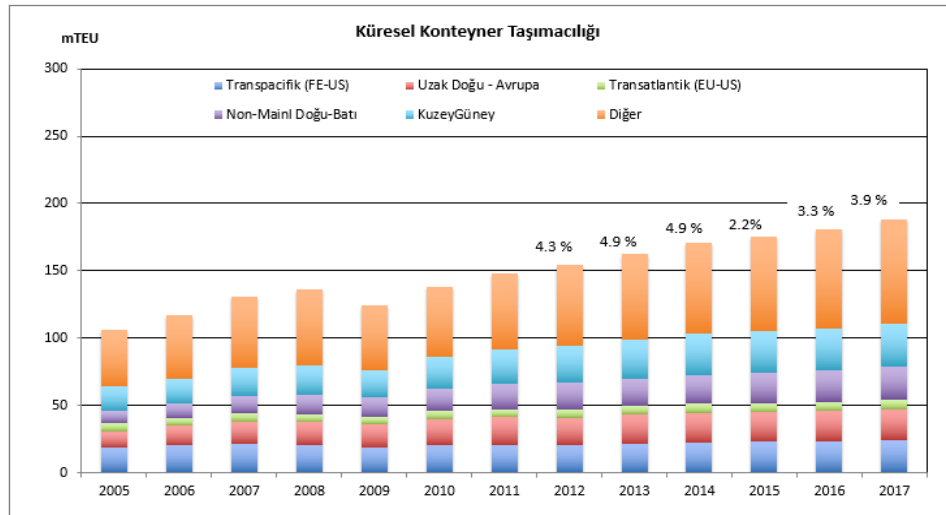
Şekil 4'te ise, 2000 yılından itibaren dünya ekonomisinde ağırlıklı söz sahibi olan ülkelerin gayri safi yurtiçi hâsıla değerlerinin artış oranları verilmiştir (Clarkson, 2017). Çin dışındaki ülkelerin değerlerinde 2011 yılından itibaren pek fazla bir değişim gözlenmezken, Çin'in ve ülkemizin gayri safi yurtiçi hâsıla oranlarında son dönemlerde düşüşler görülmektedir. Dünya genelinde yaşanmakta olan siyasi ve ekonomik veriler ışığında bu düşüşün devam edeceği tahmin edilmektedir.



Şekil 4. Yıllara göre ülkelerin yıllık büyüme oranlarındaki değişim

3. Konteyner piyasası

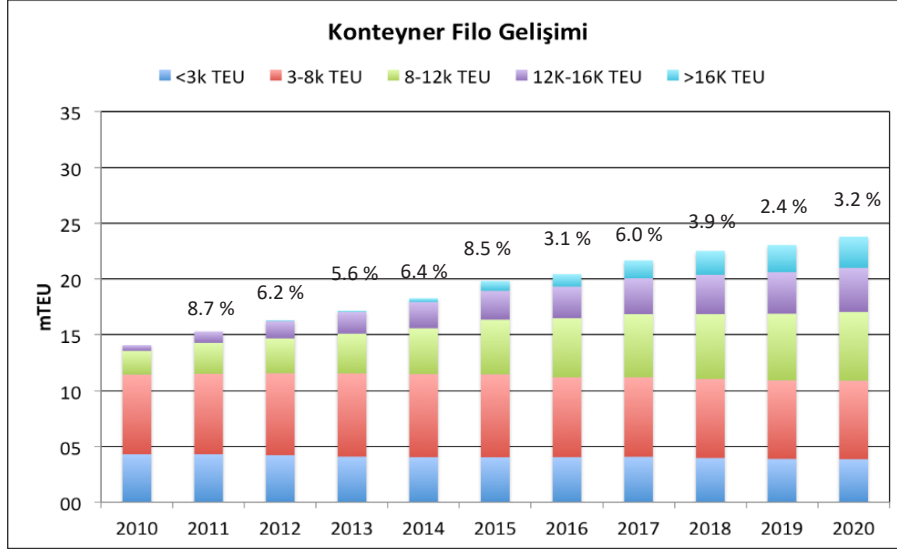
Küresel tüketici talebini karşılayan ürünlerin çoğu standart konteynerler ile taşınmaktadır. Elektronik ürünler, otomobil parçaları, gıda, tekstil, kimyasal ürünler benzeri birçok ürün konteynerler ile okyanusları aşarak üreticiden tüketiciye ulaştırılmaktadır. Küresel konteyner taşımacılığının gelişimi incelendiğinde, 2014 – 2015 yılları arası düşüş görülsede tekrar artış sağlanmıştır. Şekil 5'te de görüldüğü üzere, 2017 yılı içerisinde bu artışın %4 mertebelerinde olacağı tahmin edilmektedir (Clarkson, 2017).



Şekil 5. Küresel konteyner taşımacılığının yıllara göre değişimi

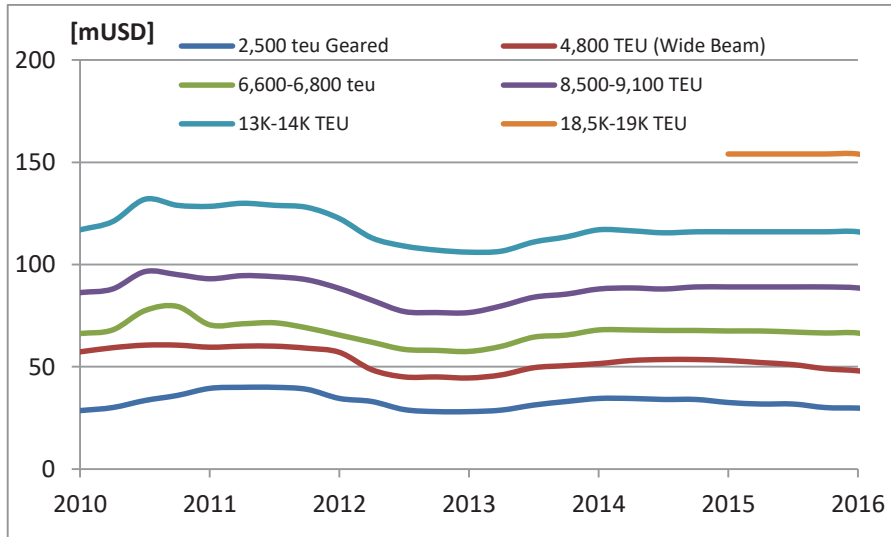
2000 yılların ilk çeyreğindeki pazar savaşının ardından yaşanan kayıplardan sonra, özellikle büyük şirketler arasında ittifaklar yaşanmıştı. Bu ortaklıklar sayesinde giderler minimize edilerek, büyük konteyner işletmecileri ayakta kalmayı başarabilmişlerdi. Şekil 6'da da görüldüğü üzere, son dönemlerdeki navlunlarda süregelen düşük seviyelerden dolayı günümüzde konteyner taşımacılık sektörü çok zayıf bir pazar ortamıyla mücadele etmek durumundadır (Clarkson, 2017). Son yıllardaki küresel konteyner taşımacılığında (Şekil 5) ve konteyner filo gelişimindeki (Şekil 6) büyüme oranları incelendiğinde bu sektörde navlunların düşeceğini tahmin edebiliriz.

2017 yılında, 2016 yılına göre yaklaşık %6 oranında filo kapasitesinde bir artış beklenmektedir. Şüphesiz bu durum, 2015'teki %8,5'lik filo kapasitesi artışından sonra olumlu bir gelişmedir. Yine de 2017'de konteyner taşımacılığında %3,9'luk bir artışa karşılık, konteyner filosundaki artışın yaklaşık %6 oranında tahmin edilmesi, navlunların önümüzdeki kısa vade içerisinde de düşük seviyelerde kalacağını göstermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Yıllara göre konteyner filosunun gelişimi

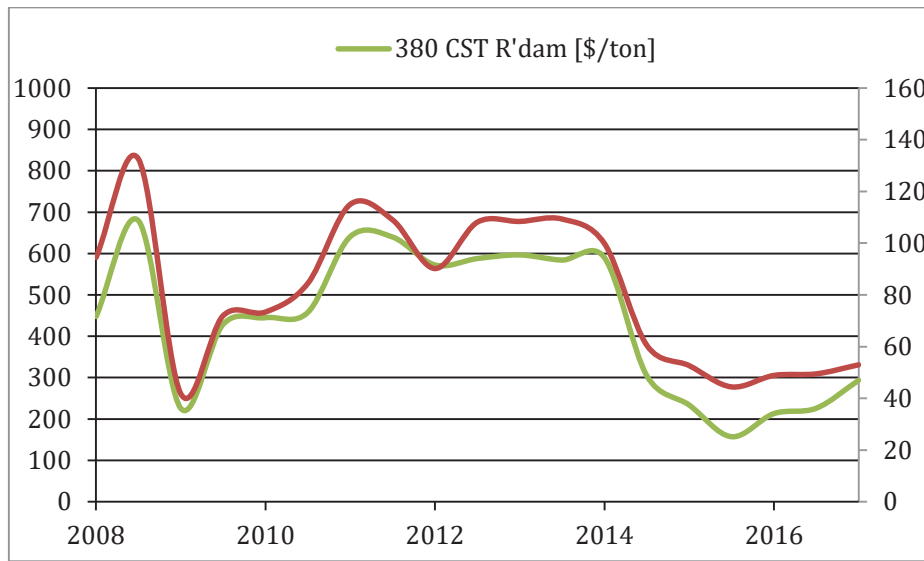
Şekil 7'de görüldüğü üzere, yeni inşa gemi piyasasında ise 2015 yılı içerisinde %4'lük bir düşüş yaşayan fiyatlar, nispeten dengeli bir seviyede seyretmekteydi (Clarkson, 2017). Ancak 2016 yılı başından itibaren günümüze kadarki süreçte yaklaşık %7'lik bir düşüş yaşandı. Bu durum, ticaret koşullarının en sonunda yeni gemi inşa pazarına da yansımalarını göstermektedir.



Şekil 7. Yıllara göre yeni konteyner gemisi inşa fiyatları

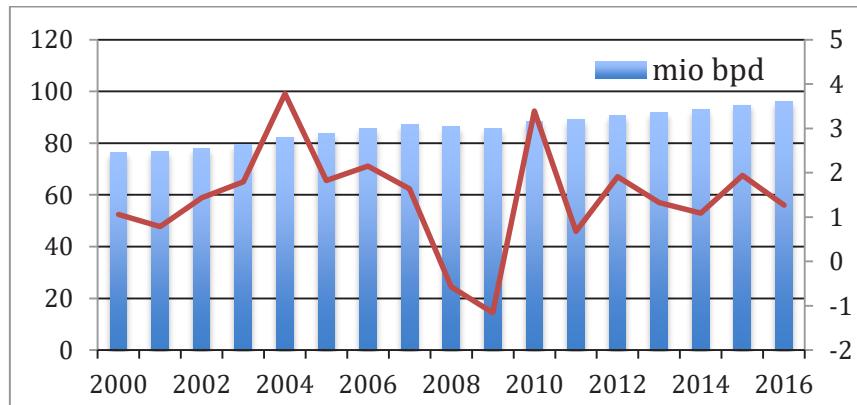
4. Tanker piyasası

Siyah altın olarak da adlandırılan fosil bazlı ham petrol; sanayi, ulaşım ve kimya benzeri günlük hayatımızın birçok alanında kullanılmaktadır. Ham petrol fiyatları, siyasi ve ekonomik gelişmelere karşı da büyük duyarlılık göstermektedir. Ortadoğu'daki jeopolitik, siyasi ve ekonomik risklerin artması da petrol fiyatlarında yüksek oynaklığa neden olmaktadır (Erdoğan ve diğerleri, 2017). 2014 yılı ortalarından itibaren petrol fiyatlarında yaşanan hızlı düşüşten sonra, günümüzde petrol fiyatlarında tekrar yukarı doğru bir hareketlenme gözlenmektedir. 2014 yılı başlarında varil başına 120 USD'ye yaklaşan ham petrol fiyatı, 2016 yılı başında 30 USD'lerin altına, bunker fiyatları ise bu dönem içerisinde 600 USD/t dan 150 USD/t'a gerilemiştir. Şekil 8'de görüldüğü üzere, günümüzde ham petrol fiyatı 55 USD/varil, bunker fiyatı ise 250 USD/t mertebelerinde seyretmektedir (Clarkson, 2017).



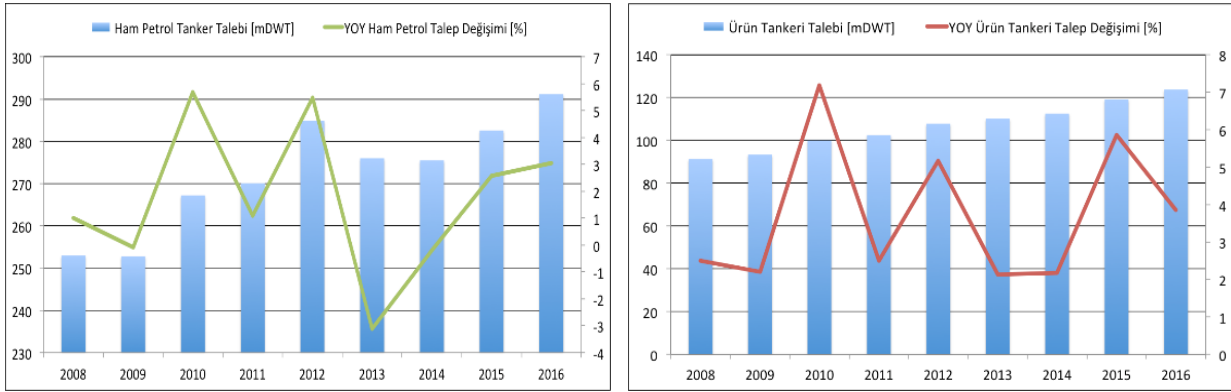
Şekil 8. Yıllara göre ham petrol ve bunker fiyatlarının değişimi

Bu dönemde düşük ham petrol fiyatlarından kaynaklanan avantajlardan en fazla yararlanan tanker taşımacılığı olmuştur. Ayrıca ucuz petrol, rafineriler için çok daha büyük kar marjı anlamına geldiğinden rafinerilerde üretim artmıştır. Bu dönem içerisinde ucuz petrol, sektördeki deniz taşımacılığının büyümesini tetikleyen bir unsur olduğundan tankerler yaklaşık iki yıldır çok iyi bir performans sergilediler. Şekil 9'da da görüldüğü üzere, küresel petrol talebindeki artışlar dönemsel olarak değişiklikler gösterse de talepteki artış sürmektedir (Clarkson, 2017).



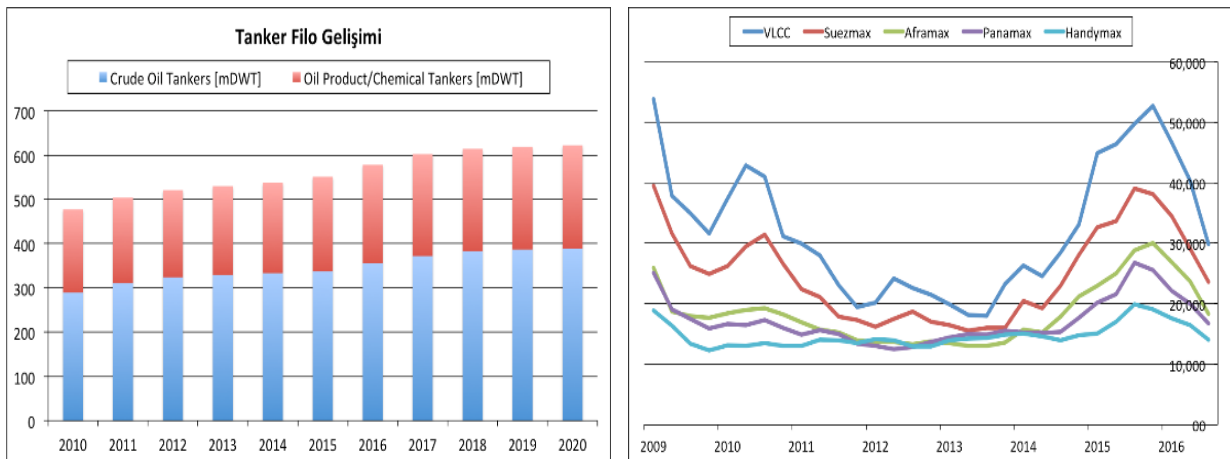
Şekil 9. Küresel petrol talebinin yıllara göre değişimi

2017'ye girdiğimizde tankerlerin halen iyi kazanç sağladığı, ancak ufukta görünen önemli miktarda yeni gemi teslimatlarıyla özellikle 2017'nin ikinci yarısında sorunların yaşanacağı öngörülmektedir. Gerçekten de yazıya doğru, navlun fiyatları hem ham petrolde hem de ürün petrol tankerlerinde ciddi düşüşler yaşamıştır. Yaşanan siyasi sorunlar dolayı Nijerya'daki petrol üretimindeki aksamlar ve Batı Afrika ülkelerindeki üretimin azalması ile birlikte ağırlıklı olarak Suezmax gemi türlerinde taşınacak petrol miktarının azaldığı görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Yıllara göre ham petrol ve ürün tanker taleplerindeki değişim

Piyasa verileri incelediğinde, içinde bulunduğumuz dönemde tanker piyasasında önemli oranlarda gelişmeler kaydedildiği gözlenmektedir. VLCC'ler ve Suezmax sınıfı gemiler, navlunlarda sırasıyla 50.000 ve 30.000 USD/gün seviyelerini görmektedir (Şekil 11). Ayrıca hem Nijerya'nın hem de Libya'nın petrol ihracat değerlerini artırma çabası içinde oldukları bilinmektedir. Ek olarak, Rusya ve İskandinavya ülkelerindeki ham petrol ihracatının da yüksek olması beklenmektedir. Yine de, tanker sektöründe de uzun sürecek iyileşme için biraz daha beklememiz gerekmektedir. Zira kış sezonunun akabinde tanker taşımacılığındaki dengeler bozulma eğilimindedir. 2016 yılındaki teslimat seviyesinin yaklaşık dört katına çıkan yeni teslimatlar ile birlikte, navlunlar büyük baskı altında olacaktır.

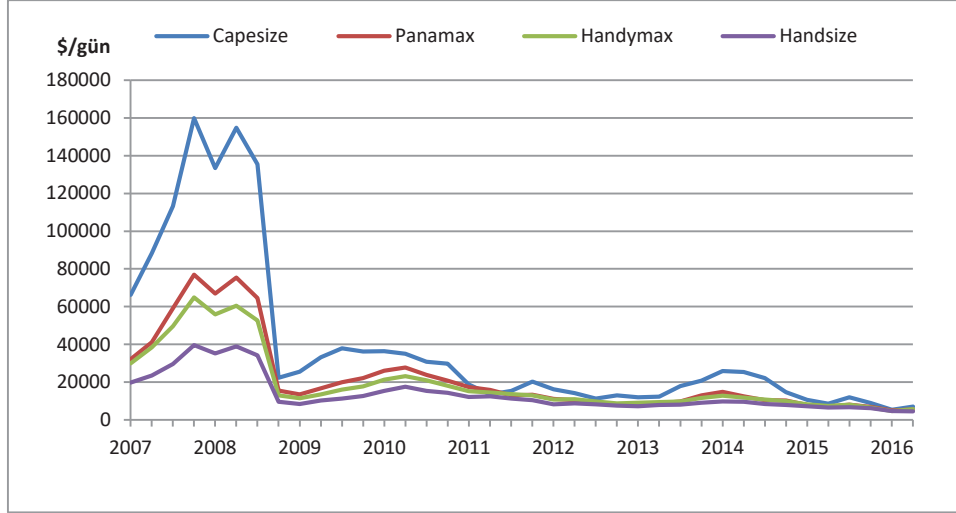


Şekil 11. Yıllara göre tanker filo gelişimi ve time charter fiyatları

5. Dökme yük piyasası

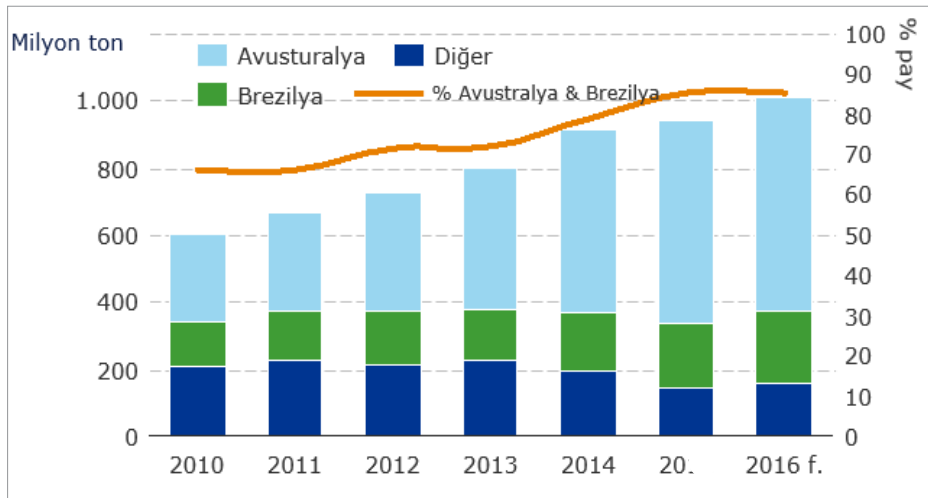
Maden cevherleri, hurda metal, hububat benzeri paketlenemeyen yükleri taşıyan dökme yük gemilerinin piyasasını incelediğimizde, geçen yıldan bu yana dökme yük piyasasında navlunların erimeye başladığını

ve 2016 yılının ilk yarısında tarihsel olarak en düşük seviyelere ulaştığını görürüz. Bu piyasada, 2016 yılının ilk yarısı için ortalama kazançların 4.825 USD/gün olarak gerçekleştiği ve ikinci yarısında ise 6150 USD/gün mertebelerine yükseldiği görülmektedir (Şekil 12). Ancak, bu navlun seviyeleri ile yalnızca işletme maliyetleri karşılanabilmektedir. İkinci el gemi fiyatları 2015'te önemli ölçüde düşmesine rağmen şu an dipten çıkmış gibi görülmektedir. Örneğin 5 yaşındaki bir capesize türü dökme yük gemisi fiyatı 2014 yılı sonunda 40 milyon USD seviyelerinde iken, Temmuz 2016 da 24 milyon USD dolar seviyelerine düşmüştür (Clarkson, 2017).



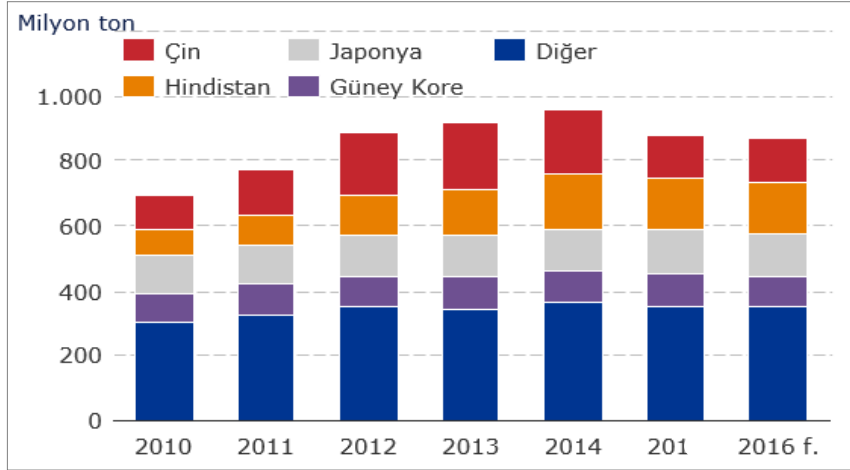
Şekil 12. Yıllara göre dökme yük navlunlarının gemi tipi bazında değişimi

Demir cevheri ve kömüre beklenenden fazla olan Çin talebi, piyasayı desteklerken demir cevheri ve kömürde daha zayıf ithalat gerçekleştiren Asya ve Avrupa ekonomileri piyasayı dengelemektedir. 2016'nın ağustos ayında Çin'in deniz taşımacılığıyla yapmış olduğu toplam demir cevheri ithalatı %18 artarak 88 milyon tona ulaşmıştır. Bu durum, yılın ilk sekiz ayında %9'luk bir büyümeye katkıda bulunmuştur (Clarkson, 2017). Buna ek olarak büyüme, düşen yerel üretim ve demir cevheri stokuyla desteklenmiştir. Sonuç olarak 2016 yılı için, Çin'in deniz yoluyla demir cevheri ithalatı %7 artarken deniz yoluyla demir cevheri taşımacılığı küresel bazda %4 büyümüştür (Şekil 13).



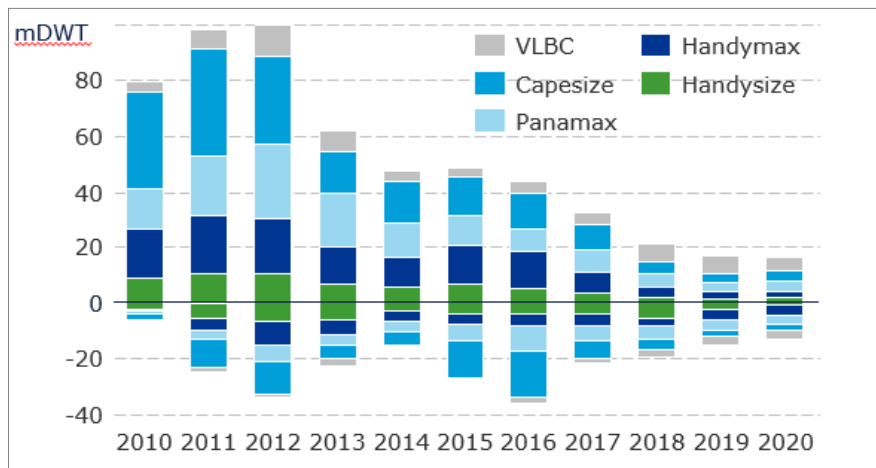
Şekil 13. Çin'in ülke bazında yıllara göre demir cevheri ithalatı

2016 yılında Çin'in kömür ithalatı yerel kömür üretiminin azaltılması tedbirleriyle %5 artarak 134 milyon ton seviyesine ulaşmıştır (Şekil 14). Bununla birlikte, Çin'deki termal enerji üretiminin yavaşlaması ve hava kirliliğini önleme tedbirleri kömür ithalatı üzerinde baskı oluşturmaktadır. Ocak-Mayıs arasında termal güç üretimi, sanayi enerji talebinin azalması, rüzgâr ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının %20 oranında artmasıyla %2 oranında azalmıştır. Çin'in çelik üretimi fazla miktarda demir cevheri ve kömür üretimiyle birleşince, piyasa üzerinde daha dengeli bir durumun ve daha iyi oranların elde edildiği görülmüştür.



Şekil 14. Yıllara göre kömürün ülke bazında deniz yoluyla yapılan ithalat değerleri

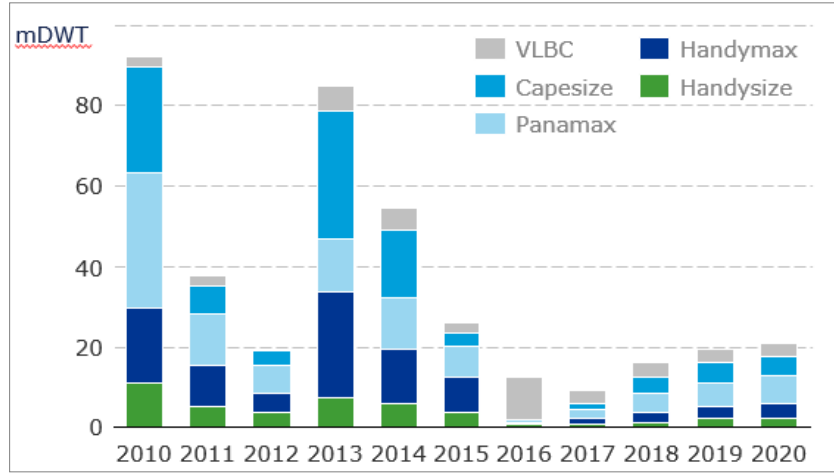
Son dönemlerde durgun piyasa koşulları denizcilik sektörü paydaşlarına finansal baskı uygulamaya devam etmiş, bu durum hızla gemi sökülerinin artmasına neden olmuştur. Şekil 15'te görüldüğü üzere, son aylarda gemi söküm faaliyetleri biraz daha yavaşlarken 2012'de gerçekleştirilen yıllık 33,4 milyon tonluk dökme yük gemisi söküm rekoru 2016'da yaklaşık 37 milyon tonla kırılmıştır (Clarkson, 2017). 339 dökme yük gemisi (97 panamax, 92 handysize, 74 handymax, 67 capesize, 7 VLBC (very large bulk carrier) ve küçük dökme yük gemileri) sökülen tüm gemilerin %42'sini oluşturmuştur. 2015 yılında söküme gönderilen gemilerin yaş ortalaması 25 iken bu sayı 2016 yılında 23 yaşına gerilemiştir.



Şekil 15. Yıllara göre dökme yük gemisi sınıfına göre tahmini teslimatlar ve söküler

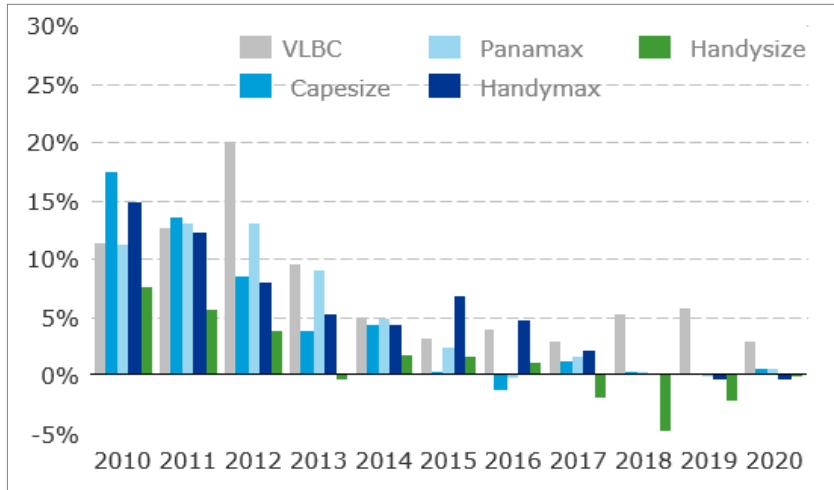
Taşınan yük miktarının gelişimi irdelendiğinde, son dönemde filoya katılan 167 handymax, 106 handysize, 76 capesize, 4 VLBC ile teslimatların halen ihtiyacın üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 15). Bu

teslimatlar ton bazında ağırlıklı olarak Asya-Pasifik ülkeleri (Çin %44, Japonya %13, Güney Kore %38) tarafından yapılmıştır (Clarkson, 2017).



Şekil 16. Yıllara göre dökme yük gemisi sınıfı bazında kontratların değişimi

Dünya dökme yük gemi filosu 2016 yılında sadece %1,5 büyümüş ve yaklaşık son on yıllık süre zarfında ilk kez filo büyümesinde bir yavaşlama görülmüştür (Şekil 16). 2016 yılı son çeyreği itibariyle dökme yük gemi filosu yaklaşık 11700 adet gemiyle toplamda 782.2 milyon DWT seviyesine ulaşmıştır (Clarkson, 2017).



Şekil 17. Yıllara göre dökme yük gemisi sınıfı bazında filo gelişimi

Günümüzde kısıtlı sayıda siparişler için tersanelerin arasında kıyasıya rekabetler yaşanmaktadır. Birçok tersane verimliliği artırma adına yeniden yapılanmaya, işçi çıkarmaya veya birleşerek rekabet güçlerini artırmaya gitmektedir. Geçmişe kıyasla yeni inşa piyasasında fiyatlar düşük seviyelerde seyretmektedir. Bunun ana sebeplerinden birisi ikinci el piyasasındaki fiyatların gemi sahiplerini cezbetmesi iken, diğer bir sebebi de taşınan yüklerde istenen seviyelere ulaşılamamasıdır (Erdoğan ve diğerleri, 2017).

6. Sonuçlar

Yukarıda ele alınan veriler ışığında ve son dönemlerde dünya ekonomisinde yaşanan sıkıntılara paralel olarak dünya denizcilik ve gemi inşa sektöründe de sorunlar yaşanmaktadır. Hatta bu sorunların dünya

ticaret hacmindeki dalgalanmalar, küresel ekonomik krizin etkilerinin halen piyasalarda devam etmesi ve petrol fiyatlarındaki oynaklığa bağlı olarak bir müddet daha devam edeceğini düşünerek ileriye dönük planlarımızı buna göre yapmak durumundayız. Sonuç itibariyle, başta Amerika ve Avrupa ülkelerinde yaşanan siyasi ve ekonomik değişimler talebi olumsuz etkilese de, dünya nüfusunun yaklaşık üçte birini teşkil eden Çin ve Hindistan gibi ülkelerdeki yaşam standardının artışına paralel olarak artan hammadde ve enerji talepleri sektörü zorda olsa ayakta tutmakta ve tutmaya devam edeceğe benzemektedir. Yine de, denizcilik sektörünün stratejik ve ekonomik boyutunun öneminden dolayı sektöre devlet desteğinin de sağlanmasıyla aşağıda belirtilen bazı hususlarda ivedilikle planlı çalışmalar yapılmalıdır:

- Türk Koster Filosunun yenilenmesi için devlet desteğinin sağlanması ve yürürlüğe giren IMO kurallarını da göz önünde bulunduran projeler geliştirilmelidir,
- Tersane ve denizcilik işletmelerinde verimliliği artırıcı ve bilgiye dayalı üretim ve işletim teknolojileri konularında çalışmalar başlatarak şirketlerin rekabet güçleri artırılmalıdır,
- Hem yürürlüğe giren emisyon hacmini düşürme amaçlı kuralları hem de artan petrol fiyatlarını göz önünde bulunduran ARGE çalışmalarını güçlendirilmelidir,
- Piyasa araştırmaları, teknolojik vb. araştırmaları yapabilecek ve elde edeceği verileri Türk Denizcilik Sektörünün hizmetine yapabilecek bir Denizcilik Mükemmeliyet Merkezi kurulmalıdır,
- Denizcilikte söz sahibi Yunanistan, Almanya, Norveç ve Hollanda gibi bazı Avrupa ülkelerinde yaşayan Türkleri de değerlendirerek bu ülkeler ile ortak çalışmalara girilmelidir,
- Türk İç Su Yollarını deniz ticaretinde kullanan politikalar oluşturulmalıdır,
- Fırat Nehri'ni kullanarak Birecik-Basra Körfezi arasında deniz taşımacılığına uygun bir hat oluşturulmalıdır,
- Önümüzdeki kısa dönem içerisinde daha da fazla önem kazanacak olan gemi geri dönüşümü konusunda hem kaliteli eleman yetiştirilmesine hem de sektör altyapısına yönelik çalışmalar başlatılmalıdır,
- Yeni ve ileri teknoloji malzemelerden üretim yapılabilmesi konusunda çalışmalar başlatılmalıdır.

Kaynaklar

Clarkson Research. (2017). <http://www.clarksons.com/services/research/>.

Erdoğan O. ve diğ., (2017) Türk Gemi İnşa Sanayinin Rekabet Gücünün Arttırılması, ISBN: 978-605-66714-1-8

International Maritime Organization. (2012). IMO's contribution to sustainable maritime development. Erişim: 15.05.2017. <http://www.imo.org/en/OurWork/TechnicalCooperation/Pages/Default.aspx>

London Metal Exchange, LME. (2017). <https://www.lme.com/metals/ferrous/lme-steel-scrap/>

OECD. (2015). Economic Outlook for Southeast Asia, China and India 2016: Enhancing Regional Tie.

Taşdemir, A., Korkmaz A.S., (2012). Global denizcilik ve gemi inşa sektöründe yaşanan gelişmeler ve ülkemize yansımaları.

Numerical Investigation of the Effect of Bilge Keel Width on Roll Damping

Burak Yıldız¹, Hüseyin Yılmaz²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul

Abstract

In this study, the flow around a forced rolling two dimensional hull section with bilge keel at free surface is simulated by using RANS solver. Roll damping coefficients are calculated numerically for different bilge keel width and validated with experiments to show if RANS code can correctly predict the damping coefficients. The generated vortices around the hull and bilge keel are observed by using RANS solver to show the effect on roll damping.

Keywords: Roll damping, forced roll, CFD, RANS, Ikeda's method, bilge keel

Yalpa Omurgası Genişliğinin Yalpa Sönümüne Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Burak Yıldız¹, Hüseyin Yılmaz²

¹Department of Marine Engineering Operations, Yıldız Technical University

²Naval Architecture and Marine Engineering, Naval Architecture and Marine Engineering, Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey

Özet

Bu çalışmada serbest yüzey etkisi altında zorlanmış yalpa hareketi yapan yalpa omurgasına sahip iki boyutlu gemi kesiti etrafındaki akış RANS çözücü kullanılarak incelenmiştir. Yalpa sönüm katsayıları farklı yalpa omurgası genişlikleri için sayısal olarak hesaplanmış ve sonuçlar deneylerle de karşılaştırılarak yalpa sönüm katsayısının sayısal olarak doğru bir şekilde hesaplanabildiği gösterilmiştir. Visköz sönümüne neden olan tekne ve yalpa omurgası etrafındaki girdap oluşumları RANS çözücü yardımıyla gösterilmiş ve yalpa sönümüne etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yalpa sönümü, zorlanmış yalpa, HAD, RANS, Ikeda metodu, yalpa omurgası

1. Giriş

Yalpa hareketinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi operasyon ve güvenlik sebeplerinden dolayı büyük önem taşımaktadır. Rezonans bölgesinde gemi yüksek genlikli yalpa hareketine maruz kalabilir ve bu da geminin devrilmesine, yükün kaymasına, güverte yüklerinin hasara uğramasına ve istenmeyen diğer sonuçlara neden olabilir. Yalpa hareketi haricindeki diğer gemi hareketleri potansiyel teori yardımıyla doğru bir şekilde tahmin edilebilir. Bunun sebebi, diğer gemi hareketlerinden farklı olarak, viskoz sönümün özellikle rezonans bölgesinde yalpa hareketinde önemli bir etkiye sahip olmasıdır.

Viskoz yalpa sönümünü hesaplamak için deney sonuçları kullanılarak ampirik veya yarı ampirik formüller geliştirilmiştir. Bu formüllerden en doğru sonuç vereni ve yaygın olarak kullanılanı, Ikeda metodu (Ikeda ve diğerleri, 1978) olarak bilinen ve yalpa sönümünü beş ayrı bileşene ayırarak hesaplayan yöntemdir. Bu yöntem belli tipte bir gemi kullanılarak geliştirilmiştir ve her bir parametre için belli aralıklar belirlenmiştir. Bu sebepten dolayı yeni tipte bir gemi kullanıldığında ve verilen aralığın dışında bir parametre belirlendiğinde yöntem gerçeğinden farklı değerler vermektedir. Yalpa sönümünü en doğru

şekilde hesaplamaların yolu model deneylerdir. Ancak pahalı ve zaman aldığından dolayı farklı tip gemi veya yalpa omurgası için araştırma yapmayı zorlaştırmaktadır.

Gelişen teknolojiyle beraber bilgisayar hesaplama hızındaki artış, yalpa sönümü hesabında Reynold averaged Navier-Stokes (RANS) denklemlerini sayısal olarak çözen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programlarının kullanılmasını yaygın hale getirmiştir. RANS çözümler sınır tabakalardaki girdap oluşumları, girdap saçılışları ve türbülans etkileri gibi viskoz sönümün ana fiziksel unsurlarını içerir ve doğru sonuçlar almamızı sağlar. Bunlara ek olarak deneylere kıyasla daha ekonomiktir ve daha kısa sürede analiz yapılmasını sağlar. HAD alanında yaşanan bu gelişmeler araştırmacıları gemi yalpa sönüm katsayısının sayısal olarak hesaplanması konusunda çalışmaya yöneltmiştir.

Yeung ve Ananthakrishnan (1992), viskoz bir akışkanda salınım hareketi yapan yüzen bir cisim için RANS tekniklerini kullanarak analizler yapmış ve bu alandaki öncü çalışmalardan birine imza atmıştır. Korpus ve Falzarano (1997), Yeung ve diğerleri (1998), Sarkar ve Vassalos (2001) tarafından yapılan çalışmalarda salınım yapan iki boyutlu gövdeler etrafındaki akış RANS metodu kullanılarak analiz edilmiş ve yalpa sönüm katsayıları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Korpus ve Falzarano hız, girdap ve basınç parametrelerinin etkilerini detaylı olarak incelemişlerdir. Sarkar ve Vassalos ise COMET isimli RANS çözümlerini kullanarak kare ve yuvarlak sınırlı sönümüne sahip tekneler için farklı yalpa genliklerinde yalpa sönümünü incelemişlerdir. Yalpa sönümünün tekne geometrisine bağlı olduğu kadar sınıra yarıçapına da bağlı olduğunu göstermişlerdir. Miller ve diğerleri (2002) tarafından yürütülen çalışmada, yalpa omurgasına sahip batmış üç boyutlu bir silindir için zorlanmış yalpa durumunda etki eden kuvvetler ve momentler sayısal olarak hesaplanmış ve deneylerle karşılaştırılarak sonuçlar gösterilmiştir. Paap (2005) yaptığı çalışmada, silindirik bir kesit için farklı geometrilerde yalpa omurgası kullanarak, yalpa omurgası geometrisinin yalpa sönümüne olan etkisini hem sayısal hem de deneysel olarak incelemiştir. Wilson ve diğerleri (2006) URANS metodunu kullanarak (CFDSHIP-IOWA) DTMB 5512 için gemi hareketlerini hesaplamış ve gemi etrafında oluşan akış ve dalga formlarını Irvine'in (2004) deneysel çalışmalarıyla karşılaştırmıştır. Jaouen ve diğerlerinin (2011) yaptığı çalışmada, iki boyutlu gemi kesitleri için serbest yüzey etkisi olmadan yalpa sönüm katsayısını ReFRESCO adındaki URANS yazılımıyla hesaplamıştır ve sonuçlarını Ikeda ve diğerleri (1978) ile karşılaştırarak doğrulamıştır. Oliveira ve Fernandes (2006) yalpa sönüm katsayısının yalpa genliğiyle arttığını ve bir noktadan sonra bu artışın durduğunu yapmış olduğu sayısal çalışmalar sonucu gözlemlemiştir ve bu sonuçlara dayanarak doğrusal olmayan bir yöntem önermişlerdir. Oliveira ve Fernandes (2014) tarafından 2014 yılında yapılan diğer bir çalışmada da önceki çalışma geliştirilmiş ve artan yalpa genliğiyle yalpa sönümünün belli bir genlik değerinden sonra azalmaya geçtiği görülmüştür. Wanderley ve Levi (2005) çalışmasında RANS kodu kullanarak yalpa esnasında teknedeki saçılan girdapların yalpa sönümüne etkisini ve tekne üzerinde oluşan basınç dağılımını incelemiştir. Sadat Hosseini ve diğerleri (2010) ONR Tumblehome gemisinin belli hızlardaki yalpa hareket analizlerini CFDSHIP-IOWA koduyla hesaplamış Irvine'in (2004) deneysel verileri ile karşılaştırmıştır.

Bangun ve diğerleri (2010) iki boyutlu dikdörtgen kesitli bir duba için hidrodinamik katsayıları hesaplamış ve Yago ile diğerleri (2008) tarafından yapılan deney sonuçları ile karşılaştırmıştır. Bonfiglio ve diğerleri (2011) ve Henning (2011) ise yaptığı çalışmalarda iki boyutlu gemi kesiti için zorlanmış yalpa durumundaki hidrodinamik sönüm ve ek kütle katsayılarını sayısal olarak hesaplamışlardır, deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yang ve diğerleri (2012) DTMB 5512 modeli için farklı yalpa genliklerinde

serbest bırakma simülasyonları yaparak yalpa sönüm katsayılarını hesaplamış ve sonuçları deneylerle karşılaştırmıştır. Handschel ve diğerleri (2012) yalpa sönüm katsayısı hesabında serbest bırakma analizi ve zorlanmış yalpa analizlerinin farklı sonuçlar verdiğini sayısal olarak ve deneysel olarak göstermiştir. Bassler (2013) yaptığı çalışmada geniş yalpa açılarındaki zorlamalı yalpa analizlerini bir URANS çözücü kullanarak yapmış ve hidrodinamik sönüm ve ek kütle katsayılarını hesaplamıştır. Yaptığı çeşitli analizlerde tekne formunun, yalpa omurga formunun, güverte formunun ve serbest yüzeyin geniş açılardaki yalpa sönüm katsayısını ve ek kütle katsayısını etkilediğini göstermiştir ve sonuçlarını deneysel çalışmalarıyla desteklemiştir. Gao ve Vassalos (2011) RANS metoduna dayalı HAD çözücü ile DTMB 5415 modelinin serbest bırakma simülasyonları üzerine bir çalışma yürütmüştür ve sonuçları Irvine'in (2004) deneysel çalışmalarıyla karşılaştırmıştır. Avalos ve diğerleri (2014)] FPSO tipi bir teknenin iki boyutlu kesiti için iki boyuttaki Navier-Stokes denklemlerini sonlu hacimler metodu kullanarak çözmüştür. Sintine yarıçapının yalpa sönümüne olan etkisini ve yalpa omurgası etrafında oluşan girdapların etkisini deneylerle doğrulayarak göstermiştir. Jiang (2014) SSFSRVM (Slender-Ship Free-Surface Random Vortex Method) adındaki yüksek bilgisayar hesaplama gücü gerektirmeyen viskoz akış çözücü kullanarak askeri bir gemi için serbest bırakma simülasyonları uygulamış ve farklı zamanlarda yalpa omurgası etrafında oluşan girdapları görüntüleyerek PIV deney sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonucunda farklı genişlikteki yalpa omurgası için ve farklı hızlarda kullandığı viskoz akış çözücünün yalpa hareketini doğru bir şekilde hesapladığını ve akıştaki girdap oluşmalarını doğru bir şekilde gösterdiğini ortaya koymuştur. Kampen (2015) ise yaptığı çalışmada iki boyutlu FPSO kesiti için zorlanmış yalpa hareketi uygulayarak, yalpa sönüm katsayılarını sayısal olarak ve Ikeda metodunu kullanarak hesaplamış ve ayrıca deneylerle doğrulamıştır. Ikeda metoduyla olan farklılıkları göstererek, farklılıkların neden kaynaklandığını detaylı bir şekilde göstermiş ve Ikeda tarafından önerilen yöntemi revize etmiştir. Yıldız ve diğerleri (2016) tarafından yapılan çalışmada ise iki boyutlu model kullanılarak sığ su çekiminin yalpa sönüm katsayısına olan etkileri hem sayısal hem de deneysel olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sonuçlar Ikeda metodu ile kıyaslanarak Ikeda metodu ile olan farklılıkların arkasındaki nedenler araştırılmıştır. Yıldız ve Katayama (2017) yaptığı bir diğer çalışmada da yalpa omurgası ve serbest yüzey etkileşimini sayısal olarak incelemiş ve yalpa sönüm katsayısına olan etkisini detaylı olarak göstermiştir.

Bu çalışma kapsamında, serbest yüzey etkisi altında zorlanmış yalpa hareketi yapan yalpa omurgasına sahip iki boyutlu gemi kesiti etrafındaki akış farklı yalpa omurgası genişlikleri için HAD analizleri kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Bu analizler sayesinde yalpa sönüm katsayısının sayısal olarak doğru bir şekilde hesaplanması amaçlanmıştır. Farklı yalpa omurgası genişlikleri için analizler yapılmış ve yalpa omurgası genişliğinin yalpa sönümüne olan etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Üç farklı yalpa omurgası genişliği için analizler tek bir yalpa frekansında farklı yalpa genlikleri için yapılmıştır.

2. Yalpa sönüm katsayısının hesaplanması

Denklem (1)'in doğrusal olduğu kabul edilirse uygulanan moment gemiye düzenli bir şekilde sinüs fonksiyonu formunda yalpa hareketi yaptırır. Modele sıfır hızda belli bir frekansta ve belli bir yalpa genliğinde moment uygulanır.

$$(I_{44} + A_{44}(\omega))\ddot{\phi} + B_{44}(\dot{\phi}) + C_{44}(\phi) = M_{44}(t) \quad (1)$$

Burada I_{44} gemi yalpa ataleti, A_{44} ek su kütlesi ataleti, B_{44} yalpa sönümü, C_{44} ise doğrultma ile ilgili ifadedir. Uygulanan moment gemiye düzenli bir şekilde sinüs fonksiyonu formunda yalpa hareketi yaptırır.

$$\phi(t) = \phi_a \sin(\omega t) \quad (2)$$

$$M_{44}(t) = M_0 \sin(\omega t + \varepsilon) \quad (3)$$

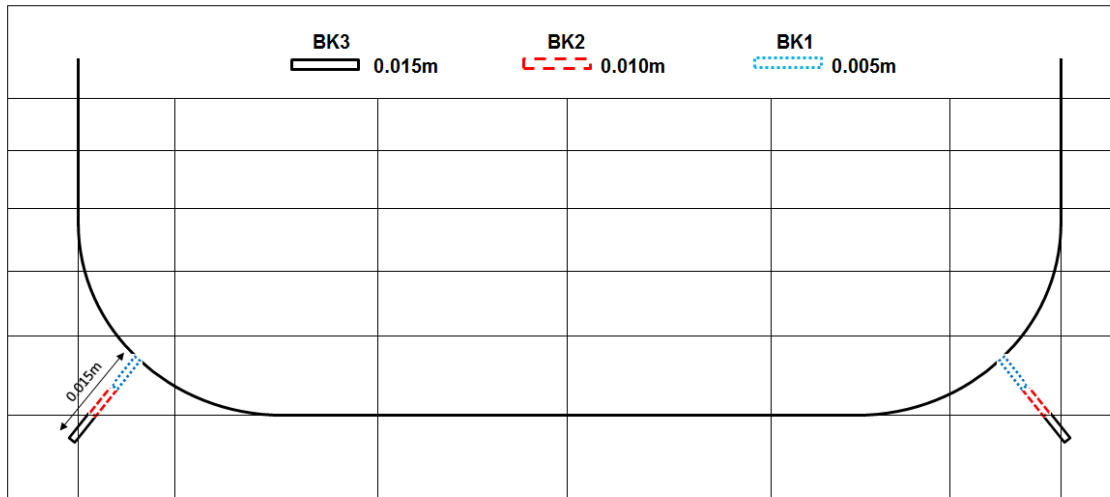
Burada ϕ_a yalpa hareketinin genliği, M_0 uygulanan zorlayıcı yalpa momentinin genliği, ε ise faz farkıdır. Buradan verilenlerin yerine konmasıyla yalpa sönüm katsayısı;

$$B_{44}(\dot{\phi}) = B_e \dot{\phi} = \frac{M_0 \cdot \sin \varepsilon}{\phi_a \cdot \omega} \quad (4)$$

şeklinde hesaplanır.

3. Yalpa omurgası genişliğinin yalpa sönümüne etkisi

Yalpa omurgası yalpa sönümüne katkı sağlayan en büyük bileşendir. Bu katkıdan etkin bir şekilde yararlanmak için yalpa omurgasının yerinin ve boyutlarının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında üç farklı yalpa omurgası genişliği için yalpa sönüm katsayıları sayısal olarak hesaplanmış ve yalpa sönümünü nasıl etkiledikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Analizler için seçilen yalpa omurgaları BK1, BK2 ve BK3 olarak adlandırılmış ve boyutları sırasıyla 0.005m, 0.01m ve 0.015 m olarak belirlenmiştir. Analizleri yapılan yalpa omurgaları Şekil 1'de gösterilmiştir.



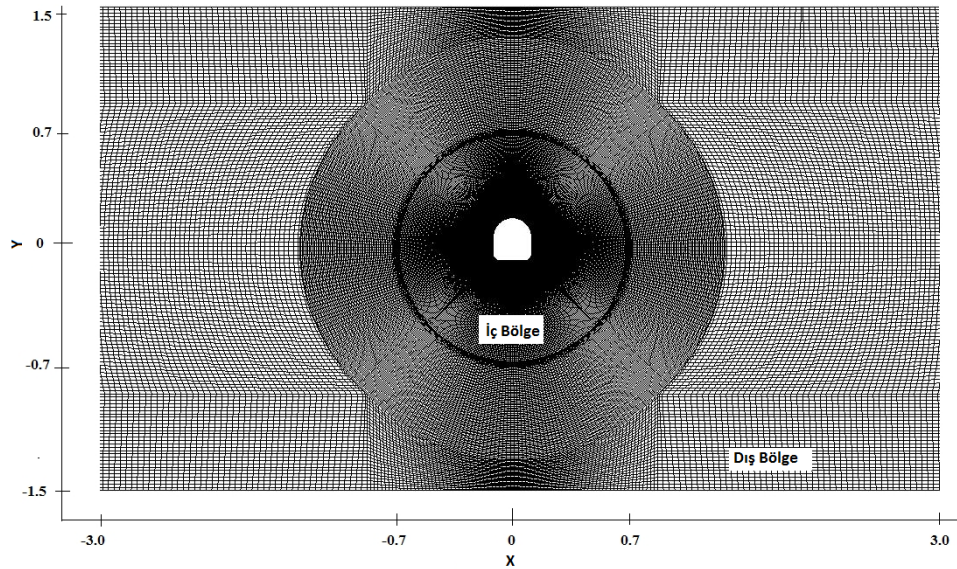
Şekil 1. Farklı yalpa omurgası genişliklerinin gösterimi

Zorlanmış yalpaya maruz bırakılan farklı boyutlarda yalpa omurgasına sahip tekne için yalpa sönüm katsayıları sayısal analizler sonucu hesaplanmıştır. Zamana bağlı moment eğrileri karşılaştırılarak yalpa omurgası genişliğinin yalpa sönümüne katkısı gösterilmiştir. Ayrıca yalpa omurgalarının etrafındaki hız vektörleri ve oluşan girdaplar farklı yalpa omurgaları için detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Analizler tek bir yalpa periyodu ($T= 1.2$ sn) ve farklı yalpa genlikleri ($\phi_a=8.59^\circ, 11.38^\circ, 14.38^\circ, 20.0^\circ$ ve 27.27°) için yapılmıştır.

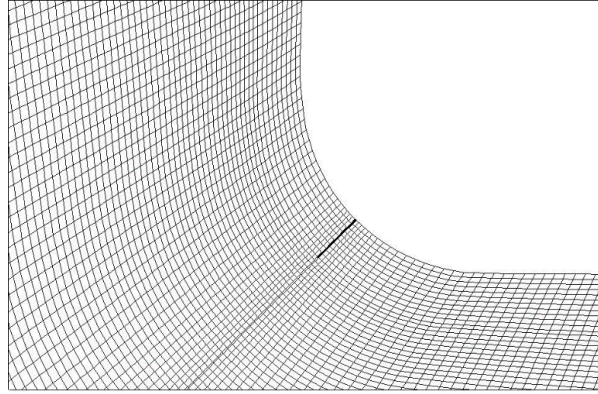
4. Yalpa hareketinin sayısal olarak modellenmesi

Sayısal analizler için oluşturulan model küçük kontrol hacimlerine ayrılarak bu hacimlerde ki her bir eleman için ayrıklaştırılmış transport denklemleri çözülür. Kontrol hacmini oluşturan elemanların büyüklüğü analiz süresini ve analizin doğruluğunu etkiler.

Bu çalışmada kullanılan model için oluşturulan ağ yapısı Şekil 2 'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere oluşturulan modelde iki farklı bölge vardır. Birinci bölge dönme hareketinin verildiği iç bölge ve ikinci bölge ise sabit kalan dış bölgedir. İç bölge tekne ile birlikte hareket ettirilerek oradaki ağ yapısının bozulmaması sağlanmıştır. Dış bölge ise akış hareketlerini ve yayılan dalgaların sönümlenmesini sağlamaktadır. Ağ yapısını oluştururken "yapılandırılmış" (structured) adı verilen dört kenarlı elemanlar tercih edilmiştir. Literatürde bu tarz ağ yapısının hesaplamalarda avantajlar sağladığı belirtilmiştir (Paap, 2005). Şekil 3 ise tekne yalpa omurgası etrafındaki ağ yapısını göstermektedir. Literatür araştırmalarından varılan sonuca göre yalpa omurgası etrafındaki ağ yapısı $y^+ < 5$ olacak şekilde ayarlanmıştır ve eleman yükseklikleri 0.001m olarak belirlenmiştir.

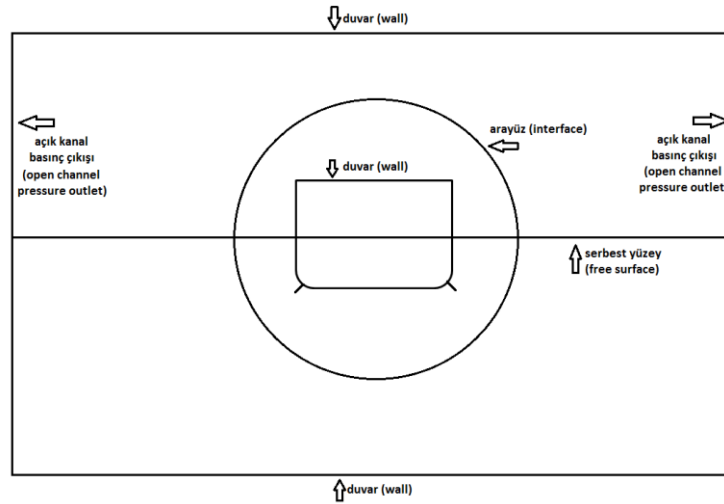


Şekil 2. Kullanılan hesaplama modeline uygulanan ağ yapısı



Şekil 3. Yalpa omurgası etrafındaki ağ yapısı

Analizlerde kullanılan hesaplama modeline ait sınır şartları Şekil 4'te gösterilmiştir. Görüldüğü üzere tekne ve yalpa omurga duvar olarak seçilmiştir yani bu noktalar üzerindeki normal ve teğetsel hızlar sıfırdır. Aynı şekilde dış bölgeye ait üst ve alt kısımlarda duvar olarak seçilmiştir. Dış bölgeye ait sağ ve sol kısımlar ise açık kanal basınç çıkışı olarak belirlenmiştir ve bu şekilde tekne serbest yüzeyi istenilen konuma ayarlanmıştır. Tekne hareketli bölge ve sabit bölgesini ayıran silindir ise arayüz olarak belirlenmiştir. Hareketli bölge kısmı için sayısal çözücüdeki “dynamic mesh” sekmesi aktif konuma getirilmiştir ve bu bölge içinde yer alan tekne, yalpa omurgası ve ağ yapısı seçilerek bu bölgeye hareket verilmiştir. Analizlerde incelenen çalışmalar doğrultusunda $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. Diğer türbülans modellerinin etkisi bu çalışma kapsamında incelenmemiştir.

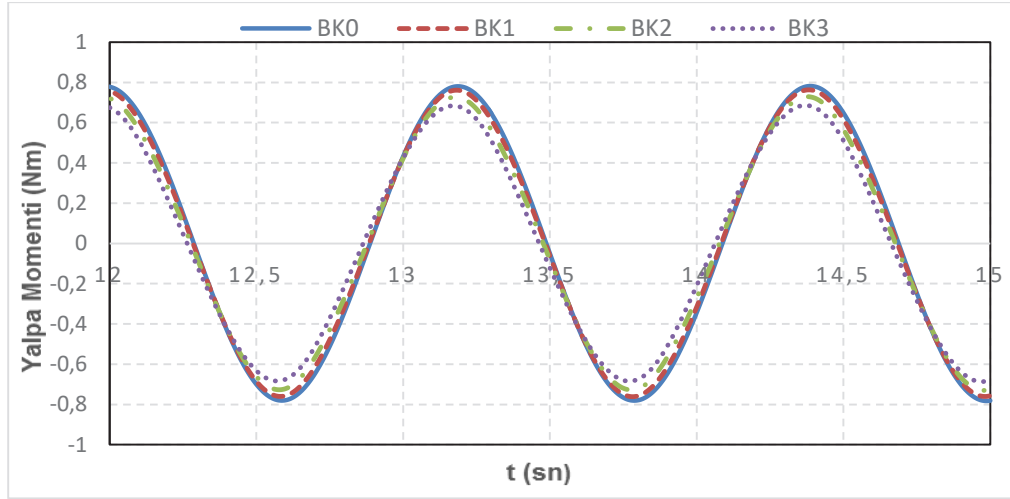


Şekil 4. Sınır şartlarının hesaplama modeli üzerinde gösterilmesi

5. Yalpa sönümünün sayısal olarak hesaplanması

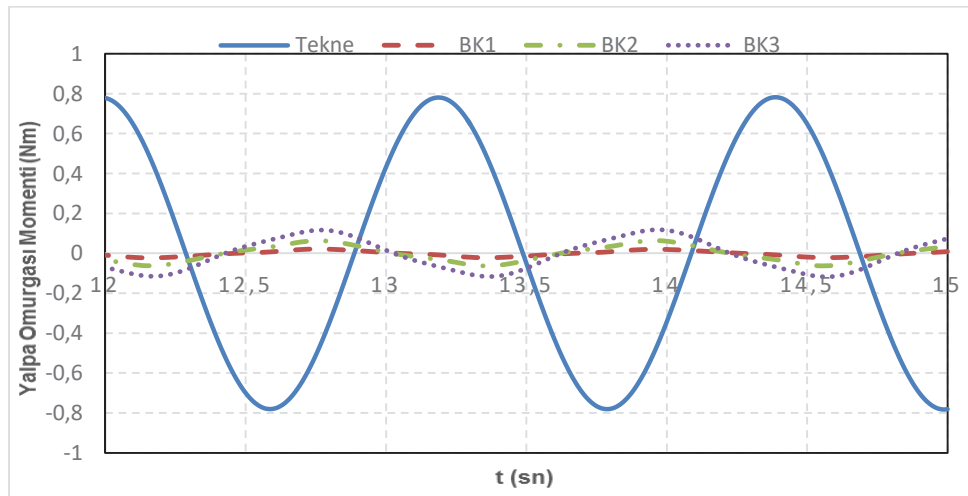
Üç farklı yalpa omurgasına ait moment değerleri sayısal olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yalpa omurgasız durum da yalpa omurgasının sönüme olan katkısını göstermek için hesaplanmıştır. Yalpa omurgasız durum BKO olarak adlandırılmıştır. Zorlanmış yalpa yapan iki boyutlu modele ait moment eğrileri Şekil 5'

de gösterilmiştir. Yalpa açısı ve yalpa frekansı üç farklı yalpa omurgası için de aynı alınmıştır. Böylelikle yalpa omurgası genişliğinin etkisi toplam yalpa momenti eğrilerinde gözlemlenmiştir çünkü diğer parametrelerin momente olan katkısı her bir durum için aynıdır. Şekilden de görüldüğü gibi yalpa omurgası genişliği arttıkça moment eğrilerinde bir düşüş gerçekleşmiştir, dolayısıyla geniş yalpa omurgası daha büyük oranda bir sönüm sağlamıştır. Yalpa omurgasız durumda yani sadece çıplak tekne olduğunda en yüksek moment sağlanmıştır çünkü bu momenti sönümleyecek negatif etki gösteren yalpa omurgası momenti yoktur.



Şekil 5. Farklı yalpa omurgası genişlikleri için toplam yalpa momenti eğrileri

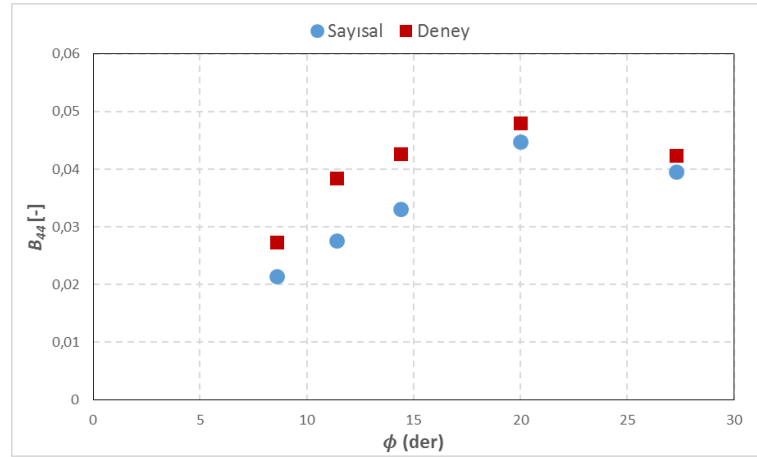
Yalpa omurgasının oluşturduğu bu negatif etkiyi göstermek için farklı boyutlardaki yalpa omurgalarına etkiyen momentler sayısal olarak hesaplanmış ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yalpa omurgasının oluşturduğu momentler yalpa genişliği arttıkça, yükselmekte ve çıplak tekne momentine ters bir şekilde moment oluşturmaktadırlar. Bu da enerji kaybına yani hareketin sönümlenmesine sebep olmaktadır.



Şekil 6. Farklı yalpa omurgası genişlikleri için yalpa omurgası momenti eğrileri

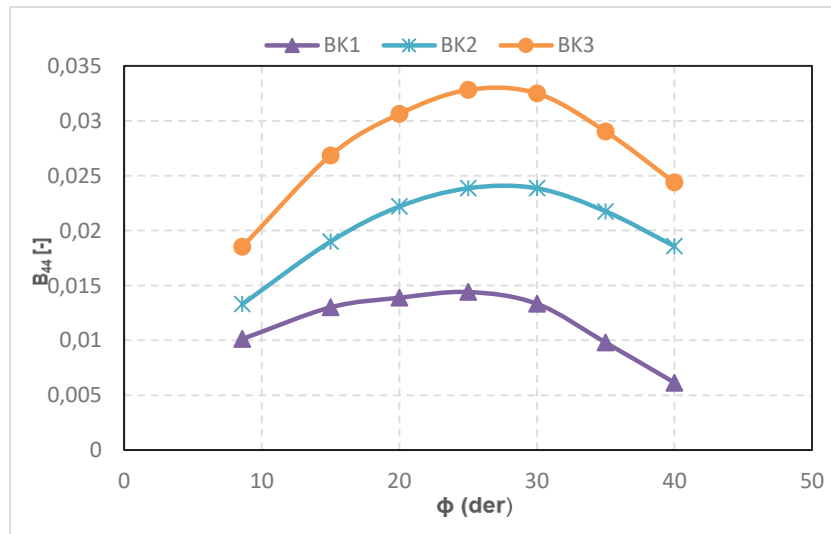
Şekilden de görüldüğü gibi yalpa omurgasının oluşturduğu moment teknenin oluşturduğu momente göre daha küçüktür ancak oluşturduğu sönüm tekne sönümü ile aynı derecededir.

Elde edilen yalpa momentleri kullanılarak yalpa sönüm katsayıları farklı yalpa genişlikleri için hesaplanmıştır. Öncelikle sayısal olarak hesaplanan yalpa sönüm katsayıları deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ile karşılaştırma sadece yalpa omurgası genişliğinin 0.010m olduğu durum için yapılmıştır. Farklı yalpa genlikleri için yapılan deneylerden elde edilen yalpa sönüm katsayıları sayısal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Şekil 7'de görüldüğü gibi sayısal sonuçlar deneysel sonuçlar ile uyum içerisinde ve aynı eğilimi göstermektedir.



Şekil 7. Boyutsuz yalpa sönüm katsayıları (sayısal ve deney)

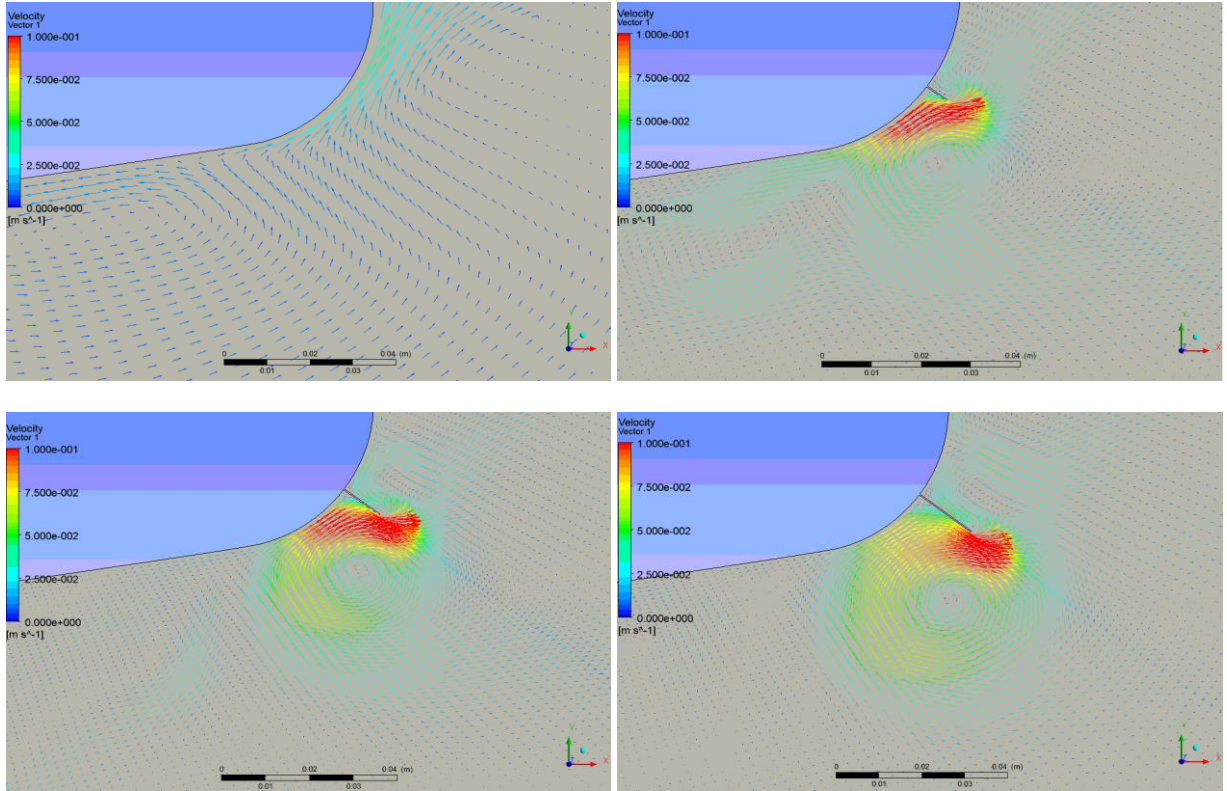
Farklı boyuttaki yalpa omurgaları için sayısal olarak hesaplanan moment değerleri kullanılarak boyutsuz yalpa sönüm katsayıları hesaplanmıştır. Şekil 8 farklı yalpa omurga genişlikleri için boyutsuz yalpa sönüm katsayılarını göstermektedir. Analizler farklı yalpa açıları için gerçekleştirilmiştir. Bütün yalpa açılarında geniş yalpa omurgasına sahip olan tekne daha yüksek yalpa sönüm katsayısı değerine sahiptir.



Şekil 8. Farklı yalpa omurgası genişlikleri için boyutsuz yalpa sönüm katsayıları

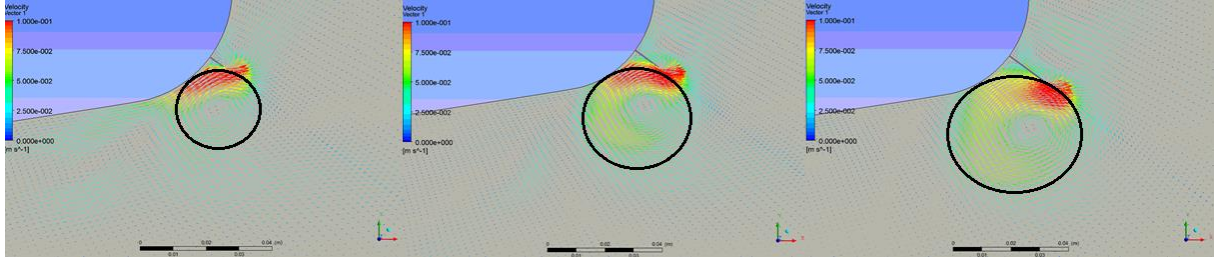
6. Tekne etrafında oluşan girdapların incelenmesi

Yalpa omurgalarının gemilerde kullanılma amacı yalpa sönüm katsayılarını arttırmaktır. Yalpa omurgaları girdaplar üreterek enerji kaybına neden olurlar ve yalpa hareketinin sönümlenmesine katkı sağlarlar. Yalpa omurgası genişliğinin artırılmasıyla bu katkının yükseldiği gösterilmiştir. Bu katkıya sebep olan yalpa omurgası etrafındaki girdaplar farklı boyuttaki yalpa omurgaları için gösterilmiştir. Ayrıca yalpa omurgasız durum da ele alınmıştır böylelikle yalpa omurgasının önemi daha iyi bir şekilde anlaşılmıştır. Şekil 9 yalpa omurgasız durum ve üç farklı yalpa omurgası genişliği için sancak yalpa omurgası etrafındaki hız vektörlerini göstermektedir. Görüldüğü üzere yalpa omurgası olmadığı durumda tekne etrafında oluşan bir girdap söz konusu değildir ve bu da yalpa omurgasız durumda yalpa sönümünün neden düşük olduğunu göstermiştir. Yalpa omurgalı durumlarda ise yalpa omurgası etrafında girdaplar oluşmuştur. Yalpa omurgası genişliği arttıkça oluşan girdapların da boyutu artmıştır.



Şekil 9. Farklı yalpa omurgası genişlikleri için hız vektörleri

Şekil 10'da ise yalpa omurgası etrafında oluşan girdap bölgeleri daire içine alınmış ve daire büyüklüklerine bakarak oluşan girdapların büyüklüğünün daha iyi bir şekilde kıyaslanması sağlanmıştır. Böylelikle yalpa omurgasının genişliğinin artmasıyla yalpa sönümündeki artışın kaynağı gösterilmiştir. Geniş yalpa omurgasının oluşturduğu büyük ve yoğun girdaplar yalpa omurgasından kaynaklanan viskoz sönümü arttırmıştır.



Şekil 10. Farklı yalpa omurgası genişlikleri için girdap büyüklükleri

7. Sonuç ve öneriler

Gemi yalpa hareketinin doğru bir şekilde analiz edilmesi diğer gemi hareketlerine göre daha büyük bir önem taşımaktadır. Çünkü geniş yalpa açıları, özellikle rezonans bölgesinde, gemilerin devrilmesine yol açabilirler. Gemi yalpa hareketinin doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için gemi yalpa sönümünün gerçekçi bir şekilde belirlenmesi gereklidir. Potansiyel teori kullanılarak yalpa sönümü doğru bir şekilde belirlenemez çünkü yalpa sönümünde viskoz etkiler çok baskındır. Son zamanlarda HAD alanında yaşanan gelişmelerle yalpa sönümünün sayısal olarak hesaplanması konusunda önemli çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, serbest yüzey etkisi altında zorlanmış yalpa hareketi yapan yalpa omurgasına sahip iki boyutlu gemi kesiti etrafındaki akış RANS çözücü kullanılarak incelenmiş ve yalpa sönüm katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçların deneylerle uyum içinde olduğu gözlemlenmiş ve böylelikle yalpa sönüm hesabında sayısal çözümlerin kullanılabileceği gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında, farklı yalpa omurgası genişlikleri için sayısal analizler yapılmıştır. Yalpa omurgasından kaynaklanan sönüm toplam yalpa sönümünün büyük bir yüzdesini oluşturmaktadır. Bu sönüme neden olan en büyük etki de yalpa omurgasının oluşturduğu girdaplardır. Bu çalışma da farklı üç yalpa omurgası genişliği için sayısal analizler yürütülmüş ve analizler sonucu geniş yalpa omurgasının yalpa sönümünü arttırdığı görülmüştür. Üç farklı yalpa omurgası için yalpa omurgası etrafındaki girdaplar gösterilmiş ve yalpa omurgası genişliği arttıkça yalpa omurgası etrafından oluşan girdapların büyüklüğü de artmıştır. İşte bu artış yalpa omurgasından kaynaklanan viskoz yalpa sönümünün artmasına neden olmuştur.

Elde edilen sonuçlar sayısal yöntemin yalpa sönümünü hesaplamada iyi bir alternatif olduğunu ve ileride yeni bir metodunun geliştirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada diğer hareketlerin etkisi ihmal edilmiştir ve ileriki çalışmalarda diğer gemi hareketlerinin yalpa sönümüne olan etkisi incelenebilir. Farklı gemi modelleri ve yalpa omurgası modelleri için analizler yapılabilir ve bunların yalpa sönümüne olan etkileri incelenebilir. Analizler üç boyutlu bir gemi modeli için yapılarak üç boyutun yalpa sönümüne olan etkileri gözlemlenebilir.

Kaynaklar

- Avalos, G. O., Wanderley, J. B., Fernandes, A. C. ve Oliveira, A. C., (2014). "Roll Damping Decay of a FPSO With Bilge Keel", *Ocean Engineering*, 87 (111).
- Bangun, E. P., Wang, C. M. ve Utsunomiya, T., (2010). "Hydrodynamic Forces on a Rolling Barge With Bilge Keels", *Appl. Ocean Res.*, 32: 219–232.
- Bassler, C. C., (2013). "Analysis and Modeling of Hydrodynamic Components for Ship Roll Motion in Heavy Weather", PhD. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Bonfiglio, L., Brizzolara, S. ve Chrysostomidis, C., (2011). "Added Mass and Damping of Oscillating Bodies a Fully Viscous Numerical Approach", *Recent Adv. Fluid Mech. Heat Mass Transf Biol.*, 210–215.
- Gao, Q. ve Vassalos, D., (2011). "Numerical Study of the Roll Decay of Intact and Damaged Ship", *Proceedings of the 12th International Ship Stability Workshop*, 277–282.
- Handsichel, S., Kollisch, N., Soproni, J. P. ve Abdel-Maksoud, M., (2012). "A Numerical Method for Estimation of Ship Roll Damping for Large Amplitudes", *29th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Sweden.
- Henning, H. L., (2011). "Investigation of the Heave, Sway and Roll Motions of Typical Ship Like Hull Sections Using Rans Numerical Methods", *Master Thesis*, University of Stellenbosch.
- Ikeda, Y., Himeno, Y. ve Tanaka, N., (1978d). "Components of Roll Damping of Ship at Forward Speed", *Report of the Department of Naval Architecture, University of Osaka Prefecture*, No. 00404.
- Irvine, M., (2004). "Towing Tank Tests for Surface Combatant for Coupled Pitch and Heave and Free Roll Decay Motions", *Doctorial Thesis*, University of Iowa, The Graduate College of the University of Iowa.
- Jaouen, F., Koop, A. ve Vaz, G., (2011). "Predicting Roll Added Mass and Damping of a Ship Hull Section Using CFD", *Proceedings of ASME 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, Netherlands.
- Jiang, Y., (2014). "Computational Modeling in Three Dimensions of Multi-DOF Ship Motion in a Viscous Fluid", PhD. Thesis, Engineering - Mechanical Engineering in the Graduate Division of the University of California, Berkeley.
- Korpus, R. A. ve Falzarano, J. M., (1997). "Prediction of Viscous Ship Roll Damping by Unsteady Navier-Stokes Techniques", *J. Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 119: 108-113.
- Miller, R. W., Gorski, J. J. ve Fry, D., (2002). "Viscous Roll Predictions of a Circular Cylinder with Bilge Keels", *Proc. 24th Symp. on Naval Hydro.*, Fukuoka, Japan.
- Oliveira, A. C. ve Fernandes, A. C., (2006). "The Bilinear Behavior for FPSO Rolling Motions", *Proceedings of the 9th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles*, Brazil.
- Oliveira, A. C. ve Fernandes, A. C., (2014). "The Nonlinear Roll Damping of a FPSO Hull", *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 136(1), 011106.

Paap, M., (2005). "Verification of CFD Calculations With Experiments on a Rolling Circular Cylinder With Bilge Keels in a Free Surface", Master Thesis, Delft University of Technology and Bluewater Energy.

Sadat-Hosseini, H., Stern, F., Olivieri, A., Campana, E. F., Hashimoto, H., Umeda, N., Bulian, G. ve Francescutto, A., (2010). "Head-Wave Parametric Rolling of a Surface Combatant", *Ocean Eng.*, 37: 859–878.

Sarkar, T., ve Vassalos, D., (2001). "A RANS-Based Technique for Simulation of the Flow Near a Rolling Cylinder at the Free Surface", *Journal of Marine Science and Technology*, 5 (2): 66-77.

Wanderley, J. B. V. ve Levi, C. A., (2005). "Vortex Induced Loads on Marine Risers", *Ocean Engineering*, 32, 1281-1295.

Wilson, R., Carrica P. M. ve Stern, F., (2006). "Unsteady RANS Method for Ship Motions With Application to Roll for a Surface Combatant", *Comput. Fluids*, 35: 501–524.

Van Kampen, M. J., (2015). "Bilge Keel Roll Damping CFD and Local Velocities", Master Thesis, Offshore and Dredging Engineering, The Delft University of Technology.

Yago, K., Ohkawa, Y., Chuji, T. ve Utsunomiya, T., (2008). "Experimental Study on Viscous Damping Force of Box-Shaped Body With Fin", *J. Soc. Nav. Archit.*, Japan.

Yang, B., Wang, Z. C. ve Wu, M., (2012). "Numerical Simulation Of Naval Ships Roll Damping Based On CFD", *Procedia Eng.*, 37: 14–18.

Yeung, R. ve Ananthkrishnan, P., (1992). "Oscillation of a Floating Body in a Viscous Fluid", *J. Eng. Math.*, 26: 211–230.

Yeung, R. W, Liao, S. W. ve Roddier, D., (1998). "Hydrodynamic Coefficients of Rolling Rectangular Cylinders", *Intl. J. Offshore and Polar Engineering*, 8(4).

Yıldız, B., Çakıcı, F., Katayama, T. ve Yılmaz, H., (2016). "URANS Prediction of Roll Damping for a Ship Hull Section at Shallow Draft", *Journal of Marine Science and Technology*, 21 (1): 48-56.

Yıldız, B. ve Katayama, T., (2017). "Bilge Keel-Free Surface Interaction and Vortex Shedding Effect on Roll Damping", *Journal of Marine Science and Technology*, 22 (3): 432-446.

PID Control of Humidity and Temperature Exchange in a Ship

Tarık Koçal¹, Ata Muğan²

tkocal@yildiz.edu.tr¹, mugan@itu.edu.tr²

¹ *Department of Marine Engineering Operations, Yıldız Technical University*

² *Department of Mechanical Engineering, Istanbul Technical University*

Abstract

Ships around the world are operated at all weather conditions. Therefore HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning) systems for ships are very significant and these systems have to work in limit conditions of outer climate temperature and moisture. To this end, ship heat load should be known. Therefore necessary heat load is calculated for various air conditions and ship speeds. In this paper, the ship's characteristics having the HVAC system are studied. Moisture, velocity and energy equations are derived. Firstly Simulink model is created for one location by Matlab Simulink. For the entire ship's HVAC system simulation, heat transfer of the locations with each other and outer climate are also considered. Desirable temperature and moisture conditions for locations are derived by adding a PID controller to the model.

Keywords: Simulink, HVAC, PID control

Gemi İçindeki Nem ve Sıcaklık Değişiminin PID ile Kontrolü

Tarık Koçal¹, Ata Muğan²

tkocal@yildiz.edu.tr¹, mugan@itu.edu.tr²

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Beyoğlu, İstanbul

Özet

Gemiler farklı iklim koşullarında dünyanın her yerinde işletildikleri için, mevcut iklimlendirme sistemleri dış ortam sıcaklığı ve nemine göre uç sınır şartlarında doğru ve yeterli çalışacak şekilde seçilmelidir. Bu yeterlilik gemi ısı yükünün bilinmesini gerektirir ve hesaplar bu doğrultuda yapılır. Bu yüzden değişen hava şartlarında ve gemi hızlarında istenen ısı şartların elde edilmesi için gerekli ısı yükünün hesaplanması gerekir. Bu çalışmada HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning) sisteme sahip bir gemi için nem, hız ve enerji denklemleri oluşturulmuştur. İlk olarak Matlab Simulink kullanılarak geminin bir bölgesi için model kurulmuştur. Tüm geminin HVAC sistem simülasyonu için kabinlerin birbiri arasında ve dış ortam ile ısı etkileşimleri dikkate alınmıştır. Bölgeler için istenilen sıcaklık ve nem şartları modele PID kontrol eklenerek elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Simulink, HVAC, PID kontrol

Sembol Listesi

C_m : Çelik sac malzemenin ısı kapasitansı	R_v : Su buharının gaz sabiti
C_a : Kuru havanın özgül ısı	w : Özgül nem
C_s : Suyun özgül ısı	w_k : Karışım havasının özgül nemi
C_v : Su buharının özgül ısı	\bar{W} : Mahal havasının mutlak özgül nemi
T : İklimlendirilen mahalın sıcaklığı	\bar{W}_a : Taze havanın mutlak özgül nemi
T_a : Taze havanın sıcaklığı	\bar{W}_k : Karışım havasının mutlak özgül nemi
T_k : Karışım havası sıcaklığı	h_k : Karışım havasının entalpisi
f_k : Hava karışımının hacimsel debisi	q_v : Su buharının doyma sıcaklığındaki entalpi değeri
R_a : Kuru havanın gaz sabiti	

1. Giriş

Gemilerde çalışma şartlarının zorluğundan dolayı, iklimlendirme ve havalandırma sistemleri diğer ortamlara göre daha fazla önem arz etmektedir. Gemiler sürekli hareket halinde olduğu için dış ortamdaki hava şartları da o denli değişmektedir. Bu da iklimlendirme uygulamalarında kontrol sistemlerinin önemini arttırmaktadır.

Gemilerde dış hava şartlarının ve gemi hızının değişimine bağlı olarak sistemin ısıtma veya soğutma yükü değişmektedir. Bu çalışmada; hava şartlarının bu değişimlerine bağlı olarak istenen ısı şartları elde edecek iklimlendirme sisteminin belirlenmesi için; mahallerin matematik modelleri kurulup sistemin PID kontrolcülü simülasyonunun yapılması amaçlanmıştır. Sistemin sıcaklık ve nem cevaplarının doyuma ulaşması, bozucu etkileri ve dinamik cevabı her bir oda için ayrı ayrı modellenmiş ve kontrol edilmiştir. Böylece, entegre edilmiş olarak bir geminin HVAC sistem performansı değerlendirilmiştir.

Son yirmi yılda HVAC sistemlerinin modellenmesi ve kontrolüne ilişkin birçok çalışma yapılmıştır. Bir iklimlendirme odası sıcaklığının kontrolü için sistemin transfer fonksiyonunu kullanarak on-off kontrol yöntemi ile Cherchas (1985) simülasyonlar gerçekleştirmiştir. Zhang ve diğerleri (1993) ise çiftlik hayvanlarının yaşadığı bir ortamın transfer fonksiyonunu bularak, normalde nonlineer olan sistemin, kendi çalışmasında lineer olduğunu kabul ederek ısıtma ve havalandırma kontrolüne ait simülasyon sonuçlarını elde etmiştir. House ve diğerleri (1991), herhangi bir iklimlendirme sisteminde sıcaklığın kontrolü için ayrı zamanlı optimal denetim yöntemini uygulamış ve diğer bir kontrol yöntemi olan aç-kapa denetimine göre enerji tasarrufu sağlamıştır.

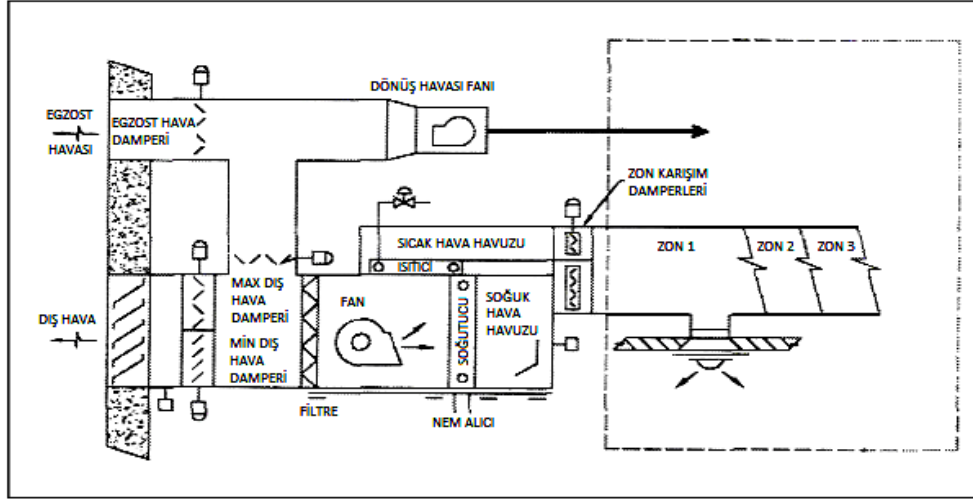
İklimlendirme sistemleri uygulamalarında Dexter ve diğerleri (1989) öz ayarlı kontrolör tasarlamıştır. Kamimura (1994), herhangi bir iklimlendirme sistemi için en uygun PID katsayılarını tespit eden "bilgisayar destekli ayarlama" (CAT) yazılımını kullanarak tasarladığı PID kontrolör ile transfer fonksiyonu belli olan bir odanın sıcaklığını kontrol etmiştir. William (1992) ise mikroişlemci tabanlı elektronik kontrolörlerin binaların sıcaklık kontrolünde kullanılmasının enerji verimliliği açısından iyi olacağı düşüncesinden yola çıkarak iklimlendirme sistemindeki karışım havası damperlerinin kontrolünde PID kontrolörün kullanılmasını önermiştir.

Atkinson ve Martino (1989) iklimlendirilmesi yapılan bir fabrikada nem, basınç, sıcaklık ve hava temizliğinin kontrolü için analog devre elemanlarıyla tasarladığı bir PID kontrolör kullanmıştır. Krakow ve diğerleri (1995a, 1995b) da PID kontrolör ile bir kompresör ve soğutucu fanının hızını kontrol ederek bir odanın sıcaklık ve nemini kontrol etmiş ve sonrasında da PID katsayılarının analitik olarak belirlenmesi çalışmasını yapmıştır. Son olarak Kaya (1976) işyeri ve binalar gibi kompleks sistemlerin iklimlendirilmesindeki kontrol problemini çözmek için analitik tekniklerden faydalanan bir model sunmuştur.

Yazarlar tarafından yapılan bir önceki çalışmada 15 °C sıcaklık ve 29,5% neme sahip gemi içindeki bir mahalin istenilen 25 °C sıcaklık ve 45% nem değerlerine ulaşması için HVAC simülasyonu yapılmıştır (Koçal ve diğerleri). Bu çalışmada ise farklı olarak mahaller içinden sürekli nem ve sıcaklık kaybı olduğu göz önüne alınmıştır. Bu kayıp nedeniyle sisteme verilen bozucu etkinin HVAC simülasyonuna etkisi incelenmiştir.

2. Çok bölgeci iklimlendirme sistemleri

Çok bölgeci sistemlerde tüm mahallere tek bir iklimlendirme merkezinden hava gönderilmektedir. Gönderilen bölgelerin ayrı damperleri olup mahallerdeki termostatlar vasıtasıyla kontrollü bir şekilde damperlerin açıklıkları ayarlanarak istenilen hava şartları elde edilmiş olur. Tüm bölgelerin dönüş kanalından çıkan hava birleşerek tek bir kanaldan tekrar iklimlendirme sistemine geri döner. Sistemin çalışma prensibi Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Çok bölgeci iklimlendirme sistemi (Başer, 2006)

3. Matematik model

Matematik modelin oluşturulmasında nem dengesi, enerji dengesi ve hız dengesi denklemlerinden yararlanılmıştır.

3.1. Nem dengesi

Sisteme giren havadaki nem miktarı ile sisteme verilen su buharı miktarının toplamı, sistemden çıkan havadaki nem miktarı ile kontrol hacmindeki nem değişimi miktarının toplamına eşittir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Öznergiz, 1998).

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{V} \left[K_1 T \bar{W} \dot{m} + K_2 f_k T \bar{W} - A_v (\bar{W} - 0,622) \right] \quad (1)$$

$$K_1 = \frac{R_a}{0,622 P} \quad , \quad K_2 = \frac{w_k}{T \bar{W}_k} \quad (2)$$

3.2. Enerji dengesi

Yaptığımız kabuller dahilinde iklimlendirme odası kontrol hacmine giren enerjiyle hacimden çıkan enerji arasındaki fark enerji kazanımını veya kaybını göstermektedir. Enerji değişimi; ısıtıcıdan kontrol hacmine verilen ısı miktarı, kontrol hacmine verilen havanın entalpisi ve nemlendirmek için verilen su buharı entalpisinin toplamından, kontrol hacminden çıkan havanın entalpisi ile oda çeperlerinden kaçan ısı miktarı toplamının çıkarılması ile elde edilir (Öznergiz, 1998).

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{(C_a + C_v w)V} \left[\begin{array}{l} \frac{Q}{\rho'} + \frac{\rho_k (\bar{W}_k + 0,378)}{\rho (\bar{W} + 0,378)} f_k h_k + \frac{m C_s T_s}{\rho'} - \frac{Q_k}{\rho'} Avh \\ -(C_v T + q_v)V (K_1 \dot{m} \bar{T} \bar{W} + K_2 f_k \bar{T} \bar{W} - Av(\bar{W} - 0,622)) \end{array} \right], K_3 = \frac{\bar{W}_k + 0,378}{\bar{T}_k \bar{W}_k} \quad (3)$$

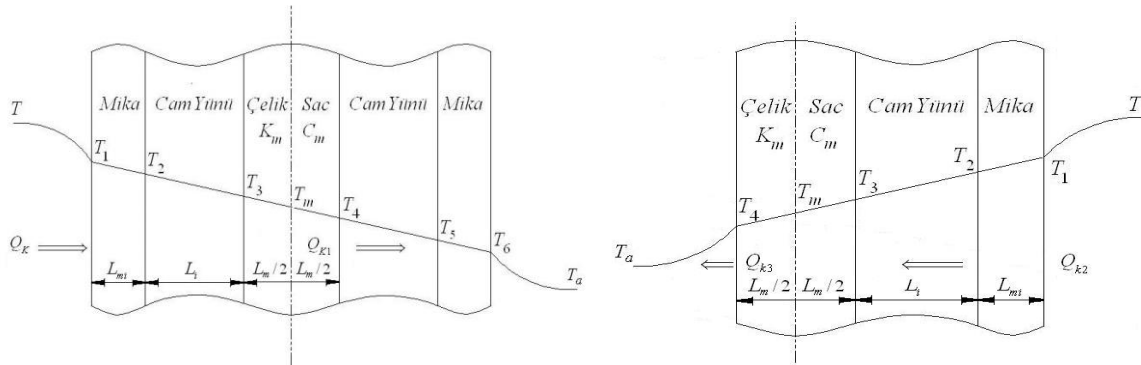
3.3. Hız dengesi

Kontrol hacminin matematik modelinin çıkartılması sırasında “kontrol hacmi içindeki basınç sabit ve atmosfer basıncına eşittir” kabulü göz önünde bulundurulur. Kontrol hacmine giren kuru hava miktarı ile kontrol hacminden çıkan kuru hava miktarı arasındaki fark, kontrol hacminde sıcaklık ve nemin değişkenliği nedeniyle yoğunluğun değişimi sonucunda meydana gelen kütle değişimine eşittir. Bu denklemden hız ifadesi çekilerek kontrol hacmindeki havanın hızı denklem (4)'teki gibidir (Öznergiz, 1998).

$$v = \frac{f_k}{A \bar{T}_k \bar{W}_k} \bar{T} \bar{W} + \frac{V}{A} \frac{1}{(\bar{T} \bar{W})^2} \left(\bar{W} \frac{d\bar{T}}{dt} + \bar{T} \frac{d\bar{W}}{dt} \right) \quad (4)$$

4. Bölgeler arası ısı transferi

Sistemimiz gemi olduğundan mahaller arası duvar iç kesiti; en içte metal plaka, üzerinde izolasyon malzemesi ve en dışta da mika kaplama olarak kabul edilmiştir. Bu özelliklere göre zamana bağlı ısı kaybı denklemi elde edilirken mika ve izolasyon malzemesinin ısı yutma özelliği varsayılmıştır.



Şekil 2. İç ve Dış Duvar kesitleri

Mahalden dış ortama, taşınım ve iletimle ısı geçişi meydana gelmektedir. Bu ısı geçişinin matematiksel ifadesi oluşturulurken dikkat edilmesi gereken husus, kapasitif etkinin yalnız çelik sac malzemede olduğu ve malzemenin tam orta bölgesinde bulunduğudır.

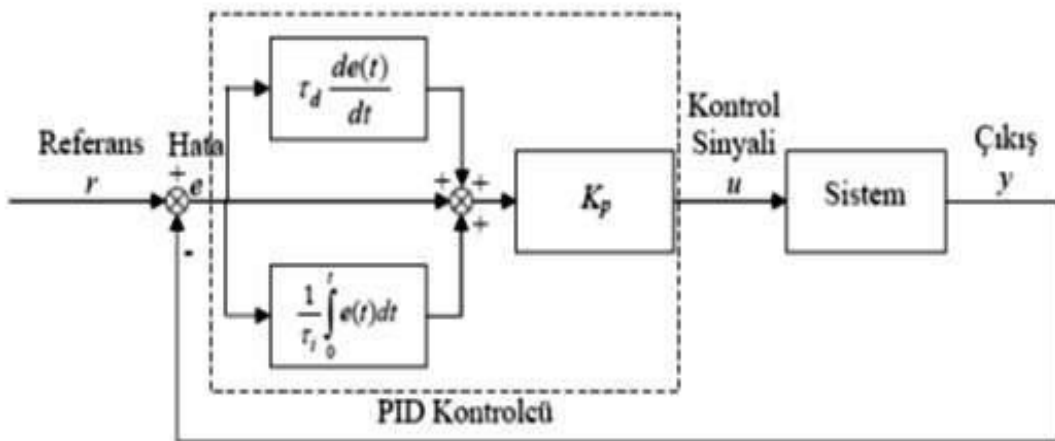
Denklem oluşturulurken kapasitif etkinin olduğu kısmın, ısı transferini iki bölgeye ayırdığı varsayılmıştır. İç duvar yüzeyinden taşınım ile olan ısı transferi, mika malzemenin üzerinden iletimle olan ısı transferi, izolasyon malzemesi üzerinden iletimle olan ısı transferi ve sac malzemenin yarı genişliğinde iletimle olan ısı transferi ilk ısı transferi bloğunu oluşturmaktadır. Mahal içerisinde taşınım ile ısı geçişi denklem (5) ve (6)'daki gibi yazılmaktadır.

$$\frac{d\dot{Q}_k}{dt} = \frac{1}{R_{d1}} \frac{d\bar{T}}{dt} + \frac{T - T_a}{R_{d1} C_m R_{d2}} - \dot{Q}_k \frac{\left(1 + \frac{R_{d1}}{R_{d2}}\right)}{C_m R_{d1}} \quad (5)$$

$$\frac{d\dot{Q}_{k2}}{dt} = \frac{1}{R_{d3}} \frac{d\bar{T}}{dt} + \frac{T - T_a}{R_{d3} C_m R_{d4}} - \dot{Q}_{k2} \frac{\left(1 + \frac{R_{d3}}{R_{d4}}\right)}{C_m R_{d3}} \quad (6)$$

5. Oransal + Türev+Integral (PID) etkili kontrol

PID kontrolcü olarak bilinen yöntem, modern endüstride çok geniş kullanım alanına sahiptir. Doğrusal olduğu kadar doğrusal olmayan tüm sistemler için de uygulanabilme özelliğine sahiptir. Üç temel kontrol etkisinin bütün üstünlükleriyle beraber tek bir kontrolcü altında toplanmasıyla oluşan kontrol etkisidir. İntegral etkide sistemde meydana gelebilecek kalıcı durum hatası yok olurken, türev etkide sistemin cevap hızı ve kararlılığı artmaktaydı. Böylelikle PID kontrol metodu; P, PI ve PD kontrol etkilerinin üçünün de üstünlüklerini birlikte barındıran, sistemde kalıcı durum hatasını sıfır yapan, sistemin hızlı ve kararlı cevap vermesini sağlayan ve yaygın olarak kullanılan kontrol birimidir (Çelikel, 2006).



Şekil 3. PID etkili kontrol sisteminin şematik yapısı (Çelikel, 2006)

PID etkili kontrol sisteminde, kontrol etkisi $u(t)$, denklem (7) ile ifade edilir. Şekil 5.6' da PID etkili kontrol sisteminin şematik yapısı gösterilmektedir.

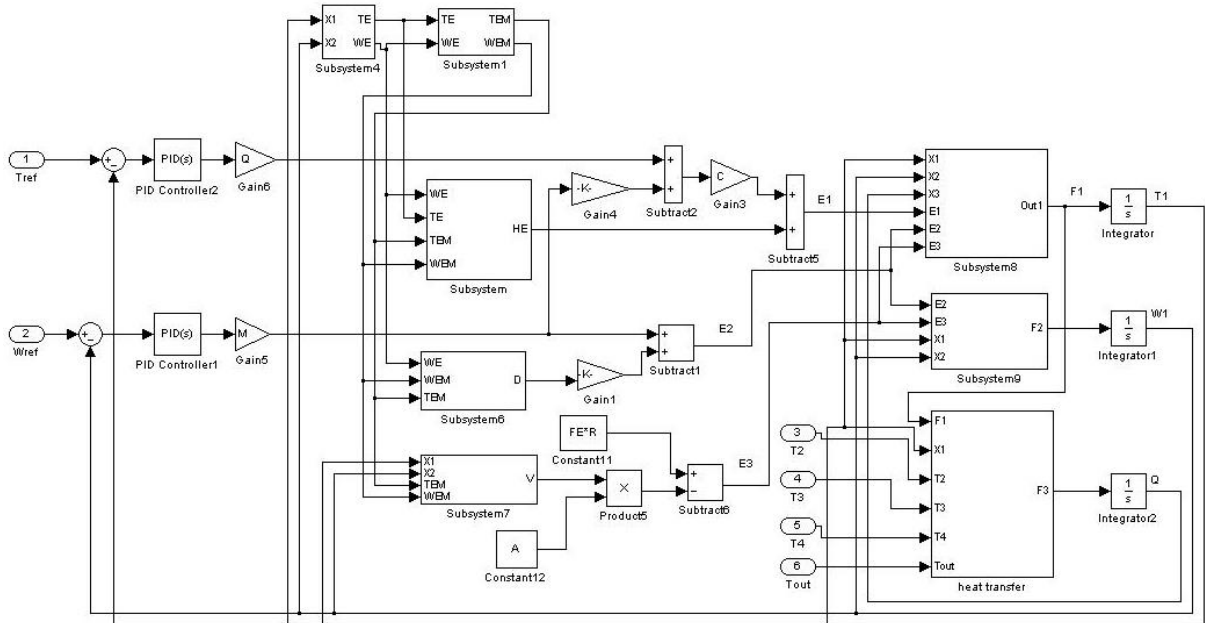
$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(t) dt + \tau_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (7)$$

6. Simulink modelinin oluşturulması

Gemiler farklı mahallerden meydana geldiğinden dolayı tüm mahaller için ayrı ayrı Matlab-Simulink modeli oluşturulup, bu modellerin birbirine entegrasyonu sağlanarak 106,8 m uzunluğunda, 6400 DWT olan bir kuru yük gemisine ait 4 adet kapalı alanının iklimlendirme sisteminin çözümü yapılmıştır. Simülasyonu yapılan mahallerin boyutları Çizelge 1'de verilmiş olup her bir mahalın farklı ısı kazançları veya kayıpları olduğundan hepsi farklı birer sistem olarak düşünülmüştür.

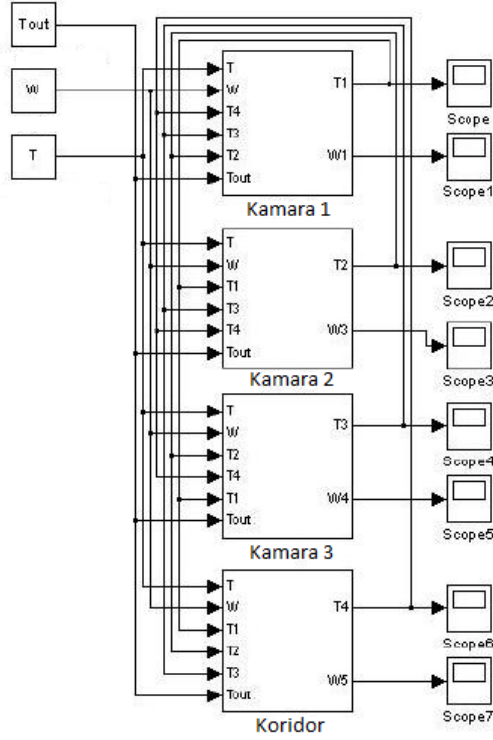
Tablo 1. Simülasyonu yapılan mahallerin boyutları.

Kamara 1	11.2 m ²
Kamara 2	10.8 m ²
Kamara 3	11.2 m ²
Koridor	8.5 m ²



Şekil 4. Kamara 1'in Matlab Simulink modeli

Ancak kullanılan yöntem tüm mahaller için paralel doğrultuda olduğundan bu çalışmada tek mahal için modelin nasıl oluşturulduğunun verilmesi yeterli olacaktır. Bu doğrultuda kamara 1'in Matlab-Simulink modeli Şekil 4'te verilmiştir. Ayrıca bu çalışmada literatürde yaygın şekilde kullanılan ve başarılı sonuçlar veren PID kontrolcü modele eklenmiştir.



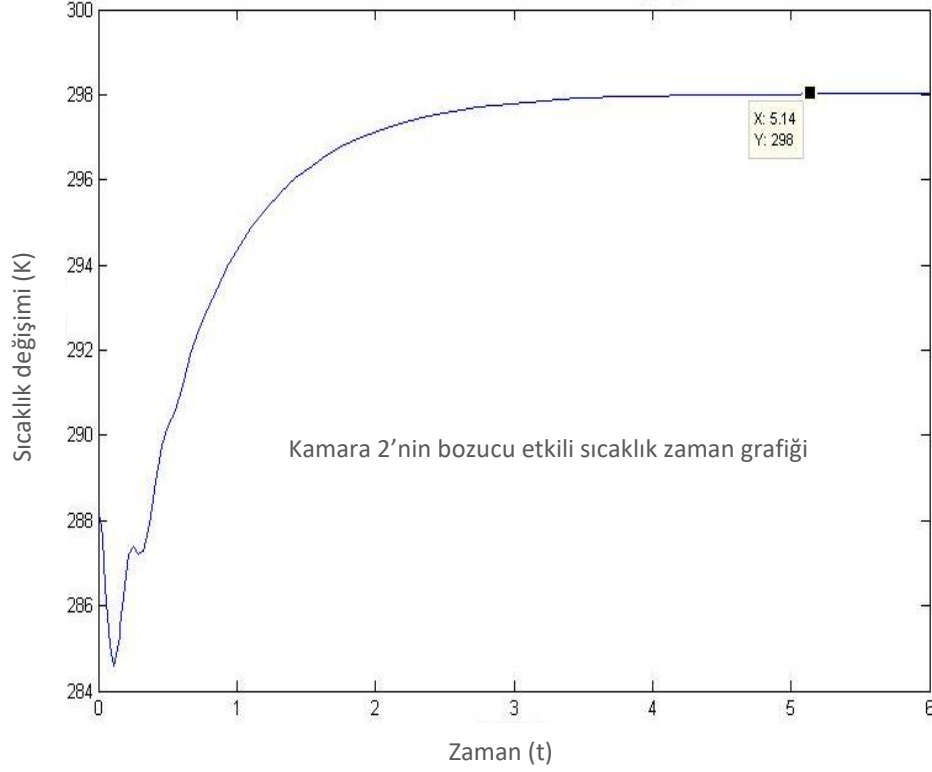
Şekil 5. Birbiriye entegre üç kamara 1 koridorun Matlab Simulink Modeli

7. Simülasyon sonunda elde edilen sonuçlar

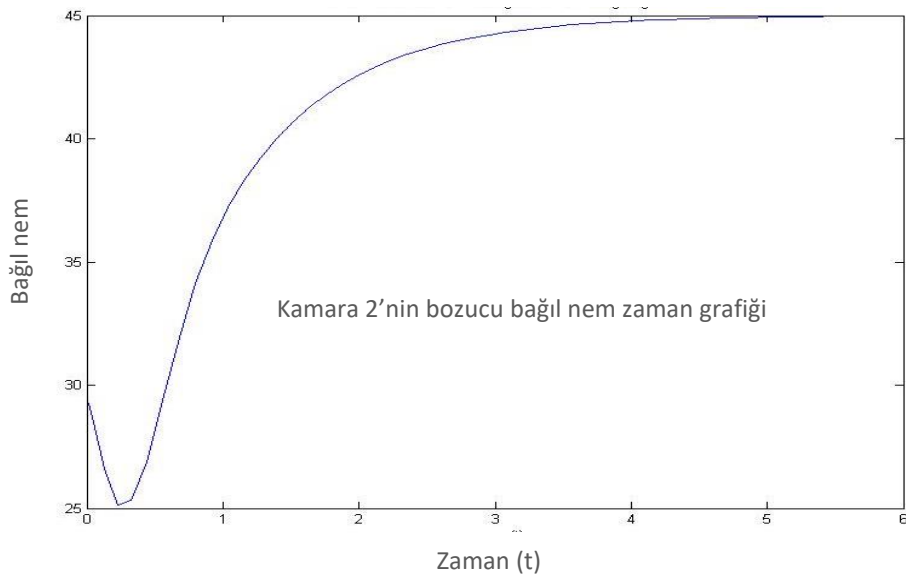
Simülasyon başlatılmadan önce; mahallerin sıcaklık ve nem değerleri, dış ortam sıcaklığı ve nem değerleri ile istenen mahal içi referans nem ve sıcaklık değerleri yapılan simülasyona girilmelidir. Tüm gemi mahallerinin iklimlendirme yapılmadan önceki sıcaklığı ile nem miktarı dış ortam şartlarında; sırasıyla $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ile %29,5 nem olarak simülasyona girilmiştir. Bu bölümde kamara 2'de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve %45 nem parametreleri eldesi için yapılan iklimlendirmede sonuç grafikleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Sisteme bozucu etki olarak mahallerden sürekli belli miktarda nem ve ısı çekilmesi durumunda Kamara 2'nin sıcaklık zaman grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir.

Grafik incelendiğinde çekilen ısı sıcaklık düşmesine neden olmuştur. Fakat iklimlendirme sistemi tarafından verilen ısı arttıkça kontrollü bir şekilde mahalın sıcaklığının artmasının ve istenen referans değere ulaşmasının sağlandığı görülmektedir. Kamara 2'nin bozucu etkili bağıl nem zaman grafiği de Şekil 7'de gösterilmiştir.

Grafiğe bakıldığında çekilen nem ile birlikte ilk olarak mahalin nemi azalmasına karşın, belli bir süreden sonra mahale verilen nem ile birlikte istenen referans nem değerine kontrollü bir şekilde ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 6. Mahalin bozucu etkili sıcaklık zaman grafiği



Şekil 7. Mahalin bozucu etkili bağıl nem zaman grafiği

8. Sonuçlar

Gemiler farklı iklim koşullarında dünyanın her yerinde işletilen araçlardır. Gemi hareketine bağlı olarak değişen ortam şartlarına rağmen gemideki çalışma ve dinlenme alanlarında ısıl konfor şartlarının sağlanması gerekmektedir. U sınır şartlarındaki dış ortam sıcaklığına ve nemine sahip alanlarda hareket etmeleri iklimlendirme sistemlerinin gemilerdeki uygulamalarının önemini arttırmıştır.

Bu çalışmada, bir geminin üç kamarası ve bir koridorunun havalandırma simülasyonu yapılmıştır. Her bir mahalin farklı ısı kazançları veya kayıpları olduğundan hepsi farklı birer sistem olarak düşünölmüştür. Bir takım ısı kazanç ve kayıplarını ihmal ederek sisteme verilen enerjinin, nemin ve dış ortamdan alınan taze hava ile sistemden dönen hava karışımının dengesini içeren matematik model kurulmuş, kontrol odasının tavan, zemin ve yan duvarlarında olan ısı transferlerinin iletim ve taşınım vasıtasıyla olduğu kabulü yapılarak ve çeperlerin kapasitif özellikleri de göz önünde bulundurularak sistemin ısı kayıp denklemleri çıkarılmıştır. Oluşturulan bu denklemler ile Matlab-Simulink programıyla ilk olarak tek bir mahal için sonrasında da tüm mahaller için ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur. Tüm alanların iklimlendirme sisteminin simülasyonu için mahallerin birbirleriyle ve dış ortamla olan ısı trasferleri hesaba katılarak Simulink ortamında oluşturulmuş olan modeller birbirlerine entegre edilmiştir (Koçal, 2012).

Simülasyon modelinde mahal içi nem ve sıcaklık değerlerini istenilen konfor şartlarına getirmek, o şartlarda devamlılığını sağlamak ve enerji verimliliğini arttırmak üzere katsayıları deneme yanılma yöntemiyle elde edilen PID kontrolcü kullanılmıştır (Koçal, 2012). Tüm gemi mahallerinin iklimlendirme yapılmadan önceki sıcaklık ve nem değerleri, dış ortam şartlarında; $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ile % 29,5 nem olarak kabul edilmiş, mahallerden sürekli ısı ve nem kaybı olduğu göz önünde bulundurularak istenen $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve % 45 nem değerlerine simülasyon sonunda ulaşılmıştır. Sıcaklık-zaman ve nem-zaman grafikleri incelendiğinde nem ve sıcaklık parametreleri istenen duruma, fazla aşım yapmadan, kalıcı durum hatasız geldiği görölmüştür.

Kaynaklar

Araki, M. Control Systems, Robotics, and Automation, Volume II.

Atkinson, G. V. and Martino, G. R. (1989). Control of Semiconductor Manufacturing Cleanrooms, ASHRAE, CH-89-1-1, pp. 477-482.

Başer, A. (2006). Comparission of Energy Transportation Ways at Air Conditioning Systems, MSc. Thesis, Mechanical Engineering, Sakarya University.

Cherchas, D. B. (1985). A Direct Digital Control Algorithm for Control of a Single Environmental Space, ASME Trans., Vol. 107, pp. 324-331.

elikel, H. K. (2006). Fuzzy Logic Tuned PID Control of Vehicle Suspension Systems, MSc. Thesis, Mechanical Engineering, Istanbul University.

Dexter, A. L. and Haves, P. A. (1989). Robust Self-Tuning Predictive Controller for HVAC Applications, ASHRAE, VA-89-1-3, pp. 431-438.

House, J. M., Smith, T. F. and Arora, J. S. (1991). Optimal Control of a Thermal System, ASHARE, IN-91-16-1, pp. 991-1001.

Kamimura, K. et. al. (1994). CAT (Computer-Aided Tuning) Software for PID Controllers, ASHRAE Trans., Research, 3754, pp. 180-190.

Kaya, A. (1976). Analytical Methods for Controller Design, ASHRAE Journal

Koçal, T., Muğan, A ve Yurtseven, A. Multi Zones HVAC Systems' Control in Ships with Simulink Application, Journal of Maritime Transport and Engineering, Vol:2 1, pp. 13-20.

Koçal, T. (2012). Multi Zones HVAC Systems' Control in Ships, MSc. Thesis, Mechatronic Engineering, Istanbul Technical University.

Krakow, K. L., Lin, S. ve Zeng, Z. S. (1995a). Temperature and Humidity Control During Cooling and Dehumidifying by Compressor and Evaporator Fan Speed Variation, ASHRAE Trans: Research, 3859, pp. 292-303.

Krakow, K. L., Lin, S. ve Zeng, Z. S. (1995b). Analytical Determination of PID Coefficients for Temperature and Humidity Control During Cooling and Dehumidifying by Compressor and Evaporator Fan Speed Variation, ASHRAE Trans: Research, 3863, pp. 343-354.

Öznergiz, E. (1998). The Optimal Control of a HVAC System by Microcomputer, MSc. Thesis, Mechanical Engineering, Istanbul Technical University.

William, T. P. (1992). Integrating Building Automation and Control, ASHRAE Journal, 54-58.

Zhang, Y., Baber, E. M. and Wood, H. C. (1993). Analysis of Stability of Livestock Building Heating Ventilation Control System, ASHRAE Trans., 3715, pp. 237-244.

Analysis of Occupational Accidents and Risk Factors Occurred on Turkish Flagged Ships

Fatih Yılmaz¹, Mustafa Necmi İlhan²

yilmazf58@gmail.com¹, mnilhan@gazi.edu.tr²

¹ Ministry of Transport, Maritime and Communications

²Gazi University, Faculty of Medicine, Department of Public Health, Division of Work and Occupational Diseases

Abstract

In this study, it is aimed to investigate the occupational accidents and risk factors on the Turkish flagged ships. For this purpose, the data on 234 cases of occupational accident occurred on the Turkish flagged ships between 06.10.2011 and 04.02.2014 registered in the database of Turkish Social Security Institution (SGK) were obtained, classified and analyzed with SPSS 21 software. As a result of the analysis, it was found that at least 44% of the 234 occupational accidents were occurred in the deck or cargo spaces of the ships, top two activities mostly done by victims at the time of accidents were 'walking / climbing or going down stairs / entering and leaving the doors' and 'maintenance & repair of machinery parts in engine room', top two events that mostly caused injury of victims were 'slip - stumble - fall at the same level or from high' and 'loss of control (full or partial); compression, crushing, cutting or needle of a body or a limb by one or more objects', most of the victims were Deck and Engine Ratings, 30-49 years old, married and educated at the level of high school and lower, and 67.1% of 234 occupational accident cases was resulted in "incapacity for work", 61.1% were resulted in "workday loss" and 2,6% was resulted in death of victims.

Keywords: Ship, Transport, Maritime, Maritime management, Accident, Risk, Occupational safety, OHS.

Türk Bayraklı Gemilerde Meydana Gelen İş Kazaları ve Risk Etmenlerinin Analizi

Fatih Yılmaz¹, Mustafa Necmi İlhan²

yilmazf58@gmail.com¹, mnilhan@gazi.edu.tr²

¹Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı

²Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı İş ve Meslek Hastalıkları Bilim Dalı

Özet

Bu çalışmada; Türk bayraklı gemilerde meydana gelen iş kazaları ve risk etmenlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK)'nun iş kazası veri tabanında "Nace50: su yolu taşımacılığı" başlığı altında kayıtlı bulunan ve 06.10.2011-04.02.2014 tarihleri arasında Türk bayraklı gemilerde meydana gelmiş 234 adet iş kazası vakasına ait veriler elde edilmiş, sınıflandırılmış ve SPSS 21 yazılımı ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda; 234 iş kazası vakasının en az %44'ünün gemilerin güvertesinde veya yük mahallerinde meydana geldiği, kaza anında kazazedeler tarafından en fazla yapılan iki faaliyetin 'yürüme/merdiven çıkma-inme/kapılardan giriş-çıkış' ve 'makine dairesinde makine parçaların bakım ve onarımı' olduğu, yaralanmaya en fazla sebep olan iki olayın ise 'aynı düzeyde veya alt düzeye (yüksekten) kayma-tökezleme-düşme' ve 'denetim kaybı (tam veya kısmi), vücudu veya bir uzvu bir veya birden fazla cismin sıkıştırması, ezmesi, batması, kesmesi' olduğu, kazazedelerin çoğunlukla 30-49 yaş arası, evli, lise ve daha düşük eğitim düzeyine sahip Güverte ve Makine Tayfaları olduğu ve 234 iş kazası vakasının %67,1'inin 'iş göremezlik', %61,1'inin 'iş günü kaybı' ve %2.6'sının ise kazazedenin ölümü ile sonuçlandığı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gemi, Taşımacılık, Denizcilik, Deniz işletmeciliği, Kaza, Risk, İş güvenliği, İSG.

1. Giriş

2014 yılı itibariyle dünya deniz ticaret hacminin 9,84 milyar ton olduğu, dünyadaki mal ticaretinin 4/5'inin deniz yolu ile yapıldığı ve dünya deniz ticaret filosunun 85 094 adet gemiden oluştuğu tahmin edilmektedir (UNCTAD, 2015 & Equasis, 2014). BIMCO/ISF'e göre, dünya gemi filusunda 1,5 milyondan fazla insan gemiadamı olarak çalışmaktadır (BIMCO/ISF, 2010). Uluslararası Türk deniz ticaret filosu ise 1 888 adet gemiden oluşmakta olup, Türkiye'de toplamda 179 828 gemiadamı kayıtlı olduğu ve zabitanların %65,7'sinin (31 135), tayfaların %85,2'sinin (112 883) aktif olarak çalıştığı belirtilmektedir (UDHB, 2012 & 2015).

Türk deniz ticaret filosu dünya deniz ticaret filosunun bir parçası olduğu gibi, Türk gemi çalışanları da dünya gemi adamı arzının bir parçasını oluşturmaktadır. Dolayısıyla, Türk bayraklı gemilerde görev yapan Türk gemi çalışanlarının maruz kaldıkları iş kazası risklerine yönelik araştırmaların, aynı zamanda dünya deniz ticaret filodaki gemilerde görev yapan dünya gemi çalışanlarının iş emniyetine ve refahına katkı sağlaması da kaçınılmazdır. Diğer taraftan, ülkelerin gemilerinde meydana gelen iş kazalarının incelendiği çok az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu bakımdan, bu çalışmanın Türkiye ve dünyadaki denizcilik ve iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili literatüre orijinal katkılar sağlaması umulmaktadır.

2. Denizcilik Sektöründe İş Kazaları İle İlgili Literatür Araştırması

Literatürde, gemi çalışanlarının gemilerde iç içe oldukları tehlikeli işler ve gemi operasyonları ile ilgili çok sayıda ILO ve IMO kaynağına rastlanmaktadır (ILO, 1981a & IMO, 2010). Bazılarından bahsetmek gerekirse, ILO'nun (1981b) tarih ve 164 sayılı Mesleki Emniyet ve Sağlık Tavsiye Kararı'nda, tehlikelerin kaynağında bertaraf edilmesi prensibine de riayet edilmek suretiyle, farklı iş tipleri ve sektörlerinde genel olarak dikkate edilmesi ve tedbir alınması gereken başlıca tehlike kaynakları ve durumlar belirtilmiştir. ILO'nun 1996 yılında yayımladığı Limanda ve Denizde Gemide Kaza Önleme Uygulama Kodu'nda, gemilerde yürütülen işler, tehlikeler ve dikkat edilmesi gereken hususlar açıklanmıştır (ILO, 1996). ILO'nun 2005 yılında yayımladığı Limanlarda Sağlık ve Güvenlik ILO Uygulama Kodu'nda ise, gemilerde yürütülen işleri de kapsayacak şekilde limanlarda yürütülen işler, tehlikeler ve dikkat edilmesi gereken hususlar açıklanmıştır (ILO, 2005). 1970 tarihli ve 134 sayılı ILO Sözleşmesinde ve ILO-MLC 2006 Sözleşmesinde (Başlık 4.3.1), gemi işletmecilerinden İSG yönetimi ile gemilerdeki iş kazası risklerinin önlenmesi istenmiş ve gemilerdeki bazı tehlike kaynakları genel olarak vurgulanmıştır (ILO, 2006). Uluslararası Deniz Ticaret Odası (ICS) tarafından yayımlanan Petrol Tankerleri ve Terminaller için Uluslararası Emniyet Kılavuzu (ISGOTT) ve IMO FSA MSC/Circ.1023 rumuzlu belgede gemilerdeki faaliyetler için tehlikeler detaylıca açıklanmıştır (IMO, 2007). IMO-STCW 78/95 (STCW Code A-VI/1-4) çerçevesinde gemiadamlarına yönelik Kişisel Emniyet ve Sosyal Sorumluluk Model Course-1.21 kurs programı kapsamında gemideki tehlikelere işaret edilmiştir (IMO, 2000). IMO MSC.273(85) kararı ile revize edilen Uluslararası Emniyetli Yönetim Kodu (ISM Kod) kapsamında 1 Temmuz 2010 tarihinden itibaren gemi işletmecilerine, işletilen gemilerde riskleri değerlendirme ve tedbir alma zorunluluğu getirilmiştir (IMO, 2010).

Literatürde ILO ve IMO kaynaklarının yanı sıra, çeşitli ülkelerin bayrağını taşıyan gemilerde meydana gelen iş kazalarıyla ilgili yapılmış çok fazla sayıda olmayan araştırmalar da mevcuttur. Örneğin; 1993 – 1997 yılları arasında Danimarka bayraklı ticaret gemilerde meydana gelen iş kazalarını inceleyen Hansen ve arkadaşlarına göre; Danimarka bayraklı gemilerdeki ölümlü iş kazalarının oranının karadakin nazaran 10 kat daha fazla olduğu ve iş kazalarına çoğunlukla güverte tayfalarının güvertede çalışırken maruz kaldığı belirtilmiştir (Hansen ve diğerleri, 2002). 1986 – 1995 yılları arasında Hong-Kong bayraklı ticaret gemilerinde meydana gelen kazalar sonucu yaşanan ölüm vakalarını inceleyen Nielsen'e göre; 123 ölüm vakasının %56,1'i deniz kazası, %17,1'i hastalık, %10,6'sı bireysel meslek kazası, %7,3'ü denizde kaybolma, %3,3'ü cinayet, %3,3'ü intihar sonucu gerçekleştiği ve en fazla güverte tayfalarının öldüğü belirlenmiştir (Nielsen, 1999). U.K. P&I Club tarafından 1987 ile 1997 yılları arasındaki 10 yıllık dönemde meydana gelen deniz kazalarına ilişkin yapılan sigorta sorveylerine atıf yapan Soares ve Teixeira'ya göre; deniz kazalarının yaklaşık %80'inin insan hatasından kaynaklandığının tahmin edildiği ve gemi kazalarının %26'sının güverte zabitanların hatalarından, %17'sinin tayfaların hatalarından, %9'unun mekanik arızalardan, %9'unun yapısal arızalardan, %5'inin pilotların hatalarından, %2'sinin makine zabitanlarının hatalarından kaynaklandığı belirtilmiştir (Soares ve Teixeira, 2001). UK P&I Club tarafından yayımlanan "Leadership in Action: Review of the Year 2015" başlıklı rapora göre; UK P&I Club'ın 2007-2014 yılları arasında yıllık net bildirilen tazminatların maliyetinin 150-200 milyon dolar (sayı olarak yılda 4-5 bin) civarında olduğu ve bunun yaklaşık ortalama %25'lik kısmının personel yaralanmalarından (personal injury) kaynaklandığı, tazminat başına maliyetin ise 14 -15 bin dolar olduğu belirtilmektedir (UK P&I Club, 2015).

Türkiye'de hazırlanan yüksek lisans ve doktora tezleri, en azından özetleri, Yüksek Öğretim Kurulu (YÖK) Başkanlığı Ulusal Tez Merkezi'nin resmi web sitesinde yayımlanmaktadır. Bu bağlamda, Türk gemiadamlarının iş emniyeti ile kısmen ilgili değerlendirilebilecek "Gemi adamlarının çalışma yaşamı ve çalışma ilişkileri" (Ağartan, 2006), "Gemiadamlarının stres düzeyleri ve iş doyumları arasındaki ilişki"

(Ceyhun, 2006), “Gemide çalışma koşullarının gemi adamları üzerindeki olumsuz etkileri” (Kurt, 2010), “Gemiadamlarında yorgunluğa neden olan etkenleri” (Bal, 2011), “Vardiya zabitelerinin yorgunluk ve uykusuzluk halleri” (Yüksekyıldız, 2012), “Gemiadamlarının bilişsel (cognitive) performansının stresör faktörler altında modellenmesi ve operasyonel süreçlere etkisi” (Taç, 2012), “Gemiadamlarının tükenmişlik durumu” (Aydın, 2015) gibi yüksek lisans çalışmaları, ayrıca “Gemilerde insan güvenilirliği analizi üzerine bir karar verme model önerisi” (Akyüz, 2015) ve odağında gemi kazalarının bulunduğu “Gemi kazası kompleks probleminin incelenmesi için kök sebep analizi yaklaşımı önerisi” (Keçeci, 2015) gibi doktora çalışmaları mevcuttur.

Türkiye’de en fazla iş kazası vakalarının yaşandığı inşaat sektörlerindeki duruma bakıldığında ise, Türkiye’de inşaat sektöründeki iş kazaları inceleyen Ceylan (2014) tarafından yapılan bir çalışmaya göre; 2004 – 2010 yılları arasındaki dönemde Türkiye genelinde meydana gelen ortalama iş kazası sayısı 73 bin 992, ortalama ölüm sayısı 1152,14 olarak, inşaat sektöründe meydana gelen ortalama iş kazası 6 bin 641 ve ortalama ölüm sayısı ise 319,57 olarak tespit edilmiştir. Buna göre; belirtilen dönem için Türkiye genelindeki iş kazası sonucu ölüm oranı %1,56 iken, inşaat sektöründeki iş kazası sonucu ölüm oranı %4,81 olarak karşımıza çıkmaktadır.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Materyal

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) nezdinde Türkiye genelinde iş kazası vakalarına ilişkin kayıtlarını tutmakla sorumlu kurum Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı - Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK)’dur. İşverenler tarafından beyan edilen iş kazası vakalarına ilişkin kayıtlar, 2011 yılından itibaren elektronik veri tabanında tutulabilmektedir. Bu çalışmada; Türk bayraklı gemilerde meydana gelen iş kazaları ve risk etmenlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünün yazılı talebine (2013) istinaden, SGK’nın iş kazası veri tabanında “Nace50: su yolu taşımacılığı” başlığı altında kayıtlı bulunan ve 06.10.2011 - 04.02.2014 tarihleri arasında Türk bayraklı gemilerde meydana gelmiş 234 adet iş kazası vakasına ait veriler temin edilmiş (SGK, 2014), sınıflandırılmış ve SPSS 21 programı ile analiz edilmiştir. Kazazedelerin gemi adamı yeterlilikleri ise Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı’nın ilgili birimlerinden doğrulanmıştır.

3.2. Yöntem

Çalışmada nominal (isimsel) ölçek kullanılmış olup, SGK veri setindeki değişken sayısının fazla olması nedeniyle veri işlemeyi kolaylaştırmak için değişkenler alt gruplara ayrılmış ve numaralama biçiminde kodlama yapılarak sınıflama (adlandırma) ölçeği kullanılmıştır. Söz konusu nominal ya da kategorik değişkenlerin ikisi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olup olmadığını test etmek için ise SPSS 21 (Statistical Package For The Social Sciences) paket programı kullanılarak sürekli bir dağılım olan gözlenen frekanslar ile beklenen frekanslar arasındaki farkın istatistiki olarak anlamlı olup olmadığını ölçen ve frekans dağılımları üzerinden işlem yapan bir analiz yöntemi olan Ki-Kare (χ^2) İkili İlişki Testi kullanılmıştır. Ki-Kare (χ^2) İkili İlişki Testi kullanılmasının amacı; çalışmada kullanılan değişkenlerin nominal ölçme düzeyinde olması nedeniyle söz konusu değişkenler arasındaki ilişki olup olmadığını belirlemektir. Kazazedelere ve kazalara ilişkin tanımlayıcı frekanslar ve Ki-Kare (χ^2) test sonuçları müteakip bölümlerde sunulmuş olup, değişkenler arasında yapılan Ki-Kare (χ^2) İkili İlişki Testlerinde $P < 0.05$ ise istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu değerlendirilmiştir.

Kazazedeler ve iş kazaları ile ilgili tanımlayıcı frekanslar, yüzdeler (%) ve Ki-Kare (χ^2) test sonuçları aşağıda sunulmuştur.

4. Bulgular

4.1. Kazazedelere ilişkin tanımlayıcı bulgular

Bu kısımda, kazazedelerin yaşı, medeni durumu, eğitim seviyesi, profesyonel gemiadamı yeterliği, mesleki ve İSG eğitim durumu değişkenlerinin rekans ve yüzdelerini (%) içeren kazazedelere ilişkin bazı tanımlayıcı bulgular sunulmaktadır.

4.1.1. Kazazedelerin yaş dağılımı

İş kazası vakalarının %38,5'inde (90 vaka) kazazedelerin 30-39 yaş arası, %26,9'unda (63 vaka) 40-49 yaş arası, %19,7'sinde (46 vaka) 20-29 yaş arası, %11,1'inde (26 vaka) 50-59 yaş arası, %2,6'sında (6 vaka) 60 ve daha büyük yaşlarda, %1,3'ünde (3 vaka) ise 19 ve daha küçük yaşlarda olduğu gözlemlenmiştir.

4.1.2. Kazazedelerin medeni durum dağılımı

İş kazası vakalarının %58,1'inde (136 vaka) kazazedelerin 'Evlî', %37,2'sinde (87 vaka) 'Bekâr' ve %4,3'ünde (10 vaka) ise 'Boşanmış' oldukları gözlemlenmiştir.

4.1.3. Kazazedelerin öğrenim durumu dağılımı

İş kazası vakalarının %38,5'inde (90 vaka) kazazedelerin 'Lise / Meslek Lisesi Mezunu', %24,4'ünde (57 vaka) 'İlkokul / İlköğretim Mezunu', %15,4'ünde (36 vaka) 'Üniversite Mezunu' ve %12,8'inde ise (30 vaka) 'Ortaokul Mezunu', %3,8'inde (9 vaka) 'Yüksekokul', %3,8'inde (9 vaka) 'Okur-yazar' düzeyde ve %1,3'ünde (3 vaka) ise "Okur-yazar olmadığı" gözlemlenmiştir.

4.1.4. Kazazedelerin mesleki yeterlilik dağılımı

Tablo 1'den de görüldüğü gibi, iş kazası vakalarının %36,8'inde (86 vaka) kazazedelerin 'Güverte Tayfaları', %20,1'inde (47 vaka) 'Makine Tayfaları', %19,7'inde (46 vaka) Başmühendis/Başmakiniist ve Makine Zabıtları ve %16,2'sinde (38 vaka) Kaptan ve Güverte Zabıtları olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Kazazedelerin gemiadamı yeterlilikleri

	Frekans	Yüzdesi (%)
Tayfalar GV	86	36,8
Tayfalar MK	47	20,1
Başmühendis/Başmakiniist ve Makine Zabıtları	46	19,7
Kaptan ve Güverte Zabıtları	38	16,2
Yardımcı Hizmetliler (Cabin Department)	8	3,4
Stajyerler	5	2,1
Elektrik ve Elektronik Zabıtları	3	1,3
Yat kaptanı/personeli	1	0,4
Toplam	234	100,0

4.1.5. Kazazedelerin mesleki ve İSG eğitimi durumlarına ilişkin dağılım

Kazazedelere yönelik 'mesleki eğitim almış mı?' sorusuna %88,9 oranında (208 vaka) 'Evet', 'İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi Almış mı?' sorusuna ise %83,8 oranında (196 vaka) 'Evet' cevabı verildiği gözlemlenmiştir.

4.2. Kazaya ilişkin tanımlayıcı bulgular

Bu kısımda, iş kazasının zamanı ve yeri, kaza sırasında yapılan faaliyetler, yaralanmaya neden olan olaylar, kaza sonucu meydana gelen yaralanmanın vücuttaki yeri, kazadan dolayı işgünü kaybı ve kazanın sonucu değişkenlerinin frekans ve yüzdelerini (%) içeren iş kazası vakalarına ilişkin bazı tanımlayıcı bulgular sunulmaktadır.

4.2.1. Kazanın zamanlaması ve saatine ilişkin dağılım

234 iş kazası vakasında kazazedelerin son işe giriş tarihi ile kaza geçirdikleri tarih arasında geçen süreye bakıldığında, kazazedelerin en fazla %49,1 oranıyla (115 vaka) '3 aydan az' ve akabinde %19,2 oranıyla (45 vaka) '3 - 6 ay arası' sürede kaza geçirdikleri gözlemlenmiştir. 234 iş kazası vakasının en fazlası %32,5'i (76 vaka) "08:01-12:00" saatleri arasında, daha sonra sırasıyla %22,2'si (52 vaka) "16:01-20:00" saatleri arasında, %20,9'u (49 vaka) "12:01-16:00" saatleri arasında, %10,3'ü (24 vaka) "20:01-23:59" saatleri arasında, %7,3'ü (17 vaka) "04:01-08:00" saatleri arasında, en az iş kazası vakasının ise %6,8 oranıyla (16 vaka) "00:00-04:00" saatleri arasında meydana geldiği gözlemlenmiştir.

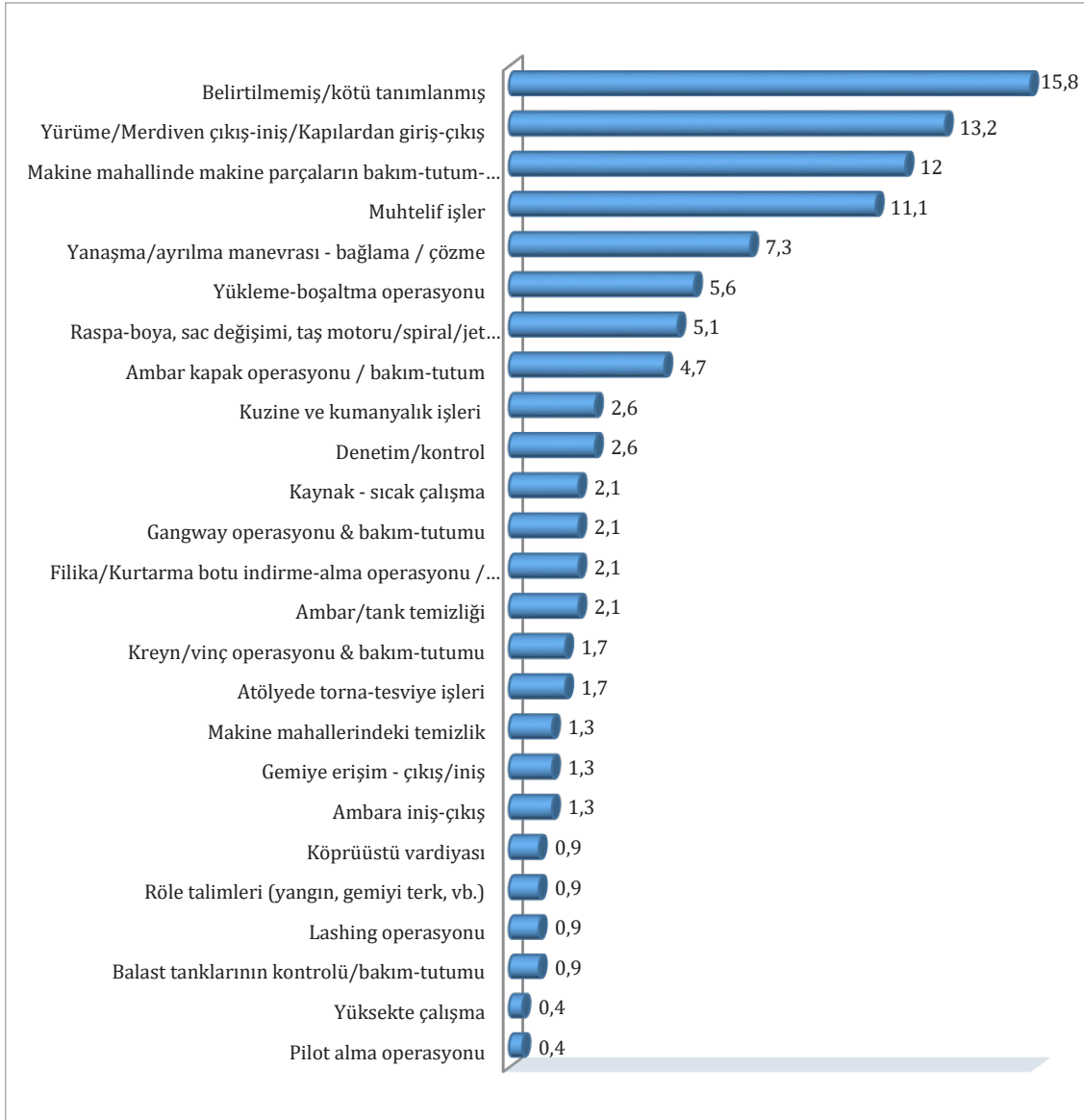
4.2.2. Kazanın meydana geldiği gemi mahalline ilişkin dağılım

234 iş kazası vakasında kazanın meydana geldiği gemi mahalli (SGK kayıtlarındaki açıklamalara göre) belirlenmiştir. Buna göre; 234 iş kazası vakasının en fazla %44 oranıyla (103 vaka) "Gemi güvertesi veya yük mahalli" ve sonra sırasıyla %23,9 oranıyla (56 vaka) 'Gemide ama yeri belirtilmemiş/kötü tanımlanmış', %22,7 oranıyla (53 vaka) 'Makine mahalli' ve %9,4 oranıyla (22 vaka) 'Yaşam mahalli/köprü üstü' kısımlarında meydana geldiği gözlemlenmiştir.

4.2.3. Kaza sırasında yapılan faaliyetler ve yaralanmaya neden olan olaylara ilişkin dağılım

Şekil 1'den de görüldüğü gibi, 234 iş kazası vakasında kaza sırasında yapılan işler/gemi operasyonu (SGK kayıtlarındaki açıklamalara göre) belirlenmiştir. Buna göre; en yüksek oranla % 15,8 (37 vaka) 'Belirtilmemiş/kötü tanımlanmış' ve yine yakın bir oranla %13,2 (31 vaka) 'Yürürken/Merdiven çıkarken-inerken / Kapılardan girip-çıkarken' ve daha sonra sırasıyla %12 (28 vaka) 'Makine dairesinde makine parçaların bakım-tutum-onarımını yaparken', %11,1 (26 vaka) 'Muhtelif işler', %7,3 (17 vaka) 'Yanaşma / ayrılma manevrası - bağlama / çözme', %5,6 (13 vaka) 'Yükleme-boşaltma operasyonu', %5,1 (12 vaka) 'Raspa-boya veya sac değişimi yaparken, taş motoru/spiral/jet motoru / elektrikli testere vb. aletler ile çalışırken', %4,7 (11 vaka) 'Ambar kapak operasyonu / bakım-tutum', vs. sırasında olduğu gözlemlenmiştir.

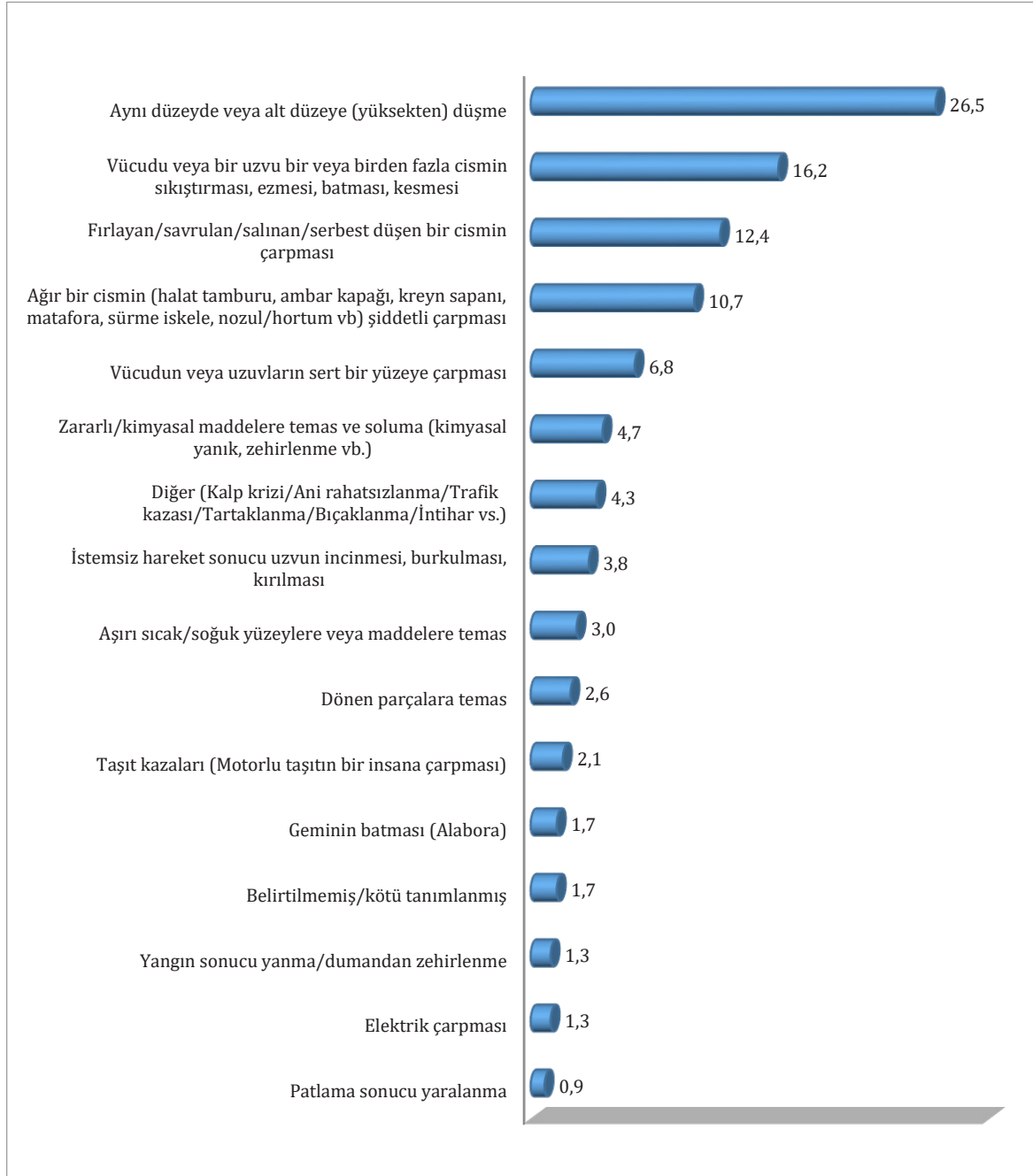
Şekil 2'den de görüldüğü gibi, söz konusu dönemde meydana gelen 234 iş kazası vakasında yaralanmaya neden olan olaya bakıldığında (SGK kayıtlarındaki açıklamalara göre) en yüksek oranla % 26,5 (62 vaka) 'Aynı düzeyde veya alt düzeye (yüksekten) düşme' ve daha sonra sırasıyla %16,2 (38 vaka) 'Vücudu veya bir uzvu bir veya birden fazla cismin sıkıştırması, ezmesi, batması, kesmesi', %16,2 (38 vaka) 'Vücudu veya bir uzvu bir veya birden fazla cismin sıkıştırması, ezmesi, batması, kesmesi', %12,4 (29 vaka) 'Fırlayan/savrulan/salınan/serbest düşen bir cismin çarpması' ve %10,7 (25 vaka) 'ağır bir cismin (halat tamburu, ambar kapağı, kreyn sapanı, matafora, sürme iskele, nozul/hortum vb) şiddetli çarpması', %6,8 (16 vaka) 'Vücudun veya uzuvların sert bir yüzeye çarpması', vs. olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 1. Kaza sırasında yapılan işlerin/gemi operasyonlarının oransal dağılımı (%)

4.2.4. Kaza sonucu meydana gelen yaranın vücuttaki yerine ilişkin dağılım

234 iş kazası vakasında yaranın vücuttaki yerine bakıldığında en yüksek oranla %18,4 (43 vaka) 'Parmak(lar)' ve daha sonra sırasıyla %14,5 (34 vaka) 'Vücudun yaralanmış diğer bölgelerinden yukarıda belirtilmemiş alanlar', %9,8 (23 vaka) 'eller', %7,3 (17 vaka) 'ayaklar', %6 (14 vaka) 'Diz dahil bacak', %5,1 (12 vaka) 'Ayak bileği', vs. olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak bakıldığında ise iş kazası vakalarında kazazedenin vücudunda oluşan yaraların %28,2'sinin el ve el parmaklarında, %15'inin ayak bileği, diz, bacak, kalça ve kalça eklemleri bölgesinde, %11'9'unun boyun ve yüz dâhil kafa bölgesinde, %8,5'inin el bileği, kol dirseği, kol ve omuz bölgesinde, %8,2'sinin ayak ve ayak parmaklarında, %6,8'inin ise göğüs kafesi (kaburga), kaburgalar, gövde, organlarıyla birlikte karınla ilgili ve sırtın alt bölümü, organlarıyla birlikte göğüs bölgesi ve sırttaki omurluk ve omur dahil sırt bölgesinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, yaranın vücuttaki yeri belirtilmemiş, tüm bedene (bütün vücuda) tesir eden etkiler ile vücudun yaralanmış diğer bölgelerinden yukarıda belirtilmemiş alanlar ve beden etkilenmiş çeşitli bölgelerine ilişkin şekilde görülmeyen %21,4'lük ilave bir oran daha söz konusudur.



Şekil 2. Yaralanmaya neden olan olayların oransal dağılımı (%).

4.2.5. Kazadan dolayı meydana gelen iş günü kaybına ilişkin dağılım

234 iş kazası vakasının %38,9'unda (91 vaka) kazadan dolayı iş günü kaybı olmadığı, %61,1'inde (143 vaka) ise işgünü kaybı olduğu; söz konusu işgünü kaybının en fazla %29,9 oranla (70 vaka) '1 - 9 Gün Arası' ve daha sonra %23,5 (55 vaka) '10 - 29 Gün Arası' ve %7,7 (18 vaka) '30 Gün ve üstü' olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.6. Kazaların sonuçlarına ilişkin dağılım

234 iş kazası vakasında kaza sonucuna bakıldığında en yüksek oranda %52,6'sının (123 vaka) "Yaralanma", %11,5'inin (27 vaka) "Diğer" sonuç ve %3'ünün (7 vaka) "Uzuv Kaybı" ile sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Bunlar iş göremezlikle sonuçlanan iş kazaları olup "İş Göremezlik Yok" olarak belirtilen

yani iş göremezlik ile sonuçlanmayan kazaların oranının ise %30,3 (71 vaka) olduğu görülmektedir. Söz konusu 234 iş kazası vakasının %2,6'sının (6 vaka) "Derhal ölüm" ile sonuçlanmıştır. Ayrıca, incelenen 234 iş kazası vakasının %65-75'lik bir kısmında "iş göremezlik" ve/veya "derhal ölüm" durumu olduğu; kazazedelerin %50-55 civarındaki bir kesiminde "yaralanma", %3 civarındaki bir kesiminde "uzuv kaybı", %10-12 civarındaki bir kesiminde ise diğer şekillerde iş göremezlik durumu olduğu ve iş kazaları sonucu ortalama 7-8 günlük (1 haftalık) işgünü kaybı olduğu gözlemlenmiştir.

4.3. Ki-Kare (χ^2) ilişki testi sonuçları

Bu kısımda, istatistiksel olarak anlamlı bazı Ki-Kare (χ^2) test sonuçları ve çapraz tablolar sunulmaktadır.

Tablo 2. "Kazadan dolayı işgünü kaybı" ile "iş sağlığı ve güvenliği eğitim durumu" değişkeni arasındaki ikili ilişki tablosu

		İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi Almış mı?		Toplam	
		Hayır	Evet		
Kazadan Dolayı İşgünü Kaybı	0 (İşgünü kaybı yok)	Frekans	9	82	91
		Sütun Yüzdesi	23,7%	41,8%	38,9%
	1 - 9 gün arası	Frekans	9	61	70
		Sütun Yüzdesi	23,7%	31,1%	29,9%
	10 - 29 gün arası	Frekans	13	42	55
		Sütun Yüzdesi	34,2%	21,4%	23,5%
	30 gün ve üstü	Frekans	7	11	18
		Sütun Yüzdesi	18,4%	5,6%	7,7%
	Toplam	Frekans	38	196	234
		Sütun Yüzdesi	100,0%	100,0%	100,0%

$$\chi^2 = 12,287 ; P = 0,006$$

Tablo 2 için Ki-kare (χ^2) = 12,287 ve Anlamlılık Düzeyi (P) = 0,006'dır. Çizelge değerleri incelendiğinde; İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi almış olan kazazedelerin kazadan dolayı işgünü kaybı çoğunlukla '1-29 gün arası' (%52,5) iken, İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi almamış olan kazazedelerin daha yüksek bir oranla (%57,9) '1- 29 gün arası' olduğu gözlemlenmiştir. "İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi Almış mı?" sorusuna "Hayır" cevabı verilen iş kazası vakalarında, kazazedelerin gemiadamı yeterlik derecelerine ilişkin frekans ve yüzdeler aşağıda Çizelge 3'te ayrıca verilmiştir.

Tablo 3. "İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi" almadığı kaydedilen kazazedelerin gemiadamı yeterlik dereceleri

	Frekans	Yüzdesi (%)
Kaptan ve Güverte Zabıtları	4	10,5
Başmühendis/Başmakinist ve Makine Zabıtları	11	29,0
Tayfalar GV	15	39,5
Tayfalar MK	7	18,4
Yardımcı Hizmetliler (aşçı)	1	2,6
Toplam	38	100

Tablo 3'ten de görüldüğü gibi, İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi almadığı/yetersiz olduğu kaydedilen kazazedelerin başında %39,5 (15 vaka) ile güverte tayfaları gelmektedir.

Tablo 4. “Kazadan dolayı işgünü kaybı” ile “mesleki eğitim durumu” değişkeni arasındaki ikili ilişki tablosu

		Mesleki Eğitim Almış mı?		Toplam	
		Hayır	Evet		
Kazadan Dolayı İşgünü Kaybı	0 (İşgünü kaybı yok)	Frekans	6	85	91
		Sütun Yüzdesi	23,1%	40,9%	38,9%
	1 - 9 gün arası	Frekans	6	64	70
		Sütun Yüzdesi	23,1%	30,8%	29,9%
	10 - 29 gün arası	Frekans	7	48	55
		Sütun Yüzdesi	26,9%	23,1%	23,5%
	30 gün ve üstü	Frekans	7	11	18
		Sütun Yüzdesi	26,9%	5,3%	7,7%
	Toplam	Frekans	26	208	234
		Sütun Yüzdesi	100,0%	100,0%	100,0%

$$\chi^2 = 16,546 ; P = 0,001$$

Tablo 4 için Ki-kare (χ^2) = 16,546 ve Anlamlılık Düzeyi (P) = 0,001'dir. Çizelge değerleri incelendiğinde; mesleki eğitim almış olan kazazedelerin kazadan dolayı işgünü kaybı çoğunlukla 1 - 29 gün arası (%53,9) iken, mesleki eğitim almamış olan kazazedelerin yaklaşık oranla (%53,8) 10 gün ve üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. “Mesleki Eğitim Almış mı?” sorusuna “Hayır” cevabı verilen iş kazası vakalarında, kazazedelerin gemiadamı yeterlik derecelerine ilişkin frekans ve yüzdeler aşağıda Çizelge 5'te ayrıca verilmiştir.

Tablo 5. “Mesleki Eğitim” almadığı kaydedilen kazazedelerin gemiadamı yeterlik dereceleri

	Frekans	Yüzdesi (%)
Kaptan ve Güverte Zabıtları	3	11,5
Başmühendis/Başmakinist ve Makine Zabıtları	5	19,2
Tayfalar GV	12	46,2
Tayfalar MK	5	19,2
Yardımcı Hizmetliler (aşçı)	1	3,9
Toplam	26	100,0

Tablo 5'ten de görüldüğü gibi, mesleki eğitim almadığı/yetersiz olduğu kaydedilen kazazedelerin başında %46,2 (12 vaka) ile yine güverte tayfaları gelmektedir.

5. Tartışma ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında incelenen SGK verilerinin analizi sonucunda; iş kazasına maruz kalan gemi çalışanlarının çoğunlukla 30-49 yaş arası, evli, lise ve daha düşük eğitim düzeyine sahip kişiler olduğu

ve farklı yeterliliklerdeki kazazedeler arasında en fazla “Güverte Tayfası” ve “Makine Tayfası” sınıfındaki kişilerin bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu bakımdan, Türk gemilerindeki iş kazalarını minimize etmeye yönelik olarak, bu guruplardaki kişilere odaklanılarak okul eğitimleri, mesleki yeterlilik ve İSG eğitimlerine vb. tedbirlere daha fazla önem verilmesinin öncelikli ve sonuç odaklı çözüm yaklaşımlarından bir tanesi olabileceği; bu bağlamda, Türk gemilerinde çalışanlara yönelik özellikle standart ve kaliteli eğitici videolar, posterler, sosyal medya ve uzaktan eğitim araçları kullanılarak yaşam boyu eğitim uygulamalarına ağırlık verilmesinin yararlı olabileceği değerlendirilmektedir.

SGK verilerinin analizi sonucunda; kazazedelerin son işe giriş tarihi ile kaza geçirdikleri tarih arasında geçen süreler incelendiğinde, kazazedelerin en fazla “3 aydan az” süreler içerisinde kaza geçirdikleri gözlemlenmiştir. Bu bakımdan, gemi çalışanlarının gemiye katılım öncesi ve sonrası “aşinalık eğitimleri” başta olmak üzere, şirket ve gemiye ait emniyetli yönetim (ISM) ve iş sağlığı ve güvenliği (İSG) sistemlerinin öngördüğü eğitimlerin daha etkin uygulanmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

SGK verilerinin analizi sonucunda; iş kazası vakalarının bilinen sebeplerinin başında en fazla “Kayma-tökezleme-düşme ve çökme” ve “Denetim kaybı (tam veya kısmi)” geldiği gözlemlenmiştir. Gemideki yoğun çalışma temposu, prosedürlere uygun davranmama, acelecilik, dikkatsizlik, yeterince dinlenememe, yorgunluk, ergonomik dizayn hataları, iş sağlığı ve güvenliği teçhizatının kullanılmaması, kaygan zeminler, ağır yük taşıma/kaldırmaya çalışma, bilinçsiz iş yapma, bilinçsiz teçhizat kullanımı, merdivenlerden iniş-çıkış, yüksekte çalışma vb. gibi durumların bu tür kazalara yol açabildiğinden, bu konulardaki önleyici ve koruyucu tedbirlerin gemilerde daha etkin bir şekilde uygulanmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

SGK verilerinin analizi sonucunda; incelenen iş kazası vakalarının en az %44’ünün gemi güvertesi veya yük mahallinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bunun sebepleri arasında, buralardaki çalışma ve operasyonların görece daha yoğun ve değişken olması, demirleme, yanaşma-ayrılma, yüklenme-boşaltma vb. gibi başlıca gemi operasyonlarının yoğun olarak buralarda gerçekleşmesi ve üstelik tüm bu operasyonların limandan limana ve yükten yüke farklılıklar göstermesi vb. gibi hususların da olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen iş kazası vakalarından hareketle oluşturulan Tablo 4.1’de, Türk bayraklı gemilerde iş kazalarına konu olan başlıca (tehlikeli) faaliyetler ve operasyonlar sunulmuş olup özellikle bu faaliyetler ve operasyonlar yürütülürken, önleyici ve koruyucu tedbirlerin daha etkin bir şekilde uygulanmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

Yine, iş kazası vakalarında yaralanmaya neden olan belli olaylar incelendiğinde en fazla aşağıdaki olaylar sonucu yaralanmaların gerçekleştiği gözlemlenmiş olup gemilerde çalışanların özellikle bu tür olaylar karşısında daha dikkatli ve hassas olmaları ve işletmeciler tarafından da gerekli önleyici ve koruyucu tedbirlerin daha etkin bir şekilde uygulanmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir:

- Aynı düzeyde veya alt düzeye (yüksekten) kayma - tökezleme - düşme
- Denetim kaybı (tam veya kısmi), vücudu veya bir uzvu bir veya birden fazla cismin sıkıştırması, ezmesi, batması, kesmesi
- Fırlayan/savrulan/salınan/serbest düşen bir cismin çarpması
- Ağır bir cismin (halat tamburu, ambar kapağı, kreyn sapanı, matafora, sürme iskele, nozul/hortum vb. şiddetli çarpması)
- Vücudun veya uzuvların sert bir yüzeye çarpması
- Zararlı/kimyasal maddelere temas, soluma (kimyasal yanık, zehirlenme vb.)
- İstemsiz hareket sonucu uzvun incinmesi, burkulması, kırılması
- Aşırı sıcak/soğuk yüzeylere veya maddelere temas
- Dönen parçalara temas
- Taşıtlı kazaları (motorlu taşıtın insana çarpması)
- Geminin alabora olması
- Yangın sonucu yanma/dumandan zehirlenme

- Elektrik çarpması
- Patlama sonucu yaralanma
- Kalp krizi, ani rahatsızlanma, trafik kazası, tartaklanma, intihar vs.

Tablo 6. Bu çalışmaya göre Türk bayraklı gemilerde iş kazalarına konu olan başlıca (tehlikeli) faaliyetler ve operasyonlar ile gemi mahallerine göre dağılımı

Gemi güvertesi & yük mahalli	Makine mahalli	Yaşam mahalli/köprü üstü
Ambar kapak operasyonu & bakım-tutumu	Makine mahallerindeki makine parçalarının bakım-tutum-onarımı	Kuzine ve kumanyalık işleri (yemek hazırlama, bulaşık, kesme, vb.)
Ambar/tank temizliği	Atölyelerde torna-tesviye işleri	Köprü üstü vardiyası
Ambara/tanka giriş/iniş-çıkış	Çeşitli denetim/kontrol faaliyetleri	Çeşitli denetim/kontrol faaliyetleri
Balast tanklarının kontrolü & bakım-tutumu	Kreyn/vinç operasyonu & bakım-tutumu	Yürüme/merdiven çıkma-inme/kapılardan giriş-çıkış
Çeşitli denetim/kontrol faaliyetleri	Makine mahallerindeki temizlik faaliyetleri	Yaşam mahalli/köprü üstündeki muhtelif işler
Filika/Kurtarma botu indirme-alma operasyonları	Yanaşma/ayrılma manevrası - bağlama / çözme	
Borda iskelesi (gangway) operasyonu & bakım-tutumu	Yürüme/merdiven çıkma-inme/kapılardan giriş-çıkış	
Gemiye erişim, çıkış-iniş	Makine mahallindeki muhtelif işler	
Kaynak - sıcak çalışma		
Kreyn/vinç operasyonu & bakım-tutumu		
Yük bağlama (lashing) operasyonu		
Pilot alma operasyonu		
Raspa-boya, sac değişimi, taş motoru/spiral/jet motoru/elektrikli testere vb. aletler ile çalışma		
Röle talimleri (yangın, gemiyi terk, vb.)		
Yanaşma/ayrılma manevrası - bağlama / çözme		
Yükleme-boşaltma operasyonu		
Gemi güvertesi ve yük mahallinde yapılan muhtelif işler		
Yüksekte çalışma		
Yürüme/merdiven çıkma-inme/kapılardan giriş-çıkışlar		

Bu çalışma kapsamında incelenen iş kazası vakalarında kazazedelerin vücudunda oluşan yaraların en fazla ellerde, ayaklar ve bacaklar ile baş bölgesinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Eller için koruyucu eldivenler, ayaklar için emniyet ayakkabısı ve baş bölgesi için baret kullanımı hayati önem taşıdığından, gemi çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliğine yönelik koruyucu teçhizatın gemide yeterli sayıda ve kalitede olması önemlidir.

Bu çalışma kapsamında incelenen iş kazası vakalarının en fazla "08:01-12:00" ve "16:01-20:00" saatleri arasında, en az ise "00:00-04:00" saatleri arasında olduğu gözlemlenmiştir. Kazazedelerin kaza günü iş başı yaptıkları saat ile kaza saati arasında geçen süreler incelendiğinde ise, iş kazalarının çoğunlukla iş başından sonraki 3. ve 8. saatler arasında ve iş başından sonraki ilk 3 saat içinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, incelenen iş kazası vakalarının gerçekleştiği gün iş yerindeki vardiyanın çoğunlukla "04:01-08:00" saat diliminde başladığı, kazazedelerin kaza günü iş başı saat aralığının da yine çoğunlukla "04:01-08:00" arası olduğu ve çoğunlukla "16:01-20:00" saat dilimi arasında bittiği gözlemlenmiştir. İncelenen iş kazası vakalarının çoğunlukla sabah ve akşam saatlerinde yorgun olunması muhtemel saatlere yakın olması dikkat çekicidir. Gemilerdeki azami çalışma ve asgari dinlenme süreleri, 654 sayılı Deniz İş Kanunu, ILO-Denizcilik Çalışma Sözleşmesi (MLC, 2006) ve Gemiadamları Yönetmeliği ile belirlenmiştir. Bu sürelerle ve çalışma kurallarına uygulamada tam anlamıyla riayet edilmesi, gemilerin emniyetli yönetiminin yanısıra gemilerdeki iş kazalarının minimize edilmesi ve gemi çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği açısından da önem arz etmektedir. Bu bakımdan, gerek uluslararası sefer yapan, gerekse kabotajda çalışan gemilerdeki çalışma ve yaşam koşullarının etkin denetimi kritik önemdedir. ILO'nun "insana yakışır iş (decent work)" yaklaşımının denizcilik sektörünün genelinde hâkim kılınmasının, sadece çalışanların refahı açısından değil, işletmelerin verimliliğinin ve dolayısıyla deniz ticaretindeki toplam verimliliğin artması açısından da önemli olduğu değerlendirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında incelenen SGK verilerinin %95 güvenilirlik düzeyinde Ki-Kare (χ^2) ilişki testlerinin sonuçlarına göre; kazazedelerin İSG eğitimi alıp almadığı/İSG eğitiminin yeterli olup olmadığı ile kazadan dolayı işgünü kaybı süresi arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu ($\chi^2 = 12,287$; $P = 0,006$) ve İSG eğitimi almış kazazedelerin kazadan dolayı işgünü kaybı çoğunlukla 1-29 gün arası iken, İSG eğitimi almamış/yetersiz almış kazazedelerin daha yüksek bir oranla 1-29 gün arası olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, kazazedelerin mesleki eğitim alıp almadığı/mesleki eğitimin yeterli olup olmadığı ile kazadan dolayı işgünü kaybı süresi arasında da istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu ($\chi^2 = 16,546$; $P = 0,001$) ve mesleki eğitim almış olan kazazedelerin kazadan dolayı işgünü kaybı çoğunlukla 1-29 gün arası iken, mesleki eğitim almamış/yetersiz almış olan kazazedelerin kazadan dolayı işgünü kaybının çoğunlukla 10 gün ve üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Buradan hareketle, Türk gemilerindeki gerek iş kazalarının, gerekse iş kazaları sonucu işgünü kayıplarının (dolayısıyla maddi ve manevi zararların) minimize edilmesinde, başta Tayfa sınıfı gemi çalışanları olmak üzere, okul eğitimleri, mesleki yeterlilik ve İSG eğitimlerinin etkinliğinin önemli etmenler olduğu değerlendirilmiştir.

Türk bayraklı gemilerde ve gemi işletmeciliği yapan firmalarda İSG uygulamaları, mevcut durumda, 6331 sayılı Kanun ve büyük çoğunluğu Klas Kuruluşlarınca oluşturulan Emniyetli Yönetim Sistemi (ISM-EYS) kapsamında yürütülmeye çalışılmaktadır. Ancak, 6331 sayılı Kanun hükümlerinin özellikle uluslararası sefer yapan gemilerde ne derece etkin uygulanabileceği ya da Klas Kuruluşlarınca oluşturulan ISM-EYS'nin, İSG yönetimini ne derece kapsayabildiği, iki sistemin birbiriyle ne derece uyumlu çalışabildiği veya ne ölçüde etkin bir uygulama sağlanabildiği konuları tartışmalıdır. Ve daha önemlisi bu durum sürdürülebilir gözükmemektedir. Bu nedenle, Türk bayraklı gemilerde ve gemi işletmeciliği yapan firmalarda "İSG Yönetim Sistemi" oluşturulmasına ilişkin ILO'nun istediği tarzda (ILO, 2009) armatör ve gemiadamları temsilcilerinin de üzerinde uzlaştığı, formüle edilmiş, uygulanan ve periyodik olarak gözden geçirilen açıklanmış net bir "ulusal politika (national policy)" öncelikle oluşturulmasının ve söz konusu ulusal politika çerçevesinde, Türk gemilerinde ve gemi işleten firmalarda "Emniyetli Yönetim Sistemi (ISM-EYS)" ile entegre bir "İSG Yönetim Sistemi" kurulmasının zorunlu bir uygulamaya dönüştürülmesinin faydalı olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, STCW

sözleşmesi kapsamında uygulanan mevcut gemiadamları eğitim müfredatı ile 6331 sayılı Kanun, MLC 2006 Sözleşmesi ve diğer ilgili ulusal ve uluslararası mevzuata göre işveren tarafından çalışanlara zorunlu olarak verilmesi gereken İSG eğitimlerinin birbirleriyle entegre edilmesinin de gerekli ve faydalı olacağı düşünülmektedir.

1993 – 1997 yılları arasında Danimarka bayraklı ticaret gemilerde meydana gelen iş kazalarını inceleyen Hansen ve arkadaşlarına göre; Danimarka bayraklı gemilerdeki ölümlü iş kazalarının oranının karadakin nazaran 10 kat daha fazla olduğu ve iş kazalarına çoğunlukla güverte tayfalarının güvertede çalışırken maruz kaldığı belirtilmiştir (Hansen ve diğerleri, 2002). Diğer taraftan, Türkiye’de inşaat sektöründeki iş kazaları inceleyen Ceylan tarafından yapılan bir çalışmaya (Ceylan, 2014) göre; 2004 – 2010 yılları arasındaki Türkiye genelindeki iş kazası sonucu ölüm oranı %1,56 iken, inşaat sektöründeki iş kazası sonucu ölüm oranı %4,81 olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna göre, Türk bayraklı gemilerde meydana gelen ve bu çalışmada incelenen 234 iş kazası vakasında görülen %2,6’lık ölüm oranının, Türkiye’deki inşaat sektöründeki ölüm oranının altında ama Türkiye genelinin üzerinde olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca, Danimarka bayraklı gemilerde olduğu gibi, Türk bayraklı gemilerde oluşan ve bu çalışmada incelenen iş kazalarının çoğunlukla güverte tayfaları tarafından güvertede çalışırken yaşandığını da ifade edebiliriz.

Bu çalışma için yapılan literatür araştırması suresince, diğer ülkelerinde gemilerinde meydana gelen iş kazalarının incelendiği çok az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu durum, farklı ülkelerin filolarını iş sağlığı ve güvenliği durumu açısından mukayese edebilmek için daha fazla çalışmaya ve uluslararası iş birliğine ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle bu çalışmanın Türkiye ve dünyadaki denizcilik ve iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili literatüre orijinal katkılar sağlayacağını da söyleyebiliriz. Ancak, farklı zaman periyotları ve farklı veri sınıflandırma metotları ile hazırlanmış olmaları nedeniyle farklı çalışmaların birbirleriyle sağlıklı mukayese edilebilme imkânı da oldukça sınırlıdır. Bu sebeple, dünya deniz ticaret filosundaki gemilerde meydana gelen iş kazalarına ilişkin kayıtlarının tutulması ve analiz edilmesi için uluslararası veri tabanı kurulmasının, farklı zamanlarda farklı sınıflandırma metotları ile farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalardan daha yararlı olabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla, IMO ve ILO’ya gemilerdeki iş kazaları konusunda daha fazla iş düşmektedir.

6. Sonuç

Bu çalışmada, Türk bayraklı gemilerde meydana gelmiş 234 adet iş kazası vakasına ait veriler analiz edilmiş ve risk etmenleri sunulmuştur. Çalışmanın bir sonucu olarak; Türk bayraklı gemilerde iş kazasına maruz kalma açısından en riskli gemi çalışanlarının güverte ve makine tayfaları olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, öncelikle bu gruptaki kişilerin okul eğitimleri, mesleki yeterlilik ve İSG eğitimlerinin daha fazla geliştirilmesine odaklanılmalıdır. Ayrıca, yine bu çalışma sonucunda, kaza anında kazazedeler tarafından en fazla yapılan iki faaliyetin ‘yürüme/merdiven çıkma-inme/kapılardan giriş-çıkış’ ve ‘makine dairesinde makine parçaların bakım ve onarımı’ olduğu, yaralanmaya en fazla sebep olan iki olayın ise ‘aynı düzeyde veya alt düzeye (yüksekten) kayma-tökezleme-düşme’ ve ‘denetim kaybı (tam veya kısmi), vücudu veya bir uzvu bir veya birden fazla cismin sıkıştırması, ezmesi, batması, kesmesi’ olduğu görülmüştür. Türk bayraklı gemilerde uygulanan ISM ve İSG uygulamaları ile Türk gemi çalışanlarının mesleki ve İSG eğitimlerinde, belirtilen hususlara yönelik olarak ilave tedbirler alınmasının faydalı olabileceği değerlendirilmiştir.

Kaynakça

Ağartan, E. T. (2006). *Gemi adamlarının çalışma yaşamı ve çalışma ilişkileri / Working life and working relations of the seafarers*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

- Akyüz, E. (2015). *A decision-making model proposal on human reliability analysis on-board ships*, Doktora Tezi, İTÜ, Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul.
- Aydın, T. (2015). *Gemiadamlarının maslach tükenmişlik modeli ile incelenmesi / Examining of burnout levels of seafarers with maslach burnout*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bal, E. (2011). *Gemiadamlarında yorgunluğa neden olan etkenlerin analitik incelenmesi / The analytical investigation of factors affecting on fatigue of seafarers*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- BIMCO/ISF. (2010). *Manpower 2010 Update The Worldwide Demand for and Supply of Seafarers Highlights*. Bagsværd/Denmark: BIMCO/ISF, 1-2.
- Ceyhun, G. Ç. (2006). *Gemiadamlarının stres düzeyleri ve iş doyumları arasındaki ilişki: Bir denizcilik şirketinde uygulama / The relationship between stress level and job satisfaction of seafarers: A research in a maritime company*, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Manisa.
- Ceylan, H. (2014). Türkiye’de inşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarının analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.6, No.1, January 2014, 1-6.
- Equasis. (2014). *The world merchant fleet in 2014 Statistics from Equasis*. Equasis, 5-6.
- Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nün 11.07.2013 tarihli ve 2098 sayılı resmi yazısı.
- Hansen, H., Nielsen, D. ve Frydenberg, M. (2002). Occupational accidents aboard merchant ships. *Occup Environ Med*, 85–91.
- ILO. (1981a). *C155 Occupational Safety and Health Convention*. Geneva: ILO.
- ILO. (1981b). *R164 Occupational Safety and Health Recommendation*. Geneva: ILO.
- ILO. (1996). *Code of Practice for Accident Prevention on Board Ship at Sea and in Port*. Geneva: ILO.
- ILO. (1998). *Report of the Sixteenth International Conference of Labour Statisticians ICLS/16/199 8/V*. Geneva: ILO.
- ILO. (2002). *P155 Protocol to the Occupational Safety and Health Convention, 1981. (Article 1)*. Geneva: ILO.
- ILO. (2005). *Limanlarda Sağlık ve Güvenlik ILO Uygulama Kodu (Safety and Health in Ports. An ILO Code of Practice)*. Geneva: ILO.
- ILO. (2006). *Maritime Labour Convention (MLC, 2006)*. Geneva: ILO.
- ILO. (2009). *Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems ILO-OHS 2001*. Geneva: ILO.
- ILO. (2012). *The ILO’s Strategic Approach to Occupational Safety and Health (Cilt ILO Training Package on Development of a National Programme of Occupational Safety and Health (Module 1))*. Geneva: ILO.
- ILO. (2013). *Buinding a Preventative Safety and Health Culture - A guide to the Occupational Safety and Health Convention, 1981 (No. 155), its 2002 Protocol and the Promotional Framework for Occupational Safety and Health Convention, 2006 (No. 187)*. Geneva: ILO.
- IMO. (2000). *Personal Safety And Social Responsibilities Model course 1.21 (2000 Edition)*. London: IMO.

IMO. (2002). *Guidelines For Formal Safety Assessment (FSA) For Use in the IMO Rule-Making Process – MSC/Circ.1023, T5/1.01 MEPC/Circ.392*, 5 April 2002. London: IMO.

IMO. (2007). *Formal Safety Assessment Consolidated text of the Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (MSC/Circ.1023–MEPC/Circ.392), MSC83/INF.2*. London: IMO.

IMO. (2010). *International Safety Management Code - ISM Code (2010 Edition)*. London: IMO.

Keçeci, T. (2015). *Gemi kazası kompleks probleminin incelenmesi için kök sebep analizi yaklaşımı önerisi / A root cause analysis approach for maritime accident problem investigation*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kurt, Ö. (2010). *Gemide çalışma koşullarının gemi adamları üzerindeki olumsuz etkileri / The negative effects of working conditions upon seamen on ships*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Nielsen, D. (1999). Deaths at sea - A study of fatalities on board Hong Kong-registered merchant ships (1986-95), *Safety Science* 32 (1999), 121-141.

Soares, C. G. ve Teixeira, A. (2001). Risk assessment in maritime transport. *Reliability Engineering & System Safety* 74 (2001), 299 - 309.

Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) Başkanlığı Emeklilik Hizmetleri Genel Müdürlüğü Kısa Vadeli Sigortalar Daire Başkanlığı'nın 01 Nisan 2014 tarihli ve 4992828 sayılı resmi yazısı.

Taç, U. (2012). *Deniz ulaştırmasında, gemiadamlarının bilişsel (cognitive) performansının stresör faktörler altında modellenmesi ve operasyonel süreçlere etkisi / Modeling the cognition of seafarers under stressor factors and its effect on operational processes in maritime*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

UDHB. (2012). *"Türk Bayraklı Gemilerin PSC Denetimlerinde 2012 Yılı Analizleri" Raporu*. Ankara: UDHB Deniz ve İçsular Düzenleme Genel Müdürlüğü.

UDHB. (2015). *"Ulaşan Erişen Türkiye" Raporu*. Ankara: UDHB, 369.

UK P&I Club. (2015). *Leadership in Action: Review of the Year 2015*. London: UK P&I Club, 12-15.

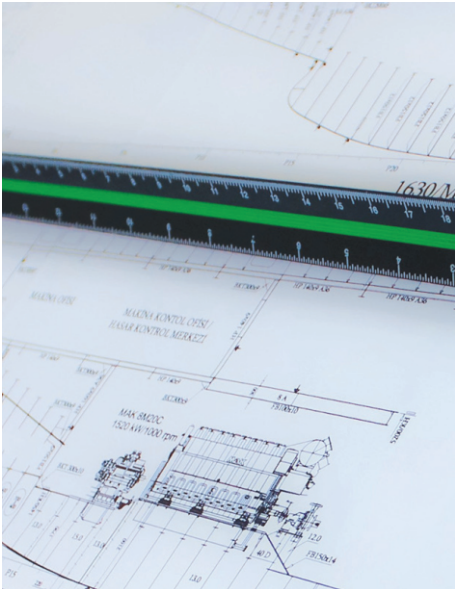
United Nations Conference on Trade And Development (UNCTAD) (2015). *Review Of Maritime Transport 2015*. New York and Geneva.

Yüksekıldız, H. Y. (2012). *Vardiya zabitlerinin yorgunluk ve uykusuzluk hallerinin EEG ve köprü üstü simülatör yardımı ile belirlenmesi / Determination of fatigue and sleep states of watchkeeping officers with help EEG and bridge simulator*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.



TÜRK LOYDU

Uluslararası Klaslama ve Uygunluk Değerlendirme Kuruluşu



www.facebook.com/TurkLoyduVakfi



twitter.com/turkloydu



www.linkedin.com/company/turk-loydu

www.turkloydu.org

