

GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ

GMO JOURNAL OF SHIP AND MARINE TECHNOLOGY



TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI

The Turkish Chamber of Naval Architects and Marine Engineers





ODA ASİL YÖNETİM KURULU ÜYELERİ

Başkan

Salih BOSTANCI

Başkan Yardımcısı

Bülent ALNIAÇIK

Genel Sekreter

Mustafa Kürşat PEKŞEN

Sayman

İlker ŞENEL

Üye

Bülent DURAN

Üye

Bülent HÜSEYİNOĞLU

Üye

Mustafa KOZİL

ODA YEDEK YÖNETİM KURULU ÜYELERİ

Seda SÜRER

Ahmet ŞERBETÇİ

Can SERBEST

Sertaç KESEBOL

Ebru HACIALİOĞLU

Ridvan DÖNMEZ

Caner BAHADIR

EDİTÖRDEN / EDITORIAL

Değerli Meslektaşlar ve Okurlar,

Gemi ve Deniz Teknolojisi dergimizin 211 sayısında sizlere beş bilimsel makale sunulmaktadır. Son yıllarda yaygınlaşan enerji gemilerini ilgilendiren iki çalışma yer almaktadır. buhar boru devreleri tasarımı ve egzoz kulesi tasarımı üzerinde durulmuştur. İlk makalede enerji gemisi üzerinde bulunan buhar türbini boru bağlantısı tasarımı ve tasarımın boru üzerindeki gerilmelere uygunluğu araştırılmıştır. Bunu izleyen makale çalışmada yüzer bir elektrik santrali gemisinde yer alan egzoz kulesi faundeyşin yapısının sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir model tasarımı yapılmıştır. Üçüncü makalede boru içi akışlarda basınç kaybının elde edilmesi amacı ile farklı tipte boru elemanları için sayısal hesaplamalar yapılmış ve emsal çalışmalarda elde edilen katsayılarla karşılaştırılmıştır. Marmara Denizi'ndeki araç ve yolcu taşımacılığına değinilen diğer makalede, Ambarlı-Bandırma hattında çalışan Ro-Ro gemileri 3 farklı sınıfa ayrılarak, gemilerin birim yolcu taşıma maliyetleri incelenmiştir. Bu sayımızdaki beşinci makalede, Türk arama ve kurtarma bölgesinde Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm, yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan deniz kazası/olaylarına ilişkin bir inceleme yapılmıştır. Çalışmada deniz kazalarının/olaylarının önlenmesine yönelik bazı öneriler sunulmuştur.

Türkçe veya İngilizce dillerinde yazılmış özgün araştırma makaleleri, teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi, derleme ve çeviri türünde bilimsel çalışmaları www.gmoshipmar.org elektronik platformu üzerinden yayınlayan Gemi ve Deniz Teknolojisi dergimize yazı katkısında bulunmanızı diler en iyi dileklerimiz sunarız.

Saygılarımızla.

Prof. Dr. Ahmet Dursun ALKAN
Baş Editör

Distinguished Colleagues and Readers,

With the issue 211 of GMO Journal of Ship and Marine Technology we are proud to present you five scientific articles. There are two papers dealing with the specific design problems for electricity power ships which has been notably demanded in the last decades. The first paper reports an examination on the properties of the steam turbine piping on a powership, the causes and effects of sustained, occasional and thermal loads as well as the pipe displacements and stresses. The next paper deals with exhaust tower design on powerships where an approach of minimum weight satisfying the limits of safe zone is proposed. The third paper in this issue studies calculation of loss in pipe elbows where the direct influencing parameters like flow velocity, pipe diameter on the loss coefficient calculated and compared with those existing in the literature. The fifth paper reports a retrospective review of marine accidents and incidents resulting in death, injury or loss occurred on or involving the Turkish flagged ships in Turkish search and rescue area.

The staff of GMO Journal of Ship and Marine Technology kindly invite you to publishe original research papers, technical notes, editorial letters, discussions, case studies, compilations and translated scientific studies written in Turkish or English languages serving within www.gmoshipmar.org e-journal platform.

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

Salih BOSTANCI

Baş Editör / Editor-in-Chief

Prof. Ahmet Dursun ALKAN PhD

Yardımcı Editör / Associate Editor

Assoc. Prof. Ömer Kemal KINACI PhD

Yayın Komisyonu / Editing Committee

Onur USTA
Murat SEKBAN
Batuhan KARATAŞ
Tuğba TIKTAŞ
Burçin Gaye DİLEKME
Orçun BALBAŞ
Alper DİLCİ

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

Sürelî Yayın (3 Aylık) / Periodical, 3 months
Sayı / Number : 211

Basıldığı Yer ve Tarih / Printed in / Date

Cenkler Matbaacılık Amb. San. Tic. Ltd. Şti.
İ. Karaoğluanoğlu 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 : March 2018

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 Ahlakı 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 yayınlanmasın 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 FRANCESCUITO (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

Buhar Devreleri Boru Tasarımı ve Boru Gerilme Analizi

Steam Systems Pipe Design and Pipe Stress Analysis

Ahmet Dursun Çetin, İsmail Bayer

5

Enerji Gemilerinde Egzoz Kulesi Tasarımı

Exhaust Tower Design On Powerships

Alican Aşkun, Serkan Ekinci

20

Boru İçi Akışlarda Basınç Kaybının Sayısal Hesabı

Numerical Analysis of Pressure Loss in Pipe Flow

Sinan Aracı, Ömer Kemal Kınacı

39

Marmara Denzinde Ro-Ro Taşımacılığı Birim Maliyetlerinin İncelenmesi:

Ambarlı – Bandırma Hattı Örneği

Investigation of Unit Costs of Ro-Ro Transportation in the Sea of Marmara:

Ambarlı – Bandırma Route Line

Cenker Çoban, Eda Turan

60

Türk Bayraklı Gemilerin Karıştığı Deniz Kazaları ve

Denizcilere Etkilerine İlişkin Bir Analiz

An Analysis of Marine Casualties of Turkish Flagged Ships and

Effects on Seamen

Fatih Yılmaz, Mustafa Necmi İlhan

78

INT-NAM 2017 Call for Papers

95

GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI'NDAN TARİHİ BİR YENİLİK...

MESLEKİ DENETİM FAALİYETİ (PROJE ONAY) SÜRECİNDE,
ELEKTRONİK ONAY SİSTEMİ KURULDU



<http://medes.gmo.org.tr>

Dijital
Arşiv

Hızlı ve
Kaliteli
Hizmet

Takip
Edilebilirlik

Erişebilirlik

Kağıt
İsrafına Son



Zaman
İsrafına Son

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası

Buhar Devreleri Boru Tasarımı ve Boru Gerilme Analizi

Ahmet Dursun¹ Çetin, İsmail Bayer²

ahmetdursuncetin@gmail.com¹, bayer@yildiz.edu.tr²

^{1,2}Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Özet

Boru hatları çok geniş bir alanda ve çok değişik basınç ve sıcaklıklardaki gaz ve sıvı akışkanların taşınmasında kullanılır. Boru hatları üzerinde çalışılırken, optimum boru çapının belirlenmesi, optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve gerilmelerin en ekonomik biçimde alınmasına çözüm aranılır. Boru tasarımı da esas olarak gerilme analizine bağlıdır. Proses boruları ve güç boruları boru stres mühendisleri tarafından rotalama, nozul yükleri, desteklerin doğru yerleştirildiğini ve seçildiğini, izin verilen boru farklı yükler durumunda izin verilen değerlerin aşılmadığını doğrulamak için kontrol edilir. Boru hatları Endüstriyel / Uluslararası Kodlar ve Standartlar tarafından yönetilir. Bu çalışmada da bu standartlardan biri olan ASME B31.1 koduna istinaden, enerji gemisi üzerinde bulunan buhar türbini borulamasındaki esneklik özelliklerini, ekipman nozuluna gelen yükleri ve boru yer değiştirmelerinin nedenleri ve etkilerini incelemektedir. Aynı zamanda boru gerilmeleri hesaplama yöntemlerini, sonlu elemanlar boru gerilme analizi programı ile enerji gemisi üzerinde bulunan buhar devresi borulamasının üzerindeki sürekli yüklerin, ara sıra oluşan yüklerin ve termal durumdaki yüklerin iki farklı boru tasarımı için hesaplamaları yapılmıştır. İnceleme neticesinde boru tasarımının boru gerilme analizine bağlı olduğu belirlenmiştir ve sonlu elemanlar boru gerilme analizi programları yardımıyla yapılan analizler boru üzerindeki gerilimler hakkında net bir resmin elde edilmesini sağladığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Boru tasarımı, Borularda gerilme, Borularda gerilme analizi, ASME B31.1

Steam Systems Pipe Design and Pipe Stress Analysis

Ahmet Dursun Çetin¹, İsmail Bayer²

ahmetdursuncetin@gmail.com¹, bayer@yildiz.edu.tr²

^{1,2} Faculty of Naval Architecture and Maritime, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey

Summary

Pipelines are used for transporting gas and liquid fluids in very wide areas and at very different pressures and temperatures. When working on pipelines, a solution is sought to determine the optimum pipe diameter, determine the optimum insulation thickness and take the stresses in the most economical way. Pipe design mainly depends upon stress analysis. Process piping and power piping are checked by pipeline stress engineers to verify that the positioning, nozzle loads, supports are correctly positioned and selected, and that the permissible pipe is not exceeding the permissible values for different loads. Pipelines are governed by Industrial / International Codes and Standards. In this study, in reference to ASME B31.1 code which is one of these standards, the study examines the elastic properties of the steam turbine piping on the powership, the causes and effects of the loads on the equipment nozzle and the pipe displacements. At the same time, methods of calculating pipe stresses were calculated, which is a finite element pipe stress analysis program, and for two different pipe designs for sustained loads, occasional loads and thermal loads on the steam cycle piping on the power ship. As a result of the investigation, it was determined that the pipe design depends on the pipe stress analysis, and analysis with the aid of finite element pipe stress analysis programs has provided a clear picture of the stresses on the pipe.

Keywords: Pipeline design, Pipe stress, Pipe stress analysis, ASME B31.1

Sembol Listesi

D: Nominal boru çapı

D1: Yer değiştirme

E: Elastiklik Modülü

e: Sıcaklığa bağlı birim doğrusal termik genleşme

E_c: Oda sıcaklığında elastikiyet modülü

f: Borunun ısınma ve soğuma sayısına (N) bağlı olarak müsaade edilebilir gerilimi azaltıcı yönde kullanılan faktör

H1: Yay Kuvveti

S_{sus}, S_I : Sürekli gerilmeler

i: Yoğunluk faktörü

k: Ara sıra oluşan yüklerin faktörü

L: İki sabit nokta arasındaki borunun açınım uzunluğu

M_A : Sürekli (birincil) yükler nedeniyle oluşan moment

M_B : Ara sıra yükler nedeniyle oluşan moment

M_C : Genleşme yüklerine bağlı olarak oluşan momentler

M1: Boru Model1

M2: Boru Model2

P1: İç Basınç

S_h : B31.1 Kodundaki Ek A uyarınca sıcak (çalıştırma) sıcaklıkta izin verilen temel malzeme gerilmesi.

S_E : Genleşme gerilimi aralığı

S_A : İzin verilen genleşme gerilmesi

S_C : B31.1 Kodunun Ek A'sına göre, soğuk (kurulum) sıcaklığa izin verilen temel malzeme gerilmesi

S_{occ} : Ara sıra oluşan gerilmeler

T1: Sıcaklık

y: Boru sistemi tarafından absorbe edilen termik genleşme hareketlerinin toplam değeri (mm)

U: İki sabit noktayı birleştiren doğrunun uzunluğu (Sabit noktalar arası mesafe)

W: Ağırlık (Boru + İzolasyon + Akışkan)

WW: Ağırlık (Boru + Su)

Z: Boru Kesit Modülü

1. Giriş

Boru tasarımı esas olarak gerilme analizine bağlıdır. Yüksek gerilimli boru hatlarının boru sistemlerini işletme üzerindeki etkisi dramatik ve masraflı olabilir. İyice analiz edilen bir yapı daha uzun süreli ve daha düşük maliyetli olacaktır. Borunun ağırlığının ve sıcak borunun ısı genleşmesinin etkisinin göz ardı edilmesi önemli bakım problemlerine neden olabilir. Proses boruları ve güç boruları boru stres mühendisleri tarafından, rotalama, nozul yükleri, askılar ve desteklerin doğru yerleştirildiğini ve seçildiğini, izin verilen boru gerilmesinin, sürekli yükler, işletim yükleri, basınç testi gibi farklı yükler durumunda izin verilen değerlerin aşılmadığını doğrulamak için kontrol edilir.

ASME B31, EN 13480 veya diğer ilgili kodlar ve standartlar tarafından borulardaki gerilme öngörülebilir. Normal yükler (iç basınç ve termal gerilimler) altında, yüksek rüzgâr, deprem veya özel titreşim gibi ara sıra ve aralıklı yükleme durumları altında boruların mekanik davranışını değerlendirmek gerekir (L. & T. Peng). Bu değerlendirme genellikle hesaplama yöntemleri olsa da özel bir sonlu elemanlar boru gerilme analizi bilgisayar programı yardımıyla gerçekleştirilir.

Sonlu elemanlar boru gerilme analizi bilgisayar programları, karmaşık sistemlerin tasarımı ve kapsamlı analizi için geliştirilen iki yönlü yazılımdır. Bu yazılım, hidrostatik yük durumu, kalıcı yük durumu, ısıl genleşme durumunda yük durumu, çalışma şartlarında yük durumu veya istenilen şartlardaki çalışma durumu gibi farklı durumlarda, boru düzenindeki tüm düğüm noktalarında istenilen analizleri istenilen kod standartlarına (ASME B31, EN 13480 v. b.) göre gerçekleştirir. Bu analizler hesaplanmış gerilmeleri, kod uygunluk gerilmelerini, eleman kuvvetlerini ve momentleri ilgili koordinatlarda bulmak için sonlu elemanlar yöntemlerinden yararlanır.

Bir boru sisteminde boru gerilmesinin birçok nedeni vardır. En yaygın olanları ise ağırlık ve ısıl nedenlerdir. Bu iki sebep aynı zamanda ekipman nozullarındaki yüklerin en yaygın nedenidir (Hunt, 1993).

Stres mühendisinin karşılaştığı üç temel sorun vardır. Bu üç problem, aşırı gerilimli boru bileşenleri, aşırı gerilme uygulanmış bağlantılar ve ekipman üzerindeki aşırı yüklenilmiş bağlantı nozullarıdır. Bu üç tip problem çoğunlukla boru hattı yerleşiminde değişikliklerin ana nedenleridir (Hunt, 1993). Boru sistemleri, boru hareketleri ve desteklerin hareketlerini karşılayacak kadar esnek olmaması durumunda aşırı gerilim/ yorgunluğa bağlı akma, bağlantı noktalarında sızıntı, borulardaki hareketlerden kaynaklı bağlantı teçhizatı üzerindeki tahrip edici yükler ve aşırı itme, boru desteklerinde kopmaya sebep olur (Sivanagaraju vd., 2015).

Boru devrelerinde gerilme analizi için farklı hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar, basitleştirilmiş yaklaşık hesaplama yöntemleri ve analitik hesaplama yöntemidir. Basitleştirilmiş hesap yöntemleri genellikle iki boyutlu (yani düzlemsel) sistemlerin hesaplanmasında kullanılır (C. İsmail). Üç boyutlu basit birtakım konfigürasyonlar için de yaklaşık hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak karmaşık ve bilhassa branşmanlı sistemlerde analitik hesap yöntemine başvurmak gerekir. Bu hesap yöntemi çok uzun ve zahmetli olduğu için bu konuda bilgisayarlı çözümlere başvurulur.

Bu çalışmada enerji gemisi üzerinde bulunan buhar türbini boru bağlantısı tasarımı ve boru tasarımının boru üzerindeki gerilmelere uygunluğu araştırılmıştır. Boru tasarımının boru üzerindeki gerilmeleri karşılayacak yapıda olmaması masraflı ve trajik kazalara sebep olabilmektedir (Hunt, 1993). Bu sebeple mevcut tesis üzerindeki borulama için gerekli analizler yapılmış ve bu analizler sonuçlarına göre alternatif bir boru tasarımı da yapıp analiz verileri karşılaştırılmıştır. Yapılan alternatif boru tasarımında boru üzerindeki gerilmeler istenilen seviyeye çekilmiş olsa da türbin bağlantısı üzerinde meydana gelen yükler istenilen değerleri bir miktar aştığı görülmektedir.

Bu makalenin hazırlanmasında Mumbai Üniversitesinde hazırlanan boru gerilme analizi raporu, GLA Üniversitesinde hazırlanmış olan Proses boru tesisleri üzerine yapılmış bir makale çalışması, analiz kısmının hazırlanmasında ise Çalık Enerji grubunun bir santral için hazırlamış olduğu yüksek güç buhar ve baypas hattı borulaması boru gerilme analizi raporu referans olarak merkez alınmıştır.

2. Boru gerilme analizi

2.1. Boru gerilmesinin nedenleri

Bir boru sisteminde boru gerilmesinin birçok nedeni vardır. En yaygın olanları ise ağırlık ve ısı nedenleridir. Bu iki sebep aynı zamanda ekipman nozullarındaki yüklerin en yaygın nedenidir.

Ağırlık, borunun sarkmasına neden olur. Boru desteklerin uygun şekilde yerleştirilmesi ve tasarımı ve ağır yüklere özen gösterilmesi, ağırlık problemlerinin çoğunu karşılar (Hunt, 1993).

Bir boru ısınırca genişler. Boru genişledikçe ve uzadıkça ekipman bağlantı nozuluna karşı kuvvet uygular. Boru destekleri de borunun hareketini engeller. Bu ısıl büyümenin sınırlandırılması, borunun sınırlandırılmamış kısmında farklı yönlerde sapmasına neden olur. Bu "doğal olmayan" sapma boruda ek strese neden olur (Hunt, 1993).

Boru gerilmesi problemlerine en çok ilk iki tür sebep olur. Bunların haricinde boruya etki eden rüzgâr, bir boru sistemi üzerine büyük kuvvetler uygulayabilir. Aynı şekilde boru kodları, tesis için imalatçının depremlerden kaynaklanan yükleri dikkate almasını gerektirir.

2.2. Aşırı boru gerilmesinin etkileri

Stres mühendisinin karşılaştığı üç temel sorun vardır. Bu üç problem, aşırı gerilimli boru bileşenleri, aşırı gerilme uygulanmış bağlantılar ve ekipman üzerindeki aşırı yüklenilmiş bağlantı nozullarıdır. Bu üç tip problem çoğunlukla boru hattı yerleşiminde değişikliklerin ana nedenleridir.

Boru sistemleri, boru hareketleri ve desteklerin hareketlerini karşılayacak kadar esnek olmaması durumunda aşırı gerilim/ yorgunluğa bağlı akma, bağlantı noktalarında sızıntı, borulardaki hareketlerden kaynaklı bağlantı teçhizatı üzerindeki tahrip edici yükler ve aşırı itme, boru desteklerinde kopmaya sebep olur (Sivanagaraju vd., 2015).

Bir stres mühendisinin kaçındığı ilk şey, bir boru bileşenindeki aşırı gerilmedir. Boru üzerine etki eden kuvvet miktarına bağlı olarak boru üzerinde değişim meydana gelir. Boru sapması ne kadar büyük olursa, boru malzemesinde gerilme o kadar yüksek olur. Borudaki gerilme bir kez maksimuma ulaştığında, sapma kalıcı hale gelir ve sapmanın nedeni kaldırıldığında boru orijinal haline geri dönmeyecektir (Hunt, 1993). Bu olgu akma noktası olarak adlandırılır ve kaçmak istenilen şey de budur.

Çalışma sırasında bir boru bileşeninde akma dayanımından kaçmak için, stres mühendisi boru sisteminin düzenini ve boru destek yerleşimini değiştirir. Amacı, boru gerilmesini ANSI / ASME B31'de belirtilen sınırların altında tutmaktır (Peng ve Peng, 2016).

Stres mühendisinin önlemeye çalıştığı ikinci tip sorun, aşırı gerilimli bağlantılardır. Bir boru tekrar soğuktan ısıya, ısıktan soğuğa dönerken bağlantı noktasında itme ve çekme oluşturur. Bu kuvvet yüklemesinde birçok tekrar boru duvarında çatlamaya neden olabilir (Hunt, 1993).

2.3. İlgili standart (Kod) tarifleri

Borulama sistemlerinin güvenlik gereksinimlerini karşılamak için belirlenen kodlara ve standartlara göre projelendirilmeli ve inşa edilmelidir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, Makine Mühendisleri Birliği (ASME), Boru Hattı Kanunu'nu geliştiren komitelerin kurulmasına öncülük etmiştir. Boru hattı sistemi,

boru tesisat sistemlerinin doğru ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayan bir takım şartlardan oluşur. ASME B31 kodu, izin verilmeyen gerilmeleri, tasarımı, imalatı, montajı, testleri, yorulma direncini ve nükleer olmayan boru sistemleri için çalışma şartlarını tanımlar. Bu çalışma için ASME B31.1 koduyla ilgileniyoruz.

ASME B31.1 Güç Borusu: Buharın süreç içinde kullanıldığı yerlerde enerji santralleri veya rafineriler gibi buhar üretimini kullanan tesisler içindir. Kullanılan güvenlik faktörü, borunun nihai dayanımına karşı yaklaşık 3,5'tir (Woods ve Baguley, 1997).

ASME B31.1 Güç Borusu Kodundan esneklik, ısı genleşme ile ilgili temel tasarım esaslarının yer aldığı önemli kısımlara yer verilmektedir.

2.3.1 Sürekli yükler

Boru sistemlerinde sürekli gerilme, ağırlık, basınç ve herhangi bir sabit yükten kaynaklanır (Bradshaw, 2013). ASME B31.1 (2012)'ye göre sürekli yükler için (1) numaralı ifadedeki koşullar sağlanmalıdır.

$$S_{sus} = S_t = \frac{0.75M_A i}{Z} + \frac{Pd_o}{4t} \leq S_h \quad (1)$$

S_{sus} , S_t : Sürekli gerilmeler

i : Yoğunluk faktörü

M_A : Sürekli (birincil) yükler nedeniyle oluşan moment

Z : Boru kesit modülü

P : Basınç

d_o : Boru dış çapı

t : Boru et kalınlığı

2.3.2 Isıl genleşme

Termal genleşme genellikle yorulmaya neden olur, bu nedenle sistemin bütünlüğü gerilme aralığına ve çalışma çevrimlerinin sayısına bağlıdır (Bradshaw, 2013). ASME B31.1 (2012), ısı genleşme gerilmelerini değerlendirmek için (2) numaralı ifadeyi verir.

$$S_E = iM_c \leq S_A = f(1.25S_c + 1.25S_h - S_t) \quad (2)$$

S_E : Termik Gerilme

M_c : Genleşme yüklerine bağlı olarak oluşan momentler

i : Yoğunluk faktörü

S_h : B31.1 Kodundaki Ek A uyarınca sıcak (çalıştırma) sıcaklıkta izin verilen temel malzeme gerilmesi.

S_A : İzin verilen genleşme gerilmesi

S_c : B31.1 Kodunun Ek A'sına göre, soğuk (kurulum) sıcaklığa izin verilen temel malzeme gerilmesi

S_t : Sürekli gerilmeler

f : Borunun ısınma ve soğuma sayısına (N) bağlı olarak müsaade edilebilir gerilimi azaltıcı yönde kullanılan faktör.

2.3.3 Ara sıra oluşan yükler

Ara sıra meydana gelen baskılar, su çekimleri, depremler ve rüzgâr gibi ani olaylardan kaynaklanır (Bradshaw, 2013). ASME B31.1 (2012)'ye göre aşağıdaki (3) numaralı denklemdeki koşullar sağlanmalıdır.

$$S_{occ} = \frac{0.75M_A i}{Z} + \frac{0.75M_B i}{Z} + \frac{Pd_o}{4t} \leq kS_h \quad (3)$$

M_A : Sürekli (birincil) yükler nedeniyle oluşan moment

M_B : Ara sıra yükler nedeniyle oluşan moment

M_C : Genleşme yüklerine bağlı olarak oluşan momentler

Z : Boru kesit modülü

i : Yoğunluk faktörü

P : Basınç

d_o : Boru dış çapı

t : Boru et kalınlığı

S_{occ} : Ara sıra oluşan gerilmeler

k : Ara sıra oluşan yüklerin faktörü

S_h : B31.1 Kodundaki Ek A uyarınca sıcak (çalıştırma) sıcaklıkta izin verilen temel malzeme gerilmesi.

2.3.4 Esneklik

Boru hattında meydana gelen en yüksek termik gerilmelerin hesabında sadece borunun düz kısımlarında meydana gelen gerilmeler değil aynı zamanda dirsek ve T gibi parçalardaki gerilim yoğunlaşma faktörleri de göz önüne alınmalı ve bu kısımların da emniyetli sınırlar içinde kalmasına özen gösterilmelidir.

ASME B31.1 (2012)'ye göre aşağıdaki koşul sağlanmalıdır.

$$\frac{Dy}{(L-U)^2} \leq 30 \frac{S_A}{E_c} \quad (4)$$

D : Nominal boru çapı

y : Boru sistemi tarafından absorbe edilen termik genleşme hareketlerinin toplam değeri

U : İki sabit noktayı birleştiren doğrunun uzunluğu (Sabit noktalar arası mesafe)

L : İki sabit nokta arasındaki borunun açınım uzunluğu

S_A : İzin verilen genleşme gerilmesi

E_c : Oda sıcaklığında elastikiyet modülü

3. Sayısal hesaplama ve tartışmalar

Boru devrelerinde gerilme analizi için farklı hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar, basitleştirilmiş yaklaşık hesaplama yöntemleri ve analitik hesaplama yöntemidir.

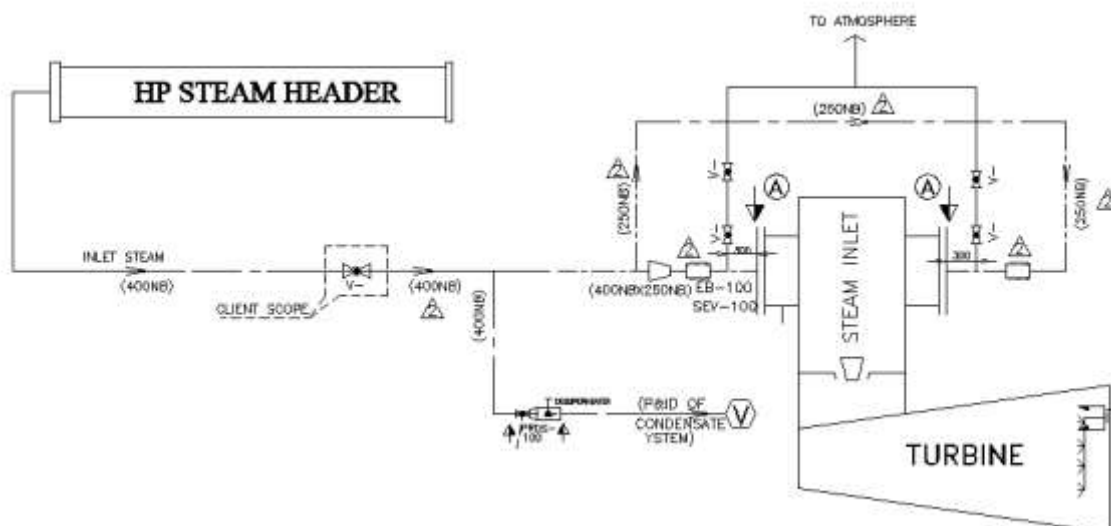
Basitleştirilmiş hesap yöntemleri genellikle iki boyutlu (yani düzlemsel) sistemlerin hesaplanmasında kullanılır (C., İSmail) Bunların içinde en çok bilinenlerden biri boru tasarımcısı S. W. Spielvogel' in iki boyutlu sistemlerde elastik merkeze dayalı Spielvogel teoremidir. Bu yöntemde reaksiyon kuvvetlerinin etkilediği, tam olarak bulunabilen bir nokta vardır ve bu noktada reaksiyon momentleri sıfırdır. Eğer reaksiyon kuvvetlerinin yönü belirlenebilirse; yani bu yönde olan ve elastik merkezden geçen ve nötr eksen olarak adlandırılan, eğilme momentlerinin sıfır olduğu noktalar bulunmuş olur. Reaksiyon kuvvetlerinin değerleri hesaplanabilirse, herhangi bir noktaya göre eğilme momentleri, reaksiyon kuvvet değerinin, o noktadan nötr eksene olan uzaklık ile çarpılması ile bulunur. Yani problem sadece reaksiyon kuvvetlerinin şiddetini ve yönünü bulmaya dönüşür (Nayyar, 2000).

Bu yöntem daha sonraları C.T. Mitchel tarafından geliştirilmiştir. Mitchel'in sunduğu yöntemde nötr eksenin iki sabit noktayı birleştiren çizgiye paralel olduğu öngörülmüştür. Gerçekte bu simetrik parçalar için doğrudur; fakat simetrik olmayan parçalarda tam sonuç elde etmek bu yöntemle mümkün değildir (Nayyar, 2000).

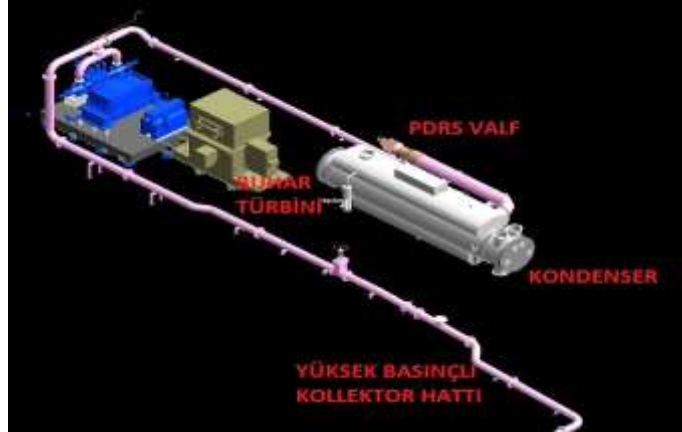
Mitchel'in yönteminin iki boyutlu sistemler için olması ve simetrik olmayan boru sistemlerinde tam sonuç verememesi, yeni yöntemler geliştirilmesine yol açmıştır. Üç boyutlu sistemlerde tek bir elastik merkez noktası tayin etmek çok zor ve zahmetlidir. Spielvogel bu nedenden dolayı üç değişik elastik merkezle çalışmayı uygun bulmuş ve üç yüzeyin kesişiminden oluşan boru sistemleri için her yüzeye ait bir elastik merkez hesaplaması yoluna gitmiştir (Nayyar, 2000).

Üç boyutlu basit birtakım konfigürasyonlar için de yaklaşık hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak karmaşık ve bilhassa branşmanlı sistemlerde analitik hesap yöntemine başvurmak gerekir. Bu hesap yöntemi çok uzun ve zahmetli olduğu için bu konuda bilgisayarlı çözümlere başvurulur.

Bu çalışmada yüksek basınçlı ana buhar hattının sonlu elemanlar boru gerilme analizi programı yardımıyla hesaplanmış esneklik analiz raporlarını kapsamakta olup, Şekil 1’de tek hat şeması, Şekil 2’de boru ve ekipman model görüntüsü, Şekil 4’te tesis model yerleşimi görünen, yüksek basınçlı kolektörden çıkan ana hattın ortak bir başlıktan buhar türbinine ve baypas hattından PRDS valfi ve kondenser girişine olan borulamasından oluşmaktadır.

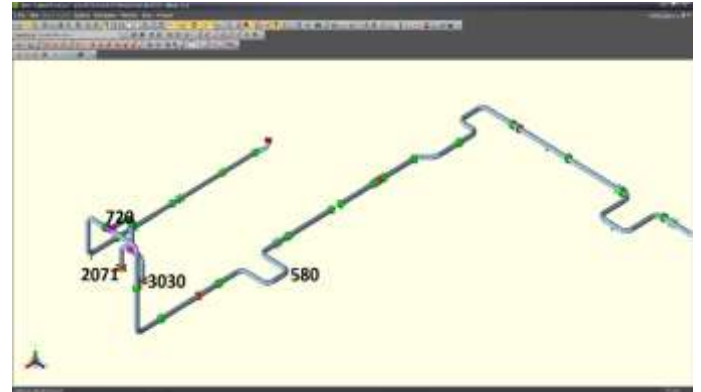
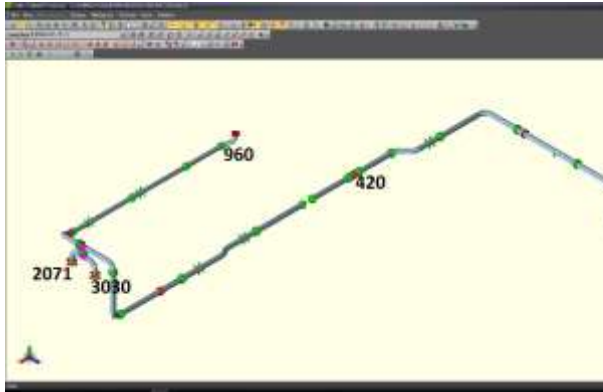


Şekil 1. Buhar türbin boru bağlantısı tek hat şeması



Şekil 2. Ekipman ve Boru Yerleşim Modeli

Yukarıda anlatılan tek hat şeması borulaması için Şekil 3’te görülen iki farklı borulama (M1 ve M2) analiz sonuçlarının karşılaştırılması yapılacaktır. M1 durumu borulamanın en kısa ve yerleşime en uygun olduğu durum için tasarlanmış olup, M2 ise tesis yerleşimi göz önüne alınarak boru için yeterli esnekliği sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Destek yerlerini optimize etmek için tekrarlanan analitik bir süreç benimsenmiştir. (Şekil 3’ te gösterilen model noktaları üzerindeki pozlandırılmış düğüm noktaları analiz sonucuna göre gerilme değerleri kritik olan noktalardır.)



Şekil 3. M1 ve M2 için üç boyutlu model ve referans düğüm noktaları

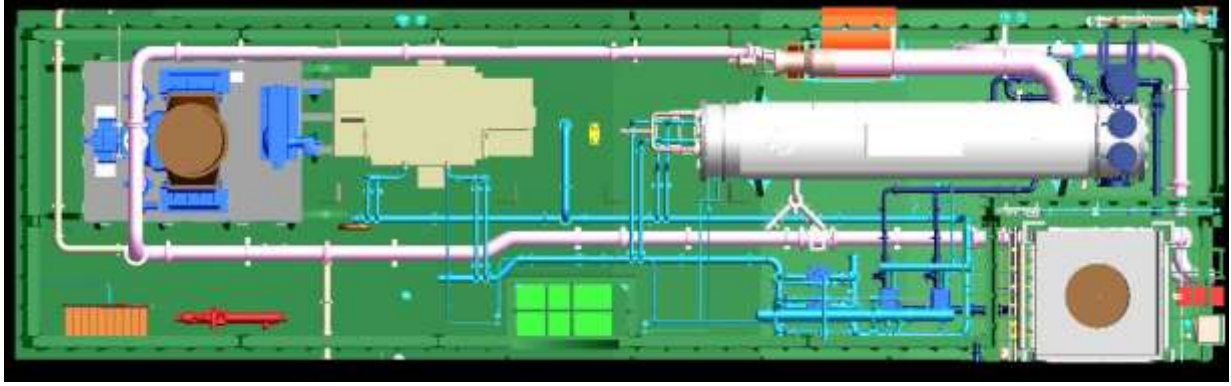
Boru hattı esnekliğinin tamamı ile ilgili çalışma ve rapor ASME B31.1 Güç Boru Hattı kodu ile uyumlu olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu hesaplamanın amacı;

- Boru bağlanan ekipmanlarla birlikte boru tesisatlarının güvenliğinin sağlanması.
- Boru destekleri için destek yükleri ve yer değiştirmelerin belirlenmesi.
- Ekipman bağlantı noktalarında boruya bağlı olarak iletilen yüklerin izin verilen değerler ile karşılaştırılmasıdır.

Boru esnekliğini sağlamak için aşağıdaki yük durumları dikkate alınmıştır.

- Ağırlık (boru, izolasyon, akışkan madde)
- Hidrotest
- Isıl (Çeşitli çalışma kombinasyonları)



Şekil 4. M1 buhar hattı yerleşiminin üç boyutlu model görüntüsü üstten görünümü

3.1. Analiz için tanımlanan değerler

Analiz için normalde sıcaklık ve basıncın değişiklik gösterdiği farklı kabul değerleri alınarak tesisin güvende kalması amaçlanır. Bu çalışma için kabul edilen koşullar Tablo 1’de verilmiştir. Analiz için tek sıcaklık ve tek basınç değeri seçilmiş olup alınan değerler maksimum sıcaklık ve maksimum basınçta çalışma değerleridir.

Tablo 1. Sistem çalışma değerleri

Sıcaklık	320°C
Basınç	1370 kPa
Hidrotest Basıncı	2000 kPa
Boru Yoğunluğu	0.00785 kg./cu.cm.
İzolasyon Yoğunluğu	0 .00018 kg./cu.cm
İzolasyon Kalınlığı	130 mm

Bu çalışma boru, izolasyon ve suyun ağırlığının ve hidrostatik basıncın (tasarım basıncının 1,5 katı) etkilerini içermektedir. Hidrotest yükleri, boru desteklerinin yeterliliğini doğrulamak için kullanılır. İki boru yerleşimi için de mevcut tanımlanan değerler için yukarıda belirtilen yük durumlarına göre aşağıdaki Tablo 2’de yer alan kombinasyonlar için sonuçlar alınmıştır.

Tablo 2. Analiz hesaplamaları için kullanılan yük durumları

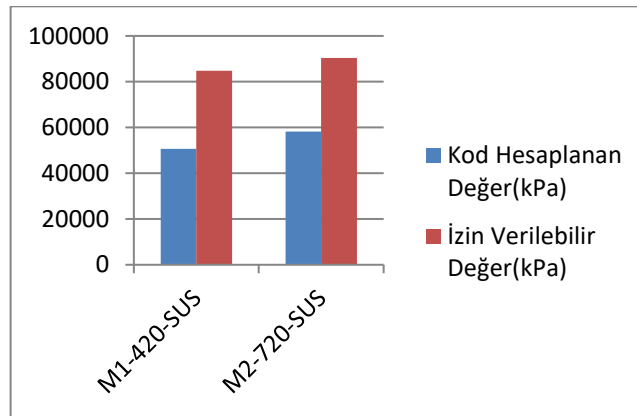
Durum No	Gerilmeler	Yük Durumu	Açıklama
Durum 1	Hidrostatik Yükler(HYD)	WW+HP+H1	Hidrostatik test
Durum 2	Çalışma Sırasındaki Yükler(OPE)	W+T1+P1+D1+H1	Ağırlık, Sıcaklık, Basınç, Yer değiştirme, Önceden tanımlanmış askılar
Durum 3	Kalıcı yükler(SUS)	W+P1+H1	Ağırlık, basınç, Önceden tanımlanmış askılar
Durum 4	Isıl Yükler(EXP)	T1+D1	Sıcaklık, Yer değiştirme

Bu çalışma için deprem, rüzgâr gibi analiz sonucu etkileyen şartlar ihmal edilmiş olup, ağırlık ve ısı sebeplerden kaynaklı oluşabilecek gerilmeler için aşağıdaki yük durumları oluşturulmuş, maksimum sıcaklık ve maksimum basınç değeri için analiz yapılmıştır.

3.2. Analiz Sonuçları ve İyileştirme

Tablo 2’de belirtilen Hidrostatik Yükler (HYD), Çalışma Sırasındaki Yükler (OPE), Kalıcı yükler (SUS), Isıl Yükler (EXP) analiz sonuçlarının değerlendirildiği yük durumlarıdır. Bu yük durumlarından elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4’te M1 ve M2 model durumu için türbin bağlantı noktaları kuvvet ve moment analiz sonuç değerleri gösterilmiştir.

M2 borulamasında M1 den farklı olarak boru üzerinde oluşan gerilmeleri azaltmak için gerilme yoğunluğuna bağlı olarak U tipi genleşme noktaları eklenmiş ve yine türbin bağlantı nozullarındaki yük ve moment değerlerini istenilen seviyeye getirebilmek için borulama türbin çevresinde dolaştırılmıştır. Bu sayede boru üzerinden türbine iletilen yük ve momentin uzatılan boru üzerinde kalması istenmiştir.



Şekil 5. M1 ve M2 için boru üzerinde sürekli yüklerden (SUS) oluşan maksimum gerilme değerleri

Stres mühendisi için boru üzerindeki gerilme oranı azami %80 - %90 aralığında kalması boru ve tesis güvenliği için tercih sebebidir. Gerilme oranını istenilen seviyede tutabilmek için boru desteklerinin yerleşimi, borulama üzerinde belli aralıklarla U tipi borulama olan omega dengeleyicisi ya da lyra dengeleyicisi yapılması temel olarak esnekliği sağlamada maliyet açısından da ilk tercih sebebidir. Sonraki tercih olarak da boru üzerinde esnekliği sağlamak için kompensatör kullanılır.

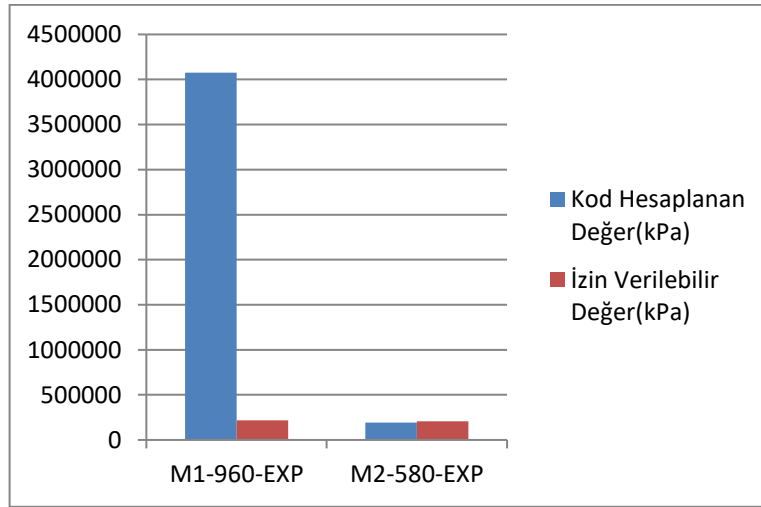
Tablo 3. M1 için hesaplanan türbin bağlantı noktaları kuvvet ve moment değerleri

Düğüm Noktaları		fa (N.)	fb (N.)	fc (N.)	Kuvvetler Kontrolü	ma (N.m.)	mb (N.m.)	mc (N.m.)	Momentler Kontrolü
2071	Mutlak Metot								
	Limitler	6000	3000	3000		4000	5600	4000	
	3(HYD)	6504	-353	108	10.841	-78	245	9	0.438
	4(OPE)	18936	-32434	11787	108.113	7432	3568	25785	64.462
	5(SUS)	4345	816	88	7.242	-61	199	-552	1.381
	6(EXP)	14591	-33250	11699	110.833	7492	3369	26337	65.843

Tablo 3. (Devam)

Düğüm Noktaları		fa (N.)	fb (N.)	fc (N.)	Kuvvetler Kontrolü	ma (N.m.)	mb (N.m.)	mc (N.m.)	Momentler Kontrolü
3030		Mutlak Metot							
	Limitler	6000	3000	3000		4000	5600	4000	
	3(HYD)	5395	632	-449	8.991	186	-167	-414	1.034
	4(OPE)	51005	173298	20741	577.661	-9161	10193	130172	325.430
	5(SUS)	3263	-539	-336	5.439	142	-115	153	0.384
	6(EXP)	47742	173837	21077	579.457	-9304	10308	130325	325.813

Şekil 5'te, M1-420 ve M2-720 düğüm noktaları için sürekli yüklerin (SUS) uygulandığı durum için analiz sonuçlarına göre maksimum gerilmenin olduğu değerler gözükmemektedir. Hesaplanan değerler, izin verilen değerlerin altında olduğundan iki borulama modeli için de sürekli yüklerin uygulandığı durum için borunun esnekliği istenilen değer aralığında olduğu görülmektedir. Maksimum değerler düğüm noktaları M1-420 için gerilme oranı %59,7 iken M2-720 için gerilme oranı %64,3 tür.


Şekil 6. M1 ve M2 için boru üzerinde ısı yüklerinden oluşan maksimum gerilme değerleri

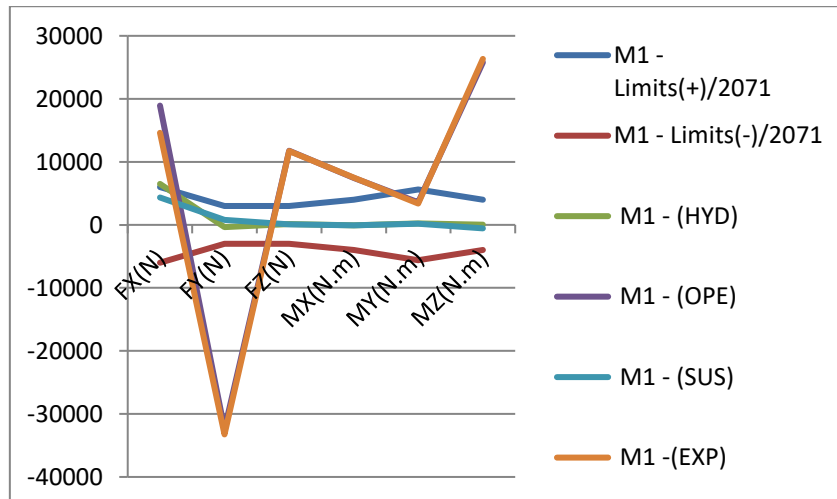
Ancak Şekil 6'da iki model durumu için ısı yükleri(EXP) uygulandığında M1-960 düğüm noktası için hesaplanan değeri ile izin verilebilir değer arasında ciddi fark olduğu gözükmemektedir. M2-580 noktası için ise hesaplanan gerilme değeri izin verilen değerinin altında gözükmemektedir. M1 için sistem borulaması ısı yükleri için uygun bir borulama oluşturmazken, M2 için sistem borulamasının yeterli esnekliğe sahip olduğu gözükmemektedir. Maksimum değerler için M1-960 için gerilme oranı %1870,4 iken M2-580 için gerilme oranı %93,8'dir.

M1 için boru üzerindeki gerilme oranının bu kadar yüksek çıkmasının sebebi boru tasarımının mevcut yerleşim içerisinde en az maliyetli ve en düzgün borulamaya sahip olmak amacı ile yapılmasıdır.

Tablo 4. M2 için hesaplanan türbin bağlantı noktaları kuvvet ve moment değerleri tablosu

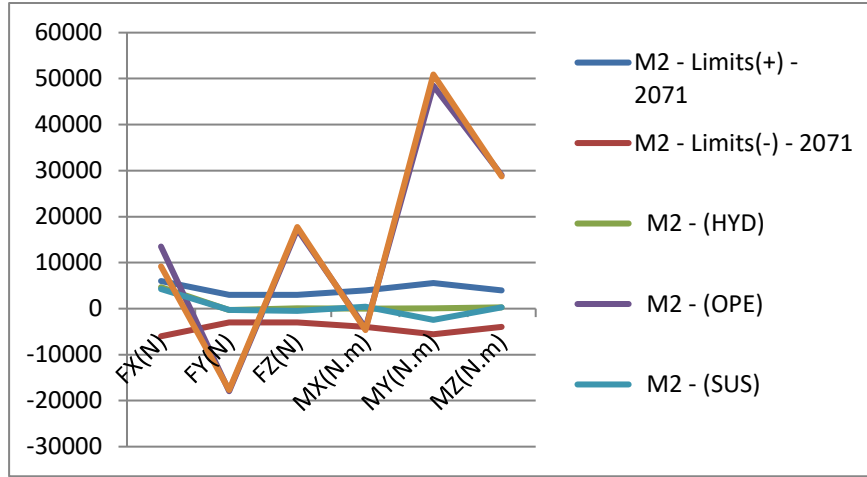
Düğüm Noktaları		fa (N.)	fb (N.)	fc (N.)	Kuvvetler Kontrolü	ma (N.m.)	mb (N.m.)	mc (N.m.)	Momentler Kontrolü
2071		Mutlak Metot							
	Limits	6000	3000	3000		4000	5600	4000	
	3(HYD)	4661	-298	24	7.769	-8	-117	257	0.643
	4(OPE)	14085	- 17835	2037 5	67.916	-5308	57939	28764	103.463
	5(SUS)	4259	-268	-464	7.098	416	-2357	270	4.210
	6(EXP)	9826	- 17566	2083 9	69.463	-5725	60296	28494	107.672
3030		Mutlak Metot							
	Limits	6000	3000	3000		4000	5600	4000	
	3(HYD)	4661	205	-296	7.769	-21	-648	-190	1.158
	4(OPE)	8607	18502	1635	61.675	3586	26772	- 30684	76.711
	5(SUS)	4259	40	-321	7.098	-403	-2120	-4	3.786
	6(EXP)	4349	18462	1956	61.540	3989	28893	- 30680	76.700

Şekil 7’de M1-2071 düğüm noktası için türbin bağlantı noktasında hidrostatik yükler (HYD), çalışma sırasındaki yükler (OPE), kalıcı yükler (SUS), ısıl yükler (EXP) için hesaplanan kuvvet ve moment değerleri ile izin verilebilir kuvvet ve moment değerleri gözükmemektedir. Hidrostatik yük ve sürekli yükler için nozul bağlantısı için izin verilen değerleri aşmazken, çalışma sırasındaki yükler ve ısıl yükler için izin verilen değeri kuvvet ve moment değerlerini fazlasıyla aşmaktadır.



Şekil 7. M1-2071 düğüm noktası için türbin bağlantı noktasında oluşan farlı durumlardaki yükler

Şekil 8’da, M2-2071 düğüm noktası için türbin bağlantı noktasında hidrostatik yükler (HYD), çalışma sırasındaki yükler (OPE), kalıcı yükler (SUS), ısıl yükler (EXP) için hesaplanan kuvvet ve moment değerleri ile izin verilebilir kuvvet ve moment değerleri gözükmetedir. Hidrostatik yük ve sürekli yükler için nozul bağlantısı için izin verilen değerleri aşmazken, çalışma sırasındaki yükler ve ısıl yükler için izin verilen kuvvet ve moment değerleri M1-2071 değerine göre çok daha iyi gözükse de izin verilen değerler aşılmıştır.



Şekil 8. M2-2071 düğüm noktası için türbin bağlantı noktasında oluşan farlı durumlardaki yükler

M1 model durumu için hem boru üzerindeki gerilmelerde hem de türbin nozul bağlantısındaki yük ve moment değerleri izin verilen değerlerin üzerindedir. M2 model durumu için ise boru üzerindeki gerilme oranları izin verilen değer aralığında yer alırken türbin bağlantısı üzerindeki yük ve moment değerleri izin verilen değerlere iki model durumu karşılaştırıldığında oldukça yaklaşmıştır ancak istenilen değerler yakalanamamıştır. İzin verilen değerlere ulaşmak için türbin bağlantısı üzerinde oluşan yükün sebebini bulmak gerekmektedir. M2 için yapılan çalışmalarda boru üzerine U tipi borulamalar eklenmiş ve boru destek yerleri olabildiğince boru üzerinden iletin yükün boru destekleri üzerinde kalacak şekilde yerleştirilmeye çalışılmıştır. Çözüm yolu da yine ilk başta belirtildiği gibi boru tasarımından geçmektedir.

4. Değerlendirme ve sonuç

Buhar boru hattı, çalışma esnasındaki akışkan iç basıncının yanı sıra ek dış yüklerin de etkisine maruz kalan karmaşık bir yapıdır. Buhar hatları üzerinde oluşan gerilmeler boru tasarımı ve boru desteklerinin yerleşimine büyük ölçüde bağlıdır. Yani boru tasarımı esas olarak gerilme analizine bağlıdır. Çünkü tasarımın farklılaşması önemli ölçüde farklı gerilme durumlarına neden olmaktadır. Akış göz önüne alındığında, boru üzerindeki gerilmeler buhar hattının servis ömrü üzerindeki olumsuz etkileri bulunmaktadır ve bu gerilmelerin doğru bir şekilde belirlenmesi ve değerlendirme yapılması gerekmektedir.

Aynı devrenin iki farklı boru tasarımı için yapılan analiz sonucunda bazı sonuçlara ulaşılmıştır. Sürekli uygulanan yük durumları için oluşan gerilmelerin kodda belirtilen izin verilen sınırlar içerisinde olduğu

iki model durumu için de görülmüştür. Borunun termal büyümesi sırasında oluşan genleşme gerilmeleri M2 için izin verilebilir aralıkta iken M1 için izin verilen değerler aşılmıştır. Türbin nozullarındaki borudaki uzama nedeniyle oluşan yükler iki model durumu için de izin verilen değerlerin üzerinde çıkmıştır. Destekler iki model durumu için de sistemi taşıyacak kapasiteye sahip olup hesaplanan yük değerlerine karşılık gelen destek tipleri belirlenmelidir.

Sonlu elemanlar boru gerilme analizi programları yardımıyla yapılan analizler boru üzerindeki gerilimler hakkında net bir resmin elde edilmesini ve analiz edilen buhar hattı elemanlarının davranışının daha iyi değerlendirilmesini ve bileşenlerindeki kritik noktaların belirlenmesini sağlar.

Kaynakça

American National Standart. (ASME). "Code for Pressure Piping", B31.1-2012.

A. Sivanagaraju, A., Krugon, S. and Venkateswararao, M. (2015). "Stress Analysis of Process Pipe Line Systems (ASME B 31.3) In a Plant Using Caesar-II", Mechanical Department, Bapatla Engineering College, Bapatla, Guntur, India.

Bausbacher, E. and Hunt, R. (1993). "Process Plant Layout and Piping Design", pp. 389-410.

Bradshaw, C. (2013). "CAESAR II Statics Training".

Can, İ. (2017). "Boral Mühendislik ve Taahhüt A.Ş. Kitaplığı", (Ref No:06-08-0012-0). Boru Sistemlerinde Termik Gerilmeler.

Joshi, A. A., Cherian, R. T. and Rao, G.R. (2000-2001). "A Project Report on Pipe Stress Analysis", University of Mumbai.

Nayyar, M. L. (2000). "Piping Handbook, Seventh Edition", C3 pp. (C.83-C133), B4 pp. (B.107-B.214).

Peng, L.C. and Peng, T.L., "Pipe Stress Engineering".

Sharma, P., Tiwari, M., and Sharma, K. (2014). "Design and Analysis of a Process Plant Piping System", Department of Mechanical Engineering, GLA University, Mathura, India.

Spielvogel, S.W. (1955). "Piping Stress Calculation Simplified", Fifth Edition, New York.

The M.W. Kellogg Company. (1941-1956). "Design of Piping System".

Woods, G. E. and Baguley, R. B. (1997). "Practical Guide to ASME B31.3 Process Piping", Alberta, CASTI Publishing Inc.

Enerji Gemilerinde Egzoz Kulesi Tasarımı

Alican Aşkun¹, Serkan Ekinci²

alicanburada@gmail.com¹, ekinci@yildiz.edu.tr²

^{1,2} Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Özet

Gemilerde kullanılan ekipman tiplerine bağlı olarak hazırlanan faundeyşınlar için temel esaslar ve genel kriterlerin belirlenmesi; yapılan uygulamalara standart getirilmesi ve uygun profil seçimi ile ağırlık tasarrufu yapılabilmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, yüzer bir elektrik santrali gemisinde karşılaşılan en büyük faundeyşın yapısı için, sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak geliştirilen bir ticari paket program (SAP2000) yardımıyla bir model tasarımı yapılmıştır.

Egzoz kulesi olarak geçen bu yapı ana güverte üzerinde bulunan egzoz sistemini oluşturan ekipmanların taşınması ve desteklenmesi amacıyla tasarlanmıştır. Yapının tasarımında, yapının kendi ağırlığı, taşıdığı ekipmanların ağırlıkları ve rüzgâr yükleri göz önüne alınmış ve farklı rüzgâr hızları için üç farklı senaryo incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda tasarımı yapılan yapının uygunluğu kontrol edilmiş, üç farklı senaryo için sonuçlar karşılaştırılmıştır. İteratif olarak yapılan düzeltmelerle emniyet sınırları içinde kalarak hafif bir yapı oluşturulmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: SAP2000, sonlu elemanlar yöntemi, faundeyşın, gerilme analizi

Exhaust Tower Design On Powerships

Alican Aşkun¹, Serkan Ekinci²

alicanburada@gmail.com¹, ekinci@yildiz.edu.tr²

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

Abstract

Establishing a basic and general criterion for the design of foundations depending on the type of supported equipment would be important by means of settling a standard for the applied work and weight saving by selecting the right profiles. A model design is performed by SAP2000 program, which is developed based upon finite element method, for the biggest foundation encountered on a floating energy central.

This structure, which is called exhaust tower, is designed to carry and support the equipment of exhaust system located on the main deck. Structure's own weight, supported equipment and wind loads are taken into account while working on its design and three different scenarios with different wind loads are examined. In consequence of these examinations the model is analyzed for its convenience and the results of three scenarios are compared. By making iterative refinements, a structure of minimum weight within the limits of safe zone, is tried to be created.

Keywords: SAP2000, finite element method, foundation, stress analysis

Sembol Listesi

P_r : Hesaplanan eksenel kuvvet

P_c : İzin verilen eksenel kuvvet

P_n : Maksimum eksenel kuvvet

Ω : Emniyet katsayısı

M_r : Hesaplanan eğilme gerilmesi

M_c : İzin verilen eğilme gerilmesi

M_n : Maksimum eğilme gerilmesi

K : Efektif uzunluk faktörü

L : Desteklenmeyen boy

A_g : Kesit alanı

F_e : Elastik eğilme gerilmesi

E : Elastisite modülü

Z : Mukavemet momenti

A_w : Profil web alanı

C_v : Web kesme katsayısı

V : Rüzgar hızı

q : Yüzeye yayılı rüzgar basıncı veya emme

ρ : Hava yoğunluğu

r : Eylemsizlik yarıçapı

g : Yerçekimi ivmesi

F_{cr} : Kritik gerilme

W : Eşdeğer statik basınç veya emme kuvveti

F_y : Akma gerilmesi

c_p : Yapı yüzeyi konum katsayısı

1. Giriş

Faundeyşin yapıları, gemi üzerindeki her türlü ekipmanı, kendi etkileri ve dış etkiler (gemi hareketleri) sonucu meydana gelen kuvvetler karşısında desteklemek, gemi bünyesine sabitlemek ve bu ekipmanların meydana getirebileceği azami yük ve titreşimin gemi bünyesine iletimini azaltmak amacıyla tasarlanmaktadır. Faundeyşin dizayn kriteri olarak eskiden beri yapılan uygulamalarda yalnızca klas kuruluşları tarafından ve çoğunlukla ana makine ve kazanları kapsayan kısa referanslar dikkate alınmıştır, ancak daha makul bir yaklaşımla statik ve dinamik koşullar göz önünde bulundurularak yapılan ön dizaynlar ile ihtiyaç dışı yapılar giderilerek faundeyşinin toplam ağırlığının azaltılması ve ekipmanın daha problemsiz çalışmasına olanak sağlanabilmektedir (Cashman, 1962). Yapıl dizaynının ilk evrelerinde verilen kararlar yapıların toplam maliyet ve çevre performansını kritik derecede etkilemektedir. Tasarımcı tek amaca yönelik çalışmanın ötesinde bütünsel bilgi birikimine sahip olması daha kapsamlı karar verebilmesi açısından önemlidir (Zhang vd., 2017).

Türk Loydu tekne yapım kurallarına (2018) göre sevk sistemini oluşturan makinalar ve donanım, sağlam ve rijit temeller üzerine kurulmalı ve güvenli bir şekilde bağlanmalıdır. Bu maksatla, temellerin her bir üst levha sacı için net en kesit alanı, net üst levha sac kalınlığı, temel boyunca konulan gördörlerin toplam gövde kalınlığı ve temel boyunca konulan döşeklerin net et kalınlığı için minimum değerler hesaplatılmaktadır. Bu minimum değerler diğer klas kuruluşlarınca da çok benzer olmakla birlikte, diğer faundeyşin yapıları için yeterli rijitlikte olmaları gerektiğinin belirtilmesi dışında ayrıca bir formülasyon verilmemiştir.

Faundeyşin tasarımı yapılırken belli bir iş akışını takip etmek optimum bir tasarıma ulaşılması açısından büyük önem taşır (Orhan, 2014). Bu iş akışı; faundeyşin dizayn ihtiyacının belirlenmesi, faundeyşin tasarımı yapılacak ekipmana ait boyut, ağırlık, vs. bilgilerin toplanması, dinamik ve statik yük hesaplarının yapılması, faundeyşin geometrik modelinin oluşturulması, ekipman ve montaj edileceği bölgenin bağlantı detayları da değerlendirilerek taşıyıcı elemanların belirlenip boyutlandırılması ve bağlı kalınan standartlar için kontroller yapılarak mukavemet isterler sağlanana kadar çalışmanın tekrar edilmesi şeklinde sıralanabilir. Bu çalışma dâhilinde de bu sıra takip edilmiştir.

2. Kullanılan yöntem ve yönetmelikler

Faundeyşin geometrisinin oluşturulması ve gerekli mukavemet dayanımının sağlandığının kontrolü SAP2000 paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. SAP2000 mühendislik yazılımı, yapıların üç boyutlu olarak modellenmesi, hesaplanması ve boyutlandırılması amacıyla kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır. Program çalışma prensibi olarak sonlu elemanlar metodunu kullanmaktadır.

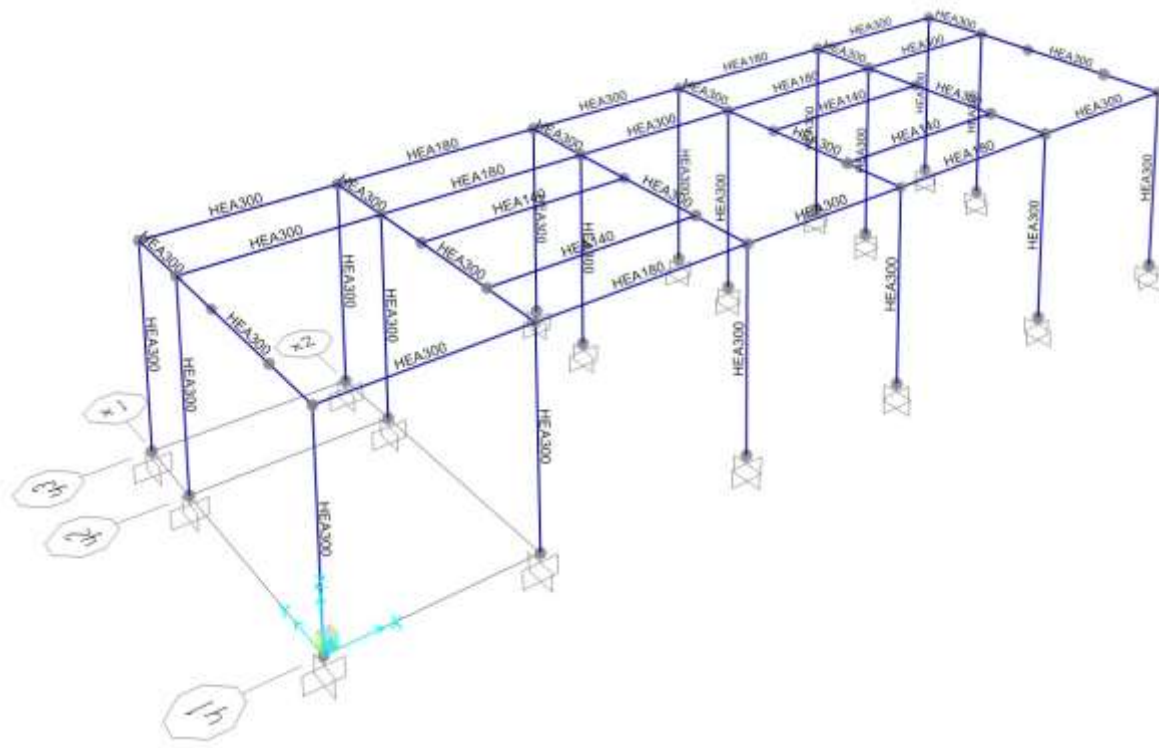
Sonlu elemanlar metodu; karmaşık bir sistemin daha basit alt bölgelere ayrılması, bu basit alt bölgelerin matematiksel olarak çözülüp bunu takiben bütüne uygulanması ve karmaşık sistemin çözümüne

ulaşılması prensibine dayanan bir yaklaşım metodudur. Hamrit ve diğeri (2015) sonlu elemanlar metodunun, sürekli bir sistemi sonlu sayıda parametre ile tanımlanmış münferit bir sistem olarak kabul etmesi ile ulaşılabilecek en kusursuz sonuca ulaşma imkânı sağladığını belirtmiştir. Cook ve diğeri (1989) sonlu elemanlar metodunun kuvvetini çok yönlülüğünden aldığını ileri sürmüştür. Metot çok farklı fiziksel problemlerin çözümünde uygulanabilir ve analiz edilen yapı rastgele şekil, yük ve destek durumlarında olabilir. Bu çok yönlülük; problem tipi, geometri, sınır koşulları, eleman seçimi gibi veri girdilerinin kullanıcı kontrolünde girilebileceğı tek bir bilgisayar programı bünyesinde toplanabilir.

Alt bölgelere ayırma, "ayrıklaştırma" veya "meshleme" olarak tabir edilen yani sonsuz sayıda noktadan oluşan yapıyı sonlu sayıda eleman ve nodlarına ayırma işlemidir. Sınır şartları tanımlandıktan sonra her eleman için katılık matrisi yazılabilir. Elemanların ortak nodları (düğüm noktaları) için sadeleştirme yapıldıktan sonra ise tüm yapının katılık matrisi elde edilebilir ve buna göre yaklaşık çözüm yapılır. Sonlu elemanlar metodu yapının geometrisini temel alır. Bu yapının ayrıklaştırılması genel katılık matrisinin bulunması için, gerilme enerjisine bağılı olarak ilk temel matrisleri ortaya çıkarır. Sınır şartları ve yüklerin uygulanmasından sonra tüm nodlardaki bilinmeyen yer değıştirmeler ve elemanlardaki bilinmeyen eksenel gerilmeler hesaplanabilir (Lalanne vd., 1995).

SAP2000 paket programı da analiz için her nesneyi geometrik yapıları ile uyuşan bir veya birden fazla elemana dönüştürür. Bu eleman tabanlı model hesap modeli olarak adlandırılır ve sonlu elemanlar ve düğüm noktalarını içerir. Program bölümlendirmenin hassasiyet derecesinin ayarlanması veya el ile yapılması seçeneklerini de sunar. Sonuçlar ise yine nesne tabanlı bir model üzerinde gösterilir. Modelin daha fazla eleman içermesi veya bu elemanların istasyon sayılarının arttırılması sonuçtaki hassasiyeti arttıracaktır (CSI Analysis Reference Manual, 2013). Bu çalışmada incelenen egzoz kulesi program içinde 328 üç boyutlu kiriş elemanı ve 274 düğüm noktası girilerek modellenmiş yatay ve dikey çerçeve kısımları oluşturulmuştur. Daha sonra modeli oluşturan yapıya malzeme bilgileri tanımlanmış ve sınır koşulları atanmıştır. Şekil 1'de yapının ilk katı için seçilen malzeme ve profil tipi ataması yapılmış kiriş elemanları ve bağılantı noktaları (nodlar) gösterilmiştir. Sınır koşullarından biri olarak kirişlerin güverteye kaynaklı uçlarının ankastre mesnetli olduğı, bu kapsamda bu uçların doğrusal veya rotasyonel hiçbir hareket gerçekteştirmeyeceğı kabulü yapılmıştır.

Program mukavemet yeterliliğı için analiz yaparken AISC 360 standartlarını kullanır. AISC - Amerika Çelik Yapı Enstitüsü, yapısal çelik tasarım topluluğuna ve inşaat sanayine hizmet vermek üzere 1921'de kurulmuş, genel merkezi Chicago'da olan kar amacı gütmeyen bir enstitüdür. Çelikle ilgili teknik ve inşaat piyasasına ilişkin; şartname ve kod geliştirilmesi, araştırma, eğitim, teknik yardım, kalite sertifikasyonu, standardizasyon ve pazar geliştirilmesi faaliyetlerinde lider olan AISC'nin amacı yapısal çeliğın kullanımını yaygınlaştırmaktır. Kesit kapasite kontrolü yapılan son kısımda kullanılan standartlara değinilecektir. Ayrıca rüzgâr yükü hesaplanırken Türk Standartları Enstitüsü'nün TS498 – Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri standartları kullanılmıştır.



Şekil 1. SAP2000 Model gösterimi - egzoz kulesi ilk kat

Bilgisayar programları hesaplamalarda ve sonuçların kontrolünde birçok yetkin özelliklerle donatılmış olsa da sonuçların yorumlanması mühendislik bilgisi ve tecrübesi gerektirir. Kullanılan programdan bağımsız olarak her yapı mühendisinin bir yapıyı ele alma sırası modelleme, hesaplama (analiz) ve boyutlandırma olacak şekilde sıralanabilir (Engin, 2011). SAP2000 içerisinde de bu sıralama geçerlidir.

3. Uygulama

3.1. Gemi hakkında genel bilgi

Geminin Adı	: Karadeniz Powership Osman Khan
Gemi Sahibi	: Karadeniz Holding
Tekne Numarası	: 1268
Bayrak	: Liberia
Kayıtlı Olduğu Liman	: Monrovia
Çağrı Adı	: ELXS8
IMO Numarası	: 9189158
Kızağa Yatırma Tarihi	: 1999
İnşa Yılı	: 2000
Gemi Tipi	: Enerji Gemisi
Klas	: Bureau Veritas
Klas Numarası	: 28629V
Tam Boy	: 300 metre
Dikmeler Arası Boy	: 288,5 metre
Kalıp Genişliği	: 50 metre
Kalıp Derinliği	: 23,9 metre



Şekil 2. Karadeniz Powership Osman Khan

3.2. Kullanılan malzemeler

Gemi bünyesinde malzeme olarak yapısal çelik kullanılmıştır. Tablo 1'de yapısal çeliğin mukavemet özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 1. Malzeme mukavemet özellikleri (Kutay, 2009)

Yapısal çelik	S235
Akma Dayanımı	235 N/mm ²
Kopma Dayanımı	365 N/mm ²
Elastisite Modülü	210 kN/mm ²

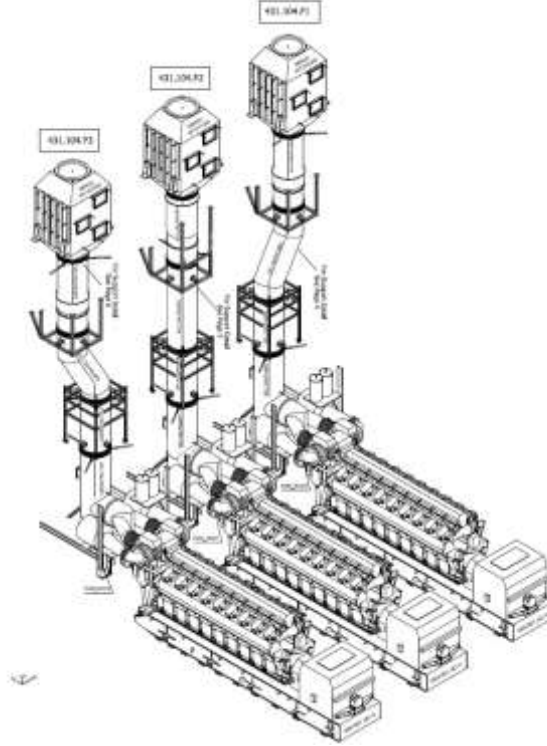
Kule yapısı tasarımında mekanik özellikleri Tablo 2'de belirtilen HEA300, HEA240, HEA200, HEA180, HEA140 ve HEA100 profilleri kullanılmıştır.

Tablo 2. Kullanılan yapı elemanlarının mukavemet özellikleri (Kutay, 2009)

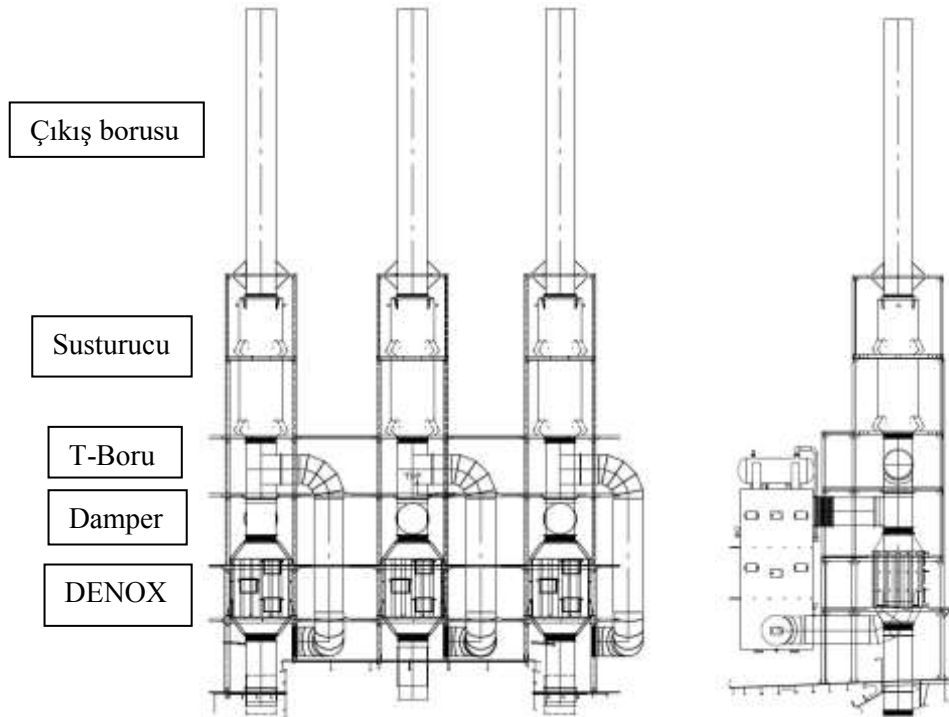
	Kesit Alanı (cm²)	Ağırlık (kg/m)	Atalet Momenti (cm⁴)	Kesit Modülü (cm³)
HEA100	16,7	16,7	349	72,8
HEA140	31,4	24,7	1030	155
HEA180	45,3	35,5	2410	294
HEA200	53,8	43,2	3690	389
HEA240	76,8	60,3	7760	675
HEA300	112	88,3	18260	1260

3.3. Taşıtılacak yükler

Egzoz hattı ana makinelerden çıkışı Şekil 3'te, egzoz kuleleri üzerindeki ekipmanların yerleşimi Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 3. Egzoz hattı ana makine çıkışı



Şekil 4. Egzoz kuleleri yerleşimi

Egzoz sisteminde kullanılan ekipmanların ağırlıkları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Egzoz sistemi ekipman ağırlıkları

DENOX	26000 kg
Damper	3200 kg
T-Boru	860 kg
Susturucu	8500 kg
Çıkış Borusu	3325 kg

Bunların yanında kulelere etki eden rüzgâr yükü dikkate alınmıştır. Rüzgâr yükünün hesaplanmasında Türk Standartları Enstitüsü'nün TS498 – Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri standartlarından faydalanılmıştır. İlgili standarda göre her ekipmanın rüzgâra maruz kalan yüzey alanı hesaplanıp farklı rüzgâr hızları için yük hesabı yapılmıştır.

Rüzgârın esiş yönünde çarptığı yapı yüzeylerinde basınç, terk ettiği arka yüzeylerde ve yalayıp geçtiği yüzeylerde emme kuvveti oluşur. Aşağıdaki 1, 2 ve 3 numaralı denklemlerle elde edilen, W ile gösterilen bu kuvvetin birimi kN/m^2 'dir. Basınç veya emme kuvveti rüzgârın hızına ve yapının geometrisine bağlıdır (Topçu, 2017).

$$q = \frac{\rho V^2}{2g} \quad (1)$$

ρ (Hava yoğunluğu) = $1,25 \text{ kg/m}^3$, g (Yerçekimi ivmesi) = 10 m/s^2 olarak alınıp denklem düzenlenirse aşağıdaki denklem elde edilir.

$$q = \frac{V^2}{1600} \quad (2)$$

Bulunan bu rüzgar basıncı değeri yapı yüzeyinin konumuna bağlı bir katsayı (c_p) ile çarpılarak metrekareye düşen eşdeğer statik basınç veya emme kuvveti bulunur.

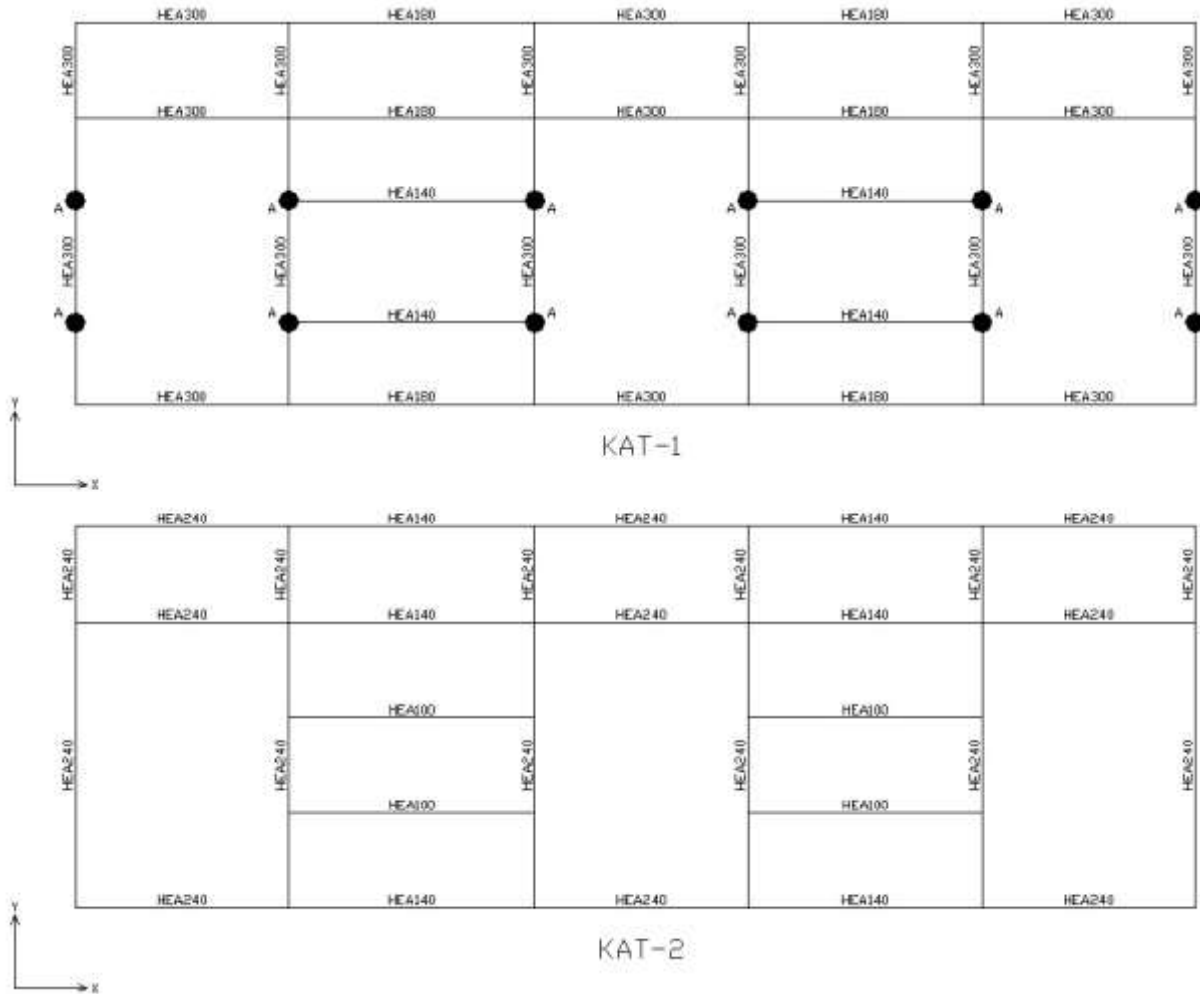
$$w = c_p q \quad (3)$$

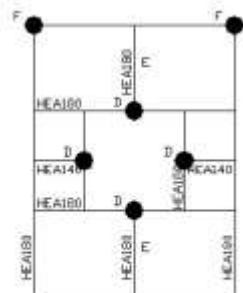
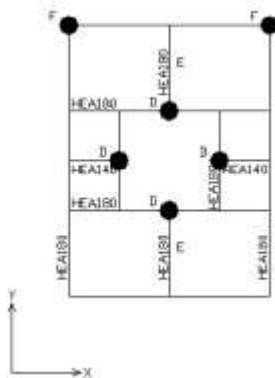
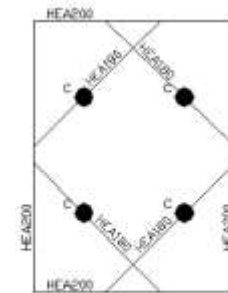
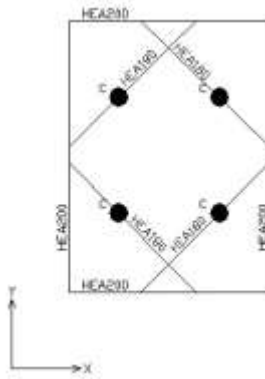
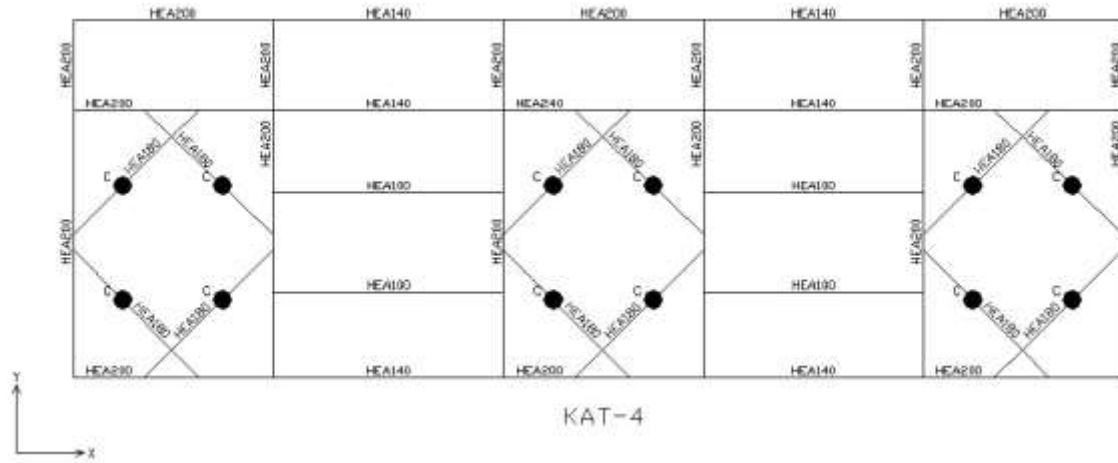
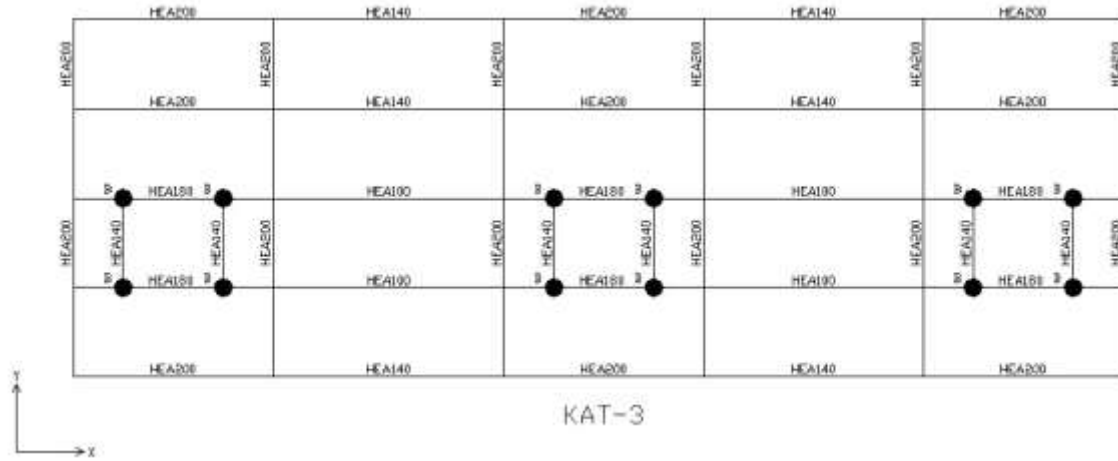
Bu c_p katsayısı normal ve kule tipi yapılar için farklılık göstermektedir. Kule tipi yapı tanımı yüksekliği plandaki eninin beş katı veya daha fazla olan yapılardır. Bu çalışmada çıkış borusu ve susturucu için kule kabulü yapılmış ve bu katsayı 1,6 olarak kabul edilmiş, diğer ekipmanlar için normal yapı kabulü yapılarak değer 1,2 olarak kullanılmıştır. Yapı tasarlanırken incelenen en büyük rüzgâr hızı 40 m/s 'dir (Weather Online, 2017). Bu rüzgâr hızı geminin servis vereceği bölgedeki meteoroloji istatistiklerine göre son yüz yılda kaydedilmiş en yüksek değerdir, bu nedenle daha büyük bir hız için hesap yapmak gerekli görülmemiştir. Yapının artan rüzgâr hızları için gerilme ve yer değiştirme eğilimlerini görmek açısından düşük hızlar için de hesaplama yapılmıştır ve bulunan değerler Tablo 4'te gösterilmiştir. Her eleman üzerindeki rüzgâr yükü ekipmanların egzoz kulesine bağlandığı noktalardan yapıya yüklenmiştir.

Tablo 4. Ekipmanlara etkiyen rüzgâr yükleri

	10 m/s	20 m/s	30 m/s	40 m/s
DENOX	880 N	3560 N	8000 N	14280 N
Damper	544 N	2160 N	4880 N	8720 N
T-Boru	511 N	2000 N	4530 N	8100 N
Susturucu	2700 N	10800 N	24200 N	43200 N
Çıkış Borusu	2475 N	9930 N	22170 N	39580 N

Egzoz kulesini oluşturan yapısal elemanlara ait ağırlık bilgisi, analizin yapıldığı yazılım içerisinde otomatik olarak hesaplanarak analize katılmıştır. Egzoz kulesinin kendi ağırlığı, ekipman yükleri ve rüzgar dolayısıyla oluşan yükler kulenin ilgili yerlerine dağıtılarak, yükleme istasyonları oluşturulmuştur. Bu istasyonlar Şekil 5 ve 6'da, yükleme değerleri ise Tablo 5'te görülebilir.


Şekil 5. Kat 1,2 yükleme istasyonları



Şekil 6. Kat 3,4,5,6 yükleme istasyonları

Tablo 5. Yükleme istasyonları değerleri

İstasyon	Yük (N)		
	X	Y	Z
A	-	6000	-73000
B	-	2100	-3500
C	-	5500	-11000
D	-	5100	-11000
F	1000	1400	-8500

3.4. Tasarım ve sistemin oluşturulması

Genel olarak tasarım, işlevsel tasarım ve taşıyıcı sistemin tasarımı olarak iki bölümde incelenebilir. İşlevsel tasarımda kullanıma uygunluk ve mimari dikkate alınırken; taşıyıcı sistemin tasarımında ise belirlenen yükleri güvenle taşıyacak elemanların seçimi yapılmalıdır. Tasarımın adımları, planlama, ön tasarım, yüklerin saptanması, ön boyutlama, analiz (yüklerin ve sistemin modellenmesi, iç kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin saptanması), değerlendirme (dayanım ve işletme koşullarının kontrolü; sonucun optimum tasarım kriterleriyle karşılaştırılması), gerekiyorsa yeniden tasarım ve sonuç şeklinde özetlenebilir (Kocabaş, 2009).

Program içinde ilk olarak işlevsel tasarım göz önünde bulundurularak istenilen geometrik modelin oluşturulması için kafes yapısı hazırlanır. Bu sistem hazırlandıktan sonra tanımlamalar yapılmaya başlanabilir. Bu tanımlamalar; kullanılacak malzeme, kullanılacak kesit ve profil çeşitleri, yüklenecek yükler, farklı yükleme ve analiz durumları şeklinde sıralanabilir.

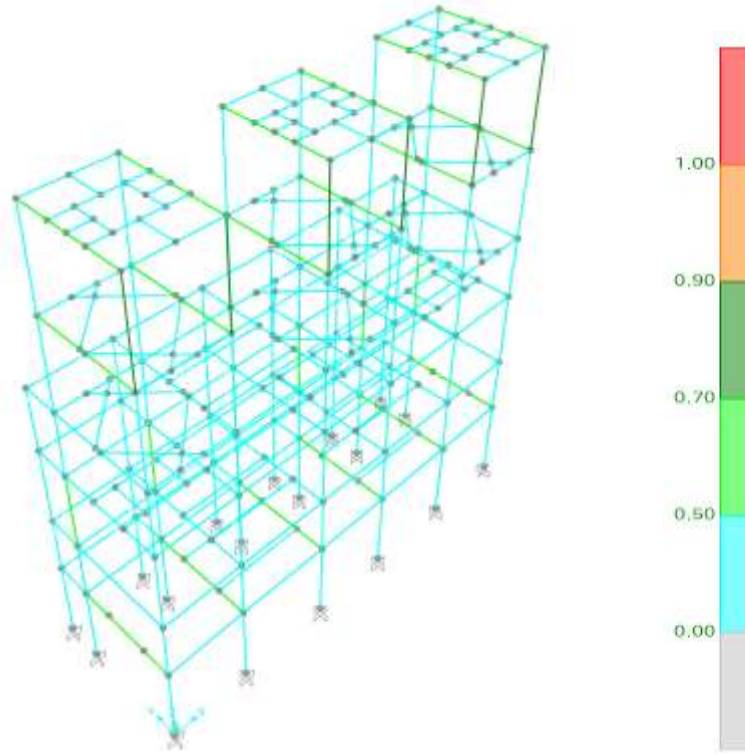
Bu tanımlamalar yapıldıktan sonra sistemin geometrik modeli çizim araç çubuğu kullanılarak oluşturulmaya başlanabilir. Oluşturulan elemanlara tanımlanan kesitler atanır, bağlantı noktaları oluşturulup bu noktalar için mesnet kabulleri yapılır. Yapının ana güverteye bağlandığı noktalarda mesnet koşulları yer değiştirmeye ve dönmeye kapalı olarak kabul edilmiştir. Diğer kesişim noktaları mafsal olarak ele alınmıştır.

Model tamamen oluşturulduktan sonra tanımlanan yükler yapılan kabullere göre noktasal veya yayılı yük olarak elemanlara atanır. Bu sistemde ekipmanların ağırlıkları yapıya montajlandıkları nokta sayısına bölünüp yukarı değere yuvarlanarak noktasal yük olarak etki ettirilmiştir. Son olarak çıkış borusu üzerindeki rüzgar yükünün yarısı borunun yapıya bağlandığı dört bağlantı noktası arasında, diğer yarısı ise bağlı olduğu çelik halatlar arasında paylaştırılmıştır.

3.5. Analiz ve iyileştirme

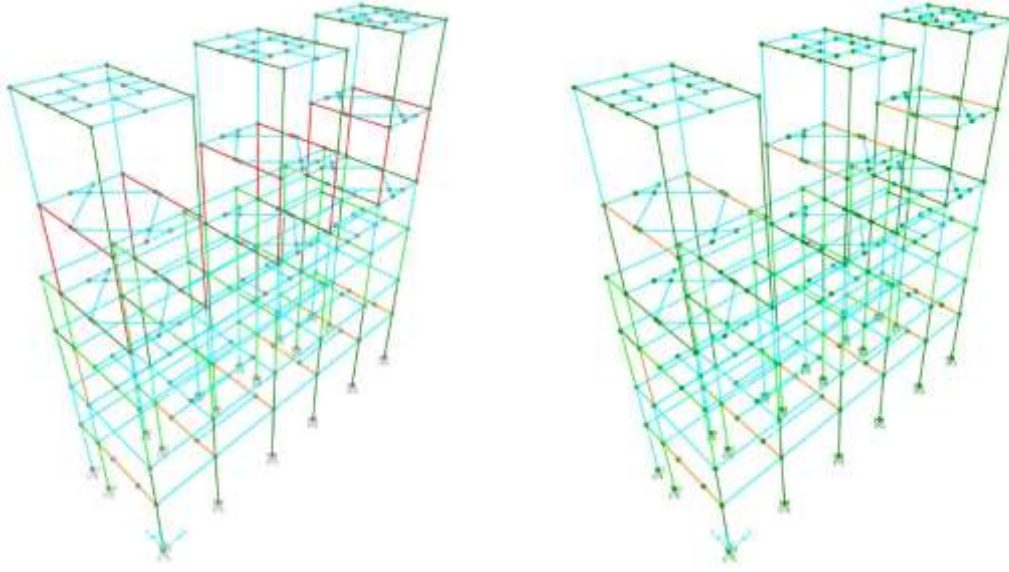
Tüm yüklemeler yapıldıktan ve bağlantı koşulları da belirlendikten sonra analiz komutu verilir. Analiz tamamlandıktan sonra yapının nasıl davranacağı, her nokta için gerilme ve yer değiştirme durumları incelenebilir. Her profildeki kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları görülebilir.

Her elemanda her yükleme durumu için eleman boyunca belli sayıdaki istasyonda kesit kontrolü yapılır. Bu istasyonlar elemanın serbest açıklığının eşit aralıklı parçalarından oluşur. Elemandaki istasyon sayısı çözümlemeden önce kullanıcı tarafından belirtilir. Kullanıcı eleman boyunca boyutlama hesaplarını daha hassas almak üzere daha çok sayıda parça tanımlı isteyebilir (Çağdaş, 2016). AISC 360 standartları kullanılarak gerçek eleman gerilme bileşenleri ve bunlara uyumlu müsaade edilebilir gerilmeler hesaplanır. Kontroller için, yönetmelik eşitliklerine, yükleme durumlarına ve noktanın tanımına uygun olarak basınç/eğilme ve kesme gerilme oranları elde edilir. Gerilme oranının 1'den büyük olması, bir limit durumun aşıldığını gösterir. Kesit kontrolünün görsel ifadesinde renk skalasından kesit yeterliliği incelenebilir. Kırmızı ile işaretlenen yerler gerilme oranının 1'den büyük olduğu yetersiz kesitleri gösterirler. Ayrıca bu değerin 1'e yakın olduğu kritik elemanlar için Amerika Çelik Yapı Enstitüsü'nün kurallarına göre elle kontrol yapılır. Seçilen bir eleman için kapasite hesabı örneği 3.6'da verilmiştir.



Şekil 7. Model 1 kesit kontrol görüntüsü

Bu sistemde ilk dikmeler güverte üzerindeki ekipmanlara göre atılmış, taşıtılacak egzoz boruları ve ekipmanlar için boşluklar bırakılmıştır. Üst seviyelere çıkıldıkça daha küçük kesitli profiller kullanılmaya çalışılmıştır. Destekleyici ara bağlantılar için yine daha küçük kesitli profiller seçilmiştir. Sistem rüzgâr hızının 10, 20, 30 ve 40 (m/s) olduğu durumlar için incelenmiştir. Şekil 7'de rüzgâr hızının 40 m/s olduğu durum için kesit kontrolü görülmektedir. Görüleceği üzere çoğu eleman taşıyabilecekleri kapasitenin çok altında boyutlandırılmıştır. İteratif olarak yapılan düzeltmelerle iki model daha oluşturulmuştur. Üçüncü modelde 1 sınırının üzerine geçen kısımlar için bir düzeltme daha yapılarak son hale ulaşılmıştır. Şekil 8'de rüzgâr hızının 40 m/s olduğu durum için düzeltilen model 3'e ait kesit kontrol görüntüleri incelenebilir.

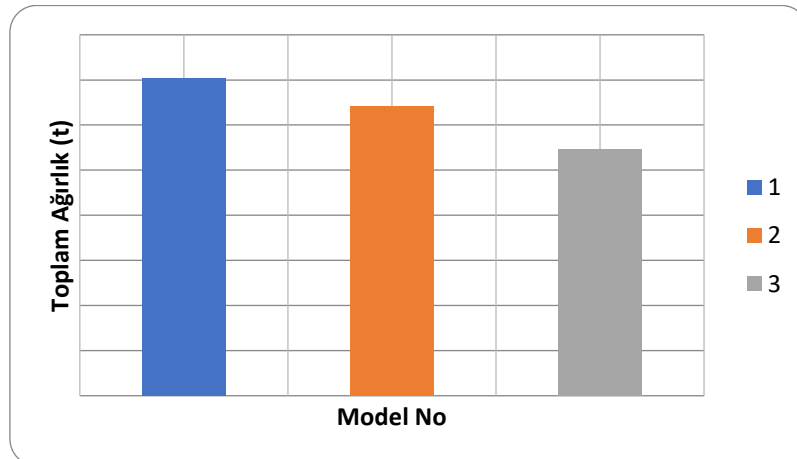


Şekil 8. Düzeltilen model 3 kesit kontrol görüntüleri

Yapılan düzeltmelerle yaklaşık 15,8 ton azaltma yapılarak ilk yapıya göre %22 daha hafif bir yapı oluşturulmuştur. Sekiz ambar için yaklaşık 126 ton ağırlıktan tasarruf edilmiştir. Her modelde kullanılan farklı tipteki profillerin sayısı ve modellerin toplam ağırlığı Tablo 6 ve Şekil 9'da görülebilir.

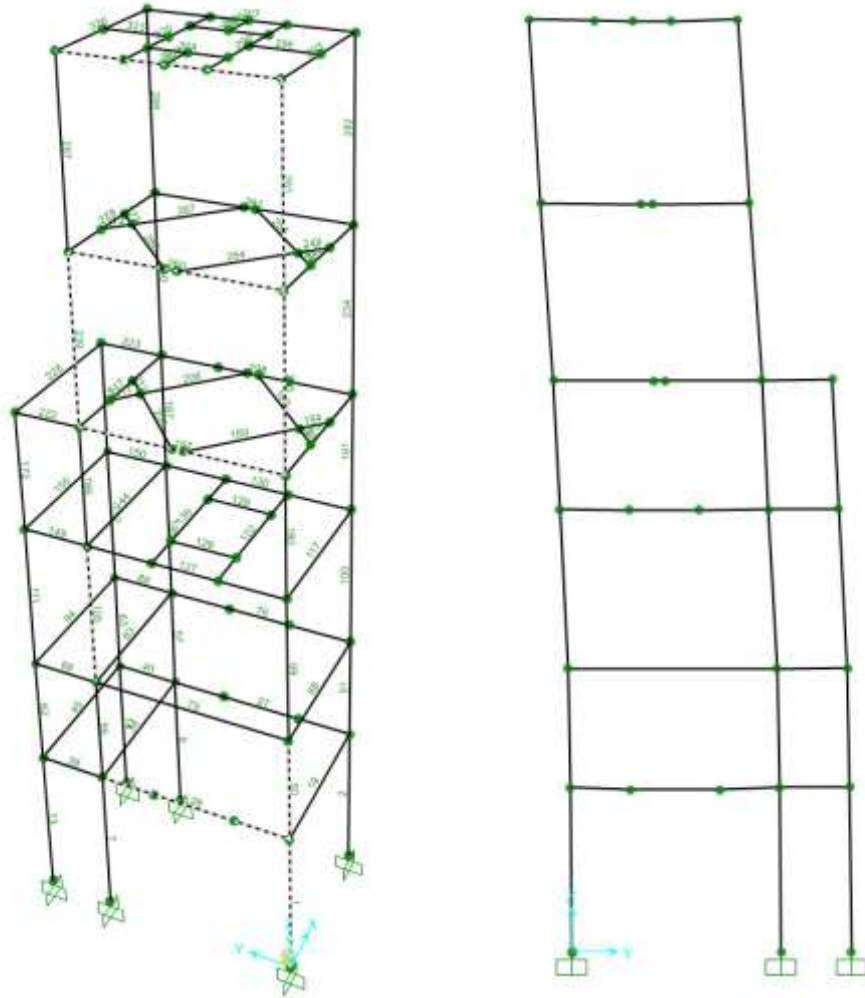
Tablo 6. Model ağırlıkları ve kullanılan profil sayıları

	Model 1	Model 2	Model 3
HEA100	-	-	12
HEA140	16	28	39
HEA180	83	119	97
HEA200	-	-	102
HEA240	151	142	38
HEA300	78	39	40
Toplam Ağırlık (t)	70,4	64,1	54,6



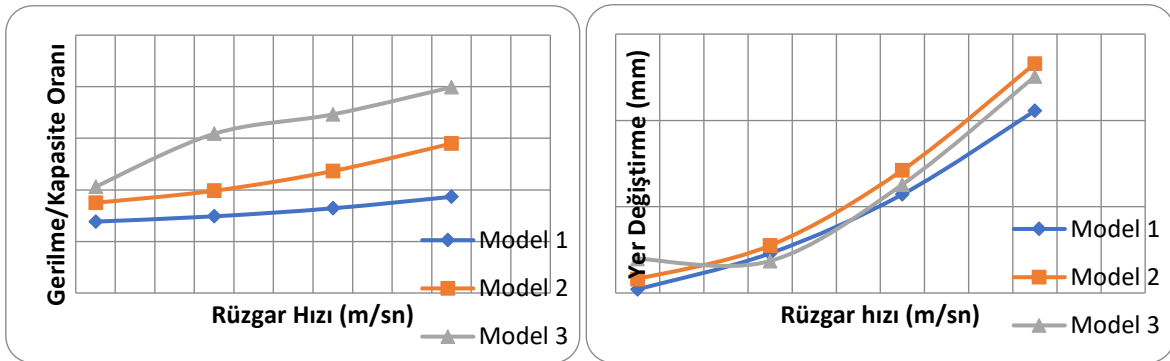
Şekil 9. Model ağırlıkları

Farklı rüzgâr hızları için yapılan analizler boyunca en çok yüklemeye maruz kalan kritik elemanların gerilme kapasite oranları ve uç noktadaki yer değiştirmeleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Şekil 10'da yapının deforme hali ve seçilen kritik elemanlar gözlemlenebilir.



Şekil 10. En çok gerilme taşıyan elemanlar ve yapının deforme hali

Elemanlardaki gerilmeler ve uçlardaki yer değiştirmeler artan rüzgâr yüklerinde artma eğilimi göstermektedir. Şekil 11'de model 3'e ait 50 numaralı eleman örnek olarak incelenmiştir.



Şekil 11. 50 numaralı eleman için gerilme oranı ve yer değiştirme değerleri

Bir yapının ağırlığı maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmakla beraber, minimum ağırlık tasarımı her zaman minimum maliyet tasarımı anlamına gelmeyebilir. Kullanılan malzemenin kalitesine göre daha hafif olan malzeme daha maliyetli olabilir. Yapısal iyileştirme son yıllar içinde yaygın olarak ele alınmış ve çelik iskeletlerin optimal tasarımı alanında yoğun çalışmalar yapılmıştır; ancak mühendisler optimal maliyetlere ulaşabilmeleri hususunda çok fazla araca sahip olmadıklarından, bu çalışmaların çoğu ağırlık minimizasyonu üzerine odaklanmıştır (Hojjat, 2006). Maliyet açısından tersane malzeme stoğu, çalışılan tedarikçiler ve malzemelerin nakledilmesi önemli parametrelerdir.

Bu çalışmada hedeflenen emniyetli kısımda kalarak en hafif yapının oluşturmasıdır. Ancak bu tasarımdaki tek kriter olmayabilir. Egzoz sisteminin tedarikçisi tarafından ortaya koyulan kriterlere de uyulmalıdır. Bunlardan biri sistemin geminin 3 dereceden fazla meyil yaptığı durumlarda çalışmaya elverişli olmamasıdır. Bu kriter stabilite kısmı tarafından ayrıca incelenir, bu açıdan yapının geminin ağırlık merkezini fazla yukarıya çekmesinden kaçınılmalıdır. Ayrıca kabul edilen standartlar göz önünde bulundurularak yer değiştirme değerleri de kontrol edilmelidir. Sistem son haliyle ortaya koyulan şartları sağlamaktadır.

3.6. AISC 360'a göre kesit kontrolü

Son modele ait 281 numaralı eleman için programın matematiksel çalışma prensibinin gösterilmesi açısından kontrol yapılmıştır.

Eksenel kuvvet ve eğilme etkisi altındaki elemanlar için tasarım;

$$(a) \frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ ise; } \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (4)$$

$$(b) \frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ ise; } \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (5)$$

Eksenel kuvvet için;

$$\text{Eylemsizlik yarıçapı: } r_g^2 = \frac{I}{A} = \frac{2510}{45,3} = 55,4 \quad r_g = 7,4 \text{ cm} \quad (6)$$

$$\text{Efektif uzunluk: } \frac{KL}{r} = \frac{1 \times 5185}{74} = 70 \quad (7)$$

$$(a) \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise; } F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (8)$$

$$(b) \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise; } F_{cr} = 0,877 F_e \quad (9)$$

$$\text{Elastik burkulma gerilmesi: } F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 210}{70^2} = 0,423 \text{ GPa} \quad (10)$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{210}{0,235}} = 140,8 > 70; \quad F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[0,658^{0,423} \right] 0,235 = 0,186 \text{ GPa}$$

$$P_c = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{F_{cr} A_g}{\Omega} = \frac{0,186 \times 4500}{1,67} = 501,2 \text{ kN} \quad (11)$$

Eğilme etkisi için;

$$M_{cx} = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{F_y Z_x}{\Omega} = \frac{0,235 \times 303612}{1,67} = 42723,8 \text{ kN.mm} \quad (12)$$

$$M_{cy} = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{F_y Z_y}{\Omega} = \frac{0,235 \times 147765}{1,67} = 20793,3 \text{ kN.mm} \quad (13)$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{17,07}{501,2} = 0,034 < 0,2;$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = \frac{17,07}{2 \times 501,2} + \left(\frac{26086}{42723,8} + \frac{596}{20793,3} \right) = 0,017 + (0,62 + 0,029) = 0,67 \leq 1,0$$

Kesme kuvveti için tasarım;

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v = 0,6 \times 0,235 \times 1026 \times 1 = 144,6 \text{ kN} \quad (14)$$

$$\frac{8,81}{144,6} = 0,061 \leq 1,0$$

Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerlerin kritik 1 değerinin altında olduğu gösterilmiştir, ayrıca bu değerler (0,67 ve 0,061) Şekil 12'de işaretli olarak gösterilen programdan gelen değerlere (0,78 ve 0,091) yakınlık göstermektedir.

Steel Stress Check Information (AISC-ASD89)						
Frame ID	281	Analysis Section	HEA180			
Design Code	AISC-ASD89	Design Section	HEA180			
COMBO ID	STATION LOC	---MOMENT INTERACTION CHECK---	AXL + B-MAJ + B-MIN	RATIO	MIN-SHR	MAX-SHR
G+E+Q+0.5	0,00	0,270 (C) = 0,049 + 0,157 + 0,064		0,031	0,001	
G+E+Q+0.5	2,59	0,104 (C) = 0,046 + 0,044 + 0,014		0,031	0,001	
G+E+Q+0.5	5,19	0,323 (C) = 0,043 + 0,245 + 0,035		0,031	0,001	
KRAL	0,00	0,649 (C) = 0,070 + 0,515 + 0,064		0,091	0,001	
KRAL	2,59	0,166 (C) = 0,067 + 0,085 + 0,014		0,091	0,001	
KRAL	5,19	0,785 (C) = 0,064 + 0,686 + 0,035		0,091	0,001	

Şekil 12. Program gerilme kontrol bilgisi

4. Sonuç ve öneriler

Bir yapıyı en iyi şekilde tasarlamak ya da tasarlanmış bir yapıyı okuyarak optimize etmek öncelikle o sisteme, oluşum aşamasında veya sonrasında, etki eden bütün parametrelerin ve bu parametreler için ne şekilde kabuller yapıldığının çok iyi bilinmesine dayanır. Bu parametreler; ağırlık, rüzgâr, deprem, sürekli dinamik etkiler (titreşim, dalga vs.) ve sıcaklık değişimleri gibi dış etkiler olabildiği gibi, dış ortam koşullarına uyum, dayanım gereksinimleri (gerilme, stabilite), kurma, sökme ve bakım gereksinimleri gibi malzeme özellikleri olabilir. Bunun yanında uygulanan şartnameler, parametreler ve konstrüktif koşullar deneyim birikimi ile birlikte dikkate alınmalıdır. Sistem oluşturulurken kullanılacak programların, yöntemlerin kapsamları iyi bilinmeli, sistemin yapılabiliirliği ve doğa davranışı uyumu gözetilmelidir. Bu gibi faktörlerin ne kadar çoğu yapılan hesaplamaların içine katılabilirse oluşturulan model o denli gerçekçi olarak incelenip sağlıklı hesaplar yapılabilir. Bu çalışmada elde olan bilgiler ve bilgisayar yazılımı kullanılarak sistemin uygun şekilde çalışabileceği güvenli bir yapı en hafif şekilde oluşturulmaya çalışılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan doküman ve verilerin paylaşımına müsaade eden ve tecrübelerini paylaşan Karadeniz Holding ve SEFT Gemi Tasarım firmalarına teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca çalışma boyunca destek ve önerilerini esirgemeyen Y. Doç. Dr. Özgür DEMİR'e teşekkürü borç biliriz.

Kaynakça

- American Institute of Steel Construction (AISC). (2010). "Specification for Structural Steel Buildings".
- Cashman, R. M., (1962). "Design of Marine Foundations", The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 723.
- Cook, R.D., Malkus, D.S., Plesha, M.E., (1989). "Concepts and Applications of Finite Element Analysis". Madison, Wisconsin.
- Computers & Structures, Inc. (CSI) (2013). "Analysis Reference Manual", Berkeley, California.
- Çağdaş, M., (2016). "Uygulamalı SAP2000: Yapı Sistemlerinin Modellenmesi", İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Engin, G., (2011), "SAP2000 Yazılımı Temel Eğitim Notları-1".
- <https://tr.scribd.com/document/59249458/46718723-SAP2000v10-BASLARKEN>, Eylül 2017.
- Hamrit, F., Necib, B., Driss, Z., (2015). "Analysis of Mechanical Structures Using Beam Finite Element Method", International Journal of Mechanics and Applications, 1.
- Hojjat, A., Kamal, C.S., (2006). "Cost Optimization of Structures", England: John Wiley & Sons.
- Kocabaş, S., (2009). "Çelik Yapıların SAP2000 Programı ile Analiz ve Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Kutay, M.G., (2009). "Malzemenin Mukavemet Değerleri". Mukavemet ve Malzeme ders notları. (<http://www.guven-kutay.ch/>)

- Lalanne, M., Berthier, P., Hagobian, J., (1995). *Mécanique des vibrations linéaires*", MASSON Edition.
- Orhan, O., (2014). "Su Üstü Savaş Gemilerine Ait Savaş Sistemi Temellerinin Yapısal Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Topçu, A., (2017). "Betonarme II Ders Notları", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/betonarme2.htm.
- TSE 498, (1987). "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri", TSE, Ankara.
- Türk Loydu, (2018). "Tekne Yapım Kuralları", Kısım 1, Bölüm 19 Makina Montajı, B Motor Temelleri.
- Zhang, J., Li, H., Zhao, Y., Ren, G., (2017). "An ontology-based approach supporting holistic structural design with the consideration of safety, environmental impact and cost", *Advances in Engineering Software*, 115, 26-39.
- <http://www.guven-kutay.ch/mukavemet/05-2-mukavemet-degerleri.pdf>, Eylül 2017.
- <https://tr.scribd.com/document/59249458/46718723-SAP2000v10-BASLARKEN>, Eylül 2017.
- <https://www.csiamerica.com/products/sap2000> [Online] [Erişim 10.01.2017]
- <http://www.weatheronline.co.uk> [Online] [Erişim 10.01.2017]
- <http://www.b2bmetal.eu/hea-sections-specification> [Online] [Erişim 01.12.2017]
- <https://global.ihs.com/standards.cfm?publisher=AISC> [Online] [Erişim 05.01.2018]

Boru İçi Akışlarda Basınç Kaybının Sayısal Hesabı

Sinan Aracı¹, Ömer Kemal Kınacı²

aracisinan@gmail.com¹, kinacio@itu.edu.tr²

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

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

Özet

Boru içi akışlarda dirseklerde oluşan kayıplar, literatürde verilen kayıp katsayıları kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak bu katsayılar sabit katsayılar olup akışın özellikleri dikkate alınmamaktadır. Gerçekte ise boru içi akışta dirseklerde oluşan kayıplar Reynolds sayısının bir fonksiyonudur; dolayısıyla akış hızı ve boru çapı gibi parametreler kayıp katsayısını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, farklı tipte boru elemanları için sayısal hesaplamalar yapılmış ve literatürdeki katsayılarla karşılaştırılmıştır. Sayısal analizler sonucunda dirseklerdeki kayıpların Reynolds sayısına bağlı olduğu kanıtlanmıştır.

Anahtar kelimeler: boru içi akış, dirsek, kayıp katsayısı, Poiseuille akışı

Numerical Analysis of Pressure Loss in Pipe Flow

Sinan Aracı¹, Ömer Kemal Kınacı²

aracisinan@gmail.com¹, kinacio@itu.edu.tr²

¹Faculty of Naval Architecture and Maritime, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey

²Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

Özet

The loss occurring in the elbows during the pipe flow are calculated using the loss coefficient. However, these coefficient is constant and the features of the flow are not considered. In fact, the loss occurring in the elbow is the function of Reynolds number. Therefore, parameter like velocity of the flow and diameter of the pipe affects the loss coefficient directly. In this study, the numerical calculations was done for diffirent pipe size and was compared with coefficients in the literature. As a result of numerical analysis, it has been proven that loss coefficient in the elbows depends on the Reynolds number.

Keywords: flow in pipes, elbow, loss coefficients, Poiseuille flow

1. Giriş

Boru içi akış birçok alanda, farklı şekilde kullanılmaktadır ve akış hesaplarında pompalama gücünün belirlenmesi önemli bir unsurdur. Bunun için boru içerisinde meydana gelecek enerji kayıplarının bilinmesi pompalama gücünün belirlenmesinde önemli parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir. Çünkü meydana gelen bu enerji kayıpları karşımıza basınç kaybı olarak çıkmakta ve pompalama gücünün belirlenmesini doğrudan etkilemektedir.

Boru içerisinde meydana gelen enerji/basınç kayıpları ikiye ayrılmaktadır. Birincisi; akışa ters yöndeki sürtünme kuvvetinden meydana gelen kayıplardır. Bu kayıplara sürekli kayıplar denir. Sürekli kayıplar, düz bir boruda meydana gelen kayıplardır. İkincisi ise akım yönünde veya akış kesitinde meydana gelen değişimler sonucu oluşan kayıplardır. Bu kayıplara yerel kayıplar denir. Yerel kayıplar, dirsekler, ani daralma ve genişlemeler, bağlantı elemanları gibi etkenler ile ortaya çıkan kayıplardır. Bu kayıpların bilinmesi ve azaltılması doğru pompalama gücünün hesaplanmasında, doğru sistem tasarımı yapılmasında oldukça önemlidir.

Literatürde, boru içi akışı konu alan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada basınç kayıpları konusu ile ilgili belli başlı bazı çalışmalar incelenmiştir. Mehmet Atılğan ve arkadaşının (1999) yaptığı çalışmada borularda meydana gelen enerji kayıplarından bahsedilmiş ve geçiş boruları üzerine çalışma yapılmıştır.

Bunun için farklı iki kesitteki doğrusal geçişler incelenmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi ile klasik hesaplama yöntemi kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Bu konuda yapılan deneysel çalışmalar incelenmiştir ve geçiş boruları için yük kayıp katsayısının kesit geometrisine, boru boyuna (veya eşdeğer koniklik açısına) bağlı olarak değiştiği ve Reynolds sayısının da önemli bir parametre olduğu ortaya çıkmıştır. HAD çalışmaları Flo++ adlı programda yapılmıştır. Türbülans modeli olarak k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. HAD ve klasik yöntem karşılaştırmasında, hesap sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Laminer akışlarda türbülanslı akışlara göre daha yakın sonuçların elde edildiği ve türbülanslı akışlarda HAD yönteminde seçilen ağ yapısının daha sık olmasıyla daha yakın değerlerin bulunabileceği görülmüştür.

Vladimir Zmrhal ve arkadaşları (2009) yaptıkları çalışmada boru bağlantı elemanlarının basınç kayıp katsayısını, CFD kullanarak hesaplama çalışmışlardır. Bunun için ticari bir yazılım olan ANSYS Fluent programını kullanmışlardır. Çalışma modeli basit olarak, bir giriş borusu, bağlantı parçası ve çıkış borusundan oluşmaktadır. K-ε RNG türbülans modeli kullanılmış ve sabit 5 m/s giriş hızı için farklı bağlantı modelleri ele alınmıştır. Model olarak dönüş tiplerine göre keskin, yarıyuvarlak ve kademeli dirsekler ile kesit şekline göre yuvarlak ve dikdörtgen dirsekler kullanılmıştır. Herbir modelin akışa etkisi incelenmiştir. Yuvarlak ve dairesel kesitli akışların her birinde dönüş yarıçapı arttıkça kayıp katsayısının azaldığı görülmüştür. Dönüş yarıçapının model çapına eşit oluncaya kadar kayıplara etkisinin oldukça fazla olduğu, daha sonrasında ise dönüş yarıçapının artışının artık önemli olmadığı görülmüştür. Kare kesitli dönüşlerde, kesit boyutlarının etkisinin önemli olmadığı görülmüştür.

Chris Chapman ve arkadaşlarının (2010) çalışmasında ise, T ve dirsekte meydana gelen kayıpları incelemek için bir deney düzeneği kurulmuştur. 3 farklı hız için farklı referans noktalarında basınç değerlerini okumuşlardır. Sürtünme katsayısı ve yerel kayıp katsayısı hesabı yapmışlardır.

Kumar Perumal ve arkadaşları (2015) farklı Reynolds sayılarında bir dirsekte meydana gelen basınç kayıplarını CFD ile hesaplamışlardır. Çalışmada k-ε türbülans modeli kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar ile daha önce yapılan çalışmaları karşılaştırmışlar ve benzer sonuçlar bulmuşlardır. Çalışmalarında, bağlantı elemanlarının basınç kayıp katsayılarının tahmini için CFD simülasyonunun kullanılabilirliğini göstermişler ve CFD modeli kullanarak kayıp katsayısı belirlemenin ucuz bir alternatif olduğu sonucuna varmışlardır.

Saswat Sambit (2014) tarafından yapılan çalışmada bir boru içerisinde sürtünmeden kaynaklanan kayıplar incelenmiş ve sürtünme kayıp katsayısı hesaplanmıştır. İlk olarak üç farklı boru malzemesi için üç farklı hızda su kullanılarak deney yapılmıştır. Hız arttıkça kayıp katsayısının azaldığı görülmüştür. Ayrıca kayıp katsayısının boru malzemesine göre değiştiği de tespit edilmiştir. Daha sonra ANSYS Fluent programında bu borular modellenmiş ve su ile farklı özellikteki akışkanlar için çözüm yapılmıştır. Bu modellemeler ile sonuçların birbiriyle benzerlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Akışkanın viskozitesinin de kayıp katsayısını etkilediği görülmüştür. Viskozitenin yüksek olması sürtünme katsayısının yüksek olduğunu gösteriyor. Tüm sonuçlar incelendiğinde, boru malzemesinin sürtünme katsayısını etkilediği ve hız artışının sürtünme kaybını azalttığı görülmüştür.

Santos ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan çalışmada üç farklı Reynolds sayısında dirsek nedeniyle oluşan kayıplar incelenmiştir. CFD programı kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve hızın kayıp

katsayısına etkisi incelenmiştir. Yaptıkları çalışmada Re sayısı arttıkça kayıp katsayısının azaldığı görülmüştür.

Bu çalışmada boru içerisinde meydana gelen kayıplar ve nedenleri araştırılmıştır. Kayıp ve akış hesaplarında HAD yönteminin kullanılabilirliği incelenmiştir. Boru çapı ve hızının, bağlantı ekipmanı geometrisinin akışa etkisi incelenmiştir.

2. Boru içi akışlarda hız profili

2.1. Laminer akış hız profili

Bir laminer akışta akış hattı boyunca bir parçacık etrafında oluşan kuvvet dengesi incelendiğinde aşağıdaki hız grafiğini elde etmiş oluruz (Çengel & Cimbala, 2012 ve Atılğan & Gölcü, 1996);

$$u(r) = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (1)$$

Bu denkleme göre; tam gelişmiş laminer akışta hız orta ekseninde maksimum, boru çeperlerinde ise sıfır olacak şekilde parabolik bir yapıdadır. Her r değerinde hız değeri (u) pozitifdir, bu nedenle eksenel basınç gradyeni dP/dx negatif olmalıdır. Buna göre akış yönü boyunca viskoz etkiler nedeniyle basınç düşmektedir.

Laminer akış için ortalama hız denklemi kullanılarak, yarıçapa bağlı hız profil denklemini elde ederiz (Çengel & Cimbala, 2012);

$$u(r) = 2V_{ort} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (2)$$

Burada V_{ort} boru içerisindeki ortalama hızı ifade etmektedir.

2.2. Poiseuille yasası

Boru içi akışlarda en önemli değerlerden biri basınç düşüşleridir. Boru içerisinde iki nokta arasındaki (L) basınç farkı sabit olarak düşünülürse aşağıdaki denklem elde edilir (Çengel & Cimbala, 2012);

$$\frac{dP}{dx} = \frac{P_1 - P_2}{L} \quad (3)$$

Laminer akışlar için türetilen ortalama hız denklemi ile yukarıdaki denklem birleştirilirse laminer akışlar için basınç farkı denklemini elde etmiş oluruz (Çengel & Cimbala, 2012);

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{8\mu LV_{ort}}{R^2} = \frac{32\mu LV_{ort}}{D^2} \quad (4)$$

Bu denkleme göre basınç kaybının viskoz etkiler nedeniyle oluştuğu ve viskoziteyle doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Bu denklemi çapı D, uzunluğu L olan bir boru için hacimsel debi ($\dot{V}$) olarak

aşağıdaki gibi yazabiliriz (Çengel & Cimbala, 2012);

$$\dot{V} = V_{ort} A_c = \frac{(P_1 - P_2) R^2}{8\mu L} \pi R^2 = \frac{(P_1 - P_2) \pi D^2}{128\mu L} = \frac{\Delta P \pi D^4}{128\mu L} \quad (5)$$

Yukarıda elde edilen denklem “Poiseuille Yasası” veya “Poiseuille Akışı” olarak adlandırılır. Bu denkleme göre bir boru için verilen debideki basınç düşüşü boru uzunluğu ve viskozitesi ile doğru orantılı, boru çapının dördüncü kuvveti ile ters orantılıdır.

2.3. Türbülanslı akış hız profili

Pek çok uygulamada alanındaki boru içi akışlar türbülanslı akışlardır. Bu nedenle türbülanslı akışların incelenmesi ve bilinmesi mühendislik alanında oldukça önemlidir. Bu tür akışları çözümleyebilmek için türbülanslı akışlarda çeper kayma gerilmesinin akış etkisinin bilinmesi gerekmektedir. Ama türbülanslı akış çok karmaşık bir yapı olduğu için bu akışların tahmininin yapılması oldukça zordur. Türbülanslı akışlarda daha çok deneye dayalı ortaya çıkarılan ampirik formüller kullanılmaktadır.

Literatürde pek çok farklı türbülanslı akış için formüller vardır. Bunlardan en çok kullanılanı Kuvvet Yasası Hız Profildir (Çengel & Cimbala, 2012 ve Atılgan & Gölcü, 1996);

$$\frac{u}{u_{max}} = \left(\frac{y}{R}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

Burada n türbülans üssü sayısı olarak tanımlanmıştır.

3. Boru içi akışlarda basınç kaybı

Boru içi akışlarda basınç kaybı ikiye ayrılmaktadır. Birincisi viskoz etkiler nedeniyle oluşan sürekli kayıplar ($h_{k,sürtünme}$), ikincisi ise akış kesitinde veya bağlantı elemanı nedeniyle oluşan yerel kayıplardır ($h_{k,yerel}$). Basınç kayıpları genel olarak “h” ifadesi ile gösterilir ve “m” cinsinden ifade edilir.

$$h_k = h_{k,sürtünme} + h_{k,yerel} \quad (7)$$

3.1. Sürekli kayıplar ve yük kaybı hesabı

Tam gelişmiş laminar veya türbülanslı akışlarda dairesel veya dairesel olmayan boru içi akışlar için basınç kaybı ifadesi aşağıdaki gibi yazılır (Çengel & Cimbala, 2012 & Miller, 1990)

$$\Delta P_k = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{ort}^2}{2} \quad (8)$$

Burada ΔP_k basınç kaybını, L boru uzunluğunu, D boru çapını, ρ akışkan yoğunluğunu ve f sürtünme katsayısını ifade etmektedir. Borulama sistemlerinde basınç kayıpları genellikle yük kaybı ile ifade edilmektedir. Yük kaybı literatürde eşdeğer akışkan sütun yüksekliği olarak da ifade edilir. Yukarıdaki ifadeyi “ ρg ” ifadesine bölersek basınç düşüşünü m cinsinden yük kaybı olarak ifade etmiş oluruz.

$$h_k = f \frac{L}{D} \frac{V_{ort}^2}{2g} \quad (9)$$

Yukarıdaki ifade, boruda meydana gelen kayıplar, bu kayıpları yenmek için gerekli gücün yükseklik olarak ifadesini göstermektedir.

3.2. Yerel kayıplar ve yük kaybı hesabı

Borulama sistemindeki basınç kayıpları sadece viskoz kuvvetlerden değil, borulamada kullanılan bağlantılar, valfler, dönüşler, genişleme ve daralma, ayrılma ve birleşme gibi unsurlardan da oluşmaktadır. Bu kayıplar yerel kayıp olarak adlandırılır. Yerel kayıplar genellikle K_k kayıp katsayısı ile ifade edilir (Çengel & Cimbala, 2012 ve Miller, 1990);

$$K_K = \frac{h_K}{V^2/2g}; \quad h_K = K_K * \frac{V^2}{2g} = \frac{\Delta P_K}{\rho g} \quad (10)$$

h_K tersinmez yük kaybı olarak bilinir ve ΔP_K bağlantı eleman tarafından oluşan ilave basınç düşüştür. Örneğin vana bulunan bir boru sistemi için vana tarafından oluşan ilave basınç kaybı aşağıdaki gibi bulunur.

$$\Delta P_K = (P_1 - P_2)_{vana} - (P_1 - P_2)_{boru} \quad (11)$$



Şekil 1. Vanalı boru bağlantısı resmi.



Şekil 2. Bağlantı elemansız boru resmi.

Buna göre bir elemanın kayıp katsayısı hesaplanırken aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$K_K = \frac{(P_1 - P_2)_{eleman} - (P_1 - P_2)_{boru}}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (12)$$

3.3. Toplam kayıp hesabı

Sürekli ve yerel kayıpları topladığımızda aşağıdaki toplam kayıp katsayısı formülünü elde ederiz.

$$h_k = h_{k,sürtünme} + h_{k,yerel} = \left(f \frac{L}{D} \frac{V_{ort}^2}{2g} \right) + \left(K_K * \frac{V_{ort}^2}{2g} \right) \quad (13)$$

Kayıplar aşağıdaki yöntemlerle azaltılabilir.

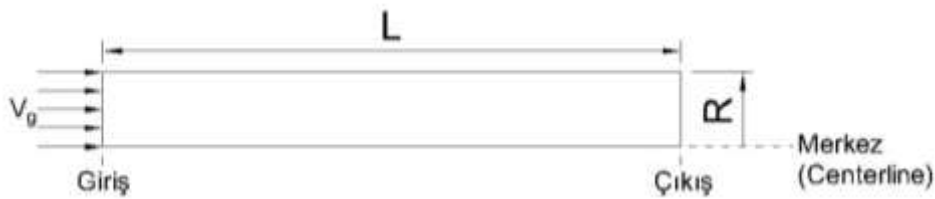
- Akış hızını düşürmek: Laminer akışta kayıplar hız ile aynı oranda değişirken (denklem no.4), türbülanslı akışta hızın karesiyle değişir (denklem no.13).
- Sabit debide boru çapı artırılarak; Bu sayede hız azaltılır.
- Viskoziteyi azaltmak: Sıcaklık ile viskozitesi düşen sıvılar için akışkan viskozitesini azaltarak kayıplar azaltılabilir.
- Kayıp katsayısı azaltılarak: Seçilen bağlantı elemanlarının basınç kayıplarını en aza indirecek şekilde seçilmesi ve daha az pürüzlülüğe sahip boru kullanılması sürtünme katsayısını azaltır.

4. Laminer akış için analitik ve sayısal karşılaştırma

200 çapında bir boru içerisinde verilen akış problemi analitik ve sayısal olarak çözülmüştür. Bunun için özkütlesi 1000 kg/m^3 ve viskozitesi 1 kg/ms olan bir akışkanın 1 m/s , 2 m/s , 5 m/s ve 10 m/s hızlardaki sonuçları incelenmiştir. Her bir hız değeri için akış rejimine bakıldığında dört akışın da laminer akış olduğu görülmüştür.

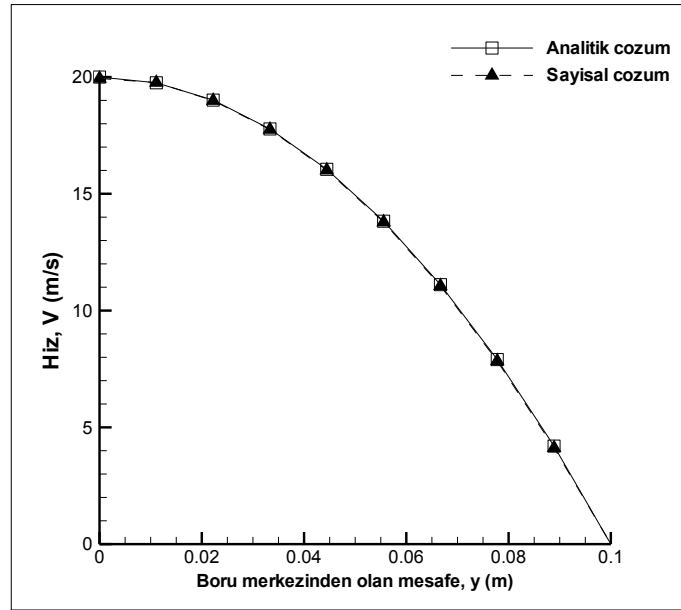
4.1. Analitik ve sayısal çözümlerin karşılaştırılması

Bölüm 2.1’de verilen hız profili denklemi ile ANSYS Fluent programı kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bunun için farklı uzunluklarda boru modelleri oluşturulmuş ve tam gelişmiş akış bölgesindeki hız profili incelenmiştir.



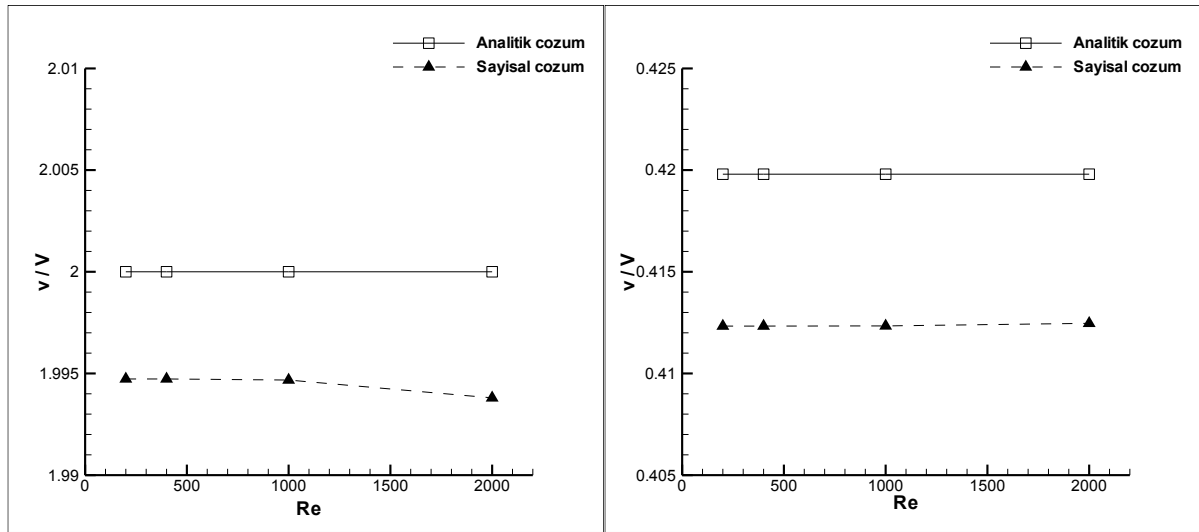
Şekil 3. Laminer akış boru modeli.

Sayısal ve analitik olarak çözülen problem sonucuna göre birbirine çok yakın hız profilleri elde edilmiştir. Şekil 4’te verilen, boru merkezinden boru çeperine kadar yerel hız sonuçları incelendiğinde analitik sonuç ile sayısal sonucun birbirlerine çok yakın oldukları görülmüştür.



Şekil 4. $V=10\text{m/s}$ için Hız Profili Sayısal ve Analitik Çözüm Karşılaştırması.

Şekil 4'te tam net olarak ayırt edilemese de, iki çözüm arasında küçük farklılıklar bulunmaktadır. Boru merkezine yakın ($y=0,1111$) ve boru çeperine yakın ($y=0,0889\text{m}$) iki noktada sayısal ve analitik sonuçların karşılaştırmaları Şekil 5'te verilmiştir. Şekilde hızlar boyutsuzlaştırılarak verilmiştir.



Şekil 5. Farklı Reynolds sayılarında boru merkezine yakın ($y=0,1111$) alınan hız büyüklüklerinin karşılaştırması (sol). Boru çeperine yakın bir noktada ($y=0,0889\text{m}$) alınan hızların karşılaştırması (sağ).

Şekil 5'e göre boru merkezinde Reynolds sayısı arttıkça sayısal çözümün önerdiği sonuçlar analitik çözümden uzaklaşmaktadır. Boru çeperine yakın noktada ise sayısal çözümün önerdiği sonuçlar Reynolds sayısından neredeyse bağımsızdır.

4.2. Boru içi hacimsel debi – sayısal ve analitik karşılaştırma

Sayısal analizlerden elde edilen basınç değerleri ve hacimsel debi ile bölüm 2.2'de verilmiş olan basınç

(denklem no. 4) ve hacimsel debi (denklem no. 5) denklemleriyle hesaplanan değerlerin karşılaştırması tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Sayısal-analitik çözüm sonuç tablosu.

	Sayısal Sonuçlar			Analitik Çözüm	Hata
Model	P1 (Pa)	P2 (Pa)	$Q_{\text{sayısal}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_{\text{analitik}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	(%)
AKIŞ-1 ($V_g=1 \text{ m/s}$)	399.04	79.88	$31.42 \cdot 10^{-3}$	$31.3 \cdot 10^{-3}$	0.2628
AKIŞ-2 ($V_g=2 \text{ m/s}$)	798.05	159.73	$62.83 \cdot 10^{-3}$	$62.7 \cdot 10^{-3}$	0.2627
AKIŞ-3 ($V_g=5 \text{ m/s}$)	798.20	399.22	$157.08 \cdot 10^{-3}$	$156.7 \cdot 10^{-3}$	0.2545
AKIŞ-4 ($V_g=10 \text{ m/s}$)	1595.92	797.84	$314.16 \cdot 10^{-3}$	$313.4 \cdot 10^{-3}$	0.2396

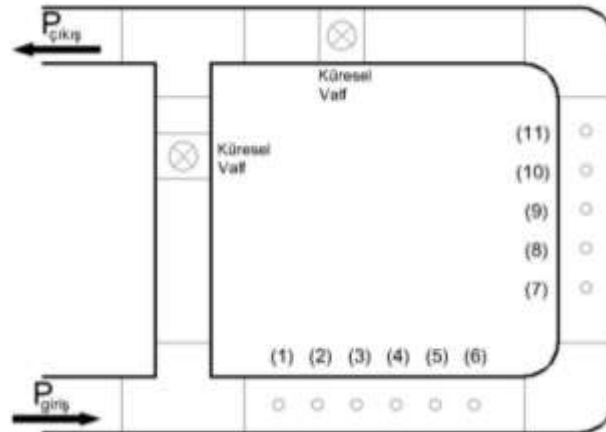
Sonuçlar incelendiğinde analitik ve sayısal sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve Reynolds sayısı arttıkça hata oranının azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre laminar akış için sayısal hesaplamalar makul düzeydedir ve HAD yöntemi ile boru içi akışın modellenenabilir olduğu görülmüştür.

5. Deneysel ve sayısal karşılaştırma

Türbülanslı bir akış için basınç kayıpları deneysel ve sayısal çözüm olarak incelenmiştir.

5.1. Deney düzeneği

Chris Chapman ve arkadaşlarının (2010) yapmış oldukları deneyde üç farklı hıza sahip gazın 90° dirsek ve T boruda meydana gelen kayıpları incelemiştir. Deney çalışması farklı hızlarda yapılarak farklı referans noktalarındaki basınç değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre sürtünme katsayısı ve kayıp katsayısı hesaplanmıştır. Deneyde tablo 2’de özellikleri verilen gaz kullanılmıştır ve giriş şartları tablo 3’te belirtilmiştir.



Şekil 6. Deney düzeneği şematik gösterimi.

Tablo 2. Gaz teknik özellikleri.

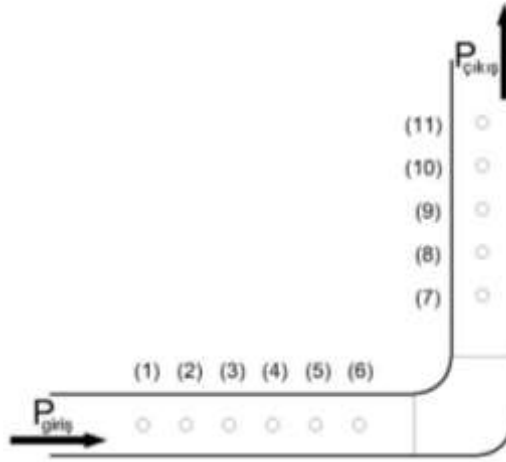
R (J/(kg*K))	Kinematik Viskozite, ν (m ² /s)	Yoğunluk, ρ (kg/m ³)
287.05	$1.54 \cdot 10^{-5}$	1.186

Tablo 3. Reynolds sayısı-hız-debi değerleri.

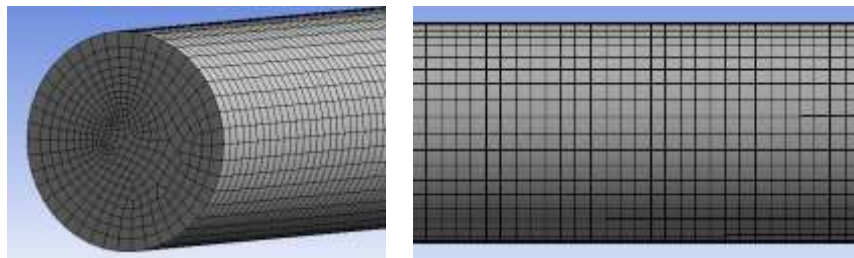
Reynolds Sayısı	Hız (m/s)	Debi, (m ³ /s)
15000	9.21	0.0054
25000	15.19	0.0081
35000	21.17	0.0117

5.2. Deney sayısal analizi

Deney düzeneğinin dirsek kısmı aşağıdaki gibi modellenip sayısal olarak çözüm yapılmıştır.

**Şekil 7.** Sayısal analiz için bir kısmı modellenen deney düzeneğinin görünümü.

Sayısal analiz için şekil 7’de görüntüsü verilmiş kısım üzerinde şekil 8’de verildiği gibi bir ağ yapısı oluşturulmuştur.

**Şekil 8.** Boru üzerinde kullanılan ağ yapısı.

Ağ örgüsü modellendikten sonra türbülans modeli olarak k-epsilon seçilmiştir. Sayısal analizler yerçekiminden bağımsız olacak şekilde yapılmıştır. Analizlerde deneyde kullanılan akışkanın özellikleri dikkate alınmış ve *özkütle* 1.186 kg/m^3 ve *dinamik viskozite* $1.82644 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$ olarak belirlenmiştir.

Akışkan tipinin gaz olması sebebiyle akışın sıkıştırılabilir olup olmadığı Mach sayısı hesaplanarak kontrol edilmiştir. Buna göre deneyde kullanılan azami hız göz önünde bulundurulduğunda (21.17 m/s) elde edilen en yüksek Mach sayısı $Ma=0.062$ çıkmaktadır. Bulunan değer 0.3 değerinden çok daha küçük olduğu için akış sıkıştırılmaz olarak kabul edilmiştir.

5.3.Sürtünme katsayısı deneysel ve sayısal karşılaştırma

Chapman ve arkadaşlarının (2010) yapmış olduğu araştırmada “1-6” noktaları ve “7-11” noktaları arasındaki toplam basınç düşüşünü hesaplayarak ortalama sürtünme katsayısı hesabı yapmışlardır. Sürtünme katsayısı hesabı için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

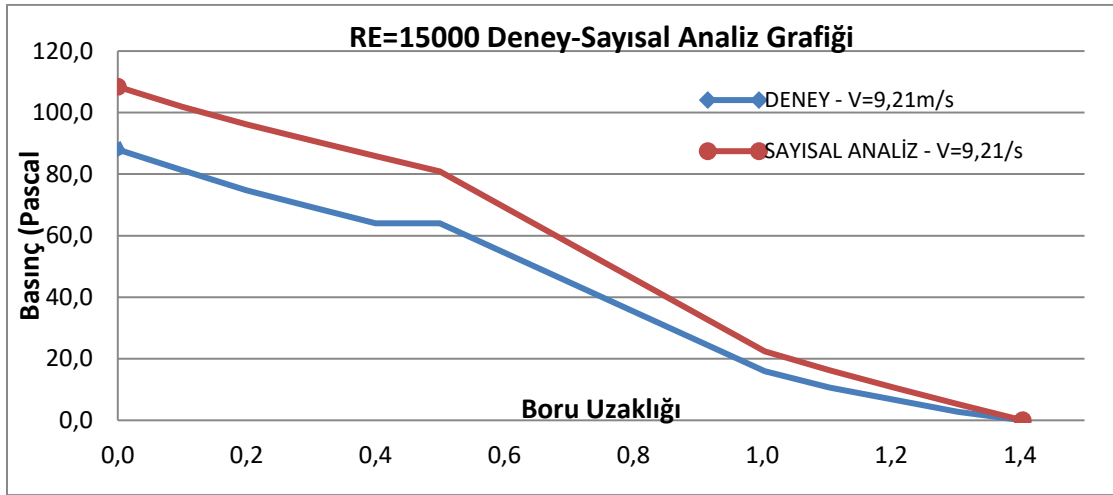
$$f = \frac{\Delta P}{L} \frac{2D}{\rho V_{ort}^2} \quad (14)$$

Tablo 4. Deneysel (Chapman vd., 2010) ve sayısal olarak elde edilen sürtünme katsayılarının karşılaştırılması.

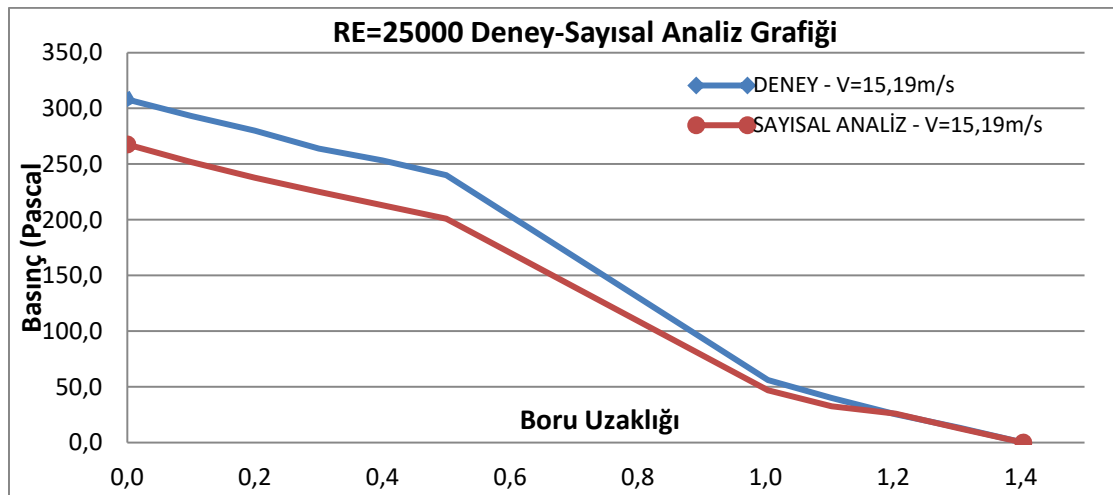
Deney Sonuçları				HAD Sonuçları			
$\Delta P/L_{giriş}$ (bar/m)	$\Delta P/L_{çıkış}$ (bar/m)	$\Delta P/L_{ort}$ (bar/m)	f_{deney}	$\Delta P/L_{giriş}$ (bar/m)	$\Delta P/L_{çıkış}$ (bar/m)	$\Delta P/L_{ort}$ (bar/m)	f_{HAD}
50.7	40.0	45.4	0.0239	55.0	56.1	55.5	0.0293
136.0	138.7	137.4	0.0266	133.2	136.8	135.0	0.0261
207.2	236.0	221.6	0.0221	240.4	247.8	244.1	0.0244
			$f_{deney,ort}$ 0.0242				$f_{HAD,ort}$ 0.0266

Deneysel ve sayısal analiz sonuçlarına göre sürtünme kayıp katsayıları arasında %0,1 oranında fark bulunmaktadır.

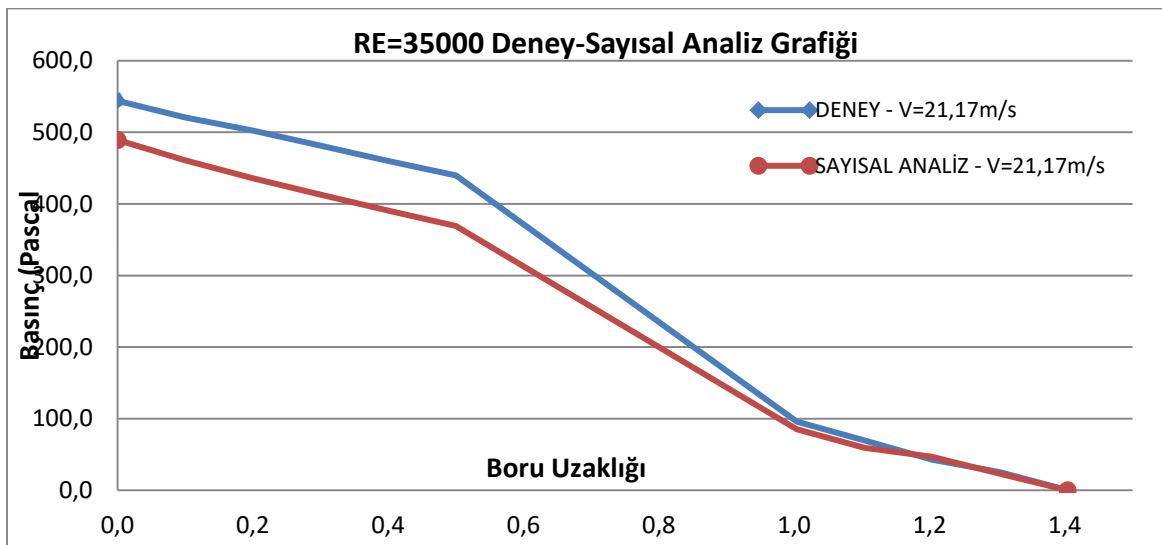
5.4. Basınç kaybı deneyel ve sayısal karşılaştırma



Şekil 9. Re=15000'de deneyel ve sayısal olarak elde edilen basınç grafiği.



Şekil 10. Re=25000'de deneyel ve sayısal olarak elde edilen basınç grafiği.



Şekil 11. Re=35000'de deneyel ve sayısal olarak elde edilen basınç grafiği.

Deneysel ve sayısal analiz sonuçlarından elde edilen basınç değerleri, “11” numaralı çıkış referans noktasına göre basınç farkları şekil-9, şekil-10 ve şekil-11 de incelenmiştir. Buna göre her bir hız için basınç değişimi eğimlerinin benzer olduğu görülmektedir.

5.5.Yerel kayıp katsayısı deneysel ve sayısal karşılaştırma

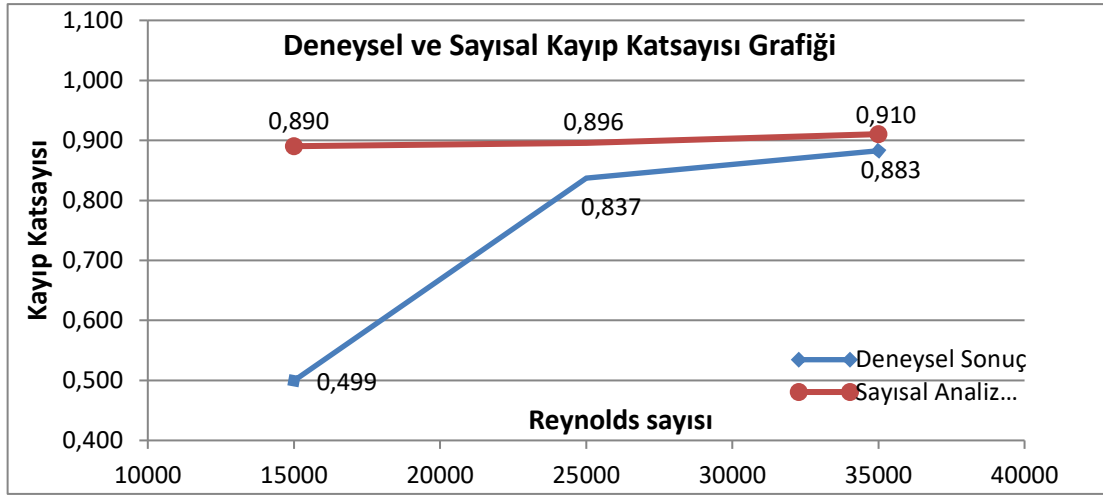
Chapman ve arkadaşları (2010) yapmış olduğu çalışmada yerel kayıp katsayısı için dirseğin hemen başlangıcında ve bitişindeki basınç kayıplarını inceleyerek kayıp katsayısı hesabı yapmışlardır. Sayısal analiz ile aynı noktalardan alınan basınç değerleri kullanılarak deneysel sonuçların karşılaştırılması tablo 5’de yapılmıştır.

Tablo 5. Deneysel (Chapman vd., 2010) ve sayısal olarak hesaplanan kayıp katsayıları.

Deneysel Sonuçlar					
Re	P _{önce}	P _{sonra}	ΔP	$2/(\rho V^2)$	K _K
15000	52.5	27.4	25.1	0.0199	0.499
25000	205.2	90.5	114.7	0.0073	0.837
35000	383.9	151.6	232.3	0.0038	0.883

HAD Sonuçları					
Re	P _{önce}	P _{sonra}	ΔP	$2/(\rho V^2)$	K _K
15000	66.43	21.69	44.74	0.0199	0.890
25000	166.4	43.67	122.73	0.0073	0.896
35000	307.1	67.52	239.58	0.0038	0.910

Her iki çalışmada ortaya çıkan sonuca göre kayıp katsayısı hız arttıkça arttığı görülmüştür. Fakat literatür araştırmalarına göre kayıp katsayısı hız ile azalmaktadır. Bu nedenle bu sonuçlar ile literatür araştırmaları arasında bir çelişki vardır. Bunun sebebi Chapman ve arkadaşlarının (2010) kayıp katsayısı hesabında basınç referans noktalarını dirseğin hemen önü ve arkasından hesaplamış olmalarıdır. Literatür araştırmalarında dirsek gibi dönüşlerde kayıp katsayısı hesabı için basınç referans noktasının, özellikle boru çıkış tarafında, borunun onlarca katı mesafesinde alınması gerekmektedir. Çünkü dönüş nedeniyle bozulan akış dirseğin çok sonrasında normal akış rejimine dönmektedir. Bu nedenle dirsek sonrasında hala dirsekten kaynaklı enerji kayıpları olmaktadır.



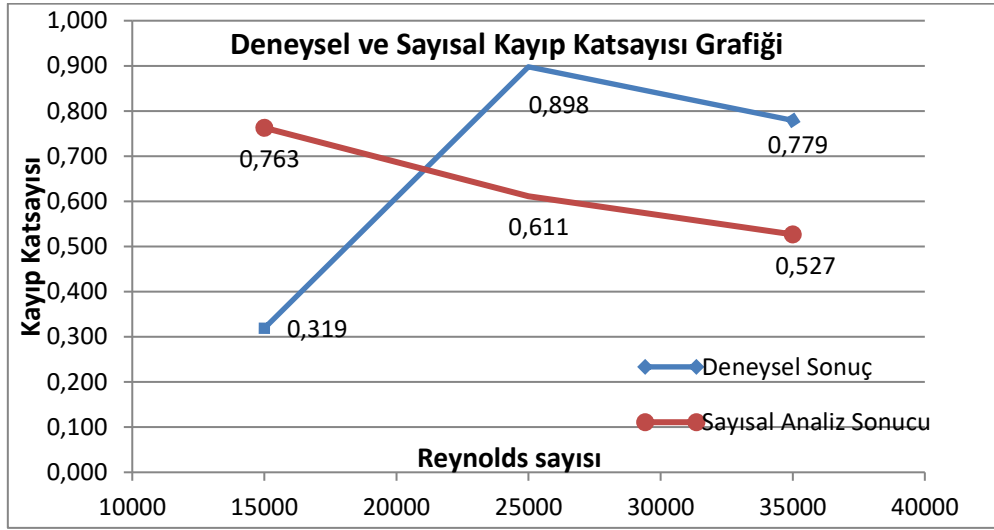
Şekil 12. Deneyisel (Chapman ve arkadaşları, 2010) ve sayısal olarak hesaplanan kayıp katsayılarının Reynolds sayısına bağlı grafiği.

Literatür araştırmalarına göre; vana, dirsek vb. elemanlar için yapılan kayıp katsayısı hesabı için alınacak basınç referans noktalarının akışın tam gelişmiş akış bölgelerinden alınmalıdır ve bu noktalar alınması gerekmektedir. Ayrıca bu noktalar arasında sürtünme ile kaybedilen enerji/basınç kaybının da dikkate alınması gerekmektedir. Bu bilgilere göre deneyisel ve sayısal olarak elde edilen sonuçları “5” ve “11” numaralı referans noktalarındaki basınç değerlerine göre tekrar hesaplırsak tablo 6’daki deneyisel ve HAD sonuçlarını elde ederiz.

Tablo 6. Deneyisel (Chapman vd., 2010) ve sayısal olarak hesaplanan kayıp katsayıları.

Deneyisel Sonuçlar				
Re	ΔP dirsek	ΔP Boru	ΔP Toplam (bar)	K_K
	P(5)-P(11) (bar)	P(5)-P(11) (bar)		
15000	64.0	47.96	16.04	0.319
25000	253.3	130.45	122.85	0.898
35000	460.0	252.90	207.10	0.779

Sayısal Analiz Sonuçları				
Re	ΔP dirsek	ΔP Boru	ΔP Toplam (bar)	K_K
	P(5)-P(11) (bar)	P(5)-P(11) (bar)		
15000	85,9	47,56	38.37	0.763
25000	213,0	129,37	83.65	0.611
35000	390,8	250,81	139.99	0.527



Şekil 13. Deneyisel (Chapman vd., 2010) ve sayısal olarak hesaplanan kayıp katsayılarının Reynolds sayısına bağlı grafiği.

Yapılan deney sonuçları, literatürde verilen hesaplama yöntemi ile hesaplandığında, yerel kayıp katsayılarının hız arttıkça önce artıp sonra azaldığı görülmektedir. Fakat sayısal analiz sonuçlarına göre ise hız arttıkça kayıp katsayısı azalmaktadır. Santos ve arkadaşlarının (2014) yapmış olduğu benzer bir çalışmada hız arttıkça kayıp katsayısının azaldığı görülmektedir. Deney sonuçlarındaki grafik incelendiğinde azalma yönündeki eğilimin sayısal analiz ile benzer doğrultuda hareket ettiği görülmektedir. İki grafik arasında düşük hızda oluşan farklılık, bu hızda alınan deneyel sonuç verilerinin hatalı olabileceğini düşündürmüştür.

Bu çalışmada deneyel sonuçlar ile sayısal analiz yöntemi karşılaştırılarak, HAD yöntemiyle benzer sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür. Salehi ve arkadaşları [10]'nın yapmış olduğu benzer dirsek kaybı çalışmasında deneyel sonuçlar ile HAD sonuçları karşılaştırılarak %15 hata ile sonuçlar elde edilmiştir.

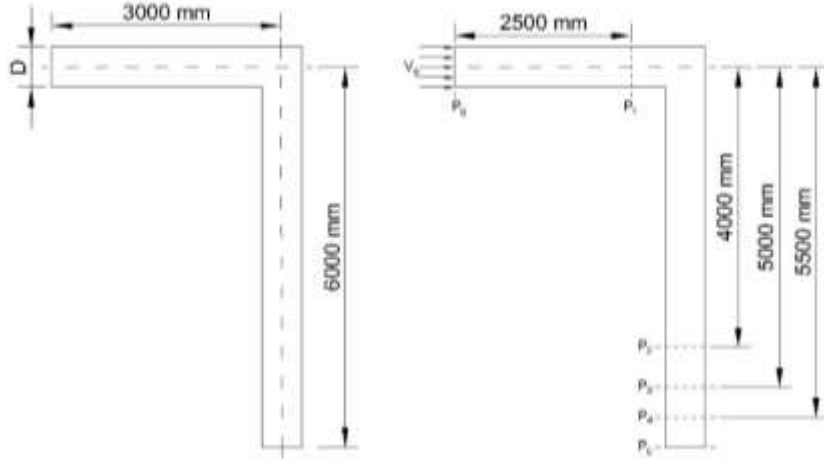
6. Boru çapı ve akış hızının kayıp katsayısına etkisi

Yukarıda türbülanslı ve laminar akışlar üzerine yapılan çalışmalar sonucunda sayısal çözüm ile yakın sonuçların elde edileceği görülmüştür. Bu bölümde boru çapı ve akışkan hızının keskin dönüşlü bir dirsekteki kayıplar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Literatür incelemelerinde 90° keskin bir dirseğin kayıp katsayısı genellikle 1.1 olarak verilmektedir (Çengel & Cimbala, 2012). Fakat yapılan bazı çalışmalara göre kayıpların akış hızına, akış kesitine göre değiştiği gözlenmiştir (Ozcan, 2014 ve Idelchick, 1990 ve Ji vd., 2010).

6.1.90° keskin dönüşlü dirsek modeli

Bu çalışma için D çapında yaklaşık 9000 mm uzunluğunda keskin dönüşlü bir dirsek modeli ele alınmıştır. Tam gelişmiş akış bölgesindeki verilerin incelenmesi için giriş borusu 3000 mm, çıkış borusu 6000mm uzunluğunda belirlenmiştir. Giriş basıncı (P_g) girişten 2500 mm sonra, çıkış basınçları da dört farklı noktada (P_1 , P_2 , P_3 , P_4) ele alınmıştır. Dirsek nedeniyle oluşacak kayıpların doğru şekilde

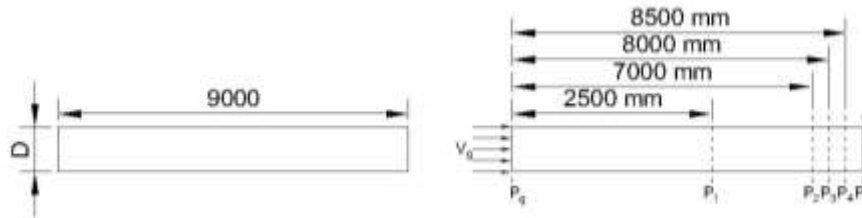
hesaplanması için dört farklı çıkış noktasına göre kayıp katsayısı hesaplanmıştır. Bu sayede bu noktalarda dirsek etkisinin ortadan kalktığı görülmüştür.



Şekil 14. 90 derece keskin dönüşlü boru modeli resmi.

Model olarak 50 mm, 100 mm ve 200 mm çapında borular seçilmiştir ve her bir çap için üç farklı giriş hızlarında (1 m/s, 5 m/s, 10 m/s) çözüm yapılarak farklı Re sayılarında ($5 \cdot 10^4$ - $6 \cdot 10^6$ arası) sonuçlar incelenmiştir.

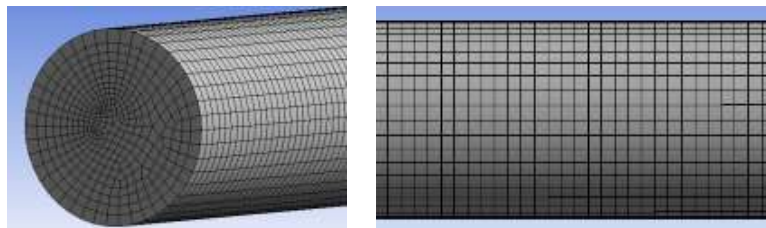
Yerel kayıp katsayısı hesabı için sürekli (sürtünme) kayıpların da hesaplanması gerekir. Bu nedenle dirseğe eşdeğer Şekil 15'deki boru modeli kullanılmıştır.



Şekil 15. Boru Modeli Resmi

ANSYS-FLUENT programında yukarıdaki dirsek ve düz boru modellenerek farklı noktalardan alınan basınç değerleri ve kayıp katsayısı denklem no. 12'de verilen ampirik formül kullanılarak hesaplanmıştır.

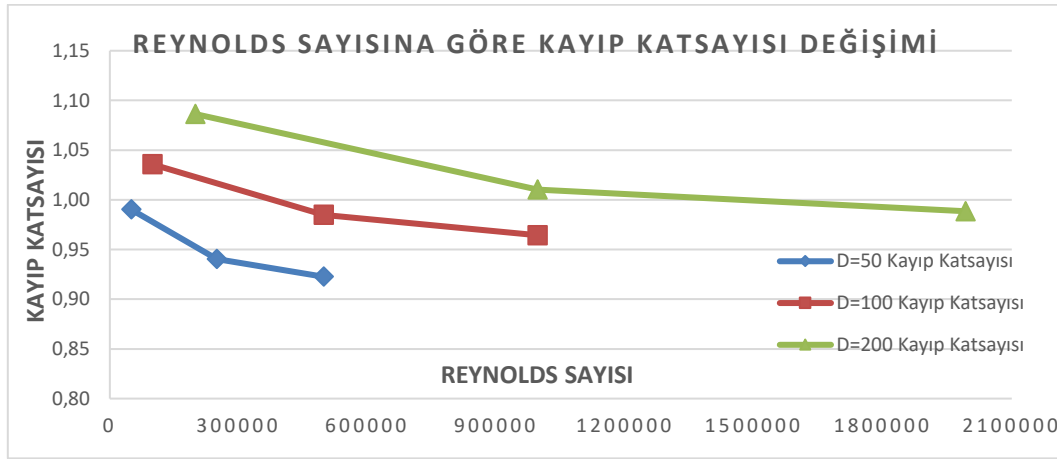
6.2.90° keskin dönüşlü dirsek ve boru sayısal analizi



Şekil 16. 90 Derece Keskin Dönüşlü Boru Modeli Ağ Yapısı.

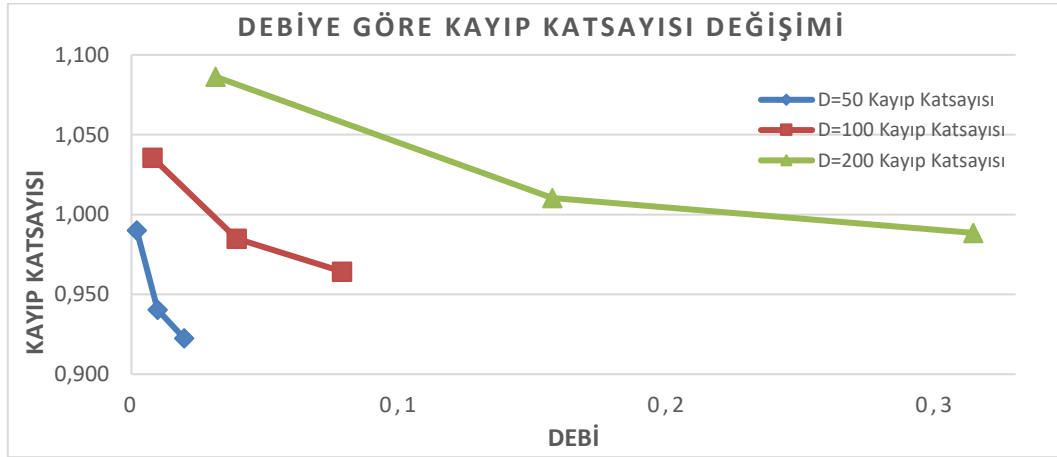
Dirsek ve boru modelleri şekil 16'daki gibi ağ örgüsü ile modellenmiştir ve türbülans modeli olarak k-epsilon modeli seçilmiştir. Sayısal analizler yerçekiminden bağımsız olarak yapılmıştır. Sayısal analizlerde özkütlesi 998.2 kg/m^3 ve dinamik viskozitesi 0.001003 kg/ms olan su kullanılmıştır.

6.3. Keskin dönüşlü dirsek sayısal analiz sonuçları



Şekil 17. Sayısal olarak hesaplanan kayıp katsayılarının Reynolds sayısına bağlı grafiği.

Farklı çaplar ve hızlar için elde edilen basınç kayıplarını Reynolds sayısına bağlı olarak incelediğimizde Re sayısı arttıkça kayıp katsayısının azaldığı görülmüştür. Aynı Re sayısında boru çapı arttıkça kayıp artmaktadır.



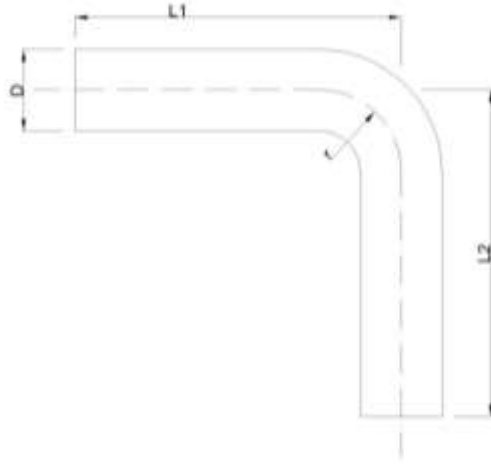
Şekil 18. Sayısal olarak hesaplanan kayıp katsayılarının akışkan debisine bağlı grafiği.

Akışkan debisine bağlı olarak, aynı çapta debi arttıkça kayıp katsayısı azalmıştır. Aynı debide çap arttıkça (yani hız azaldıkça) kayıp katsayısı artmaktadır.

7. Dirsek dönüş yarıçapının etkisi

Bir önceki bölümde keskin dönüşlü bir dirsek için boru çapının ve akışkan hızının kayıp katsayısına etkisi incelenmiştir. Bu bölümde 100 mm çapında dirsek için dirsek dönüş yarıçapının akışa etkisi incelenmiştir.

7.1. Radyuslu dirsek modeli



Şekil 19. Radyuslu dirsek modeli resmi.

Tablo 7. Radyuslu dirsek boyutsal özellikleri.

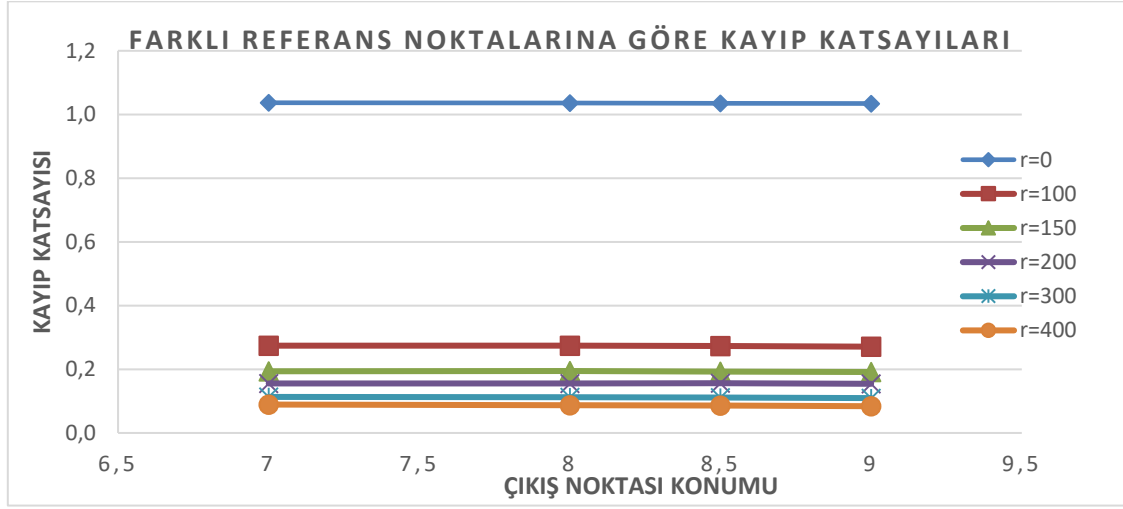
Model	L1 (mm)	L2 (mm)	D (mm)	r (mm)	Giriş Hızı (m/s)	Re
Model-1	3000	6000	100	50	1	$1 \cdot 10^5$
Model-2	3000	6000	100	100	1	$1 \cdot 10^5$
Model-3	3000	6000	100	150	1	$1 \cdot 10^5$
Model-4	3000	6000	100	200	1	$1 \cdot 10^5$
Model-5	3000	6000	100	300	1	$1 \cdot 10^5$

7.2. Radyuslu dirsek sayısal analizi

Yukarıda boyutları verilen her bir radyuslu dirsek bölüm 6.2’de ki keskin dönüşlü dirsekler ile aynı eleman boyutlarında olacak şekilde bir ağ örgüsü ile modellenmiştir. Türbülans modeli olarak k-epsilon modeli seçilmiştir. Sayısal analizler yerçekiminden bağımsız olarak yapılmıştır. Sayısal analizlerde özkütlesi 998.2 kg/m^3 ve dinamik viskozitesi 0.001003 kg/ms olan su kullanılmıştır.

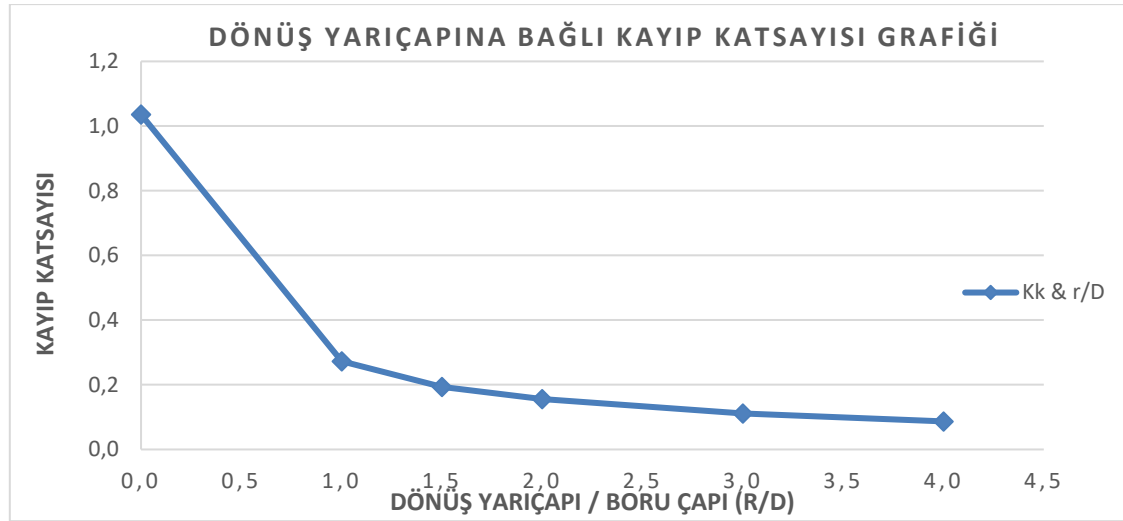
7.3. Radyuslu dirsek sayısal analiz sonuçları

Dirsek nedeniyle oluşan kayıpların tamamen ortadan kalktığını görmek için dört farklı referans çıkış noktasından alınan basınç değerleri kullanılarak kayıp katsayısı hesaplanmış ve aynı çaplı keskin dönüşlü dirsek için bulunan kayıp katsayısı ile karşılaştırılma yapılmıştır. Kayıp katsayısı hesabı için dirsek modeline eşdeğer düz bir boruda oluşacak basınç kayıpları da göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 20. Sayısal olarak hesaplanan kayıp katsayılarının Reynolds sayısına bağlı grafiği.

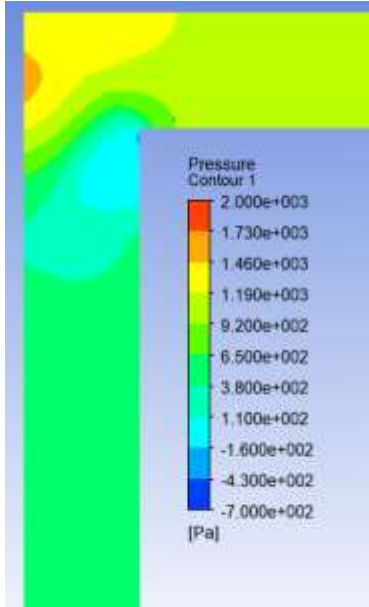
Beş farklı dönme yarıçapına sahip dirsek modelleri ile keskin dönüşlü dirseğin aynı şartlarda sayısal çözümü yapılmıştır. Şekil 20’de farklı referans noktalarına göre hesaplanan kayıp katsayıları incelendiğinde dirsek dönüşlerindeki radyus ile kayıplar önemli ölçüde azaltılmaktadır.



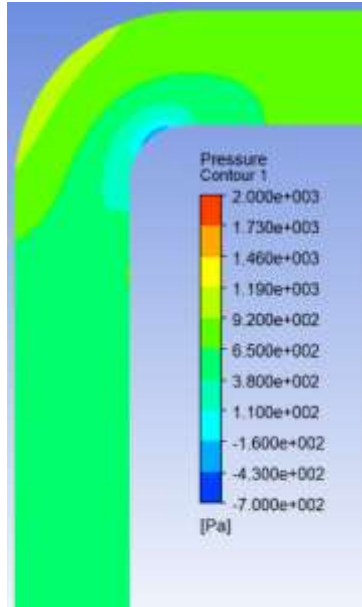
Şekil 21. Sayısal olarak hesaplanan kayıp katsayılarının dönüş yarıçapına bağlı grafiği.

Şekil 21’de dönüş yarıçapına göre kayıp katsayıları incelendiğinde $r/D=1$ noktasından sonra dirsek dönüş yarıçapının etkisinin azaldığı görülmektedir.

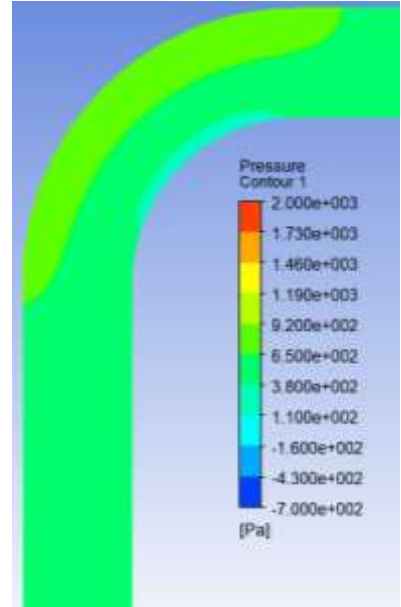
7.4. Basınç konturları ve akım hatları görselleri



Şekil 22. $r=0$ Basınç Konturu

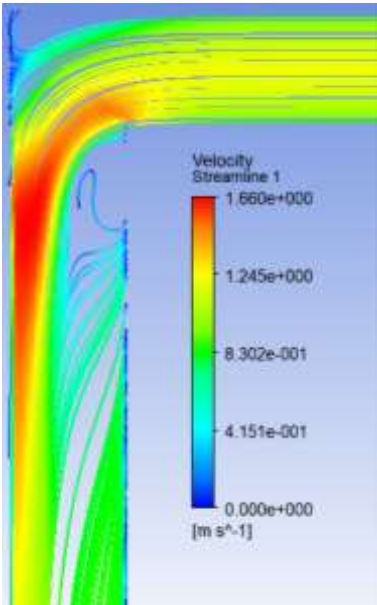


Şekil 23. $r=100$ Basınç Konturu

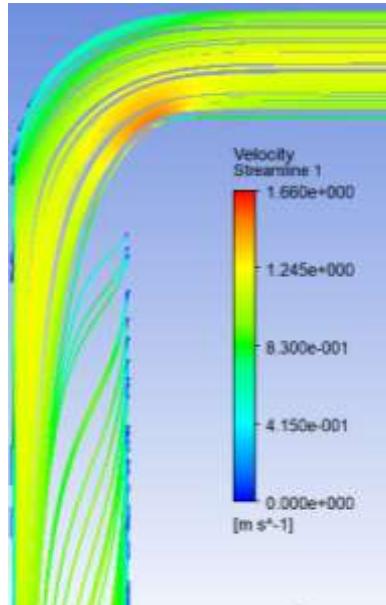


Şekil 24. $r=200$ Basınç Konturu

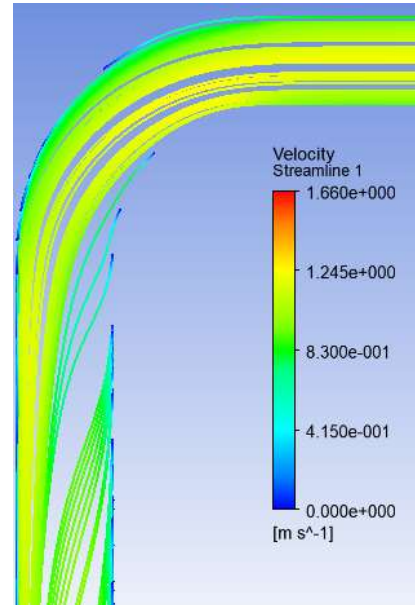
Şekil 22’de keskin dönüşlü dirsek için basınç dağılımı incelendiğinde dirsek bölgesinde akışın dönüş bölgesine çarpmasıyla çok fazla basınç değişimi oluşmaktadır. Bu da çok fazla enerji kaybına yol açmaktadır. Şekil 23 ve şekil 24’e bakıldığında dirsek dönüşündeki yarıçap artışı ile beraber oluşan basınç farkları önemli miktarda azalmıştır.



Şekil 25. $r=0$ Akım Hattı



Şekil 26. $r=100$ Akım Hattı



Şekil 27. $r=200$ Akım Hattı

Şekil 25’deki akım hattı incelendiğinde dirsek bölgesinde akışın dönüş bölgesine çarpmasıyla akım hattının tek bir tarafa yığıldığı ve çok sayıda girdap oluştuğu gözlemlenmektedir. Bu nedenle bu bölgelerde enerji kaybı daha fazla oluşmaktadır. Dönüş yarıçaplı şekil 26 ve şekil 27’deki akım

hatlarında ise dönüş yarıçapı akışın dönüşünü rahatlatmakta ve akışın daha düzenli halde devam etmesini sağlamaktadır.

8. Sonuç

Bu çalışmada laminar ve türbülanslı akışlar için deneysel ve analitik çözümler ile sayısal analiz yöntemi karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre iyi modelleme ve ağ yapısı ile bulunan sonuçlar birbiriyle benzerlik göstermiştir. Benzer problemlerin hesabında sayısal analiz yönteminin kullanılması ile gerçeğe yakın sonuçların elde edilebileceği görülmüştür. Sayısal analiz yöntemi ekonomik bir yöntem olmakla beraber zamandan tasarruf edilmesini de sağlamaktadır. Bu çalışmalar sırasında sayısal analizdeki ağ yapısının daha iyi olması ve güçlü bir bilgisayar ile daha yakın sonuçların elde edilebileceği öngörülmüştür.

Bu çalışmada dirsek etrafında oluşan basınç kayıpları incelenmiş ve basınç kayıp katsayıları hesaplanmıştır. İlk olarak boru çapının ve akışkan hızının kayıp katsayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sayısal analizler sonucunda, hız arttıkça kayıp katsayısının azaldığı, aynı Re sayısında çap arttıkça kayıp katsayısının arttığı ve aynı debide hız azaldıkça dirsek nedeniyle oluşan kaybın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra dirsek yarıçapının akışa etkisi incelenmiştir. Keskin dönüşlü dirsek yerine, yarıçaplı dirsek kullanarak akışın daha düzenli olduğu ve basınç düşüşünün önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Yarıçap miktarı arttıkça kayıp miktarındaki azalma oldukça azdır.

Kaynakça

- Atılğan, M. ve Gölcü, M. (1996). "Üniform Dairesel Kesitli Boru Akışlarında Kinetik Enerji Ve Momentum Düzeltme Faktörlerinin Değişimi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2:109-116
- Atılğan, M. ve Öztürk H.K. (1999). "Borularda, Boru Bağlantı Elemanlarında Ve Geçiş Borularında Enerji Kayıpları", IV.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi, Kasım 1999, İzmir.
- Chapman, C., Markham, J.A., Stoker, S.E. ve Crain, T. (2010), "Experimental Determination of Pipe and Pipe Fitting Losses", Introduction to Fluid Mechanics, 19 Mar 2010.
- Çengel, A. Y. ve Cimbala, J.M. (2012). "Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları", 1. Baskı, İzmir Güven Kitabevi, İzmir.
- Idelchick, I.E. (1990). "Handbook of Hydraulic Resistance Coefficients of Local Resistance and of Friction", U.S. Atomic Energy Commission and the National Science Foundation, Washington.
- Ji, C., Zhang, X., Jiang, M. and Yan, P. (2010). "Numerical Simulation of Influence of 90°-bend Pipeline Geometric Shape on Local loss Coefficient", International Conference on Mechanical and Electrical Technology, 668-672.
- Miller, D.S. (1990). "Internal Flow Systems", Second Edition, The British Hydromechanics Research Association.
- Ozcan, A. (2014). "Sürtünme Kayıpları Hesaplamaları", Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Temel İşlemler Laboratuvarı.

Perumal, K. ve Ganesan, R. (2015). "CFD Modeling for the Estimation of Pressure Loss Coefficients of Pipe Fittings: An Undergraduate Project", Computer Applications in Engineering Education, 24:180-185.

Salehi, M., Idem, S., and Sleiti, A. (2017). "Experimental determination and computational fluid dynamics predictions of pressure loss in close-coupled elbows", Science and Technology for the Built Environment, 23:1132-1141.

Sambit, S., (2014). "Simulation and Flow Analysis Through a Straight Pipe", Lisans Tezi, Bachelor of Technology In Civil Engineering, Department of Civil Engineering National Institute of Technology, Rourkela.

Santos, A.P., Andrade, C.R. Ve Zaparoli, E.L., (2014). " CFD Prediction of the Round Elbow Fitting Loss Coefficient", International Conference on Fluid Dynamics and Thermodynamics, Vol 8:743-747.

Zmrhal, V. ve Schwarzer, J. (2009). " Numerical Simulation of Local Loss Coefficients of Ventilation Duct Fittings", Eleventh International IBPSA Conference, 1761-1766.

Marmara Denzinde Ro-Ro Taşımacılığı Birim Maliyetlerinin İncelenmesi: Ambarlı – Bandırma Hattı Örneği

Cenker Çoban¹, Eda Turan²

Cenker.Coban@seft.com.tr¹, edaturan@yildiz.edu.tr²

^{1,2} Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakóltesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Özet

Günümüzde ticaret faaliyetlerinin yaklaşık %90'ı denizyolu ile gerçekleştirilmektedir, ancak ölkemizin yurtiçi taşımacılıkta denizyolundan yararlanma düzeyi bu oranın oldukça altında kalmaktadır.

Üç tarafı denizlerle çevrili ölkemizde, kara taşımacılığında yaşanan ve her geçen gün artan trafik sorunu ile havayolu taşımacılığının diğer alternatif yöntemlere oranla daha yüksek bütçe ihtiyacı doğurması gibi negatif yönler değerlendirildiğinde; denizyolu taşımacılığı tercih edilmesi gereken bir konuma gelmiştir. Sahip olduğumuz jeopolitik konum itibariyle denize kıyısı olan şehirlerimizde bu alanda altyapı yatırımlarının yapılması önem arz etmektedir. Çalışma içerisinde paylaşılan, kabotajda taşınan araç ve taşıt miktarlarına ait istatistikler, denizyolu ulaşımına olan talep artışının yıllar boyunca devam ettiğinin bir göstergesi olmuştur.

Bu çalışmada, Marmara Denizi'ndeki araç ve yolcu taşımacılığına değinilmiş, Ambarlı – Bandırma hattında çalışan Ro-Ro gemileri 3 farklı kategoride değerlendirilerek, ekonomik analizleri yapılmış ve bu gemiler birim yolcu taşıma maliyetleri bakımından incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre birim yolcu maliyetine en fazla etki eden parametrenin yakıt maliyeti olduğuna işaret edilmiştir. Bununla birlikte, gemilerin doluluk oranları da taşımacılık maliyetlerini etkileyen öne çıkan faktörlerdendir. Yapılan analiz sonucunda, gemilerdeki taşıma maliyetlerinin doluluk oranı arttıkça azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Marmara Denizi'nde araç ve yolcu taşımacılığının yıllar itibariyle arttıği görölmüştür.

Anahtar kelimeler: Marmara Denizi, araç taşımacılığı, yolcu taşımacılığı, denizyolu taşımacılığı, maliyet

Investigation of Unit Costs of Ro-Ro Transportation in the Sea of Marmara: Ambarlı – Bandırma Route Line

Cenker Çoban¹, Eda Turan²

Cenker.Coban@seft.com.tr¹, edaturan@yildiz.edu.tr²

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

Abstract

Today, about 90% of trade activities are carried out by sea, however the utilization ratio from maritime transportation for domestic transport in Turkey is quite lower than this ratio.

Considering negative aspects such as the growing traffic problem in highway transport and requirements for higher budget in the airway transportation among other transportation modes in our country which is surrounded by sea on three sides, maritime transport has become a preferred location. The investments regarding infrastructure in our coastal cities are significant due to the geopolitical position we have. Statistics on the number of passengers and vehicles transported in cabotage shared in the study have been a sign that the demand for sea transportation has continued to increase for years.

In this study, vehicle and passenger transportations in the sea of Marmara have been studied, economic analyses have been carried out for Ro-Ro ships sailing in the Ambarlı-Bandırma route line by considering in 3 different categories and mentioned ships have been investigated in the scope of unit passenger transportation costs. It is pointed out that the most effective parameter for unit passenger transportation costs is fuel costs subject to the results of the analyses. Moreover, fullness ratio of the ships is also one of the prominent factors effecting transportation costs. As a result of the analysis carried out, it has been found that the transportation costs on the vessels decrease as the occupancy rate increases. It is seen that the transport ratio of passengers and vehicles has increased in the Marmara Sea over the years.

Keywords: Sea of Marmara, vehicle transportation, passenger transportation, maritime transportation, cost

Sembol Listesi

a : Araç yolcu eşdeğerlik katsayısı

A_K : Araç kapasitesi

B_f : km başına yakıt sarfiyatı

B_o : km başına yağ sarfiyatı

c_{ac} : Spesifik kaza maliyeti

c_n : Spesifik gürültü maliyeti

C_{mo} : Yıllık işletme bakım masrafları

c_p : Spesifik emisyon maliyeti

e_f : Yakıt için ileriye yönelik fiyat eskalasyonu

e_s : Sigorta eskalasyonu

i : Faiz oranı

L : Hat uzunluğu

P_f : Yakıt fiyatı

r : İskonto oranı

S_s : Yıllık sefer sayısı

U_{ex} : Birim yük başına dışsal maliyet

U_L : Spesifik maliyet

U_T : Birim yük başına taşıma maliyeti

Y_K : Yolcu Kapasitesi

Z_{bt} : Yıllık bakım tutum süresi

Z_k : Kalkıştaki manevra süresi

Z_v : Varıştaki manevra süresi

e_m : İşletme bakım için ileriye yönelik fiyat eskalasyonu

e_x : Dışsal maliyet eskalasyonu

I_C : Geminin ilk yatırım maliyeti

n : Gemi ömrü

P_o : Yağ fiyatı

s : Sigorta yüzdesi

U_c : Birim yük başına yatırım maliyeti

U_f : Birim yük başına yakıt ve yağlama yağı maliyeti

U_m : Birim yük başına işletme-bakım maliyeti

V_S : Geminin servis hızı

Y_S : Yıllık taşınabilecek yolcu sayısı

Z_{bk} : Günlük işletme dışı kalma süresi

Z_{sa} : Sefer arası bekleme süresi

1. Giriş

Taşımacılık; Türk Dil Kurumu sözlüğünde, insan, mal vb.'nin çeşitli araçlarla bir yerden bir yere taşınması işi, nakliyecilik, nakliyat, transport olarak tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu, 2017). Başol, taşımacılığın amacına uygun olarak beş farklı yöntemi olduğunu belirterek şu şekilde sıralamıştır: 1. Denizyolu Taşımacılığı, 2. Karayolu Taşımacılığı, 3. Demiryolu Taşımacılığı, 4. Havayolu Taşımacılığı ve 5. Boru Hattı Taşımacılığı (Başol, 1994).

Yenal yazısında, denizyolu taşımacılığını; insanların ve malların denizde hareket eden araçlar vasıtasıyla bir yerden diğer bir yere taşınması olarak tanımlar (Yenal, 2011). Denizyolu taşımacılığı (ulaştırıcılığı)'nın başlangıcı çok eski devirlere ulaşmakta olup, gelişim sürecinin üç ana evreye ayrılabilirliği konusunda uzman görüşleri mevcuttur. İlk evre değerlendirmesinde XV. Yüzyıla kadar olan ve sahillere bağlı olarak kısa mesafelerde yapılan denizcilik yer almaktadır. Bu dönemin ardından gelen XV.- XVI. Yüzyıllar arasındaki süreçte pusula ve dürbünün icat edilmesiyle birlikte denizler üzerinde alınan yol mesafeleri de artmıştır. XVI. Yüzyıldan sonrası olarak değerlendirilen son evrede ise teknolojiye oluşan gelişmelerin bu alanda kullanılmasına paralel olarak okyanus aşırı seyahatler denizyolu ulaştırmasında ilerleme kaydettirmiştir (Kurt, 2010).

Denizyolu taşımacılığının birim taşıma maliyeti yönünden diğer alternatiflerine kıyasla daha düşük maliyetli olması, sanayi alanında gelişmiş deniz ülkelerinin taşımacılıkta denizyolunu tercih etmelerini sağlamaktadır. Ancak, deniz kullanımı yönünden çok avantajlı bir coğrafi konuma sahip Türkiye'de aynı

oranda değerlendirilememektedir. En ucuz taşıma yöntemi olmasına karşın yurtiçi taşımacılıkta denizyolu kullanım oranı, diğer taşıma modları ile karşılaştırıldığında en alt sıralarda yer almaktadır. Yapılan analiz ve araştırmalar en yaygın kullanılan taşıma yönteminin karayolu olduğunu ortaya koymaktadır (Turan vd., 2012).

Özellikle karayollarında sıklıkla karşılaşılan kamyon ve tır trafiğini denizlerimize doğru çekmek büyük fayda sağlayacaktır. Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde, denizyolu taşımacılığının kullanım yaygınlığının artmasıyla ortaya çıkacak ekonomik ve ulaşım avantajları değerlendirildiğinde, sahip olduğumuz bu imkanların daha iyi analiz edilmesi gerekliliği bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, mevcut filo içerisinde seyir faaliyetlerine devam eden 3 farklı Ro-Ro gemisinin verileri kullanılarak Marmara Denizi'nde (Ambarlı – Bandırma hattında) araç ve yolcu taşımacılığının ve birim yolcu taşıma maliyetlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Denizyolu taşımacılığı

Ulaştırma sistemlerinin gelişim süreci dikkate alındığında karayolları, altyapısı kısa zamanda tamamlanan ve bu nedenle en çok tercih edilen taşımacılık şekli olurken, günümüzde bu taşımacılık şekli; ulaştırma kaynaklı hava kirliliği, ses ve görüntü kirliliği, ölümlü ve yaralanmalı kaza istatistikleri içerisinde en büyük paya sahiptir. Bu ulaştırma modunun sebep olduğu olumsuz etkileri en aza indirmek çoğu gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ulaştırma stratejilerinde yer almaktadır (Atar, 2013).

Denizyolu taşımacılığı, karayolu taşımasının oluşturduğu yüksek taşıma maliyetleri, emisyon, gürültü kirliliği, trafik yoğunluğu ve ölümlü kazaları en aza indirilmesi için önemli bir alternatiftir. Bir defada çok fazla yükün çok uzak mesafelere taşınabildiği bu türde, taşınan mal minimum düzeyde hasar görür ve sınır aşımı olmaz. Bütün bunlar göz önünde bulundurulduğunda denizyolu ile yolcu ve yük taşımacılığı, diğer taşıma türlerine göre daha avantajlıdır.

Denizyolunda farklı şekillerde taşımacılık yapılmaktadır. Hizmet sürekliliği yönünden değerlendirildiğinde iki farklı denizyolu taşımacılık türü sıralanabilir. (Kayserilioğlu, 2004)

2.1. Layner taşımacılık

Layner taşımacılığı; düzenli, sürekli ve tarife dayalı biçimde hizmet sunan taşımacılık biçimidir. Bu hizmet türünde zamanlama esastır. Gemiler seferlerini ve hizmetlerini belirli bir tarife uyarınca sürdürürler. Hangi limanlara ne zaman uğranacağı sefer programlarında belirtilir. Böylelikle yükleyiciler, taşıma gereksinimleri konusunda önceden bilgi edinirler.

Layner taşımacılığında hizmetin sürekliliği modelin belirgin özelliğidir. Gemiler, yeterli yük bulamadıkları zaman bile programlarını aksatmamak için limanlara uğrarlar. Sefer programından çıkartılan limanlar yükleyicilere ve taşıtanlara önceden duyurulur.

Layner taşımacılığı, taşıma türleri içinde en yüksek maliyetli olanıdır. Bunu hazırlayan öğelerin başında liman süresinin sefer içindeki oranının yüksekliği gelmektedir (Kayserilioğlu, 2004).

2.2. Tramp taşımacılık

Tramp taşımacılığı; yük olan limanlar arasında hizmetin yapılması biçiminde gözüktür. Laynercilikte hizmet esasken, tramp taşımalarında yük esastır.

Tramp taşımalarında hizmeti yük çeker. Başka bir deyişle, verimli bir şekilde ve yüksek kapasite ile yük taşınması ön plandadır. Mutlaka uyulması gereken bir sefer tarifesi söz konusu değildir. Hizmet, yükün olduğu limanlara kayar; aynı limanda sürekli olarak kalmaz. Bu nedenle taşıtan için tramp hizmetlerinde istikrar yoktur.

Tramp taşımaları laynerciliğin tersine tüm yüklemeyi amaçlar. Bu ise, en ucuz taşımanın genellikle geminin aynı tür yükle ve tüm sığasıyla yüklenmesi durumunda yapılabileceği ilkesinde yatmaktadır (Kayserilioğlu, 2004).

3. Ro-Ro taşımacılığı ve Ro-Ro gemi tipleri

Gemilerin limanda kalış süresini minimuma indirecek ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacak çözüm yöntemleri, taşıma maliyetlerinin azalmasıyla maksimum kar elde edilmesi için imkan sağlayacaktır. Ro-Ro gemilerinin tercih edilmesindeki en önemli etkenlerden bir tanesi de tartışmasız üretilen malın fabrikadan çıkartılarak tek bir nakliye aracıyla bir kez yüklenip karşı limanda boşaltılmasına olanak vermesidir. Ro-Ro gemilerinin bu özelliği, taşıma süratini kayda değer ölçüde arttırmaktadır.

Ro-Ro gemilerinin taşıma kapasiteleri ve taşıdıkları yük çeşitleri dikkate alındığında, kendi içlerinde farklı sınıflara ayırabilmek mümkündür. Genel hatlarıyla Ro-Ro gemilerini bu özelliklerine göre Yakınyol Ro-Ro gemileri, Uzakyol Ro-Ro gemileri, Sürücülü Ro-Ro gemileri (feribotlar), Konvansiyonel Ro-Ro gemileri, Kombine Ro-Ro gemileri, Araba Taşıyıcıları gibi farklı tip başlıklar altında sıralayabiliriz (Yeşilbağ, 1999).

Dünyada Ro-Ro pazarı incelendiğinde 2009-2014 yılları arasında Ro-Ro yeni inşa oranlarında azalma, düşük kiralama oranları ve zor pazar koşulları görülmektedir. Genellikle Ro-Ro faaliyetleri konsolidasyonlar şeklinde yürütülmektedir. En büyük 20 Ro-Ro sahibi, filonun %45'ini işletmekte olup, bu da toplam kapasitenin %60'ını oluşturmaktadır. Zorlu pazar koşullarına rağmen günümüzde, Ro-Ro segmentinin gelişmeye başladığı gözlemlenmektedir. Ro-Ro pazarı Avrupa ve Kuzey Afrika'da aktif rol oynamaktadır. Aralık 2015 yılı itibarıyla, Ro-Ro segmentinde toplam 9.6 milyon GT veya 7.86 milyon CGT kapasitesinde toplam 624 gemi (100 GT üzeri) bulunmaktadır. 2003 yılından itibaren, 207 gemi (3.7 milyon CGT) teslim edilmiştir; bu rakam yıllık ortalama 16 gemi şeklindedir. Filonun %60'ı 15 yaş üzeri ve %45'i 20 yaş üzeridir (SEAEurope, 2017).

4. Kabotaj

Fransızlar, sahil boyunca yapılan kıyısız gemi seyrini anlatmak için kullandıkları "Caboter" fiilinden türetmiş oldukları ve sahil boyunca yapılan gemi seyrini anlatan "Cabotage" ismi ile "Kabotaj"ın

kökenini oluşturmuşlardır. 16. Yüzyılda ise, kıyasal seyirlere getirdikleri kısıtlamalar ile kendi limanları arasındaki ticaret hakkını sadece kendi gemileri ile sınırlandırdılar (İstikbal, 2016). Günümüzde kabotaj hakkı veya kabotaj kanunu, denize kıyısı olan ülkelerin kendi ülkesel denizcilik sektörünü koruma amaçlı geliştirdikleri sistemin genel adıdır.

Türkiye’de kabotaj hakkı, Osmanlı Devleti dönemindeki kapitülasyonların kaldırılmasını sağlayan Lozan Barış Antlaşması’nın 28. Maddesi ile sağlanmıştır. 20 Nisan 1926 tarihinde kabul edilen kabotaj kanunu ile Türk vatandaşları ilk kez kendi denizlerinde söz sahibi durumuna gelmiştir. Kanunun yürürlüğe girdiği tarih olan 1 Temmuz 1926, ülkemiz için çok büyük önem taşıyan denizlerimize özgürce açılabilmemizin miladı olarak kabul edilmektedir (Deniz Ticareti, 2017).

8 bin 333 km’den fazla kıyı şeridiyle üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde, uluslararası taşımacılık faaliyetlerinin büyük bir bölümü denizyolu taşımacılığı ile gerçekleştirilmekte olup, yurtiçi taşımacılıkta gerek yük gerekse yolcu taşımacılığında denizyollarımızdan yeterli şekilde yararlanılmamaktadır. Yurtiçi taşımacılıkta karayolu daha fazla tercih edilmektedir. Son yıllarda yeni yatırımlarla, özellikle yolcu taşımacılığında kullanıcı tercihleri havayolu yönünde de olmuştur.

5. Türkiye’de kabotaj taşımacılığına ilişkin genel veriler

5.1. Başlıca Ro-Ro gemisi işletmecileri

Marmara Denizi’nde Ro-Ro gemi işletmelerinin ve çalıştıkları limanların listesi Tablo 1’de paylaşılmıştır.

Tablo 1. Marmara Denizi’nde Ro-Ro Gemi İşletmeciliği (Intermodal Transport, 2006)

Firma	Limanlar	Firma	Limanlar
SS Erdek Taş. Koop.	Erdek - Saraylar	Tramola Tas. A.Ş.	Bandırma - Ambarlı
Kale Nakliyat Seyahat ve Tur. A.Ş.	Bandırma - Ambarlı	Tuncer Yıldız	Erdek - Türkeli
NG Deniz Taş. Ltd. Şti.	Gelibolu - Çardak	Dört Kardeşler Ltd. Şti.	Gelibolu - Çardak
Kara Hasan Den. Nakliyat	Gelibolu - Çardak	Dört Kardeşler Ltd. Şti.	Karabiga - Barbaros
Kilitbahır Den. Ltd. Şti.	Çanakkale - Kilitbahır	Erdemler Den. Ltd. Şti.	Gelibolu - Çardak
Orsa Sea Gemi İnş. A.Ş.	Bandırma - Ambarlı	Erdemler Den. Ltd. Şti.	Tekirdağ - Bandırma
İstanbul Den. Ltd. Şti.	Mudanya - Zeyport	SS Tur. Yol. Koop.	Çeşitli
Karagözler Den. Ltd. Şti.	Gelibolu - Çardak	TDİ A.Ş.	Çeşitli
Kerem Den. Ltd. Şti.	Gelibolu - Çardak	İDO A.Ş.	Çeşitli
Serhat Fer. A.Ş.	Haydarpaşa - Bandırma	İstanbulLines Marmara Den. A.Ş.	Haydarpaşa - Bandırma
Tramola Nakliyat A.Ş.	Bandırma - Ambarlı		

Marmara Denizi taşımacılık için önemli bir konuma sahip olup, ülkemizde Ro-Ro gemi işletmeciliğinin çok önemli bir kısmı komşu şehirler ve ticaretin ağırlıkla işlediği rota üzerinde olması sebebiyle Marmara Denizi üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bodrum-Datça, Uzunkum-Zonguldak hatlarını da diğer bölgelerimizdeki Ro-Ro taşımacılığına örnek olarak verebiliriz.

5.2. Liman ve sefer bölgeleri

Ro-Ro gemilerinin kabotaj hatları kapsamında gerçekleştirdiği seyirlerin bölge ve hat detayları Tablo 2’de paylaşılmıştır. Gerek ticari gerek turizm açısından araç ve yolcu taşımacılığının önemli olduğu bölgelerde, ihtiyaçtan doğan liman ve sefer bölgeleri oluşmuştur. Ülkenin çok büyük bir nüfusunun Marmara Bölgesi’nde toplanmış olması ve bu bölgenin ülke ticaretindeki etkisi birlikte değerlendirildiğinde, liman ile sefer bölge sayısındaki fazlalık anlam kazanmaktadır.

Tablo 2. Liman ve Sefer Bölgeleri (Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, 2018)

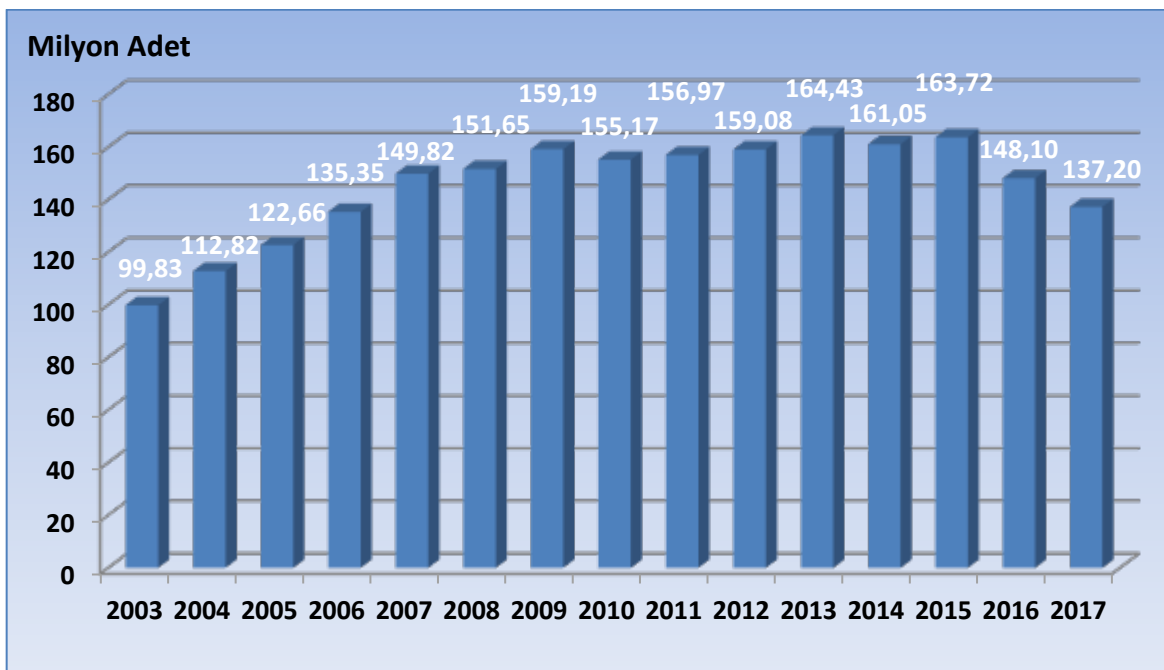
Bölge	Hat	Bölge	Hat
İstanbul Bölgesi	Eskihisar -	Marmara Havzası	Erdek - Avşa (Türkeli)
	Sirkeci - Harem		Tekirdağ - Avşa (Türkeli)
	Zeyport - Maltepe		Marmara A. - Erdek
Çanakkale Bölgesi	Gelibolu - Çardak		Marmara A. - Tekirdağ
	Gelibolu - Lapseki		Erdek - Tekirdağ
	Çanakkale - Kilitbahir		Derince - Tekirdağ
	Çanakkale - Eceabat		M. Ereğlisi - Bandırma
	Kepez - Eceabat		Ambarlı - Bandırma
	Karabiga - Barbaros/Akport		Tekirdağ - Bandırma
	Kabatepe - Gökçeada		Yenikapı - Yalova
	G.Yükyeri - Bozcaada		Yenikapı - Bandırma
İzmir Bölgesi	Bodrum - Datça		Yenikapı - Bursa
	Bostanlı - Üçkuyular		Pendik - Yalova
Van Gölü	Tatvan - Van	Antalya Bölgesi	Antalya - Kemer

5.3. Kabotaj bölgesinde taşınan yolcu & araç miktarları

2003 ile 2017 yılları arasında, kabotaj hattında taşınan yolcu ve yolcu x mil miktarının yıllara göre değişimini veren değerler Tablo 3 ve Şekil 1 içerisinde paylaşılmıştır.

Tablo 3. Kabotajda Taşınan Yolcu ve Yolcu x Mil Miktarı (Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, 2018)

Yıl	Yolcu (Adet)	2003 – 2017 % Artış	Yolcu x Mil	2003 – 2017 % Artış
2003	99.825.813	37	550.524.602	107
2004	112.816.094		621.484.444	
2005	122.661.230		670.751.087	
2006	135.348.554		752.889.731	
2007	149.824.929		842.975.355	
2008	151.645.639		847.917.253	
2009	159.194.370		886.609.389	
2010	155.172.103		850.532.610	
2011	156.968.095		848.418.350	
2012	159.076.921		787.572.051	
2013	164.426.997		900.226.869	
2014	161.048.004		974.923.011	
2015	163.723.544		992.592.392	
2016	148.101.589		1.112.255.126	
2017	137.195.691		1.138.826.307	

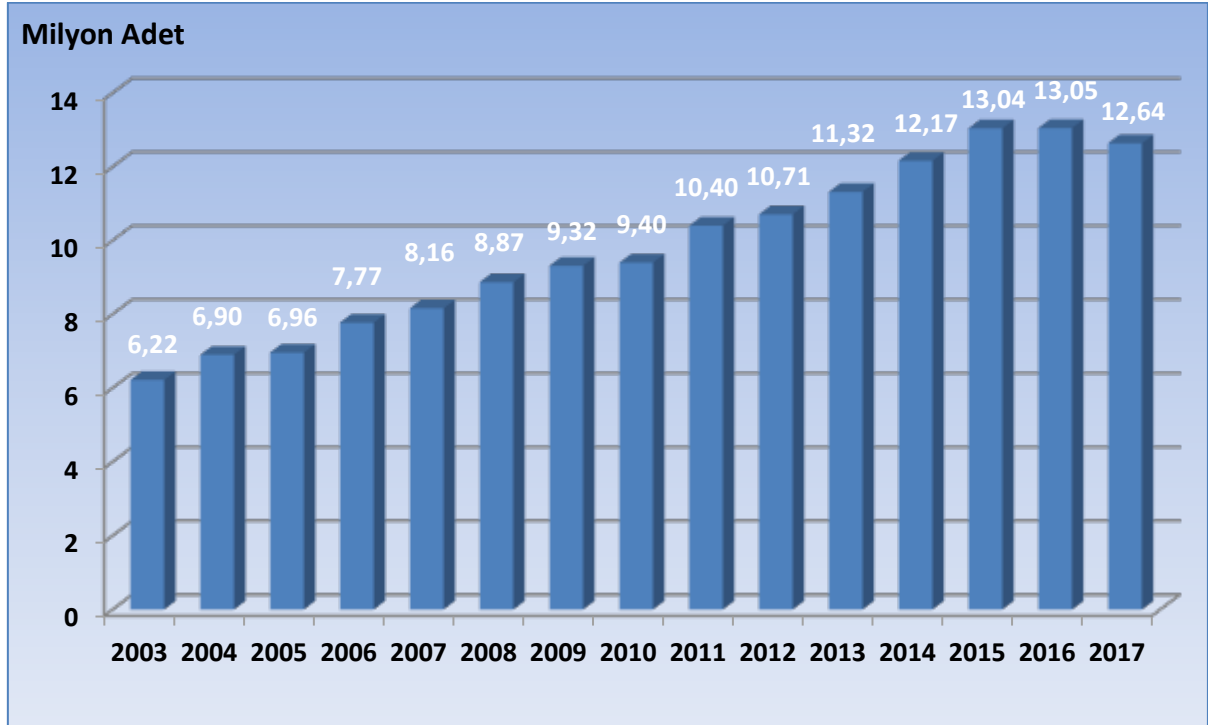
**Şekil 1.** Kabotajda Taşınan Yolcu Miktarı (Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, 2018)

Taşınan yolcu miktarı değerlerinde belirli dönemlerde düşüşler yaşanmasına rağmen, 2003 ve 2017 yıllarındaki veriler dikkate alındığında, bu süreçte yaklaşık %37'lik bir artış görülürken, bu oran taşınan yolcu x mil değerlendirmesinde % 107'lik değere ulaşmıştır.

2003 ile 2017 yılları arasında denizcilik sektöründeki gelişmeler, yeni liman ve hatların açılması, eski liman ve hatların daha bakımlı hale getirilmesi, bunun yanında yolculukların çok daha ekonomik ve konforlu duruma gelmesi sebebiyle yolcuların deniz taşımacılığına yönelmiş olduğu belirtilebilir. Kabotaj bölgesinde taşınan araç ve araç x mil miktarının yıllara göre değişimini veren değerler Tablo 4 ve Şekil 2 içerisinde paylaşılmıştır.

Tablo 4. Kabotajda Taşınan Araç ve Araç x Mil Miktarı (Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, 2018)

Yıl	Yolcu (Adet)	2003 – 2017 % Artış	Yolcu x Mil	2003 – 2017 % Artış
2003	6.219.645	103	35.880.927	165
2004	6.900.922		40.835.592	
2005	6.961.643		42.294.836	
2006	7.773.689		51.978.669	
2007	8.161.999		59.942.527	
2008	8.866.797		82.950.808	
2009	9.315.772		82.580.396	
2010	9.400.735		83.607.444	
2011	10.402.917		83.283.519	
2012	10.710.645		77.785.568	
2013	11.318.561		85.096.902	
2014	12.166.505		89.322.962	
2015	13.042.399		95.505.115	
2016	13.050.241		92.267.227	
2017	12.638.289		95.185.009	



Şekil 2. Kabotajda Taşınan Araç Miktarı (Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, 2018)

2017 yılına ait değerler özelinde kabotajda taşınan araç sayısında bir önceki yıla göre azalma görülse de 2003 ve 2017 yılları arasındaki değişim değerlendirildiğinde, taşınan araç miktarında yaklaşık %103 oranında bir artış yaşanmıştır, bu oran taşınan araç x mil değerlendirmesinde ise % 165’lik bir değer yakalamıştır.

2003 ile 2017 yılları arasında araç taşımacılığı için yeni hatların açılmasının yanında, kara yollarındaki trafik sorununun giderek artması, deniz yolu ile ulaşım sürelerinin kısalmasıyla daha ekonomik şartlarda daha konforlu ve güvenli yolculukların yapıyor olması, taşıtlarıyla seyahat eden yolcuların denizyolu taşımacılığına yönelmesine sebep olmuştur. Bunun yanında ticaret alanındaki taşımacılık için en önemli unsurlardan olan düşük taşımacılık maliyeti, düşük ve belirli bir programa uygun seyir süreleri yanında sürücüler açısından yorgunluğun azalıyor olmasına bağlı olarak sürüş güvenliğinin artması, ulaştırma firmalarının da deniz taşımacılığına geçiş yapmalarını sağlamıştır.

6. Taşıma maliyet analizi

Çalışmanın bu bölümünde, Marmara Denizi içerisinde yakın kıyisal (50-100 mil sefer) bölgesinde yer alan Ambarlı – Bandırma hattında çalışan Ro-Ro gemileri farklı özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılmış ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Farklı sınıflara ait Ro-Ro gemilerinin birim yolcu taşıma maliyetleri hesaplanarak incelenmiştir.

Yurtiçinde yakın kıyisal sefer bölgesinde çalışan Ro-Ro gemileri yaşlı ve başka gemi tiplerinden dönüştürülmüş gemiler, yurtdışından satın alınarak ülkemiz çalışma koşullarına adapte edilmeye çalışılmış gemiler ve nispeten yakın geçmişte inşa edilmiş olmasına karşın, yapılagelmiş arabalı feribot özelliklerini taşıyan gemiler olarak gruplandırılabilir.

6.1. Marmara Denizi'nde çalışan farklı grup Ro-Ro gemileri

Marmara Denizi içerisinde tır, kamyon, otomobil ve bunlarla beraber yolcu taşımacılığı yapmak amacıyla kurulmuş çok sayıda kooperatif bulunmaktadır. Mevcut hatlarda çalışan gemiler, hesaplamalarda veri oluşturması amacıyla dizayn, satın alma ve üretim özellikleri dikkate alınarak çalışmamızda 3 grup şeklinde sınıflandırılmıştır.

Grup-1) Genellikle yaşlı, yıllar içinde başka gemi tiplerinden (genellikle balıkçı vb.) Ro-Ro'ya dönüştürülmüş gemiler ilk gruptur. Bunlardan pek çoğu piyasa talebi arttıkça boy, genişlik ve derinlikleri büyütülerek ihtiyaca cevap verilmeye çalışılmıştır.

Grup-2) Yurtdışından satın alınarak, bahsi geçen hatlarda çalıştırılan gemilerdir. Gemi tasarımında başlangıç noktası müşteri ihtiyaçlarının tespitidir. Dolayısıyla yurtdışından alınan Ro-Ro gemileri, çalıştıkları bölgenin ihtiyaçlarına göre tasarlanıp inşa edilmiş gemilerdir. Ülkemizde çalıştırılmadan önce küçük ya da büyük çapta tadilat görmüşlerdir.

Grup-3) Son grupta ise yeni inşa edilmiş gemiler bulunmaktadır. Yaşları daha küçük, işletme şartları açısından diğer gemilere oranla daha iyi özelliklere sahip olmalarına karşın, yapılagelmiş arabalı feribotların tasarımlarına sahiptirler.

6.2. Analiz yöntemi

Bu bölümde, önceki bölümde bahsedilen 3 farklı grubu temsil edecek olan Ro-Ro gemilerinin teknik ve ekonomik verileri kullanılarak, Ambarlı – Bandırma hattı üzerinde faaliyet gösterdikleri kabulüyle birim taşıma maliyetleri hesaplanmıştır.

Taşıma maliyeti içsel ve dışsal maliyetler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İçsel maliyetleri ilk yatırım, yakıt-yakıt yağlama yağı, işletme ve bakım maliyetleri oluşturmaktadır. Dışsal maliyetler ise en genel olarak kaza maliyeti, çevre kirliliği maliyeti ve gürültü maliyeti olarak sınıflandırılmaktadır. Bu maliyetlerin toplamı, toplam taşımacılık maliyetini oluşturmaktadır. Toplam taşımacılık maliyetinin taşınabilecek yolcu ve araç sayısına bölünmesiyle birim yolcu ve araç taşıma maliyeti elde edilir (Şahin vd., 2005).

Literatürde maliyet hesaplamak için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Bir Değere Getirilmiş Maliyet Analizi, Fayda/Maliyet Oranı Yöntemi, Gelecek Değer Yöntemi, Geri Ödeme Oranı Yöntemi verilebilir.

Fayda/Maliyet analizinin temeli, faydaların ve maliyetlerin tanımlanması, ölçülmesi ve para birimiyle ifade edilmesidir. Genellikle büyük bir yatırım kararı verilirken kullanılan bir yöntemdir (Ataç, 2007).

Geri Ödeme Oranı, net karın şimdiki değerini istenilen bir sürede sıfır yapan faiz oranı olarak tanımlanabilir. Bir yatırımın geri ödeme oranını belirlemek için, farklı alternatiflerdeki yatırımları karşılaştırmak için kullanılır. Alternatif projelerden, aynı amortisman süresi için hesaplanmış geri ödeme oranı hangisinde büyükse o alternatif daha avantajlıdır (Aybars vd., 1995).

Gelecek Değer Metodu, yatırımın ömrü boyunca tüm para akışlarını gelecekteki bir referans tarihe getirir. Söz konusu bu referans tarih, genellikle yatırımın planlanan ömrünün sonudur. Bu metod yatırımların ekonomik analizlerinde pek sık kullanılmamaktadır (Aybars vd., 1995).

Bir Değere Getirilmiş Maliyet yönteminde, paranın zaman değeri dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemle, taşımacılık maliyet kalemlerinin direkt olarak toplamalarını almak yerine, bir geminin ekonomik ömrü boyunca yapmış olduğu maliyetlerini paranın zaman değerini göz önüne alarak, yıllık taşınan yük yolcu veya araç sayısına bölümü olarak formüle edilmektedir. Bu şekilde birim maliyete ulaşılarak daha hassas değerlendirme yapılmaktadır. Bu yöntem, literatürde kullanılan diğer bir yöntem olup, mühendislik ekonomisi hesaplamalarında sıkça tercih edilmektedir. Ulaştırma modellerine de oldukça uygundur. Taşımacılık maliyetini oluşturan maliyet kalemlerinin bir değere getirilerek birim yük, birim yolcu veya birim araç başına maliyet hesaplanarak taşıma türü veya taşıma aracı seçiminde tercih belirlemeyi olası kılmaktadır.

Gemi işletilmeye başladığı tarihten ömrünün sonuna kadar yapılan tüm masraflar farklı tarih ve miktarlarda yapılmaktadır, ayrıca taşınabilecek yolcu sayısı da yıldan yıla değişebilir (Yılmaz vd. 1999). Yukarıdaki diğer metotlar incelendiğinde ve maliyetin daha gerçekçi olarak belirlenebilmesi amacıyla “Bir Değere Getirilmiş Maliyet (Levelised Cost) Metodu”nun hesaplamalarda kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır (Aybars vd., 1995; Şahin vd., 2005).

Yöntem tüm taşıma türleri için geliştirilmiş ve kolaylıkla uygulanabilecek bir değere getirilmiş birim yük başına yatırım (U_c), işletme-bakım (U_m), yakıt (U_f) ve dışsal maliyetler (U_{ex}) tekno-ekonomik ve işletme parametrelerine bağlı olarak sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Şahin vd., 2005).

Birim yük başına yatırım maliyeti:

$$U_c = \frac{\left\{ \sum_{t=1}^n I_c \left[\left(1 - \frac{t-1}{n}\right)i + \frac{1}{n} \right] (1+r)^{-t} \right\} [2L + V_s Z_{sa}]}{2(Y_k Y_d + \alpha A_k A_d) V_s (8760 - Z_{bt} - Z_{bk}) \sum_{t=1}^n (1+r)^{-t}} \quad (\$/\text{Ton veya } \$/\text{Yolcu}) \quad (1)$$

Birim yük başına işletme-bakım maliyeti:

$$U_m = \frac{\left\{ \sum_{t=1}^n \left[c_{mo} (1+e_m)^t + (sI_c (1 - \frac{t}{n})) (1+e_s)^t \right] (1+r)^{-t} \right\} [2L + V_s Z_{sa}]}{2(Y_k Y_d + \alpha A_k A_d) V_s (8760 - Z_{bt} - Z_{bk}) \sum_{t=1}^n (1+r)^{-t}} \quad (\$/\text{Ton veya } \$/\text{Yolcu}) \quad (2)$$

Birim yük başına yakıt ve yağlama yağı maliyeti:

$$U_f = \frac{\left[B_f P_f + B_o P_o \right] L \sum_{t=1}^n \left[(1+e_f)^t (1+r)^{-t} \right]}{(Y_k Y_d + \alpha A_k A_d) \left[\sum_{t=1}^n (1+r)^{-t} \right]} \quad (\$/\text{Ton veya } \$/\text{Yolcu}) \quad (3)$$

Birim yük başına dışsal maliyet:

$$U_{ex} = \frac{(c_{ac} + c_p + c_n)L \sum_{t=1}^n \left(\frac{1+e_x}{1+r} \right)^t}{(1+e_x) \sum_{t=1}^n [(1+r)^{-t}]} \left(\frac{Y_d^*}{Y_d} \right) (\$/\text{Ton veya } \$/\text{Yolcu}) \quad (4)$$

Birim yük veya birim yolcu başına taşıma maliyeti $U_T = U_c + U_m + U_f + U_{ex}$ (\$/Ton veya \$/Yolcu) ve spesifik maliyet ise $U_L = U_T / L$ (\$/Ton.km veya \$/Yolcu.km) olmaktadır.

6.3. Analiz uygulaması

İşletmede kullanılan ve çalışmamızda 3 farklı gruba ayrılmış olan gemilerin güncel temel teknik verileri Tablo 5’de ve analiz içerisinde kullanılacak olan ekonomik verileri Tablo 6’da paylaşılmıştır. Bu veriler Marmara Denizi’nde faaliyet göstermekte olan Ro-Ro gemilerinin özellikleri incelenerek belirlenmiştir.

Tablo 5. Gemi gruplarına ait teknik veriler

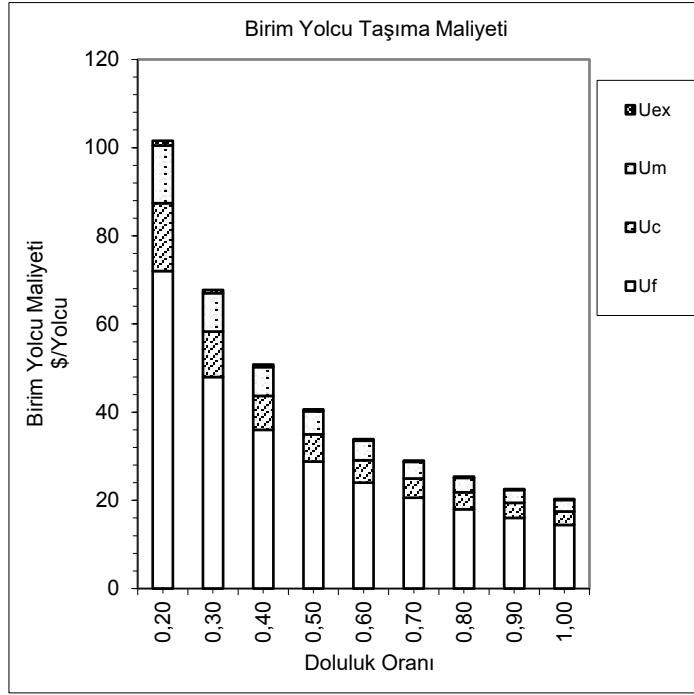
Teknik Özellik	Grup 1	Grup 2	Grup 3
Gemi Boyu (m)	94	110	101
Gemi Hızı (kts)	12.5	15.0	11
Taşıma Kapasitesi (Tır)	54	60	52
Ana Makine	2 x 2200 kW (@90MCR)	1 x 6000 kW (@90MCR)	2 x 1800 kW (@90MCR)
Gemi Tipi	Monohull	Monohull	Double Ended Monohull

Yapılan analizde gemilerin seyir esnasındaki maliyetlerinin aynı oranda değerlendirilebilmesi amacıyla günlük sefer sayısı 3, araç eşdeğerlik katsayısı değeri ise 2 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5 ve Tablo 6 içerisinde paylaşılan veriler ekonomik maliyet analizleri için kullanılarak, hesap sonucunda elde edilen birim yolcu maliyeti ve bu maliyetin doluluk oranına bağlı değişimi her grup için ayrı olarak Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5’de paylaşılmıştır.

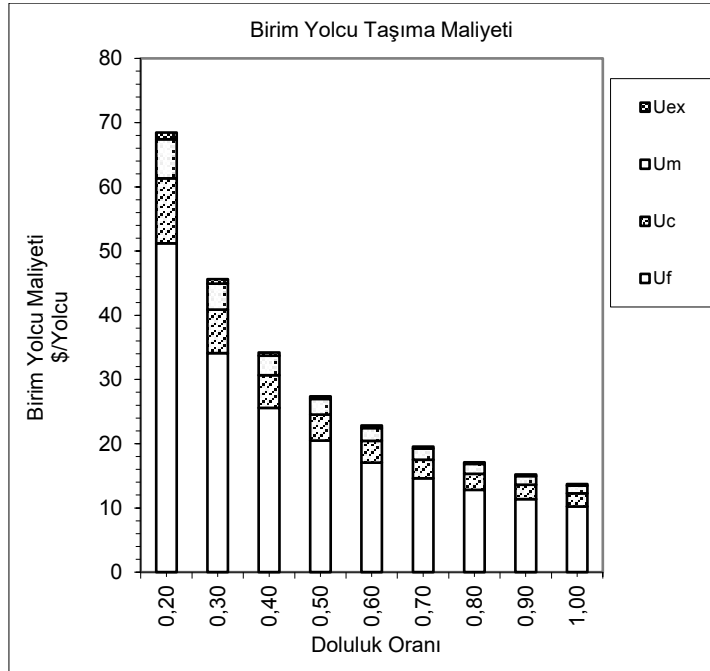
Tablo 6. Gemi gruplarına ait ekonomik veriler

Tanım	Sembol	Birim	GRUP 1	GRUP 2	GRUP 3
İlk Yatırım Bedeli	I_c	\$	9,500,000.00	10,500,000.00	7,000,000.00
Gemi Ömrü (Yıl)	n	yıl	20.00	20.00	20.00
Sigorta Yüzdesi (% I_c)	s	\$	0.0116	0.0105	0.0157
Servis Hızı	V_s	km/h	23.34	27.78	22.22
Yolcu Kapasitesi	Y_K	kişi	200.00	400.00	399.00
Kalkıştaki manevra süresi	Z_k	saat	0.17	0.17	0.08
Varıştaki manevra süresi	Z_v	saat	0.17	0.17	0.08
Yıllık Bakım-Tutum Süresi	Z_{bt}	saat	504.00	672.00	504.00
Günlük İşletme Dışı Kalma Süresi	Z_{bk}	saat	8.00	9.5	9.00
km Başına Yakıt Sarfıyatı (Ana+Yard.)	B_f	litre/km	37.08	44.50	33.40
km Başına Yağ Sarfıyatı (Ana+Yard.)	B_o	litre/km	0.25	0.30	0.20
Yakıt Fiyatı	P_f	\$/litre	0.80	0.80	0.80
Yağ Fiyatı	P_o	\$/litre	4.70	4.70	4.70
Yıllık İşletme-Bakım Masrafları	C_{mo}	\$/Yıl	600,000	450,000	350,000
Faiz Oranı	i		0.08	0.08	0.08
İskonto Oranı	r		0.10	0.10	0.10
İşletme-Bakım için ileriye yönelik fiyat eskalasyonu	e_m		0.03	0.03	0.03
Yakıt için ileriye yönelik fiyat eskalasyonu	e_f		0.05	0.05	0.05
Sigorta eskalasyon	e_s		0.03	0.03	0.03
Dışsal maliyet eskalasyonu	e_x		0.03	0.03	0.03
Hat Uzunluğu	L	km	96.3	96.3	96.3
Sefer arası bekleme süresi	Z_{sa}	saat	2.00	2.00	1.00
Yıllık Sefer Sayısı	S_s		520	517	514
Yıllık Taşınabilecek Yolcu Sayısı	Y_s	Yolcu/Yıl	145,736	289,653	287,220
Araç Kapasitesi	A_K	Tır	54	60	52
Araç Yolcu Eşdeğerlik Katsayısı (Alfa)	α		2	2	2
Spesifik kaza maliyeti	C_{ac}	\$/yolcu-km	1.24E-04	1.24E-04	1.24E-04
Spesifik emisyon maliyeti	C_p	\$/yolcu-km	2.48E-03	2.48E-03	2.48E-03
Spesifik gürültü maliyeti	C_n	\$/yolcu-km	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00



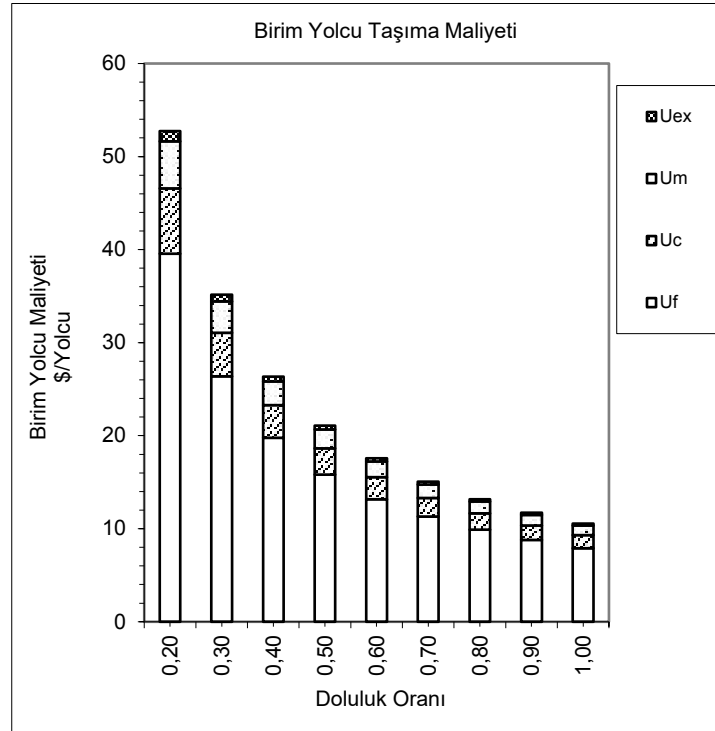
Şekil 3. Grup-1 Ro-Ro Gemisi için Birim Yolcu Taşıma Maliyeti

Grup 1 içerisinde yer alan örnek gemiye ait hesap sonuçları Şekil 3’de grafik olarak paylaşılmıştır. %20 doluluk oranında yaklaşık 102\$/yolcu olan birim yolcu maliyeti, %50 doluluk oranında yaklaşık 42\$/yolcu, %100 doluluk oranında ise yaklaşık 22\$/yolcu olmaktadır.



Şekil 4. Grup-2 Ro-Ro Gemisi için Birim Yolcu Taşıma Maliyeti

Grup 2 içerisinde yer alan örnek gemiye ait hesap sonuçları Şekil 4’de grafik olarak paylaşılmıştır. %20 doluluk oranında yaklaşık 68\$/yolcu olan birim yolcu maliyeti, %50 doluluk oranında yaklaşık 28\$/yolcu, %100 doluluk oranında ise yaklaşık 14\$/yolcu olmaktadır.



Şekil 5. Grup-3 Ro-Ro Gemisi için Birim Yolcu Taşıma Maliyeti

Grup 3 içerisinde yer alan örnek gemiye ait hesap sonuçları Şekil 5’de grafik olarak paylaşılmıştır. %20 doluluk oranında yaklaşık 55\$/yolcu olan birim yolcu maliyeti, %50 doluluk oranında yaklaşık 22\$/yolcu, %100 doluluk oranında ise yaklaşık 12\$/yolcu olmaktadır.

7. Sonuç ve öneriler

Her 3 gruba ait hesaplama sonuçları incelendiğinde, birim yolcu maliyeti içerisinde en büyük yüzdeyi yakıt maliyeti alırken, en düşük yüzde dilimi ise dışsal maliyetin olmaktadır. Tüm gruplar için birim yolcu taşıma maliyeti, doluluk oranının düşük olduğu bölümlerde oran arttıkça hızlı bir şekilde, doluluk oranının yüksek olduğu bölümlerde ise oran arttıkça daha yavaş bir şekilde azalmaktadır. Gruplar arasındaki makine güç değerleri dolayısıyla yakıt harcam değerleri, seyir süratları ve seferler arası bekleme süreleri dolayısıyla günlük ve yıllık sefer sayıları gibi farklılıklar, birim yolcu maliyetinde farklılıklar oluşmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, çalışma kapsamında yapılan varsayımlar çerçevesinde, birim taşıma maliyeti ile ilgili en ekonomik değerler Grup-3 için elde edilirken, Grup-1 en yüksek grup olmuştur.

Grup-3 gemiler, yeni inşa edilmiş gemiler olup, yaşları daha küçük, işletme şartları açısından diğer gemilere oranla daha iyi özelliklere sahip olmalarından ötürü, yıllık bakım-tutum masrafları ve yakıt sarfiyatları en düşük olan gemi tipidir. Yakıt maliyetinin birim yolcu taşıma maliyetine etkisi burada da açıkça görülmüştür.

Çalışmadaki grafikler incelendiğinde, ölçek ekonomisi kapsamında gemilerin doluluk oranı arttıkça, birim taşıma maliyetinin azaldığı görülmektedir. Bu sebeple doluluk oranı da maliyetleri düşürmek açısından önemli bir parametre olarak görülmektedir. Çalışmada incelenen her üç gemi grubu için ekonomik avantaj sağlanması amacıyla doluluk alt sınırının %70 oranında olması birim taşıma

maliyetinin düşük olması açısından önem arz etmektedir. %70 doluluk oranından itibaren birim yolcu maliyetlerindeki azalma oranı düşmektedir.

Ülkemizde araç ve yolcu taşımacılığı için denizyolu tercihi uzun süreler istenen düzeyde olamamıştır. Ancak 2003 - 2017 yılları arasındaki yolcu, yolcu x mil, araç ve araç x mil miktarlarının paylaşıldığı Tablo 3 ve Tablo 4 incelendiğinde son yıllarda talebin arttığı ve müşteri beklentilerinin yükseldiği söylenebilir. Şekil 1 içerisinde de paylaşıldığı üzere kabotajda taşınan yolcu miktarı 2003 yılında yaklaşık 100 milyon iken, bu değer 2017 yılında yaklaşık 137 milyona ulaşmıştır. Yolcu taşımacılığında artan bu talep araç taşımacılığında da karşılık görmüş ve Şekil 2 içerisindeki verilere göre 2003 yılında kabotajda taşınan araç miktarı yaklaşık 6 milyon iken bu değer 2017 yılında yaklaşık 12.5 milyona ulaşmıştır.

Araç ve yolcu kapasitesi yüksek, daha emniyetli ve konforlu, yakıt ekonomisi iyi ancak aynı zamanda daha hızlı Ro-Ro gemileri ile ilgili talepler, geminin inşası ve işletmesi ile ilgili yatırımlara harcanacak çok ciddi rakamları ortaya çıkardığından bazen uygulamaya konulamadan fikir aşamasında kalmaktadır. Bu anlamda karar alıcılar, çalışma içerisinde üç ana grupta toplamış olduğumuz örneklerle benzer şekilde “denenmiş ve çalışmakta olan” çözümlere daha çok eğilim göstermektedirler.

Sahip olduğumuz ve bizler için çok değerli olan denizlerimizi daha verimli şekilde kullanabilmek, daha kısa sürelerde daha çok sanayileşme faaliyetlerine katkı yapmasını sağlamak amacıyla; sektörün önde gelen firmalarının tecrübe ve ihtiyaçlarına odaklanarak “modern, konforlu ve emniyetli, güçlü stabilite ve kuvvetli denizcilik yeteneği sahip, hızlı seyir yapabilen, çevreci, yüksek ana güverte genişliği ile taşıma kapasitesi artmış” bir Ro-Ro gemisi tasarımının geliştirilmesi için gerekli çalışma gruplarının kurulması ve desteklenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, elde edilecek veriler ışığında hazırlanacak bir sonraki çalışmada optimum gemi tipi ve Ro-Ro tasarım önerisi yapılması planlanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan doküman ve dataların paylaşımına müsaade eden ve tecrübelerini paylaşan başta Sn. Semih ZORLU ve Sn. Ferdi ÇİÇEK olmak üzere tüm SEFT Gemi Tasarım firması çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

Ataç B., (2007). “Kamu Ekonomisi”, Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir.

Atar F., Aydoğdu Y., Duru O., Şenol Y., (2013). “Kısa Mesafe Deniz Taşımacılığının Avantajları ve Kombine Taşımacılıktaki Önemi Üzerine Bir Çalışma”, Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, 5(1):75-91.

Aybars N., Sahin B., (1995). “Enerji Maliyeti”, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul.

Başol K., (1994). “Türkiye Ekonomisi”, İzmir: Anadolu Matbaası, s.186.

Deniz Ticareti, (2017). İMEAK DTO Temmuz Sayısı Denizcilik ve Kabotaj Bayramı Eki, Temmuz 2017

Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, İstatistik Bilgi Sistemi,
https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik_kabotaj.aspx [Online] [Erişim 19.02.2018]

Intermodal Transport, (2006). National Peer Review: Turkey, 106.

Kayserilioğlu E., (2004). “Deniz Taşımacılığı Sektör Profili”, İstanbul Ticaret Odası Etüt ve Araştırma Şubesi, Eylül 2004.

KURT C., (2010). “Türkiye’de Ulaştırma Sektörü İçerisinde Lojistiğin Yeri Ve Önemi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

SEAEurope, (2017). “2017 Market Forecast Report”, Shipyards’ & Maritime Equipment Association, Belçika.

Şahin B., Öztürk Z., Yılmaz H. ve Üst Y., (2005). “Ulaştırma Sistemlerinin Taşıma Maliyet Analizi ve Çevresel Etkileri”, Ulaşım Ana Plan Stratejisi, T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı

Şener B., (2006). “Kabotaj Hattı Deniz Taşımacılığının Etüdü ve Optimum Gemi Tipinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Turan E., Çelik F., Dilek M., (2012). “Economical Analysis of The Cargo Transportation Between Gaziantep&İstanbul”, Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma, 30:303-309

Türk Dil Kurumu Türkçe Sözlük,
http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.59dd229d97fd05.57786624 [Online] [Erişim 10.10.2017]

Yeşilbağ L., (1999). “Ro-Ro Taşımacılığının Ülkemiz Deniz Ulaştırma Sektöründeki Yeri”, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 99 Bildiri Kitabı, Yapım Matbaacılık Ltd., İstanbul.

Yılmaz H., Güner M., Yılmaz T., (1999). “Feribotlarda Taşıma Maliyeti Analizi”, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 99 Bildiri Kitabı, Yapım Matbaacılık Ltd., İstanbul.

Yenal S., (2011). “Dünyada ve Türkiye’de Uluslararası Deniz Yolu Taşımacılığının Gelişiminin Değerlendirilmesi”, <http://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/tmodanhaberler/denizyolu.pdf> [Online] [Erişim 02.12.2017]

<http://www.denizhaber.com/kabotaj-hakki-turkiye-de-ve-dunyada-durum-makale,101023.html> [Online] [Erişim 13.02.2018]

Türk Bayraklı Gemilerin Karıştığı Deniz Kazaları ve Denizcilere Etkilerine İlişkin Bir Analiz

Fatih Yılmaz¹, Mustafa Necmi İlhan²

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

¹Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı - Ankara

²Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi İş ve Meslek Hastalıkları Bilim Dalı – Ankara

Özet

Bu çalışmada; Türk arama ve kurtarma bölgesinde Türk bayraklı gemilerde veya Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm, yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan deniz kazası/olaylarına ilişkin retrospektif bir inceleme yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Ana Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezi kayıtlarından 2002-2014 yılları arasındaki dönemde meydana gelen 182 deniz kazası/olayına ilişkin veriler SPSS 21 paket programı ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen bulgular; Türk arama ve kurtarma bölgesinde Türk bayraklı gemilerde veya Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm, yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan kazaların %56,6'sının 'deniz kazası', %18,1'inin 'meslek (iş) kazası' ve %25,3'ünün ise 'diğer olaylar' şeklinde yaşandığı belirlenmiştir. Deniz kazalarının başında 'Alabora' (%31,3) ve 'Çatışma' (%12,6), profesyonel gemiadamlarının meslek (iş) kazalarının başında 'Cisimlerin çarpması, sıkıştırması, ezmesi, batması, kesmesi' (%4,9) ve 'Denize düşme' (%3,3), profesyonel gemiadamlarının dışındaki kişilerin (yolcu, amatör denizci/balıkçı vb.) zarar gördüğü olaylarında başında ise 'Denize düşme' (%9,9) ve 'İntihar/denize atlama' (%6,6) vakaları öne çıkmaktadır. Kazalara/olaylara karışan gemilerin önemli bir kısmı 3000 GRT'nin altında tonaja, 90 metrenin altında boya sahip gemilerdir. İncelenen kaza/olayların yarısından fazlasının 'Yat-Özel Tekne-Sportif ve Eğlence Amaçlı Tekne' (%43,6) ve 'Yolcu Gemisi' (%19,6) tipi gemilerde yaşandığı ve zarar görenlerin yarısından fazlasının 'amatör balıkçı/amatör denizciler' (%34,6) ve 'profesyonel gemiadamları' (%29,6) olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmanın sonuç bölümünde söz konusu deniz kazalarının/olaylarının önlenmesine yönelik bazı öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gemi, Taşımacılık, Emniyet, Deniz Kazası, Deniz İşletmeciliği, Risk.

An Analysis of Marine Casualties of Turkish Flagged Ships and Effects on Seamen

Fatih Yılmaz¹, Mustafa Necmi İlhan²

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

¹Ministry of Transport, Maritime Affairs and Communications – Ankara

²Gazi University Faculty of Medicine Dept. of Work and Occupational Diseases – Ankara

Abstract

In this study; it was aimed to conduct a retrospective review of marine accidents and incidents resulting in death, injury or loss occurred on or involving the Turkish flagged ships in Turkish search and rescue area. For this purpose, the data on 182 marine accidents/incidents resulting in death, injury or loss occurred on or involving the Turkish flagged ships between 2012 and 2014 registered in the database of Main Search and Rescue Coordination Center were also analysed with SPSS 21 programme. According to findings as a result of the analysis; it was found that 56.6% of the accidents resulting in death, injury or loss occurred on or involving the Turkish flagged ships was 'marine accidents', 18.1% of 'occupational accidents' and 25.3% of 'other incidents'. The common marine accidents were 'Capsizing' (31.3%) and 'Collision' (12.6%). The common occupational accidents of professional seafarers were 'Striking, compressing, crushing, sinking, cutting of objects' (4.9%) and 'fall into the sea' (3.3%). The other incidents damage to the people (passengers, amateur sailors/fishers etc.) other than professional seafarers were 'jump into the sea' (9.9%) and 'suicide' (6.6%). The ships/vessels which were involved in the accidents/incidents were below 3000 GT and under 90 meter of length. The type of ships involved in more than half of the accidents/incidents investigated were 'yachts-private crafts-sportive & recreational boats' (43.6%) and 'passenger ships' (19.6%) and more than half of the victims who damaged due to the accidents/incidents were 'amateur sailors'(34.6%) and 'professional seamen' (29.6%). In the conclusion section of this study, some suggestions on preventing marine accidents / incidents were presented.

Keywords: Ship, Transportation, Safety, Marine accident, Maritime management, Risk.

1. Giriş

1.1. Türk arama ve kurtarma bölgesi

Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği'ne göre; hava ve deniz vasıtalarının karada, havada, su üstünde ve su altında tehlikeye maruz kalması, kaybolması veya kazaya uğraması hallerinde bu vasıtalarındaki şahısların her türlü araç, özel teçhizat veya kurtarma birlikleri kullanılarak aranması ve kurtarılması işlemlerinin bütününe “arama ve kurtarma (search and rescue - SAR)” denilmektedir. Ülkemizde arama ve kurtarma faaliyetlerinin genel koordinasyonundan Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığına bağlı Ana Arama ve Kurtarma Koordinasyon Merkezi (AAKKM) sorumludur. Türk arama kurtarma bölgesi ‘içinde arama ve kurtarma hizmeti icra edilmek üzere tespit edilmiş ve Yönetmeliğin Ek-1’inde koordinatlarla tanımlanan saha’ olarak tanımlanmıştır (Türk AK, 2001: Madde 4). Türk arama kurtarma bölgesinin, harita üzerindeki şematik gösterimi Şekil 1’deki gibidir (UDHB, 2017).



Şekil 1. Türk arama kurtarma bölgesinin haritada şematik gösterimi. (UDHB, 2017)

Türk arama kurtarma bölgesinde meydana gelen deniz kazaları ve diğer olaylarla ilgili kayıtlar AAKKM tarafından tutulmakta ve kazalara/olaylara ilişkin söz konusu kayıtlar resmi web sitesinde (AAKKM, 2015) kamuoyuna açık olarak yayınlanmaktadır.

Söz konusu kayıtlar incelendiğinde, Tablo 1’den de görüldüğü gibi, Türk arama ve kurtarma bölgesinde 2002-2014 yılları arasında 267’si ölüm, yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan toplam 1877 olayın AAKKM’ye intikal ettiği görülmektedir. Ölüm, yaralanma, kayıp ile sonuçlanan söz konusu 267 olayın 182’si (%68,2) ise Türk bayraklı gemilerde veya Türk bayraklı gemilerin karıştığı kazalarda yaşanmıştır. 182 olayın 24’ü iki geminin çatışması/temas şeklinde yaşanmıştır. Sonuç itibariyle söz konusu 182 olayda en az 195’i Türk bayraklı 204 gemi rol oynamıştır. Türk arama ve kurtarma bölgesinde 2002-2014 yılları arasında Türk bayraklı gemilerde veya Türk bayraklı gemilerin karıştığı kazalarda/olaylarda 170 kişinin yalandığı, 130 kişinin kaybolduğu ve 241 kişinin öldüğü anlaşılmaktadır (AAKKM, 2015).

Tablo 1. 2002-2014 yılları arasında Türk arama kurtarma bölgesinde meydana gelen kazaların/olayların rakamsal dağılımı (AAKKM, 2015)

Yıllar	Toplam olay sayısı	Ölüm/yaralanma /kayıp ile sonuçlanan toplam olay sayısı	Türk Bayraklı gemilerde veya Türk Bayraklı gemilerin karıştığı			
			Olay sayısı	Yaralı sayısı	Kayıp sayısı	Ölü sayısı
2002	93	8	8	-	12	22
2003	115	8	5	-	2	6
2004	151	20	15	-	14	14
2005	147	16	12	-	14	10
2006	116	12	7	-	4	5
2007	117	16	11	3	11	13
2008	206	15	8	1	8	4
2009	171	21	8	-	2	9
2010	229	49	34	77	3	18
2011	161	20	15	29	11	9
2012	157	32	24	14	5	87
2013	116	24	13	13	9	8
2014	98	26	22	33	35	36
Toplam	1877	267	182	170	130	241

Bu çalışma kapsamında, Türk arama ve kurtarma bölgesinde 2002-2014 yılları arasındaki dönemde Türk bayraklı gemilerde veya Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm, yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan söz konusu 182 kaza olayına ve kazalara karışan gemilere ilişkin tanımlayıcı bazı bulgular ileriki bölümlerde sunulmaktadır.

Ayrıca, Avrupa Deniz Emniyeti Ajansı (EMSA), Birleşik Krallık Deniz Kaza İnceleme Şubesi (MAIB) ve Amerika Birleşik Devletleri Sahil Güvenlik Teşkilatı (U.S. Coast Guard) tarafından yayınlanan kaza istatistikleri ve raporlar çerçevesinde diğer ülke ve bölgelerdeki deniz kazası/olayları ile ilgili çeşitli bilgiler de sunulmuştur.

1.2. “Deniz Kazası/Olay” ve “Meslek (İş) Kazası” kavramları

1.2.1. “Deniz Kazası/Olay” kavramları

Deniz Kazalarını ve Olaylarını Araştırma ve İnceleme Yönetmeliğine göre; deniz kazası “Bir geminin operasyon ve faaliyetleriyle bağlantılı olarak gerçekleşen ve bir kişinin ölümü veya yaralanması, bir kişinin gemi üzerindeyken kaybolması, geminin batması, kaybolması, kayıp sayılması veya terk edilmesi, geminin maddi hasara uğraması, geminin manevradan aciz duruma düşmesi, geminin karaya oturması, geminin kıyı veya açık deniz yapısına veya başka bir gemiye çatması veya başka bir gemiyle çatışması, gemi veya gemilerin uğradıkları hasardan kaynaklanan ciddi çevre kirliliği oluşması veya ciddi çevre kirliliği ihtimalinin ortaya çıkması ile sonuçlanan bir olay veya olaylar silsilesi” olarak tanımlanmıştır (Deniz Kazalarını ve Olaylarını Araştırma ve İnceleme Yönetmeliği, 2014: Madde 4).

Deniz olayı ise “Bir geminin operasyon ve faaliyetleriyle bağlantılı olarak gerçekleşen ve geminin, gemi üzerindeki insanların veya diğer kişilerin emniyetini veya çevreyi tehlike altına sokan veya düzeltilmemesi halinde tehlikeye sokabilecek olan ve deniz kazası dışında kalan olay veya olaylar silsilesi” olarak tanımlanmıştır (Deniz Kazalarını ve Olaylarını Araştırma ve İnceleme Yönetmeliği, 2014: Madde 4).

1.2.2. Meslek (iş) kazası kavramı

“İş kazası” kavramının doğru bir biçimde anlaşılması için öncelikle “kaza” kavramının bilinmesi gerekmektedir. Kaza, *nerede, nasıl, ne zaman olacağı belli olmayan fiziki ve/veya psikik bir olaydır*. Bir başka ifadeyle; *nerede, nasıl, ne zaman olacağı belli olmayan, beklenmedik bir anda dikkatsizlik ve tedbirsizlik ile vuku bulan, neticesinde maddi ve manevi kayıplar ile geriye dönüşü olanaklı olmayan sonuçlara sebep olan üzücü olaydır*. Kazaların çoğu karmaşık nitelik taşımakta ve genellikle tek bir nedenle meydana gelmemektedir (Bilgen, 2011)

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) iş kazasını, “önceden planlanmamış, çoğu kez kişisel yaralanmalara, makinaların, araç ve gereçlerin zarara uğramasına, üretimin bir süre durmasına yol açan bir olay” olarak tanımlamıştır (Çalış, 2012) Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ise, “belirli bir zarara ya da yaralanmaya neden olan, beklenmeyen ve önceden planlanmamış bir olay” olarak tanımlamıştır (Ceylan, 2013) Her iki tanımda da iş kazası, beklenmeyen, istenmeyen ve planlanmayan, sonuçta insan ve eşyaya zarar veren bir olay olarak vurgulanmıştır (DDK, 2008). ILO kaynaklı literatürde, “iş kazası” kavramı ile ilgili olarak “Şiddet eylemleri de dâhil olmak üzere işten kaynaklanan veya iş ile bağlantılı olan, bir veya daha fazla çalışanın yaralanmasına, hastalanmasına veya ölmesine neden olan beklenmedik ve planlanmadık bir olay” veya “ölümcül veya ölümcül olmayan zarar ile sonuçlanan iş sırasında veya işten dolayı meydana gelen bir olay” şeklinde yapılmış çeşitli tanımlara rastlamak mümkündür (ILO , 1998 & 5510 Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu)

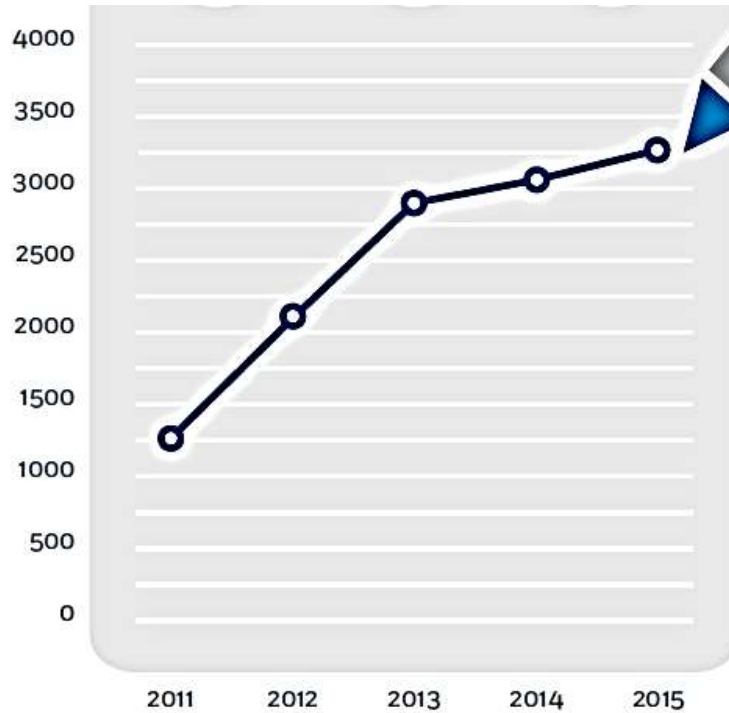
Ülkemizde iş kazası ile ilgili en geniş ulusal mevzuat düzenlemesi 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu’nda yer almaktadır. Fakat 5510 sayılı Kanun, iş kazası ile ilgili bir tanımlama içermemekte, sadece hangi hallerde gerçekleşen kazaların iş kazası sayılabileceğini belirlemektedir (Bilgen, 2011). 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu’nda “iş kazası” kavramı:

- “Sigortalının işyerinde bulunduğu sırada,
- İşveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş nedeniyle,
- Bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda,
- Kanunun 4 üncü maddesinin birinci fıkrasının (a) bendi kapsamındaki emziren kadın sigortalının, iş mevzuatı gereğince çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda,
- Sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş gelişi sırasında,

meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonradan bedenen ya da ruhen özre uğratan olay” şeklinde tanımlanmaktadır (Ali, 2008).

2. Deniz kazaları ile ilgili literatür araştırması

Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkelerin deniz kazası (marine accident)/olay (incident) inceleme birimleri tarafından 2009/18 / EC sayılı direktif çerçevesinde gerçekleştirilen incelemelere ilişkin kayıtlar, Avrupa Deniz Emniyeti Ajansı (EMSA) tarafından oluşturulan Avrupa Deniz Kazası Bilgi Platformu (European Maritime Casualty Information Platform - EMCIP) veri tabanında toplanmakta ve genel istatistikler çeşitli raporlar şeklinde yayımlanmaktadır. Bu bağlamda, EMSA tarafından yayımlanan “Marine Casualties and Incidents Summary Overview 2011 – 2015” başlıklı rapora göre; EMCIP’te kayıtlı kaza/olaylara karışan gemilerin %85’ini AB bayraklı gemiler oluşturduğu, 2015 yılında raporlanan kaza olay sayısının 3296 olduğu, 2011-2015 yılları arasındaki dönemde en fazla kaza/olayların ‘genel kargo’ ve ‘yolcu’ gemilerinde yaşandığı (bunları balıkçı gemileri, hizmet gemileri takip etmektedir), kazaların/olayların %25’inin kontrol kaybı (loss of control), %18’inin temas (contact), %16’sının ‘karaya oturma/sürüklenme (grounding/stranding)’, %16’sının ‘çatışma (collision)’, %12’sinin ‘gemi ekipmanında hasar (damage to ship equipment)’, %8’inin ‘yangın patlama (fire/explosion)’, %3’ünün su alma/batma (flooding/foundering)’, %1’inin ‘alabora olma (capsizing/listing)’ ve %1’inin ‘tekne arızası (hull failure)’ şeklinde gerçekleştiği, tüm kaza/olayların yaklaşık 1/3’ünün sadece kişileri etkileyen bireysel meslek kazası (occupational accident) olduğu, söz konusu meslek kazalarının ise %39’unun ‘Kayma-Tökezleme ve Düşme - Şahısların düşmesi (slipping - stumbling and falling - fall of persons)’, %19’unun ‘Makine kontrol kaybı, taşıma araçları, ekipmanları (loss of control of machine, means of transport, handling equipment)’ ve %18’nin ise ‘Fiziksel stres olmadan vücut hareketi (body movement without any physical stress)’ şeklinde gerçekleştiği, ölümlerin %15’inin çatışma, %15’inin su alma/batma, %12’sinin alabora sonucu gerçekleştiği, meslek kazası olarak ölüm sebeplerinin başında ‘kayma/düşme (slipping/falls of persons)’ geldiği belirtilmektedir (EMSA, 2017).



Şekil 2. EMSA’ya raporlanan deniz kazası/olay sayısı (2011-2015) (EMSA, 2017)

Birleşik Krallık Deniz Kazası Araştırma Şubesi (Marine Accident Investigation Branch - MAIB) tarafından yayımlanan 2015 yıllık raporuna göre; MAIB'e 2015 yılında Birleşik Krallık kıyılarında 1194 geminin karıştığı 1057 deniz kazası/olayın bildirildiği; bildirilen söz konusu kaza/olayların 447'sinin (%42,3) meslek kazası (occupational accident) olduğu, UK bayraklı ticaret gemilerinde daha çok 'çatışma/temas' ve kontrol kaybı (loss of control)' olaylarının görüldüğü ve iç sularda çalışan gemiler haricinde en fazla 'dökme yük' ve 'yolcu'gemilerinin kaza/olaylara karıştığı, kazalar sonucu başta tayfalar olmak üzere 143 gemi personelinin yaralandığı, yaralanmaların en fazla gemilerin güverte kısmında meydana geldiği, yaralanma vakalarında en fazla %37,1 (53) 'Kayma-tökezleme ve düşme - şahısların düşmesi (slipping-stumbling and falling-fall of persons)', %25,2 (36) 'fiziksel stres olmadan vücut hareketi (body movement without any physical stress)' ve %23,1 (33) 'kontrol kaybı (tam veya kısmi) (loss of control (total or partial))' şeklinde gerçekleştiği, 2014 yılı ile karşılaştırıldığında benzer bir durumun söz konusu olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, UK bayraklı olmayan ticaret gemilerinde ise daha çok 'kontrol kaybı (loss of control)' ve 'karaya oturma/sürüklenme' olaylarının görüldüğü ve en fazla 'genel kargo' gemilerinin kaza/olaylara karıştığı belirtilmektedir (MAIB, 2016).

Amerika Birleşik Devletleri Sahil Güvenlik Teşkilatı (U.S. Coast Guard) tarafından yayımlanan "2016 Recreational Boating Statistics" başlıklı rapora göre; 2016 yılında ABD'de gezinti teknesi kazaları sonucunda 49 milyon dolar değerinde mal hasarı, 701 ölüm ve 2903 yaralanma ile sonuçlanan 4463 kaza bildirimi olduğu, 2015 yılında oranla kaza sayısının %7,3; ölüm oranının %12; yaralanma oranının ise %11,1 artış gösterdiği, gezinti teknesi kazaları sonucu ölüm sebebi bilinen kazazedelerin %80'inin boğularak öldüğü, boğularak ölenlerin ise %83'ünün can yeleği giymediği, boğulan her 10 kişiden 8'inin 21 feet'ten daha kısa gezinti teknesinde boğulduğu, ölümcül tekne kazalarına katkı sağlayan etmenlerin başında "alkol kullanımı" geldiği ve alkolün söz konusu ölümlerdeki katkısının %15 olduğu, ölümlerin yalnızca %13'ünde operatörün ulusal onaylı bir tekne emniyet eğitim sertifikası olduğu, 171 kazada en az bir operatörün teknenin pervanesine çarptığı ve bu şekilde 24 ölüm ve 175 yaralanma yaşandığı, operatörün dikkatsizliği, operatörün deneyimsizliği, hatalı seyir, aşırı hız ve makine arızalarının kazalarda en önemli beş ana faktör olduğu, kazalara en yaygın karışan tekne tiplerinin 'açık motorbotlar (open motorboats) (47%)', 'kişisel su araçları (personal watercraft) (18%)' ve 'kabin motorbotlar (cabin motorboats) (15%)' olduğu, ölüm vakalarının en çok yaşandığı tekne tiplerinin ise 'açık motorlu tekneler (open motorboats) (% 47)', 'kayaklar (kayaks) (% 13) ve kanolar (canoes) (% 9)' olduğu belirtilmektedir [6]. U.S. Coast Guard tarafından 2016 raporunda vurgulanan hususlar önceki yıllara ait raporlar da mevcut olup, ilaveten önceki yıllarda meydana gelen gezinti teknesi kazalarında boğularak ölen çocukların çoğunda can yeleği giydirilmemiş olduğu belirtilmektedir (US Cost Guard, 2017).

Literatürde, AAKKM kaza/olay verileri kullanılarak farklı dönemlere ait farklı örneklemelerin analiz edildiği çeşitli çalışmalara rastlamak da mümkündür. Örneğin; İstanbul Boğazı'nda 1982-2014 yılları arasında kazaya karışan gemiler ile kılavuz kaptan almaları arasındaki ilişkiyi inceleyen Ece (2016), belirtilen dönemde kazaya karışan tüm gemilerin kılavuz kaptan alma oranının %21,6 olduğunu, kılavuz kaptan almanın kazaları azalttığını ve İstanbul Boğazı'nda söz konusu dönemde en çok kazaya kılavuz kaptan almayan gemilerin karıştığını belirtmiştir (Ece, 2016). Bu çalışmanın kapsamı; 2002-2014 yılları arasında Türk arama ve kurtarma bölgesinde meydana gelen ve Türk bayraklı gemilerde veya Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm, yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan 182 deniz kazası/olayına ilişkin verilerin analizi ile sınırlıdır.

3. Materyal ve yöntem

3.1. Materyal

Türk arama ve kurtarma bölgesi sınırları içerisinde meydana gelen deniz kazalarına/olaylara ilişkin kayıtlar, Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı'na bağlı Ana Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezi (AAKKM) tarafından tutulmakta ve resmi web sitesinde (<http://aakkm.udhb.gov.tr/>) “Kaza/Olay İstatistikleri” kısmında kamuoyuna açık olarak yayınlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen 2002-2014 yılları arasında Türk arama ve kurtarma sahasında meydana gelen, Türk bayraklı gemilerde veya Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm, yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan 182 deniz kazası/olaya ilişkin veriler anılan web sitesinden alınmıştır. AAKKM'nin web sitesindeki kaza/olay istatistiklerinde; kazanın/olayın tarihi, yeri, saati, tipi, nedeni, sonucu (ölü, yaralı, kayıp) vb. gibi kazaya ilişkin değişkenler ile geminin adı, bayrağı, IMO numarası, tipi, tonajı (GRT), inşa yılı vb. gibi kazaya karışan gemilere ilişkin değişkenler bulunmaktadır. Deniz kazalarına/olaylara karışan gemilere ilişkin bilgiler AAKKM'nin web sitesindeki kayıtlarda oldukça eksik olduğundan, eksik olan teknik bilgiler (gemi tipi, tonajı, boyu vb. gibi) equasis.org ve spotshipping.com gibi internet sitelerinden bulunabildiği ölçüde tamamlanmaya çalışılmıştır.

3.2. Yöntem

Çalışmada veri işlemeyi kolaylaştırmak için değişkenler alt gruplara ayrılmış ve numaralama biçiminde kodlama yapılarak sınıflama (adlandırma) ölçeği kullanılmıştır. Kaza/olay türleri AAKKM kayıtlarındaki açıklamalar dikkate alınarak “deniz kazaları”, “meslek kazaları” ve “diğer olaylar” şeklinde alt gruplara ayrılmıştır. Kazalara/olaylara ilişkin değişkenlerin sınıflandırılmasında IMO ve ILO tarafından kullanılan deniz kazası ve iş kazası türleri, gemilerin teknik özelliklerine ilişkin değişkenlerin sınıflandırılmasında ise Uluslararası Gemi Siciline yönelik gemi cinsleri tanımlamaları ve gemilerin teknik özelliklerine ilişkin denizcilik literatüründeki çeşitli sınıflandırmalar göz önünde bulundurulmuştur. Kazaya/olaya karışan gemilerle ilgili frekans tabloları oluşturulurken, çatışma veya temas olayları en az iki gemi arasında gerçekleştiği için bu olaylara karışan ve bayrak bilgileri bulunabilen gemilere ait bilgiler her bir gemi için ayrı ayrı göz önünde bulundurulmuştur. Söz konusu kaza/olaylar ve kazalara karışan gemilerin özelliklerine ilişkin değişkenlerin frekans tablolarının oluşturulması için SPSS 21 (Statistical Package For The Social Sciences) paket programı kullanılmıştır.

4. Bulgular

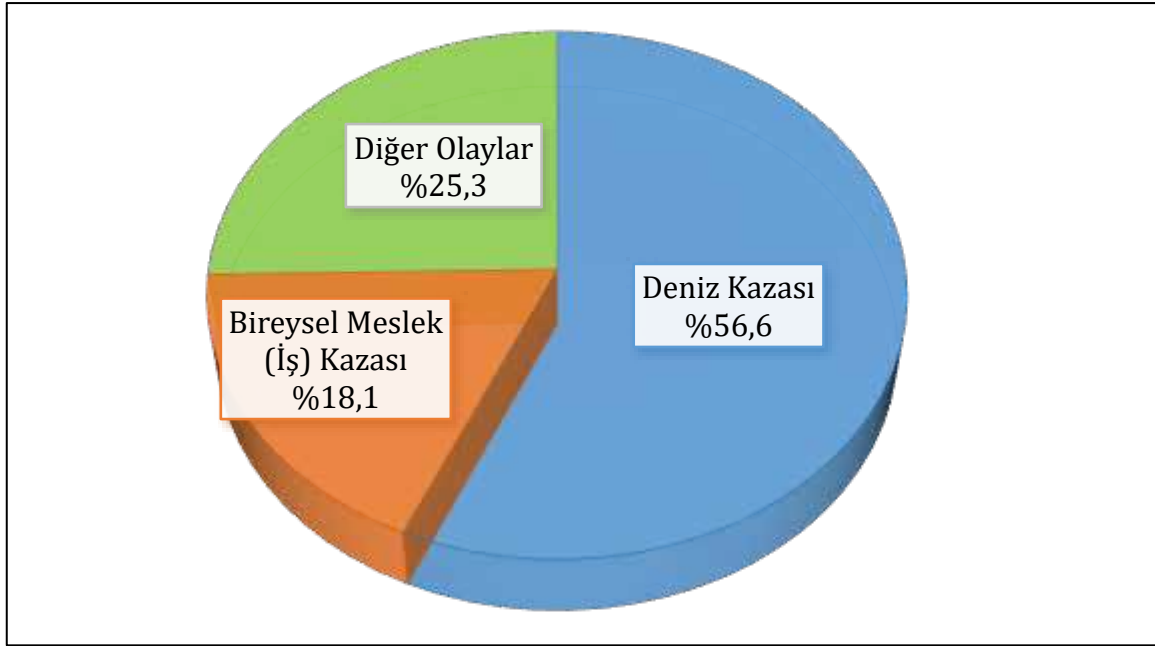
4.1. Kaza türlerine ilişkin dağılım

Tablo 2'den görüldüğü gibi, AAKKM kaza kayıtlarına göre Türk arama ve kurtarma bölgesinde 2002-2014 yılları arasında Türk bayraklı gemilerde veya Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm, yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan 182 kaza olayı ile ilgili olarak, kaza türleri ile ilgili en yüksek oranın %31,3 (57 kaza) ile ‘Alabora/ Capsizing’ ve %12,6 oranıyla (23 kaza) ‘Çatışma/ Collision’ olduğu görülmektedir. Kazaların %9,9'u (18 kaza) yolcular ve amatör denizci/balıkçıların denize düşmesi ve %6,6'sı (12 kaza) ise intihar amaçlı denize atlama olduğu gözlemlenmiştir. Meslek kazası olarak ise %4,9 oranıyla (9 kaza) ‘Cisimlerin çarpması, sıkıştırması, ezmesi, batması, kesmesi’ ve %3,3 oranıyla (6 kaza) ‘Denize düşme’ gemilerde öne çıkan iş kazaları olarak gözlemlenmiştir.

Tablo 2. Kazaların türleri

	Frekans	Yüzdesi (%)
Deniz kazası:	103	56,6
Alabora/ Capsizing	57	31,3
Çatışma/ Collision	23	12,6
Çatma	8	4,4
Yangın/ Fire	8	4,4
Oturma/ stranding/ grounding	2	1,1
Temas/ Contact	1	0,5
Patlama/ Explosion	2	1,1
Makina arızası/ machinery damage	2	1,1
Meslek kazası:	33	18,1
Başkası tarafından yaralanma/öldürülme	2	1,1
Denize düşme	6	3,3
Cisimlerin çarpması, sıkıştırması, ezmesi, batması, Kesmesi	9	4,9
Belirtilmeyen bir nedenle yaralanma	3	1,6
Hemzemin ortamda veya yüksekten düşme	3	1,6
Kayıp (profesyonel gemiadamı)	5	2,7
Kalp krizi, beyin kanaması, yanlış ilaç kullanımı vb.	4	2,2
Kaynak yaparken oluşan kazalar	1	0,5
Diğer olaylar:	46	25,3
Denize düşme (yolcular ve amatör denizci/balıkçılar)	18	9,9
İntihar/denize atlama (yolcu vb.)	12	6,6
Denizde boğulma	2	1,1
Geminin kaçırılması, korsanlık vb.	7	3,8
Kayıp (amatör denizci/balıkçı vb.)	7	3,8
Toplam	182	100,0

Şekil 3'ten de görüldüğü gibi, Türk arama ve kurtarma bölgesinde 2002-2014 yılları arasında Türk bayraklı gemilerde veya Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm, yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan 182 kaza olayının %56,6'sı (103 vaka) 'deniz kazası', %18,1'i (33 vaka) 'meslek (iş) kazası' ve %25,3'ü (46 olay) ise deniz kazası ve meslek iş kazası dışında kalan 'diğer olaylar' olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Türk arama ve kurtarma bölgesinde Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan 182 kaza/olayın sınıflandırılması

Tablo 2 ve Şekil 2’de “deniz kazası” olarak belirtilen kazalarda gemilerin ve üzerinde bulunan kişilerin zarar görmesi söz konusu iken, “meslek (iş) kazası” olarak belirtilen kazalarda sadece profesyonel gemiadamlarının zarar görmesi (geminin hasar görmesi söz konusu değil) söz konusu olup, “diğer olaylar” olarak belirtilen olaylarda ise profesyonel gemiadamları dışındaki kişilerin zarar görmesi söz konusudur.

4.2. Kazaların gerçekleştiği mevsimlere ilişkin dağılım

Tablo 3’ten görüldüğü gibi, bu çalışma kapsamında incelenen 182 kaza olaylarının en fazla %28,6 (52 kaza) ‘Haziran-Temmuz-Ağustos (Yaz)’ ayları arasında ve buna çok yakın bir oranla %28 (51 kaza) ‘Eylül-Ekim-Kasım (Sonbahar)’ ayları arasında olduğu görülmektedir. Daha genel bakıldığında ise, dört mevsimde de yaklaşık oranlarda kaza kaydı olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Kazanın gerçekleştiği mevsimlere ilişkin dağılım

	Frekans	Yüzdesi (%)
Mart-Nisan-Mayıs (İlkbahar)	44	24,2
Haziran-Temmuz-Ağustos (Yaz)	52	28,6
Aralık-Ocak-Şubat (Kış)	35	19,2
Eylül-Ekim-Kasım (Sonbahar)	51	28,0
Toplam	182	100,0

4.3. Kaza saatine ilişkin dağılım

Tablo 4'ten görüldüğü gibi, bu çalışma kapsamında incelenen 182 kaza olayları en fazla %24,2 (44 kaza) '16:01–20:00' saatleri arasında, en az ise %6,6 (12 kaza) "06:01 - 09:00" saatleri arasında meydana gelmiştir. Gemiadamları Yönetmeliği Madde 84'göre "gece" en geç saat 20.00'den başlayarak en erken saat altıya kadar geçen ve her halde en fazla onbir saat süren dönemi ifade etmektedir. Dolayısıyla, daha genel bakıldığında, söz konusu kazaların %38,5'inin 'gece' meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 4. Kazalara karışan gemilerin boylarına göre dağılımı

	Frekans	Yüzdesi (%)
24:00 - 03:00	18	9,9
03:01 - 06:00	16	8,8
06:01 - 09:00	12	6,6
09:01 - 12:00	21	11,5
12:01 - 16:00	35	19,2
16:01 - 20:00	44	24,2
20:01 - 23:59	36	19,8
Toplam	182	100,0

4.4. Kazalarda/olaylarda zarar görenlerin gemide bulunma amacına ilişkin dağılım

Tablo 5'ten görüldüğü gibi, bu çalışma kapsamında incelenen 182 kaza olayında zarar görenlerin en fazla %34,6 oranıyla (63 kaza) 'Amatör balıkçı/Amatör denizci'ler ve sonra sırasıyla %29,6 oranıyla (54 kaza) 'Profesyonel gemiadamları', %19,8 oranıyla (36 kaza) 'Yolcu-vatandaş-mülteci'ler ve %1,1 oranıyla (2 vaka) 'Tersane işçileri' olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu kazaların/olayların %14,8'inde (27 kaza) ise zarar görenlerin gemide bulunma amacına (pozisyonuna) ilişkin bilgiye kayıtlarda rastlanmamıştır.

Tablo 5. Kazalarda zarar görenlerin gemide bulunma amacı

	Frekans	Yüzdesi (%)
Tersane işçisi	2	1,1
Amatör balıkçı / Amatör denizci	63	34,6
Profesyonel gemiadamı	54	29,6
Yolcu-vatandaş-mülteci	36	19,8
Kayıt yok/belirlenemedi	27	14,8
Toplam	182	100,0

4.5. Kazaya karışan gemilerin tiplerine göre dağılımı

Tablo 6'dan görüldüğü gibi, bu çalışma kapsamında incelenen 182 kaza olayına karışan ve bayrakları belirlenebilen 204 geminin en yüksek oranla %43,6'sının (89 gemi) 'Yat-Özel Tekne-Sportif ve Eğlence

Amaçlı Tekne’ ve daha sonra sırasıyla %19,6’sının (40 gemi) ‘Yolcu Gemisi’, %14,7’sinin (30 gemi) ‘Genel Yük Gemisi’ ve %12,3’ünün (25 gemi) ‘Balıkçı Gemisi’ vs. olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 6. Kazaya karışan gemilerin tiplerine göre dağılımı

	Frekans	Yüzdesi (%)
Genel Yük Gemisi	30	14,7
Hizmet Gemisi- Açık Deniz Faaliyet Gemisi	7	3,4
Kuru Dökme Yük Gemisi	2	1,0
Özel Amaçlı Gemi	3	1,5
Yat-Özel Tekne-Sportif ve Eğlence Amaçlı Tekne	89	43,6
Römorkör	3	1,5
Tam Konteyner Gemisi	1	0,5
Tanker	2	1,0
Yolcu Gemisi	40	19,6
Balıkçı Gemisi	25	12,3
Kayıt yok/belirlenemedi	2	1,0
Toplam	204	100,0

4.6. Kazaya karışan gemilerin grostonaj (GRT) dağılımı

Tablo 7’den görüldüğü gibi, bu çalışma kapsamında incelenen 182 kaza olayına karışan ve bayrakları belirlenebilen 204 geminin %40,7’sinin (83 gemi) grostonajının ‘499 GRT veya daha altı (Küçük gemiler)’, %16,2’sinin (33 gemi) ‘500 - 2999 arası gemiler (Küçük gemiler)’ %8,3’ünün (17 gemi) ‘3000 - 9999 arası gemiler (Orta büyüklükteki gemiler) ve %3,4’ünün (7 gemi) ‘10 000 – 24 999 GRT arası (Orta büyüklükteki gemiler)’ olduğunu gözlemlenmiştir. Söz konusu gemilerin %31,4’ünün (64 gemi) ise tonajına ilişkin kayıtlardan bilgi elde edilememiştir. Bu konudaki veriler eksik olmakla birlikte, mevcut veriler ışığında, kazalara karışan gemilerin yarısından fazlasının 3 000 GRT’den daha az (küçük) gemiler olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Kazaya karışan gemilerin grostonaj (GRT) dağılımı

	Frekans	Yüzdesi (%)
499 GRT veya daha altı (Küçük gemiler)	83	40,7
500 – 2 999 GRT arası gemiler (Küçük gemiler)	33	16,2
3000 – 9 999 GRT arası gemiler (Orta büyüklükteki gemiler)	17	8,3
10 000 – 24 999 GRT arası (Orta büyüklükteki gemiler)	7	3,4
Kayıt yok/belirlenemedi	64	31,4
Toplam	204	100,0

4.7. Kazaya karışan gemilerin boylarına göre dağılımı

Tablo 8’den görüldüğü gibi, bu çalışma kapsamında incelenen 182 kaza olayına karışan ve bayrakları belirlenebilen 204 geminin en fazla oranla %26’sının (53 gemi) ‘100ft (~30m) - 300 ft (~90m) arası’ olduğunu gözlemlenmiştir. Söz konusu gemilerin %33,3’ünün (68 gemi) boyuna ilişkin kayıtlardan bilgi elde edilememiştir. Bu konudaki veriler eksik olmakla birlikte, mevcut veriler ışığında, kazalara karışan gemilerin çoğunun boyunun yaklaşık olarak 90 metreden küçük olduğu görülmektedir.

Tablo 8. Kazalara karışan gemilerin boylarına göre dağılımı

	Frekans	Yüzdesi (%)
25ft (~7,5m)'den daha kısa	28	13,7
25ft (~7,5m) - 50ft (~15m) arası	18	8,8
50ft (~15m) – 100 ft (~30m) arası	16	7,8
100ft (~30m) - 300 ft (~90m) arası	53	26,0
300 ft (~90m) ve üzeri	21	10,3
Kayıt yok/belirlenemedi	68	33,3
Toplam	204	100,0

5. Tartışma ve öneriler

Bu çalışma ile Türk arama ve kurtarma bölgesinde Türk bayraklı gemilerde veya Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm, yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan kazaların %56,6’sının ‘deniz kazası’, %18,1’inin ‘meslek (iş) kazası’ ve %25,3’ünün ise ‘diğer olaylar’ şeklinde yaşandığı belirlenmiştir. Gemilerin ve üzerlerindeki kişilerin zararı ile sonuçlanan deniz kazalarının başında ‘Alabora/Capsizing’ (%31,3) ve ‘Çatışma/ Collision’ (%12,6) gelirken, sadece profesyonel gemiadamlarının zararı ile sonuçlanan meslek (iş) kazalarının başında ‘Cisimlerin çarpması, sıkıştırması, ezmesi, batması, kesmesi’ (%4,9) ve ‘Denize düşme’ (%3,3) gelmektedir. Profesyonel gemiadamlarının dışındaki kişilerin (yolcu, amatör denizci/balıkçı vb.) zarar gördüğü olaylarında başında ise ‘Denize düşme’ (%9,9) ve ‘İntihar/denize atlama’ (%6,6) vakalarının öne çıkmaktadır. Mevcut veriler ışığında, incelenen söz konusu kaza/olayların yarısından fazlasının ‘Yat-Özel Tekne-Sportif ve Eğlence Amaçlı Tekne’ (%43,6) ve ‘Yolcu Gemisi’ (%19,6) tipi gemilerde yaşandığı ve bu kaza/olaylarda zarar görenlerin yarısından fazlasının ‘amatör balıkçı/amatör denizciler’ (%34,6) ile ‘profesyonel gemiadamları’ (%29,6) olduğu görülmektedir. Söz konusu kazalara/olaylara gemilerin önemli bir kısmının 3000 GRT’nin altında tonaja, 90metrenin altında boya sahip çeşitli gemiler olduğu da görülmektedir.

Her ülkenin kendi deniz yetki alanlarındaki gemi trafiğinin kendine has özelliklerinden dolayı, meydana gelen kaza ve olaylar ile bu kazalara/olaylara konu olan gemi ve kazazede profillerinin farklılık göstermesi de doğaldır. Örneğin; bu çalışma kapsamında incelenen Türk arama kurtarma bölgesinde meydana gelen ölüm, yaralanma ve kayıp ile sonuçlanan kazalarda ‘Alabora/Capsizing’ ve ‘Çatışma/Collision’ türü kazalar öne çıkarken, AB ve Birleşik Krallık deniz yetki alanlarındaki kazaların genelinde ‘Kontrol kaybı (loss of control)’, ‘Çatışma (Collision)’ ve ‘Temas (contact)’ türü kazalar ön plana çıkmaktadır. Benzer şekilde, bu çalışma kapsamında mevcut veriler ışığında incelenen

kaza/olaylarda profesyonel gemiadamlarının zararı ile sonuçlanan meslek (iş) kazalarının başında 'Cisimlerin çarpması, sıkıştırması, ezmesi, batması, kesmesi' ve 'Denize düşme' gelirken, AB ve Birleşik Krallık deniz yetki alanlarındaki kazaların genelinde 'Kayma-Tökezleme ve Düşme - Şahısların düşmesi', 'Makine kontrol kaybı, taşıma araçları, ekipmanları' ve 'Fiziksel stres olmadan vücut hareketi' şeklindeki kazalar öne çıkmaktadır. Bu bakımdan, genel olarak tüm deniz kazalarının ve meslek iş kazalarının, özellikle 'Çatışma' türü deniz kazaları ile 'Düşme' şeklindeki meslek (iş) kazalarının hem Türkiye, hem de AB ve UK açısından ortak problemler olduğunu söyleyebiliriz. Bu bağlamda, gemiadamlarının eğitimlerinde ve Bayrak ve Liman Devleti denetimlerinde Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (COLREG), Uluslararası Emniyetli Yönetim Sistemi (ISM) ile Denizcilik Çalışma Sözleşmesi (MLC, 2006) İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kurallarının etkin bir şekilde uygulanması konusunda daha fazla hassasiyet gösterilmesinin faydalı olabileceği değerlendirilmektedir.

Türk arama kurtarma bölgesinde ölüm, yaralanma veya kayıp ile sonuçlanan bir diğer önemli kaza türünün 'Alabora/Capsizing' olduğu görülmektedir. Bir geminin alabora olmasında, geminin yapısal kondisyonu, yük durumu ve deniz koşullarının başlıca önemli faktörler olduğu göz önünde bulundurulduğunda, Türk bayraklı çelik gemilerin havuz sürveyleri ile sac ölçümlerinin, fiberglas ve diğer malzemelerden yapılmış teknelerin ise gözetim, denetim ve sürveylerinin daha hassas takip edilmesi, gemilerin sefer öncesi yükleme durumlarının stabilite ve mukavemet açısından daha etkin denetlenmesi, kötü hava/deniz koşullarında emniyetli seyir gibi konularda profesyonel gemiadamları ile amatör denizcilerin eğitimlerinin etkinliğinin artırılması ve yabancı bayraklı gemilere yönelik PSC denetimlerinde de bu hususların göz önünde bulundurulmasının bu tür kazaların azaltılmasında fayda sağlayabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, özellikle 30 yaşın üzerindeki Türk bayraklı gemilerin servis dışı bırakılmasına yönelik teşvik edici tedbirler alınması, 15 yaş ve üzeri gemilerde sac kalınlık ölçüm sıklığının ve sürvey kalitesinin artırılması, yükleme-boşaltma için gemi boyundan büyük rıhtım veya iskelelerin kullanılması, gemilerin aşırı yükleme/hatalı yükleme-boşaltma gibi durumlarının etkin denetlenmesi ve özellikle kuru dökme yük elleçlenen limanlarda yükleme-boşaltma operasyonlarında görevli liman personelinin yükün özellikleri, yükleme-boşaltma operasyonları ve gemi bünyesine (mukavemet, stabilite) etkileri gibi konularda gereken eğitim, bilgi ve tecrübe şartları ve denetimlerin sıklaştırılmasının da özellikle koster tipi yaşlı gemilerin karıştığı deniz kazalarının/olayların azaltılması bakımından faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında mevcut veriler ışığında incelenen kaza/olayların yarısından fazlasının, 'Yat-Özel Tekne-Sportif ve Eğlence Amaçlı Tekne' ve 'Yolcu Gemisi'tipi gemilerde yaşandığı ve bu kaza/olaylarda zarar görenlerin yarısından fazlasının 'amatör balıkçı/amatör denizciler' ile 'profesyonel gemiadamları' olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu tip gemilerin/teknelerin denetimlerine ve özellikle 'amatör denizci' olarak adlandırılan profesyonel olmayan tekne kullanıcılarının eğitimlerine daha fazla önem verilmesinin faydalı olabileceği değerlendirilmektedir. Esasında U.S. Coast Guard tarafından yıllık olarak yayımlandığı gibi, gezinti/eğlence teknelerinin (recreational boating) karıştığı deniz kazalarının/olaylarının, yük gemilerinden farklı olarak ele alınması, analiz edilmesi ve periyodik raporlar halinde yayımlanmasının, yat, özel tekne, sportif ve eğlence amaçlı teknelerde meydana gelen kazaların önlenmesi ve amatör denizcilerin eğitiminde kullanılmak üzere bir kaynak olarak faydalanabilmesi bakımından da faydalı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, yat, özel tekne, sportif ve eğlence amaçlı teknelerle ilgili, amatör denizcilerin/balıkçıların zarar gördüğü deniz kazaları/olayları ile ilgili akademik çalışmalar yapılması da önem arz etmektedir.

Geçmişteki kaza verilerinin uygun şekilde sınıflandırılarak depolanması ve bilimsel olarak analiz edilmesi, gelecekteki kazaların önlenmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Türk bayraklı gemilerde yaşanan veya Türkiye Cumhuriyeti vatandaşı Türk gemi çalışanlarının yabancı bayraklı gemilerde yaşadıkları iş kazalarının spesifik olarak uygun bir şekilde depolanıp bilimsel analizlerin daha kolay ve sağlıklı yapılabilmesi, dolayısıyla iş kazalarının minimize edilebilmesi için Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK)'nın iş kazası veri tabanı ile UDHB-AAKKM'nin kaza/olay veri tabanının azami ölçüde birbirleriyle entegre edilmesinde büyük fayda görülmektedir.

İngiltere'de 31 Temmuz 2012 tarihinde yürürlüğe giren (2013'te revize edilen) 1743 sayılı "*The Merchant Shipping (Accident Reporting and Investigation) Regulations 2012*" tüzüğüne göre, Deniz Kazalarını İnceleme Şubesine (MAIB) sadece deniz kazalarının (marine accidents) değil, ramak kala (near miss veya marine incidents) durumlarının da bildirilmesi zorunludur. Benzer şekilde, Türk bayraklı gemilerde meydana gelen ramak kala (near miss) raporlarının da AAKKM ve/veya KAİK'e raporlanma zorunluluğu getirilmesi ve burada bilimsel araştırmalara açık bir veri tabanı oluşturulmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

AAKKM kaza/olay kayıt sisteminde, kazaya karışan gemilere ve kazazedelere ilişkin tanımlayıcı bilgilerin eksiksiz ve net olarak kaydedilmesinde; özellikle kazaya karışan gemilerin IMO numaraları ve/veya teknik kütük numaraları ile Türkiye Cumhuriyeti vatandaşı olan kazazedelerin T.C. kimlik numaraları ve/veya gemiadamı sicil numaralarının da kayıt altına alınması, gelecekteki kazaların önlenmesine yönelik sağlıklı analizler yapılabilmesi için gereklidir. Ayrıca, bir teknenin, özel veya ticari amaçla kullanıp kullanılmaması, o teknede meydana gelen bir kazanın 5510 sayılı Kanun kapsamında "işyeri"nde meydana gelen bir "iş kazası" olup olmadığına yönelik yapılacak hukuki ve teknik değerlendirme açısından önemli olduğunda dolayı resmi kayıtlarda "ticari yat/tekne" ve "özel yat/tekne" ayrımının doğru yapılması da önem arz etmektedir.

6. Sonuç

Türk arama ve kurtarma sahası içerisinde ölüm, yaralanma ve kayıp ile sonuçlanan kazaların minimize edilmesinde, öncelikle "*Alabora (capsizing)*" ve "*Çatışma (collision)*" türü deniz kazalarının azaltılmasına odaklanılması, özellikle "*amatör balıkçı/amatör denizci*" eğitimleri ile "*yat-özel tekne-sportif ve eğlence amaçlı tekneler*" ve "*yolcu gemilerine*" yönelik teknik ve idari denetimlerin etkinliğinin artırılması ve ayrıca Türk gemilerinde başta "*cisimlerin çarpması, sıkıştırması, ezmesi, batması, kesmesi*" ve "*düşme*" şeklinde oluşan bireysel meslek (iş) kazaları olmak üzere önleyici ve koruyucu iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin artırılmasının faydalı olabileceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca, AAKKM kaza/olay kayıt sistemindeki verilerin sınırlı olması ve eksik girilen kayıtlar derinlemesine analizlerin önündeki en önemli kısıtlılık olsa da, bu çalışma baz alınarak, özellikle koster tipi gemilerin "*Alabora (capsizing)*" ve "*Çatışma (collision)*" şeklindeki deniz kazalarının kök sebepleri, Türk bayraklı gemilerde meydana gelen ramak kala (near miss) olaylar, yat, özel tekne, sportif ve eğlence amaçlı teknelerle ilgili amatör denizcilerin/balıkçıların zarar gördüğü deniz kazaları/olaylar ve ÇSGB/SGK'nın iş kazası veri tabanı ile UDHB-AAKKM'nin kaza/olay veri tabanının entegre edilmesi vb. gibi konularda gelecekte yapılacak bilimsel çalışmaların da faydalı olacağı ve bilimsel literatüre katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

AAKKM. (2015). “Kaza/Olay İstatistikleri”, <http://aakkm.udhb.gov.tr/>

Alli, B. O. (2008). “Fundamental Principles of Occupational Health and Safety”, Geneva: ILO 2nd edition, 126.

Bilgen, M. (2011). “Ankara’da Elektrik Dağıtım İşlerinde Çalışan İşçilerde İş Kazaları Ve Meslek Hastalıkları Görülme Sıklığı İle İlişkili Etmenler”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ceylan, H. (2013). “A new approach to occupational accidents: Technique of deviation from means”, Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies 2013, 5(2), 819-830.

Çalış, Ç. (2012). “RIAAT Prosesi Yapısının İncelenmesi ve Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Deniz Kazalarını ve Olaylarını Araştırma ve İnceleme Yönetmeliği, 4. Madde, Resmi Gazete, 29056 Sayılı, 10.07.2014.

DDK. (2008). “Tersanecilik Sektörü ile İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Tuzla Tersaneler Bölgesinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi Hakkında Araştırma ve İnceleme Raporu”, Ankara: Cumhurbaşkanlığı Devlet Denetleme Kurulu (DDK), 281-297.

Ece, N. (2016). “Contribution of the Pilotage Services to Maritime Safety: An Analysis of the Relation Between Ships Involved in Accidents in the Strait of İstanbul and Whether If They Used Pilotage Services”, J ETA Maritime Sci. 2016; 4(1): 3-21.

European Maritime Safety Agency (EMSA) (2017). “Marine Casualties and Incidents Summary Overview 2011 – 2015 report”, Lisboa, Portugal.

ILO. (1998). “Report of the Sixteenth International Conference of Labour Statisticians”, ICLS/16/199 8/V. Geneva: ILO.

5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu.

Marine Accident Investigation Branch (MAIB) (2016). “2015 Annual Report”, Southampton, United Kingdom (UK). <https://www.gov.uk/government/publications/maib-annual-report-2015>

Türk Arama ve Kurtarma (Türk AK) Yönetmeliği 4. Madde, Resmi Gazete, 24611 Sayılı, 12.12.2001.

http://www.ubak.gov.tr/BLSM_WIYS/AAKKM/tr/HTML/20131206_165757_77857_1_79302.html

U.S. Coast Guard (2017). “2016 Recreational Boating Statistics report”, Washington, DC, USA. http://www.uscgboating.org/statistics/accident_statistics.php.

<http://www.emsa.europa.eu/emsa-homepage/2-news-a-press-centre/news/3011-summary-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2011-2015.html>

[illegible]



3rd INTERNATIONAL SYMPOSIUM on NAVAL ARCHITECTURE AND MARITIME (INT-NAM 2018)

23-25 April 2018, YTU, Beşiktaş, İstanbul



CALL for PAPERS

The 3rd INTERNATIONAL SYMPOSIUM on NAVAL ARCHITECTURE AND MARITIME (INT-NAM 2018) aims to focus on ship & maritime technology at the same time to foster international cooperation between industry and academia on the way of making contributions to the major global issues involving environment, energy efficiency, safety, cost-efficiency and ship financing from design stage to recycling of marine vehicles, structures and equipment.

INT-NAM 2018 is organized and hosted by **Naval Architecture and Maritime Faculty of Yıldız Technical University, Istanbul.**

Submissions

The abstracts with paper title-author affiliation-keywords and enough detail to reflect an **advance in knowledge, in methodology or in the interpretation or application of existing knowledge** are kindly requested by **15 November 2017**.

The symposium e-Proceedings will be published and distributed during the symposium.

Submission link: <https://easychair.org/conferences/?conf=intnam2018>

Keynote speakers

The confirmed keynote speakers of INT-NAM 2018 are listed in the following:

- ⚓ [**Prof. Dr. Odd M. FALTINSEN**](#) – Leading scientist in Marine Hydrodynamics, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway.
- ⚓ [**Prof. Dr. Yoshiho IKEDA**](#), Notable contributor to Ship Stability and Motions, Osaka Prefecture University, Osaka, Japan.
- ⚓ [**Prof. Dr. Mehmet ATLAR**](#), Prominent researcher on ship resistance/propulsion and high speed crafts, University of Strathclyde, Glasgow, UK.
- ⚓ [**Prof. Dr. Volker BERTRAM**](#), Broad expertise in maritime technologies, DNV-GL, Hamburg, Germany.
- ⚓ [**Prof. Dr. Aykut ÖLÇER**](#), Successful achievements for multi-disciplinary maritime researches, leads WMU Maritime Energy Research Group, World Maritime University, Sweden.

Venue

23-25 April 2018

[Auditorium Hall , Yıldız Technical University](#)
[34349 Beşiktaş, İstanbul](#)



INT-NAM 2018 Secretariat

✉ int-nam@yildiz.edu.tr , intnam2018@gmail.com

Url: www.int-nam.yildiz.edu.tr

Naval Architecture and Maritime Faculty
YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY, Istanbul



Downloadable Proceedings of
[INT-NAM 2011](#) and [2014](#).

ODAMIZ,

TMMOB'A BAĞLI ODALAR İÇİNDE BİR İLKE İMZA ATTI.

Öncü meslek odası olarak yine farkını ortaya koydu ve ISO 10002 müşteri/üye memnuniyeti belgesi almaya hak kazandı.



Cevap Verebilirlik

Objektiflik

**ÜYELERİMİZE
DAHA İYİ HİZMET**

Şeffaflık

Erişebilirlik



TMMOB Gemi Mühendisleri Odası



TÜRK LOYDU

www.turkloydu.org

"ORTAK HEDEFİMİZ , ORTAK GELECEĞİMİZ"

Türk Loydu: Dikkatle İzlenmeli

⚓ Türk Loydu, dikkatle izlenmesi gereken, büyük amaçları olan önemli bir klas kuruluşudur. (*)

⚓ Türk Loydu, Paris MoU Klas Kuruluşları Performans Listesinde aralıksız 11 yıldır " Yüksek Performans " kategorisinde başarıyla yer almaktadır. (**)

(*)



Lloyd's List – En Büyük 100 Raporu
Aralık 2016

(**)



Paris MoU - Recognized Organization Performance Table
2014-2016

