

GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ

GMO JOURNAL OF SHIP AND MARINE TECHNOLOGY



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

GMO



BİR AJANDA BİR FIDAN



Aidat borcu olmayan üyelerimiz
adına Tema Vakfı'na bağışta
bulunarak yemyeşil, yaşanabilir bir
dünya umuduna destek vereceğiz

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası

EDİTÖRDEN / EDITORIAL

Değerli Meslektaşlar ve Okurlar,

Yeni yıllarınızı tebrik eder, sağlık, başarı ve mutluluk dolu nice yıllar dileriz!

Sizlere, alternatif enerji sistemlerinin kullanım potansiyeli, kapalı alanlarda iş kazalarının analizi ve açık deniz yapıları alanında hazırlanmış dört makale çalışmasını içeren 214. sayımızı sunuyoruz. Gemilerde Kapalı Alanlarda Yapılan Çalışmalar ve İş Kazalarının Analizi başlıklı makalede Adem Viran ve Doç.Dr.Bariş Barlas, bir kapalı alan kaza örneği üzerinde Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesi yöntemi incelenerek risk faktörlerinin azaltılmasına yönelik tespitler ortaya konulmaya çalışılmışlardır. Gemi Teknolojisinde Alternatif Enerji Sistemlerinin Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi adlı Kenan Yiğit'in hazırladığı makalede yakıt tüketimini azaltmak ve egzoz gazı emisyonlarını minimum seviyeye indirmek için alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik çalışmalar incelenmiştir. Dr. Özgür Özgüç, Açık Deniz Yarı Batık Yapılarının Çarpışma Analizi başlıklı makalesinde, dikey bir kazık yarı-batığın bir açık deniz yapısının yan tarafına çarptığında ortaya çıkan yüklerin çarpışma analizini gerçekleştirmiştir. Aynı yazar tarafından, Derin Su Yarı Batık Platformlarının Global Yorulma Analizi başlıklı makalede, Derin sularda işletilen yarı batık yapıların 40 ila 400 yıl yorulma yaşamına sahip olmasını hedefleyen kestirim hesapları üzerinde bilgiler vermiştir.

Saygılarımızla.

Prof. Dr. Ahmet Dursun ALKAN
Baş Editör

Distinguished Colleagues and Readers,

We wish you happy, healthy and successful new year!

We are proud of presenting you four papers in issue 214. In the paper, Confined Spaces in Ships and Analysis of Occupational Accidents by Adem Viran and Dr. Barış Barlas, a specific confined space accident example were analyzed by using the Formal Safety Assessment method to identify the determinants of reducing risk factors. The second paper prepared by Kenan Yiğit, An Examination of the Potential Usage of Alternative Energy Systems in Ship Technology, reports alternative energy sources such as shore-side power application on the ships have been examined to reduce marine fuel consumption and exhaust gas emissions. Dr. Özgür Özgüç has studied an impact analysis of the loads arising when a vertical pile strikes against the side of a semisubmersible pontoon structure in his paper entitled Impact Analysis of Semisubmersible Ponton-Pile. His second paper, Global Fatigue Assessment for Deepwater Semi-submersible Platform, deals with the calculation of global fatigue damage confirming the adequacy of the deepwater semi-submersible rig having a life span of 40 to 400 years.

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
National Defense University, Istanbul, Turkey

Yardımcı Editörler / Associate Editor

Assoc. Prof. Ömer Kemal KINACI PhD
Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey
Dr. Onur USTA PhD
Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey
Dr. Dursun Murat SEKBAN PhD

Yayın Komisyonu / Editing Committee

Salih BOSTANCI
Batuhan KARATAŞ
Tuğba TIKTAŞ
Burçin Gaye DİLEK MEN
Orçun BALBAS
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

Sürekli Yayın (3 Aylık) / Periodical, 3 months
Sayı / Number : 213,

Basıldığı Yer ve Tarih / Printed in / Date

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

ISSN 1300-1973

E-ISSN: 2651-530X

Baskı Tarihi / Date of print : December 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 Ahlak Yasası'na ve Basın Konseyi ilkelerine kendiliğinden uyar. GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ'nde yayınlanan yazılardaki görüş ve düşünceler bunlara ilişkin yasal sorumluluk yazara aittir. Bu konuda GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ herhangi bir sorumluluk üstlenmez. Yayınlanmak üzere gönderilen yazılar ve fotoğraflar, yayınlanırsa 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. Klaus ANDREASEN (BAWAT A/S, Hørsholm, Denmark)
- Prof. Dr. Mehmet ATLAR (Strathclyde University, Glasgow, UK)
- Prof. Dr. Şakir BAL (Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL (Gedik University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Serdar BEJİ (Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Volker BERTRAM (DNV-GL, Hamburg, Germany)
- Prof. Dr. M.Sander ÇALIŞAL (Piri Reis University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Fahri ÇELİK (Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Bettar O. EL-MOCTAR (University of Duisburg-Essen, Duisburg, DE)
- Prof. Dr. Oral ERDOĞAN (Piri Reis University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Odd M.FALTINSEN (NTNU, Trondheim, Norway)
- Prof. Alberto FRANCESCUTTO (University of Trieste, Trieste, Italy)
- Prof. Dr. Ömer GÖREN (Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Dr. Markus Wolfgang HAAS (SICK AG, Düsseldorf, Germany)
- Prof. Dr. Atilla İNCECİK (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, Malmö, Sweden)
- Prof. Dr. Süleyman ÖZKAYNAK (Piri Reis University, Istanbul, Turkey)
- Prof. Ing. Claudio PENSA (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)
- M. Tufan YILDIRIM (National Defense University, Istanbul, Turkey)

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- Gemi Teknolojisinde Alternatif Enerji Sistemlerinin Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi**
An Examination of the Potential Usage of Alternative Energy Systems in Ship Technology
Kenan Yiğit 5
- Gemilerde Kapalı Alanlarda Yapılan Çalışmalar ve İş Kazalarının Analizi**
Confined Spaces in Ships and Analysis of Occupational Accidents
Adem Viran, Barış Barlas 19
- Derin Su Yarı Batık Platformlarının Global Yorulma Analizi**
Global Fatigue Assessment for Deepwater Semi-submersible Platform
Özgür Özgüç 37
- Açık Deniz Yarı Batık Yapılarının Çarpışma Analizi**
Impact Analysis of Semisubmersible Pontoon – Pile
Özgür Özgüç 54



Odamızın, 2., 3., 8., Dönem Yönetim Kurulu Üyeliği, 5. Dönem Başkan Yardımcılığı, 12., 13., 14., 15., 16., 17. Dönem Yönetim Kurulu Başkanlığı görevlerini yürütmüş, 25 sicil numaralı üyemiz, değerli hocamız Prof. Dr. Teoman Özalp'i vefatının 2. yılında rahmetle anıyoruz.

Gemi Teknolojisinde Alternatif Enerji Sistemlerinin Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi

Kenan Yiğit

kyigit@yildiz.edu.tr

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

ÖZET

Gemiler, küresel ticaretin yaklaşık %80'ini gerçekleştirmektedir. Bu oran, denizcilik sektörünün dünya ticaretinde önemli bir paya sahip olduğunun en önemli göstergesidir. Ticaret hacminin artması ile yeni gemiler sisteme dâhil edilecek, daha fazla yakıt tüketilecek ve daha fazla emisyon yayılacaktır. Bu nedenle, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gemilerden kaynaklı olumsuz etkileri azaltmak ve enerji tasarruf potansiyellerini ortaya çıkarmak amacıyla enerji verimliliği faaliyetlerine dikkat çekmekte ve sektörü bu konuda teşvik etmektedir.

Bu çalışmada, yakıt tüketimini azaltmak ve egzoz gazı emisyonlarını minimum seviyeye indirmek için gemilerde güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile kıydan enerji temini gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik çalışmalar incelenmiştir. Gemi teknolojisinde alternatif enerji sistemlerinin kullanımına yönelik güncel bilgiler verilmiştir. Ayrıca, yeni nesil gemi tasarımlarına ve projelere değinilerek denizcilik sektörü temsilcilerinin gelecek öngörülerine katkı sunulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gemi, elektrik enerjisi, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, kıydan enerji temini.

Makale geçmişi: Geliş 09/08/2018 – Kabul 14/12/2018

An Examination of the Potential Usage of Alternative Energy Systems in Ship Technology

Kenan Yiğit

kyigit@yildiz.edu.tr

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

ABSTRACT

Around 90% of global trade is carried through the international shipping industry. This rate is the most important indication that the maritime sector has an important share in the world trade. With the increase in trade volume, new ships will be included in the system, more fuel will be consumed and more emissions will be released. For this reason, the International Maritime Organization (IMO) draws attention to the energy efficiency activities on the ships in order to reduce their adverse effects, identifying the energy saving potentials and encourages the sector in this regard.

In this study, the use of renewable energy sources such as solar and wind energy systems and the use of alternative energy sources such as shore-side power application on the ships have been examined to reduce marine fuel consumption and minimize exhaust gas emissions. Current informations about the use of alternative energy systems in the ship technology have been given. Moreover, it is aimed to contribute to the future predictions of the maritime sector representatives by mentioning the new generation ship designs and projects.

Keywords: Ship, electrical energy, solar energy, wind energy, shore-side power supply.

Article history: Received 09/08/2018 – Accepted 14/12/2018

1. Giriş

Gemi ve deniz teknolojisinin son 150 yıllık gelişimine bakıldığında, gemi güç sistemlerinde büyük değişimler yaşandığı görülmektedir. Rüzgâr enerjisinden faydalanılarak tasarlanan yelkenli gemi sistemleri sonrasında kömür yakıtının yanması sonucu elde edilen buhar gücü ile tahrik edilmiştir. Daha sonra ise Heavy Fuel Oil (HFO) ve Marine Diesel Oil (MDO) gibi petrol ürünleri kullanılarak gemilerin günümüzdeki faaliyetlerini gerçekleştirmesi sağlanmıştır (Mofor vd., 2015).

İstatiksel verilere bakıldığında, gemilerde petrol kaynaklı yakıtların kullanılması sebebi ile gemilerin küresel Karbon Dioksit (CO₂) salınımının %3'üne, Nitrojen Oksit (NO_x) salınımının %15'ine ve Sülfür Dioksit (SO₂) salınımının ise %6'sına neden olduğu ortaya çıkmıştır (Samosir vd., 2017). Bu sebeple,

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gemilerden kaynaklı çevresel etkilerin en aza indirilmesi için bir dizi tedbirler almıştır. Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) ile yeni gemilerde CO₂ salınımının kontrol altına alınması hedeflenmiştir. Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) ile tüm gemilerde operasyonel verimliliğin sağlanması amaçlanmıştır. Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL) Ek-VI'ncı Maddesi Kural 13 ve Kural 14 ile gemilerden kaynaklı NO_x, SO_x ve PM emisyonlarının sınırlandırılması planlanmıştır. MARPOL Ek-VI'ya göre geminin dizel makine kapasitesine ve inşa yılına bağlı olarak NO_x emisyonu yayma kriterleri belirlenmiştir. Ayrıca, gemi yakıtlarında izin verilen maksimum sülfür oranının 2020 yılına kadar %3,5'ten %0,5'e çekilmesi kararlaştırılmıştır (Yiğit ve Acarkan, 2018). Ayrıca, MARPOL Ek-VI kapsamında Baltık Denizi, Kuzey Denizi, Birleşmiş Devletler Karayip Denizi ve Kuzey Amerika alanlarını kapsayan bölgelerin belirli kısımları Emisyon Kontrol Alanı (ECA) olarak tanımlanmıştır. Belirlenen alanlarda faaliyet gösteren gemilerin 2015 yılı itibarıyla sülfür oranı %0,1'i geçemeyen deniz yakıtı kullanması gerektiği belirtilmiştir (Chen vd., 2018).

Denizcilik sektörü temsilcileri ve araştırmacılar, uluslararası sözleşmelerin getirdiği yükümlülükleri yerine getirmek, artan çevresel duyarlılığa karşı daha temiz enerji kaynaklarına yönelmek ve yükselen enerji maliyetlerinden dolayı daha ucuz enerji kaynaklarını kullanmak için gemilerde alternatif enerji sistemlerinin kullanımına yönelik çalışmalar yapmaya başlamışlardır. Araştırmacılar, elektrik enerjisinin kullanımında verimliliği artırmak için özellikle güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve kıydan enerji temini gibi alternatif enerji sistemlerinin gemilerde kullanımına odaklanmışlardır. Literatürdeki bazı çalışmalar incelendiğinde, gemilerde alternatif enerji sistemlerinin uygulanmasına yönelik çalışmaların teknik, çevresel ve ekonomik açıdan ele alındığı görülmektedir. Zhangtang (2009) gemilerde rüzgâr türbini uygulamasına yönelik gereksinimler üzerine incelemeler yapmıştır. Bøckmann ve Steen (2011) 150 m uzunluğundaki bir tanker gemisinin tahriki için optimum rüzgâr türbini tasarımı üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, optimize edilmiş bıçak tasarımının, gemide aynı rotor çapına sahip ticari bir rüzgâr türbini ile elde edilene göre, 10 knotta belirli bir rotayı seyrederken, geminin daha yüksek bir yakıt tasarrufu sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Lee ve diğerleri (2013) Güney Kore'nin Geoje Adası'nda tasarlanan yeşil gemi prototipini deneysel olarak incelemişlerdir. Güneş enerjisi, dizel ve batarya hibrit sistemi ile çalışan gemide çevresel ve ekonomik analiz gerçekleştirerek, önemli tasarruf oranlarının ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Nuttall ve diğerleri (2014) özellikle petrol krizlerinden sonraki süreçlerde gemilerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik girişimlerin daha çok ön plana çıktığını vurgulamışlardır. Araştırmalarında, çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının gemilerde kullanılabileceğini ve büyük faydalar sağlayacağını belirtmişlerdir. Diab ve diğerleri (2016) Çin'de gerçekleştirilen tanker gemilerinde güneş enerjisi uygulaması projesini temel alarak güneş enerjisi, dizel ve batarya hibrit güç sistemi üzerine incelemeler yapmışlardır. Proje kapsamında gemideki hibrit sistemin 300 kW kapasiteli fotovoltaik (FV) panel, 2000 kW gücündeki dizel jeneratör ve 10 adet bataryadan oluşacağı belirtilmiştir. 25 yıl sonunda toplamda sera gazı emisyonun 9.735.632,5 kg azaltılacağı ve 2.010.475 litre yakıt tasarrufu sağlanacağını hesaplamışlardır. Wen ve diğerleri (2017) güneş enerjisi, enerji depolama sistemi ve jeneratör gurubundan oluşan hibrit enerjili bir gemi modelinin kötü hava koşullarında güneş enerjisinden ve depolama ünitelerinden maksimum şekilde faydalanacağı matematiksel bir modeli Fourier analizi ile gerçekleştirilmişlerdir. Liu ve diğerleri (2017) güneş enerjisi, enerji depolama sistemi ve jeneratör gurubundan oluşan hibrit enerjili bir gemi için deniz koşulları dikkate alınarak güneş enerji sisteminden elektrik üretimi için matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Bu model ile farklı senaryolar belirleyerek güneş enerjisinden elde edilecek elektrik enerjisi parametrelerini incelemişlerdir. Çıkış gücü kalitesini artırmak için ise enerji depolama sistemi tasarımı önermişlerdir. Yu ve diğerleri (2017) konteyner ve cruise gemilerinin elektrik enerjisi ihtiyacının ulusal şebekeden karşılanması için ulusal şebekeye entegre edilmiş ve yenilenebilir enerji

kaynaklarından oluşan bir mikro şebeke tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Önerilen mikro şebeke sistemi ile güneş ve rüzgâr enerji sistemlerinin yeterli kapasitede kullanımı ile kendi kendine yeten bir liman tasarımı amaçlamışlardır. Innes ve Monios (2018) İskoçya'nın Aberden şehrindeki küçük ve orta ölçekli limanlarda kıydan enerji temini uygulaması için fizibilite çalışması yapmışlardır. Bu bölgede bulunan gemilerin kıydan enerji temini ile elektrik enerjisi ihtiyacını karşılaması durumunda yıllık 4767 ton CO₂, 108 ton NO_x ve 2,7 ton PM emisyonu salımında azalma olacağı hesaplanmıştır. Kumar ve diğerleri (2019) kıydan enerji temini uygulamasında liman tarafı elektrik sisteminin tasarlanması, mevcut standartlar ve temel gereksinimler üzerine incelemeler yapmışlardır.

Bu çalışmada ise gemilerde güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve kıydan enerji temini gibi alternatif enerji sistemlerinin kullanımına yönelik çalışmalar incelenmiştir. Özellikle, ticari faaliyetlerini sürdüren ve alternatif enerji sistemlerine sahip gemiler ile ilgili örnek uygulamalar sunulmuştur. Ayrıca, yeni nesil gemi tasarımlarına yönelik projeler hakkında bilgi vererek denizcilik sektöründeki gelişmelere dikkat çekilmiştir.

2. Gemilerde Alternatif Enerji Uygulamaları

2.1 Yenilenebilir enerji sistemleri uygulaması

Güneş enerjisinden elektrik üretimi FV panel ile rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ise rüzgâr türbini ile gerçekleşmektedir. Günümüzde, düşük güç ihtiyacına sahip gemilerde bu tür yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına rastlanmakla beraber, artık ticari faaliyette bulunan gemilerde de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı görülmektedir.

OCIUS isimli Avustralya firması tarafından ticari amaçlı yapılan "SolarSailor" isimli feribot tipi gemi bu kapsamda yapılmış ilk uygulamalardan biridir.



Şekil 1. "SolarSailor" gemisi güneş ve rüzgâr enerjisi uygulaması.

Gemi güneş, rüzgâr, batarya ve LPG ile çalışabilen hibrit bir yapıya sahiptir. Geminin enerji ihtiyacı öncelikli olarak güneş, rüzgâr ve batarya sistemi ile karşılanmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının yeterli olmaması durumunda ise gemide LPG yakıt sistemi devreye girmektedir. 21 m uzunluğundaki gemi, Sidney Limanı için 100 kişilik turizm eğlence feribotu olarak 2000 yılında bir yıl gibi kısa bir sürede inşa edilmiştir. Geminin %35 oranında yakıt ve %50 oranında emisyon salımı azaltma potansiyeli bulunmaktadır. Mevcut tasarımı sayesinde 2001 yılında "Yılın Avustralya Tasarım Ödülü"nü kazanmıştır. Ticari olarak işletilen gemi ile 10 yıldan fazla sürede on binlerce yolcu taşınmıştır (IntMath, 2018; OCIUS, 2018; Sustainablefreight, 2018; Windvinder, 2018). Gemi, kısa mesafeli yolcu

taşımacılığının yoğun olduğu bölgelerde hibrit enerjili deniz taşıtlarının etkin bir şekilde kullanılabileceğini gösteren güzel bir örnektir. Bu konseptte sahip deniz taşıtlarının denizyolu taşımacılığına dâhil edilmesi ile beraber, gemilerden kaynaklı yakıt tüketimi ve emisyon salınımı oranlarında önemli bir azalma sağlanacak ve kıyı bölgelerinde çevresel kirlilik azalacaktır.

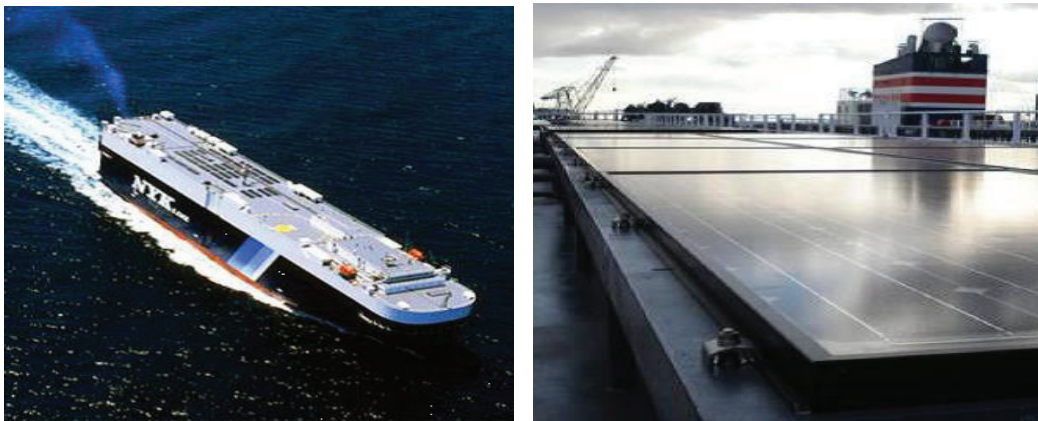
2008 yılında petrol fiyatındaki artış nedeniyle yenilenebilir enerji sistemlerine sahip gemi konseptlerine ilgi daha da artmıştır. Bu durumun bir sonucu olarak, Hong Kong Jokey Kulübü OCIUS firmasına ticari faaliyetlerinde kullanmak üzere 4 adet güneş enerji sistemine sahip feribot siparişi vermiştir.



Şekil 2. “Solar Golf” (Sol) ve “Solar Albatross” (Sağ) gemisi güneş enerjisi uygulaması.

Hong Kong Jokey Kulübü için yapılan Solar Golf, Solar Birdie, Solar Eagle ve Solar Albatross isimli teknelerin, mevcut feribotlara göre yakıt tüketiminde %50'ye yakın bir tasarruf sağlayacağı ve yıllık işletme maliyetlerini yaklaşık 2,5 milyon Hong Kong Doları düşüreceği belirtilmiştir (RINA, 2018; HKJC, 2018; Shipspotting, 2018).

“M/V Auriga Leader” isimli kargo gemisi ise güneş enerjisi uygulaması ile dikkatleri üzerine çekmeyi başarmıştır.

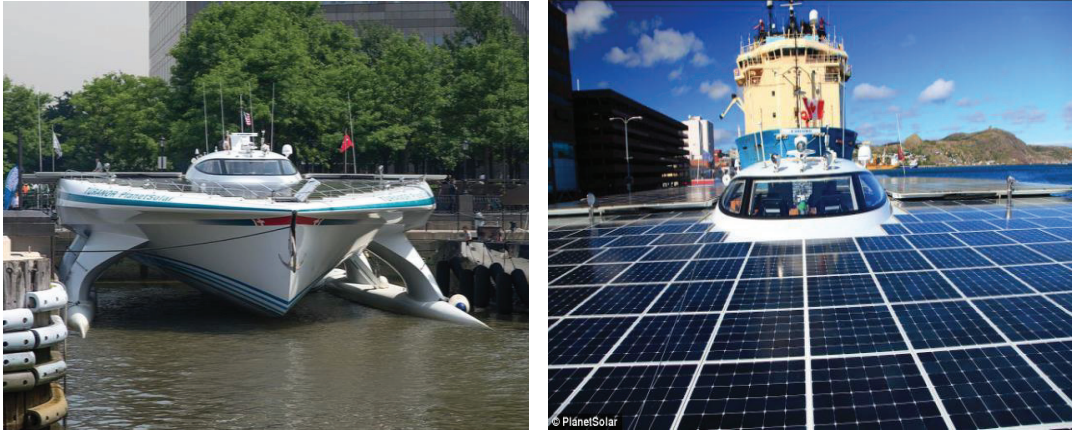


Şekil 3. “M/V Auriga Leader” gemisi güneş enerjisi uygulaması.

2008 yılında inşa edilen, yaklaşık 200 m uzunluğa, 32 m genişliğe ve 60213 groston hacme sahip gemi kısmen güneş enerjisi ile tahrik edilen ilk kargo gemisi unvanını almıştır. Gemiye monte edilen 328 adet FV panel ile yaklaşık 40 kW'lık kurulu güç kapasitesi sağlanmıştır. FV sistemin toplam maliyeti ise 1,68 Milyon Dolar olarak gerçekleşmiştir. Güneş enerjisi sistemi ile gemideki elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık %10'unu karşılanabilmektedir. Ayrıca, FV panel uygulaması ile jeneratörler için harcanan yakıttan %0,5 ile 2 arasında bir tasarruf sağlandığı tahmin edilmektedir. Yıllık olarak yakıt tüketiminden

yaklaşık 13 ton ve CO₂ emisyonundan 40 ton'luk bir azalma sağlandığı bildirilmiştir. 6400 adet otomobil taşıma kapasitesine sahip gemi ticari faaliyetlerine devam etmektedir (Businessgreen, 2018; gCaptain, 2018; GloMEEP, 2018; NYK, 2018). "M/V Auriga Leader" gemisi kargo taşımacılığı yapan deniz taşıtlarının da geleneksel gemi güç sistemlerine ek olarak alternatif enerji kaynaklarını kullanabileceğini ve ticari faaliyetlerini devam ettirebileceğini göstermesi bakımından önemli bir örnektir

"M/S Tûranor PlanetSolar" isimli tekne ise sadece FV panel uygulaması ile çalışan ve dünyayı turlayan ilk deniz taşıtı olma özelliğine sahiptir.



Şekil 4. "M/S Tûranor PlanetSolar" gemisi güneş enerjisi uygulaması.

30 m uzunluğunda ve 16 m genişliğindeki teknenin 512 m²lik alanı 809 adet FV panel ile kaplanmıştır. FV paneller toplamda 93 kW kurulu güce sahiptir. Üretilen fazla enerji tekne gövdesine yerleştirilen lityum-iyon bataryalarda depolanmaktadır. Bu proje, gemilerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik sektörü heyecandıran önemli adımlardan biri olmuştur. 2010 yılında Almanya'daki Knierim tersanesinde yapımı tamamlanan teknenin yaklaşık maliyeti 12,5 Milyon Euro'dur. Tekne maksimum 14 knot hıza ulaşabilmekte ve 50 yolcu taşıyabilmektedir (Dailymail, 2018; The Verge, 2018; WEB, 2018). Bu konsept, deniz taşıtlarının gelecekte sıfır yakıt ve sıfır emisyon ile işletilebileceğini gösteren dikkate değer bir çalışmadır. Geminin ilk yatırım maliyetinin azaltılması, kullanım alanının genişletilmesi ve taşıma kapasitesinin artırılması yönünde yapılacak akademik ve sektörel çalışmalar ile gemi ve deniz teknolojisinde önemli ilerlemeler sağlanacaktır.

"Revelation II" isimli katamaran tipi tekne ise sıra dışı bir tasarıma sahiptir.

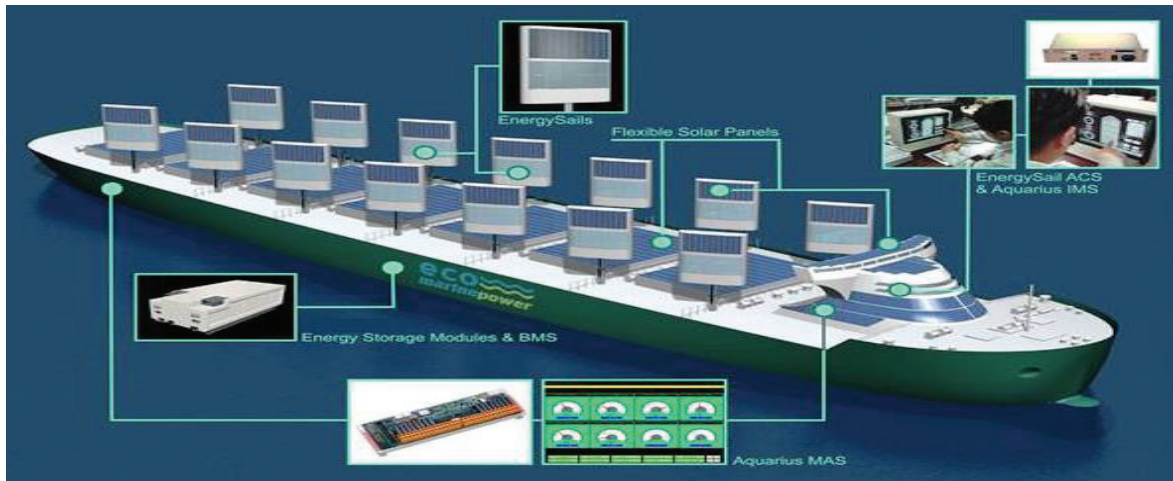


Şekil 5. "Revelation II" gemisi rüzgâr enerjisi uygulaması.

İngiltere’de üretilen 10,97 m uzunluğundaki teknenin maliyeti 300.000 Sterlidir. Tekneye alışılmışın dışında yatay eksenli bir rüzgâr türbini monte edilmiştir. Rüzgâr türbini ile 110 kW’a kadar güç üretebilmekte ve bu güç tahrik sistemine aktarılabilir. Deneysel ve yenilikçi bir anlayışla yola çıkan yetkililer, tasarımın insanlar tarafından çok farklı bulunmasına rağmen olumlu dönüşler aldıklarını belirtmişlerdir (BBC, 2018; Bluebird, 2018; Shipspotting, 2018a). Gemilerde rüzgâr türbini kullanımına bakıldığında dikey eksenli rüzgâr türbini tiplerinin daha çok tercih edildiği görülmektedir. Fakat bu tekne de kullanılan yatay eksenli rüzgâr türbini ile deniz taşıtlarında farklı tipteki rüzgâr türbini sistemlerinin de kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Günümüzde, mevcut alternatif enerji sistemlerine sahip gemi uygulamalarının yanı sıra proje aşamasında olup tamamlandığında gemi ve deniz teknolojisine katkı sunacak çalışmalar da bulunmaktadır.

Eco Marine Power şirketi tarafından yürütülen “Aquarius Eco Ship” isimli gemi projesi yenilenebilir enerji kaynakları ile donatılmış çevre dostu gemi projesidir.



Şekil 6. “Aquarius Eco Ship” gemisi alternatif enerji uygulama projesi.

2011 yılında başlanan proje kapsamında elde edilecek bilgi ve birikim ile tüm ticari gemilere alternatif enerji sistemlerinin uygulanması hedeflenmektedir. Yük taşımacılığı için tasarlanan 240 m uzunluğunda 45 m genişliğindeki geminin güç sistemi hibrit bir yapıya sahiptir. Rüzgâr enerjisi sistemi ile gemi hareketine katkı sağlanırken, güneş enerjisi sistemi ile de gemideki güç ihtiyacının karşılanması ve jeneratörlerin limanda iken hiç kullanılmaması hedeflenmektedir. Gemide kullanılacak FV panel gücü 1 MW kapasitesine sahip olacak ve üretilen fazla enerji depolanacaktır. Gemide uygulanacak teknoloji ile %40 oranında yakıt tasarrufunun sağlanması ve dolaylı olarak CO₂, NO_x ve SO₂ emisyonlarında önemli bir azalmanın meydana gelmesi hedeflenmektedir. Geminin maksimum 16 knot hıza çıkacağı öngörülmektedir (Ecomarinepower, 2018). Bu projenin tamamlanması ve faaliyetlerini başarılı bir şekilde gerçekleştirmesi durumunda yük taşımacılığında kullanılan deniz taşıtlarının alternatif enerji kaynaklarını kullanarak ticari faaliyetlerini sürdürebileceği kanıtlanmış olacak ve gemi inşa sektörüne önemli katkılar sunulacaktır.

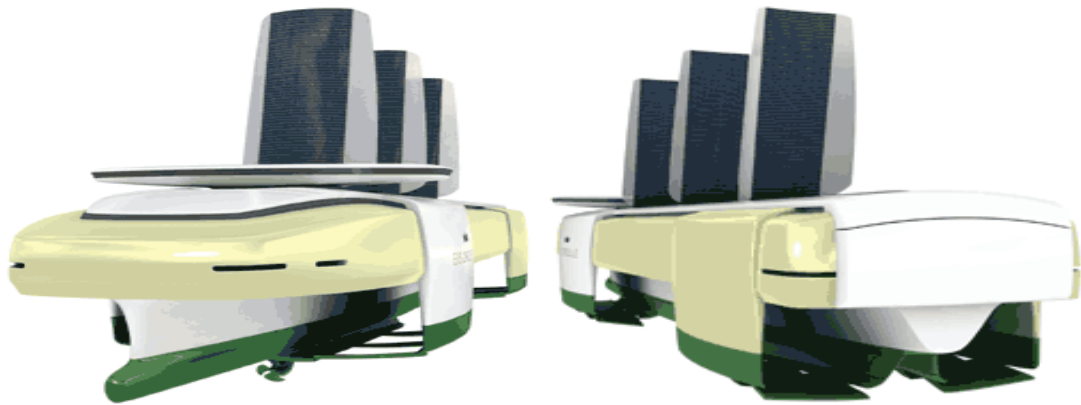
Kâr amacı gütmeyen Japon kuruluşu Peace Boat tarafından geliştirilen “Ecoship” projesinde ise cruise tipi yolcu gemisi konseptine yenilikçi bir bakış açısı getirilmiştir.



Şekil 7. "Ecoship" gemisi alternatif enerji uygulama projesi.

Peace Boat kuruluşu 2014 yılında Almanya'nın Hamburg kentinde yenilenebilir enerji, gemi ve deniz teknolojisi alanında uzman kişilerle disiplinler arası bir çalışma gurubu oluşturarak projeye başlamıştır. 224 m uzunluğa, 31 m genişliğe ve 55000 groston hacme sahip olacak gemi 17 knot hıza ulaşabilecektir. Gemide 10 adet rüzgâr türbini ve 6000 m²'lik alanı kaplayan FV panel uygulaması gerçekleştirilecektir. LNG kullanılması planlanan gemide, mutfak atıklarının geri dönüşümü ile elektrik üretilecektir. "Ecoship" gemisi hem NO_x ve SO_x emisyonlarını ortadan kaldıracak hem de karbon salınımını standart bir yolcu gemisine göre %40 oranında azaltacaktır. Gemide kullanılacak alternatif enerji sistemleri ile gemi tahrik sisteminin elektrik enerjisi ihtiyacının %20'si, gemideki toplam elektrik enerjisi ihtiyacının ise yaklaşık %50'si karşılanacaktır. 2020 yılında tamamlanması planlanan 2000 yolcu kapasiteli cruise tipi yolcu gemisi dünyanın en çevre dostu gemisi olmayı hedeflemektedir. Geminin faaliyete geçmesi ile beraber yolcu başına talep edilecek ücretler şimdiden belirlenmiştir. Cruise yolculuğuna katılacak kişilerin ödemesi gereken tutar ise 15.000 ile 18.000 Dolar arasında olacaktır (CNNTech, 2018; Cruisemapper, 2018; Ecoship, 2018). Bu proje ile cruise tipi deniz taşıtlarında alternatif enerji kaynaklarının kullanılabilmesi ve daha etkin bir biçimde işletilebileceği kanıtlanmış olacak ve özellikle turizm alanlarında yolcu gemilerinden kaynaklı çevresel zararlar önemli ölçüde azaltılacaktır.

Wallenius Wilhelmsen firması tarafından yürütülen tamamen yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan sıfır emisyonlu ticari gemi projesi de dikkatleri üzerine çekmeyi başaran önemli bir çalışmadır.



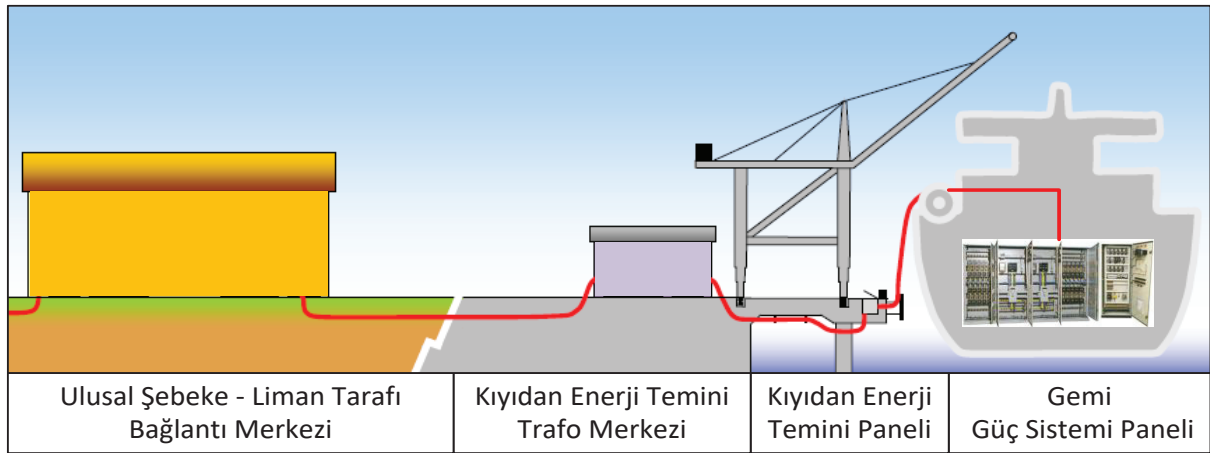
Şekil 8. "E/S Orcelle" gemisi alternatif enerji uygulama projesi.

"E/S Orcelle" isimli gemi güneş, rüzgâr ve dalga enerjisini kullanacak şekilde tasarlanmaktadır. Geminin 800 m²'lik alanına yerleştirilecek FV paneller ile güneş enerjisinden 2500 kW'lık güç elde edilecektir. Gemideki 3 adet yelken ile en iyi pozisyon yakalanarak gemi tahrik sisteminde enerji tasarrufu

sağlanacaktır. Aynı zamanda gemiye yerleştirilecek 12 adet yüzgeç sistemi ile dalga enerjisi hidrojen, elektrik veya mekanik enerjiye dönüştürülecek ve gemideki enerji ihtiyacının karşılanmasına katkı sağlanacaktır. 85000 m²'lik güverte alanına sahip 250 m uzunluğundaki gemi maksimum 24 knot hıza ulaşabilecektir. Gemi 10000'den fazla araç taşıyabilecek kapasiteye sahip olacaktır. Günümüzde Ro-Ro tipi gemilerin ortalama 6500 araç taşıma kapasitesine sahip olduğu düşünüldüğünde projenin değeri daha iyi anlaşılmaktadır. 2004 yılında tasarımına başlanan projenin 2025 yılında tamamlanması ve hizmete girmesi beklenmektedir (Dieselduck, 2018; Marinelog, 2018). Bu proje ile Ro-Ro tipi deniz taşıtlarında alternatif enerji kaynaklarının kullanılabilmesi ve ticari faaliyetlerini gerçekleştirebileceği ispatlanmış olacak ve gemi teknolojisindeki yenilikçi gelişmelere katkı sağlanacaktır.

2.2 Kıydan enerji temini sistemi uygulaması

Gemilerde güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yanı sıra alternatif enerji sistemlerinden biri olan kıydan enerji temini uygulaması da denizcilik sektöründe ilgi duyulan bir konu haline gelmiştir. Kıydan enerji temini sistemi gemilerin limanda iken elektrik enerjisi ihtiyacını kendi jeneratörleri yerine ulusal şebekeden karşılaması olarak ifade edilmektedir. Şekil 9'da kıydan enerji temini uygulaması sisteminin genel konsepti verilmiştir.



Şekil 9. Kıydan enerji temini sistemi görseli.

Ulusal şebekeden alınan elektrik enerjisi liman tarafında bulunan kıydan enerji temini paneline aktarılır. Burada, elektrik enerjisi bağlantı kurulacak gemi için uygun gerilim ve frekans değerlerine ayarlanır ve geminin ana elektrik panosuna bağlantı gerçekleştirilmiş olur. Bu aşamadan sonra, gemideki jeneratör sistemi devreden çıkarılarak, gerekli elektrik enerjisi ihtiyacı ulusal şebekeden karşılanmış olur. Yapılan bir araştırmaya göre, Avrupa limanlarındaki tüm gemilerin 2020 yılına kadar kıydan enerji temini sistemini kullanmaları durumunda yıllık elektrik enerjisi tüketimlerinin 3543 GWh olacağı tahmin edilmiştir. Bu değer, Avrupa bölgesindeki ülkelerin 2012 yılı elektrik enerjisi tüketiminin %0,1'ine karşılık gelmektedir. Ayrıca, çalışmada kıydan enerji temini uygulamasının Avrupa limanlarında gemilerden kaynaklı CO₂ salınımını 800.000 ton azaltma potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir (Winkel vd. 2015).

Dünya genelinde bazı limanlarda, özellikle ticari faaliyetlerini sürdüren gemiler için gerekli altyapı çalışmaları tamamlanmış ve kıydan enerji temini sistemi uygulanmaya başlanmıştır. Hâlihazırda Almanya, Amerika Birleşik Devletleri, Belçika, Finlandiya, Hollanda, İsveç, Kanada ve Norveç'te bulunan 22 limanda bu uygulama mevcuttur. Bu limanlarda Ro-Ro, ROPAX, cruise ve konteyner tipi ticari gemilerin elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanabilmektedir (OPS, 2018).

Mevcut uygulamalara bakıldığında, İsveç'in Göteborg Limanı 1989 yılından beri Ro-Ro ve ROPAX tipi gemiler için kıydan enerji temini sisteminin kullanıldığı ilk liman olma özelliğine sahiptir. Liman 2010 yılına kadar altyapı çalışmalarını genişleterek farklı gemi tipleri için de kıydan enerji temini sunmaya hazır hale gelmiştir (Pospiech, P., 2018; WPCI, 2018).



Şekil 10. "Göteborg Limanı" kıydan enerji temini uygulaması.

Amerika Birleşik Devletleri'nin Los Angeles Limanı ise 2004 yılında faaliyete geçen ve konteyner gemileri için yapılmış dünyanın ilk kıydan enerji temini sistemine sahip limanı olarak literatürde yerini almıştır. Sonrasında cruise tipi yolcu gemilerinin de kıydan enerji temini sistemine bağlantısı için gerekli altyapı oluşturulmuştur. Aynı anda iki cruise gemisinin sisteme bağlanabildiği ilk liman olma özelliğine sahiptir. Liman 40 MW güç kapasitesine kadar gemilerin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmektedir (Greenport, 2018; Port of Los Angeles, 2018).



Şekil 11. "Los Angeles Limanı" kıydan enerji temini uygulaması.

Kanada'nın en büyük limanlarından olan Vancouver limanı ise 2009 yılında altyapı çalışmaları tamamlanan ve cruise tipi yolcu gemileri için yapılmış Kanada'nın birinci dünyanın ise üçüncü kıydan enerji temini uygulaması özelliğine sahiptir. Kıydan enerji temini uygulamasını kullanan her bir yolcu gemisinden ortalama 16 ton yakıt ve 50,6 ton CO₂ emisyonu tasarrufu sağlanmaktadır. Liman ayrıca konteyner gemileri için de kıydan elektrik enerjisi temin etmektedir. Kıydan enerji temini uygulamasını kullanan her bir konteyner gemisinden ortalama 30,7 ton yakıt ve 94,6 ton CO₂ emisyonu tasarrufu sağlanmaktadır (Portvancouver, 2018).



Şekil 12. “Vancouver Limanı” kıydan enerji temini uygulaması.

Kıydan enerji temini sisteminin gemideki egzoz gazı emisyonlarını, gürültü ve titreşimi azaltma potansiyelinin yüksek olmasının yanı sıra bu uygulamadan elde edilecek çevresel tasarruf oranları değişiklik gösterebilmekte ve bazen daha fazla emisyon salımına sebep olabilmektedir. Bunun en önemli sebebi, ulusal şebeke için üretilen elektrik enerjisi için kullanılan hammaddedir. Bu nedenle, gemi jeneratörlerinde ve ulusal şebekede birim elektrik enerjisi için salınan emisyon değerlerinin analizinin yapılması önem arz etmektedir. Limanların kendi elektrik enerjisini yenilenebilir enerji kaynakları ile elde etmesi durumunda bu tür çevresel problemler çözülmüş olacak ve kıydan enerji temini sistemi tam anlamı ile çevreci bir çözüm sunmuş olacaktır.

Bu tip uygulamalar dikkate alındığında, denizcilik sektörünün gemilerde alternatif enerji kaynaklarının kullanımına yönelik önemli bir yönelimi ve isteği olduğu görülmektedir. Özellikle, ticari faaliyetlerini sürdüren gemi tiplerinde alternatif enerji kaynaklarının kullanılması, gemilerden kaynaklı olumsuz çevresel etkileri önemli ölçüde azaltacak ve denizcilik sektörünün sürdürülebilirliğine önemli katkı sağlayacaktır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, düşük güç kapasiteli deniz taşıtlarında yaygın kullanım alanına sahip alternatif enerji sistemlerinin, ticari gemilerde de uygulanma potansiyelinin olduğu örneklerle izah edilmiştir. Uluslararası sözleşmeler kapsamında gemilere getirilen çevresel kısıtlamalardan dolayı bu tip uygulamaların ve projelerin gelecekte artması öngörülmektedir. Gerek gemilerden kaynaklı çevresel zararları en aza indirmek, gerekse finansal açıdan fayda sağlamak amacı ile alternatif enerji sistemlerine sahip yeşil gemi ve yeşil liman uygulamalarına gelecekte daha sık rastlanılacaktır. Teknolojideki hızlı gelişmelerle birlikte enerji verimliliği sağlayan ürünlerin birim maliyetlerinde de azalma sağlanacak ve daha çevreci gemi ve liman konseptleri daha uygun maliyetli olarak hayata geçirilecektir. Günümüzde elektrik enerjisinin bir kısmının karşılanabildiği hibrit enerjili gemi sistemleri üzerine çalışmalar yapılsa da bahsedilen projelerden de anlaşılacağı üzere sıfır emisyonlu tamamen yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışacak ticari gemi konseptleri gelecekte taşımacılık sektöründe yerini alacaktır. Denizcilik sektöründe sürdürülebilirlik faaliyetlerinin sadece gemiler ile kısıtlanmadığı ve liman tarafında da yeşil liman konseptlerinin geliştirilmeye çalışıldığı görülmektedir. Kıydan enerji temini uygulaması da yeşil liman konseptinin en önemli parçasıdır. Şu anki durumda, gemiler kıydan enerji temini uygulaması ile ulusal şebekeden elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmektedir. Bu konsepti bir adım daha ileri taşıyarak, limanların ulusal şebekeden bağımsız olarak kendi elektrik enerjisini yenilenebilir enerji kaynakları ile temin etmesi durumunda yeşil gemi ve yeşil liman konseptleri birbirini tamamlayacak ve denizcilik sektöründeki çevresel ve ekonomik dezavantajlar minimize edilmiş olacaktır. Bu nedenle, Türk Denizcilik Sektörünün mevcut gemi modellerinin yanı sıra yeni nesil gemi ve liman konseptlerine

yönelik çalışmalarda bulunması önem arz etmektedir. Bu tür girişimler ve projeler Türk Denizcilik Sektörünü diğer ülkelere nazaran bir adım öne çıkaracaktır.

Tamamen alternatif enerji kaynakları ile işletilen gemi konseptleri ve kendi elektrik enerjisini üreten liman konseptleri önümüzdeki süreçte güncel ve ilgi duyulan bir konu olacaktır. Gelecek çalışmalarda, bu tür sistemlerin uygulanabilirliği teknik, çevresel ve ekonomik açıdan ayrıca değerlendirilecektir.

4. Kaynaklar

BBC, Design Puts Boat in a Spin, http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/1507825.stm [Online] [Erişim 01.11.2018]

Bøckmann, E. and Steen, S. (2011). Wind Turbine Propulsion of Ships. Paper presented at the Second International Symposium on Marine Propulsors, Hamburg, Germany.

Bluebird, Wind Power - Renewable Energy Research, http://www.bluebird-electric.net/wind_powered_ships_marine_renewable_energy_research.htm [Online] [Erişim 01.08.2018]

Businessgreen, First Solar Powered Container Ship Sets Sail, <https://www.businessgreen.com/bg/news/1802121/first-solar-powered-container-ship-sets-sail> [Online] [Erişim 01.08.2018]

Chen, L., Yip, T.L. and Mou, J., (2018). Provision of emission control area and the impact on shipping route choice and ship emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 280-291.

CNNTech, The World's Greenest Cruise Ship Will Have Sails, <https://money.cnn.com/2017/12/11/technology/green-cruise-ship-ecoship/> [Online] [Erişim 01.08.2018]

Cruisemapper, Ecoship Review and Specifications, <https://www.cruisemapper.com/ships/Ecoship-1855> [Online] [Erişim 03.11.2018]

Dailymail, The World's Largest SOLAR Boat. <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2405853/The-worlds-largest-SOLAR-boat-powered-809-panels-Eco-friendly-vessel-breaks-world-record-crossing-Atlantic-just-22-days--completely-silent.html> [Online] [Erişim 03.08.2018]

Diab, F., Lan, H. and Ali, S. (2016). Novel comparison study between the hybrid renewable energy systems on land and on ship. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 452-463.

Dieselduck, E/S Orcelle - A Concept, <http://www.dieselduck.info/library/11%20interesting/2005%20ES%20Orcelle.pdf> [Online] [Erişim 03.08.2018]

Ecomarinepower, Aquarius Eco Ship, <http://www.ecomarinepower.com/en/aquarius-eco-ship> [Online] [Erişim 03.08.2018]

Ecoship, Ecoship Technology & Design, <http://ecoship-pb.com/technology/> [Online] [Erişim 03.08.2018]

gCaptain, Auriga Leader – Toyota's Solar Powered Cargo Ship, <http://gcaptain.com/solar-powered-cargo-ship-auriga-leader/> [Online] [Erişim 03.08.2018]

GloMEEP, Solar Panels, <http://glomeep.imo.org/technology/solar-panels/> [Online] [Erişim 05.08.2018]

Greenport, Alternative Maritime Power for Cruise Lines in Los Angeles, <http://www.greenport.com/news101/americas/alternative-maritime-power-for-three-different-cruise-lines-in-the-port-of-los-angeles> [Online] [Erişim 10.08.2018]

HKJC, Solar Ferry and Solar Golf Carts Go into Operation at Kau Sai Chau Public Golf Course Demonstration Components of HKJC's Environment Project, http://www.hkjc.com/english/corporate/racing_news_item.asp?in_file=/english/news/news_2010062525631.htm [Online] [Erişim 09.08.2018]

Innes, A. and Monios, J. (2018). Identifying the unique challenges of installing cold ironing at small and medium ports—the case of Aberdeen. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 298-313.

IntMath, SolarSailor - The Green Australian Solar Ferry, <https://www.intmath.com/blog/environment/solarsailor-the-green-australian-solar-ferry-463> [Online] [Erişim 03.08.2018]

Kumar, J., Kumpulainen, L. and Kauhaniemi, K. (2018). Technical design aspects of harbour area grid for shore to ship power: state of the art and future solutions. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 104, 840-852.

Lee, K.J., Shin, D., Yoo, D.W., Choi, H.K. and Kim, H.J. (2013). Hybrid photovoltaic/diesel green ship operating in standalone and grid-connected mode—experimental investigation. *Energy*, 49, 475-483.

Liu, H., Zhang, Q., Qi, X., Han, Y. and Lu, F. (2017). Estimation of PV output power in moving and rocking hybrid energy marine ships. *Applied Energy*, 204, 362-372.

Marinelog, Concept Car Carrier with Zero Emissions, <https://www.marinelog.com/docs/NEWSMMV/MMVmar10d.html> [Online] [Erişim 03.08.2018]

Mofor, L., Nuttall, P. and Newell, A. (2015). Renewable energy options for shipping: technology brief. IRENA.

Nuttall, P., Newell, A., Prasad, B., Veitayaki, J. and Holland, E. (2014). A review of sustainable sea-transport for oceania: providing context for renewable energy shipping for the pacific. *Marine Policy*, 43, 283-287.

NYK, NYK and Nippon Oil Corporation Joint Project Auriga Leader Completes Seven Months of Voyages Using Solar Power, https://www.nyk.com/english/release/31/NE_090908.html [Online] [Erişim 09.08.2018]

OCIUS, (2018), Solar Sailor, <https://ocius.com.au/2012/01/100-pax-tourist-cruiser/> [Online] [Erişim 03.08.2018]

OPS, Ports Using OPS, <http://www.ops.wpci.nl/ops-installed/ports-using-ops/> [Online] [Erişim 09.08.2018]

Port of Los Angeles, First in the World Electric Plug-in of Container Ship at the Port of Los Angeles, <https://www.portoflosangeles.org/environment/progress/news/first-world-container-ship-electric-plug-port-la/> [Online] [Erişim 12.08.2018]

Portvancouver, Shore Power, <https://www.portvancouver.com/environment/air-energy-climate-action/marine/shore-power/> [Online] [Erişim 09.08.2018]

Pospiech, P., Shore Power Supply for Stena-Ferries in Gothenburg and Rotterdam, Maritime Propulsion, <http://articles.maritimepropulsion.com/article/Shore-Power-Supply-for-Stena-Ferries-in-Gothenburg-and-Rotterdam51595.aspx> [Online] [Erişim 05.11.2018]

RINA, Technical Meeting, <https://www.rina.org.uk/res/Tech%20Meeting%201%20August%202018.pdf> [Online] [Erişim 07.08.2018]

Samosir, D.H., Markert, M. and Busse, W. (2017). The technical and business analysis of using shore power connection in the port of Hamburg. *Jurnal Teknik ITS*, 5 (2).

Shipspotting, Solar Albatross Ship Information, <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=2481701> [Online] [Erişim 04.08.2018]

Shipspotting (a), Revelation II Ship Information, <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1881690> [Online] [Erişim 04.08.2018]

Sustainablefreight, OCIUS - SolarSailor Technology, <http://www.sustainablefreight.com.au/case-studies/ocius--solarsailor-technology> [Online] [Erişim 06.11.2018]

The Verge, An Inside Look at the World's Largest Solar-Powered Boat, <https://www.theverge.com/2013/6/22/4454980/ms-turanor-planetsolar-solar-powered-boat-photo-essay> [Online] [Erişim 06.08.2018]

WEB, Facts and Figures TÛRANOR PlanetSolar, <https://web.archive.org/web/20100705115607/http://www.das-solarboot.de/technical-data-sheet.html> [Online] [Erişim 06.08.2018]

Windvinder, Solar Sailor – Ocius. <http://www.windvinder.com/index.php?id=94&L=1> [Online] [Erişim 06.11.2018]

Wen, S., Lan, H., Yu, D. C., Fu, Q., Hong, Y. Y., Yu, L. and Yang, R. (2017). Optimal sizing of hybrid energy storage sub-systems in PV/Diesel ship power system using frequency analysis. *Energy*, 140, 198-208.

Winkel, R., Weddige, U., Johnsen, D., Hoen, V. and Papaefthymiou, G. (2015). Potential for shore side electricity in Europe. *ECOFYS*.

WPCI, World Ports Climate Initiative. Port of Gothenburg, <http://wpci.iaphworldports.org/onshore-power-supply/ops-installed/gothenburg.html> [Online] [Erişim 11.11.2018]

Yiğit, K., Acarkan, B. (2018). "The Importance of Ships in the Next-Generation Electric Power Systems" Book Chapter in *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions*, 167-178. London: Academic Press.

Yu, M., Huang, W., Tai, N., Zheng, X., Ma, Z. and Wang, Y. (2017). Advanced microgrid and its multi-objective regulation strategy for shore supply. *The Journal of Engineering*, 2017(13), 1590-1594.

Zhangtang, Z.T.W. (2009). Development of new ship type—maritime wind turbine installation vessel. *Ship & Boat*, 5, 011.

Gemilerde Kapalı Alanlarda Yapılan Çalışmalar ve İş Kazalarının Analizi

Adem Viran¹, Barış Barlas²

viranadem@yahoo.com¹, barlas@itu.edu.tr²

¹ Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada gemi inşaatı sektöründe kapalı alanlarda yapılan çalışmaların iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelenmesi amaçlanmıştır. Tersanelerde yeni inşa ya da tamir bakım çalışmalarında kapalı alanlarda yapılan faaliyetleri sıralanarak karşılaşılan riskler ve nedenleri irdelenmiştir. Ulusal ve uluslararası mevzuatta bu konu ile ilgili düzenlemelere kısaca yer verilmiştir. Kapalı alanlarda gerçekleşen kaza verileri örnek bir kaza üzerinden Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesi yöntemi ile analiz edilerek risk faktörlerinin azaltılmasına yönelik tespitler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Gemi inşaatı, kapalı çalışma alanı, yangın, patlama, risk analizi, biçimsel güvenlik değerlendirmesi.

Makale geçmişi: Geliş 18/08/2018 – Kabul 04/09/2018

Confined Spaces in Ships and Analysis of Occupational Accidents

Adem Viran¹, Barış Barlas²

viranadem@yahoo.com¹, barlas@itu.edu.tr²

¹ Directorate General of Coastal Safety, Istanbul, Turkey

² Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

ABSTRACT

In this study, it is aimed to analyze the occupational health and safety in confined spaces in shipbuilding industry. Confined spaces in new construction, repair and maintenance are summarized and the risks are analyzed. In national and international legislations, regulations related to occupational health and safety are briefly mentioned. A specific confined space accident example were analyzed by using the Formal Safety Assessment method to identify the determinants of reducing risk factors.

Keywords: Shipbuilding, confined spaces, fire, explosion, risk analysis, formal safety assessment.

Article history: Received 18/08/2018 – Accepted 04/09/2018

1. Giriş

Tersaneler, yani deniz araçlarının üretim sanayisi küresel çapta birçok iş kolu ile doğrudan bağlantılı olmakla birlikte, direkt olarak sağladığı işgücü potansiyeli açısından da oldukça büyük bir hacme sahiptir. 2014 yılındaki ülkemiz tersanelerinin gemi inşa kapasitesi 4.2 milyon DWT seviyesinde olup, bu tarihteki 20.334 çalışan sayısı ile 2008 küresel krizi öncesi 34.000 civarında olan istihdam sayısını henüz yakalayamamıştır (GİSBİR, 2014). Başta çelik olmak üzere; makine, elektrik-elektronik, boya, iklimlendirme gibi sanayi kolları gemi inşa sektörünün ana bileşenleridir. Bu durum tersanelerde aynı anda yapılması gereken komplike ve kalabalık bir çalışma ortamını zorunlu kılmaktadır. Birçok sektörle alakalı gemi inşa sanayinin ortaya çıkarmış olduğu büyük istihdam hacmi beraberinde bir takım sorunları da getirmektedir. Tersanelerde ticari anlamda zaman ve kontratlar açısından belirlenen yükümlülükler, işveren ve çalışanlar üzerinde baskı oluşturarak iş sağlığı ve güvenliği kontrollerinin aksamasına yol açarak yaralanmalı ve ölümlü iş kazalarına yol açabilmektedir. Yeni gemi inşa ve tamir bakım projelerinde iş prosesleri içerisinde oldukça büyük tehlike potansiyeline sahip birçok çalışma beraberinde birçok iş kazasını meydana getirmiştir. Bu durum, medyada oldukça fazla gündem oluşturarak dikkatleri üzerine çekmektedir. Türkiye tersanelerinde 2004-2014 yılları arasında 126 adet ölümlü iş kazasının beş ana sebebi olarak; yüksekten düşme, elektrik çarpması, yangın ve patlama, malzeme çarpması ya da düşmesi ve sıkışmadır. Yaşanan bu kazalar içerisinde yüksekten düşme % 30.2,

malzeme çarpması % 23.0, yangın ve patlama % 16.7, elektrik çarpması % 13.5 ve sıkışma ise % 11. 1 ağırlık oranına sahiptir (Barlas ve İzci, 2018).

Genel olarak diğer sanayi kollarına ait çalışmalarda ve tersanelerde kapalı alanlarda gerçekleşen iş kazalarının analizine yönelik literatürde hazırlanmış çeşitli tez, makale ve raporlamalara rastlamak mümkündür. Bu çalışmalardan önemlilerini şu şekilde sıralayabiliriz: Pettit ve Linn (1987) kapalı alanlarda güvenlik önlemleri ile alakalı bir kılavuz yayınlamıştır. Michael ve diğ. (2007) kapalı ve sınırlı alanlarda çalışırken metal ark kaynağı dumanına maruz kalan kaynakçılarda ortaya çıkan manganez maruziyetinin kontrol edilmesinde çeşitli havalandırma sistemlerinin etkinlikleri değerlendirilmiştir. Stojkovic (2013) tehlikeli kapalı alanların tanımı içerdiği riskler açısından yapılarak çalışma alanı güvenlik ölçütleri sıralanmıştır. Yılmaz ve diğ. (2014) Türkiye tersanelerinde yaşanan iş kazaları analiz edilerek sebepleri ortaya konulmuş ve risklerin azaltılmasına yönelik bir yönetim sistemi hazırlanmıştır. Işık (2016) gemi bakım ve onarımı yapan tersanelerinde kapalı alanlarda yapılan çalışmalarda iş kazasına ve meslek hastalığına sebep olabilecek tehlike ve risklerin unsurları tespit edilerek çözüm önerileri getirilmiştir. Chinniah ve diğ. (2017) kapalı alan tanımı yapılarak kural ve standartlar ışığında risk analizlerinin geliştirilmesine yönelik tespitler ortaya konulmuştur. Barlas ve İzci (2017) gemi inşaatı sektöründe kapalı alanlarda yapılan çalışmalar ile ilgili genel bir değerlendirme yapılarak gerekli izin prosedürleri ve mevzuat uygulamaları irdelenmiştir. Barlas ve İzci (2018) bir diğer çalışmada 2004 ve 2014 yılları arasında Türkiye tersanelerinde gerçekleşen ölümcül iş kazaları ile bireysel ve çalışma alanları arasındaki bağlantıları incelemiştir.

Bu çalışmada tersanelerde özellikle yetersiz oksijen, yangın ve patlama kaynaklı iş kazalarının meydana geldiği kapalı alanlardaki çalışma ortamlarının barındırdığı tehlike unsurlarının iş sağlığı ve güvenliği yönünden analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu alanlarda gerçekleşen iş kazaları kazanın yaşandığı bölge ile sınırlı kalmayıp geniş bir alanı etkileme potansiyeline sahiptir. Bu sebeple bu çalışmada kapalı ortamlardaki tehlikeli durum ve davranışların uygun risk analizleri ile belirlenerek değerlendirilmesi ve buna göre alınması gereken önlemleri gerçekleşen iş kazaları ve mevzuat yönüyle de ele alınmaya çalışılmıştır.

2. Kapalı Çalışma Alan Tanımı ve İlgili Yasal Düzenlemeler

Kapalı çalışma alan tanımı, birçok sanayi kolunda mevcut olup temel özellik olarak üç gruba ayırmamız mümkündür. Yeterince büyük ve çalışanın tamamıyla girebileceği çalışma alanları, sınırlı ve kısıtlı giriş ya da çıkışa sahip çalışma alanları ve önceliği sürekli insan kullanımı için tasarlanmamış çalışma alanları olarak sıralayabiliriz. Bu tanımlar, benzer olarak birçok ülkede değişik formlarda kullanılmaktadır. Bu ülkelerdeki düzenlemeler alanın içindeki tehlike varlığına göre önemli ölçüde değişiklik göstermektedir (Chinniah ve diğ., 2017). Giriş için izin gerektirmeyen kapalı alanların özelliklerini, giriş için izin gerekli olan kapalı alanların özelliklerinin tersi olarak anlamak mümkündür. Şekil 1'de gemilerde bulunan kapalı alan örnekleri verilmiştir. Örneği verilen yeni inşa edilmekte olan gemilerde kapalı alanlarda gerçekleştirilen kaynak, yüzey hazırlama, raspa, boya, boru donatım, teçhiz, elektrik ve ekipman montajı gibi işler beraberinde çok ciddi tehlikeleri barındırmakta olup iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının farklı bir perspektifle ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Yine bu alanları bütün fiziksel tehlikelerin yok edilip uzaklaştırıldığı alanlar olarak da anlamamız mümkündür. Giriş için izin gerektiren kapalı alanlar ise tehlikeli atmosfer içeren veya içerme potansiyeline sahip, tuzaklar, boğulma, yutulma gibi ciddi tehlikeler barındırmaktadır (OSHA, 2015).

En çok rastlanılan kapalı çalışma alanlarını; tanklar, gemi kargo ve balast tankları, silolar, depolama alanları, basınçlı kaplar, kazanlar, kapalı kanallar, borular, derin çukur ve kuyular şeklindedir. Yine kapalı çalışma alanları, içerisinde barındırdığı tehlike unsurları sebebiyle giriş ve çıkışlar için özel izinlerin

gerektiği, kontrol edildiği ve diğer çalışanların yapılan çalışma ile ilgili bilgilendirildiği alanlar olarak tanımlanabilir (Washington Administration Code, 2018). Yine ülkemizde geçerli olan 2004 tarihli gemi inşa tamir bakım ve söküm işlerinde gazdan arındırma yönetmeliğine göre kapalı alanlar aşağıda tanımlanmıştır (Gazdan Arındırma Yönetmeliği, 2004):

-İnsan yaşamına ve sağlığına acil tehlike barındıran alanlar,

-İnsan sağlığına acil tehdit içermeyen fakat bu potansiyele sahip alanlar,

-İnsan sağlığına acil olarak oluşturmayacak oranda tehlike içeren veya bu potansiyele sahip alanlar,

-Diğer alanlardan daha az potansiyel tehlike içeren alanlar



Şekil 1. Gemilerde kapalı alan örnekleri.

Çok tehlikeli çalışma ortamına sahip gemileri, atmosfere açık güverteleri hariç bir bütün olarak büyük bir kapalı alan olarak tanımlamak mümkündür. Daha küçük ölçekte ise dip ve yan balast, kargo, yakıt, temiz ve kirli yağ, sintine, tatlı su, pis su, asma vb. tankları ve koferdamları kısıtlı giriş çıkışa sahip kapalı alanlardır. Yine kumanya ve yedek parça depolama alanları, yaşam mahalli, makine dairesi, ön göğüs ve baş altı bölmeleri ve güvertelerin atmosfere açılan kısımları ise nispeten ulaşılması daha kolay kapalı alanlar olarak sıralanabilir. Gemiler işletmeye alındığında tehlikeli madde taşınan tank bölgelerine giriş ve çıkışlar izin gerektiren alanlar olarak dikkate alınacaktır.

Kapalı ortamlarda yapılan çalışmalar ile ilgili yasal düzenlemeler incelendiğinde yıllara göre tespit edilen eksikliklere göre gerekli güncellemelerin yapıldığını görebiliriz. Kapalı ortamlardaki çalışanlar üzerindeki kişisel ortam maruziyetleri ile ilgili düzenlemelerin temel dayanağının Türkiye'nin de taraf olduğu Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ve OSHA gibi kuruluşlar tarafından oluşturulduğunu görmek

mümkün. Düzenlemelerin tüm sanayi kollarını kapsayacak şekilde hazırlandığını görmekteyiz. Ülkemizde kapalı çalışma ortamında iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili temel düzenlemeler 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve ilgili yönetmelikleri ile kontrol altına alınmıştır. Örneğin, yapı işleri ile alakalı yürürlükte olan 5 Ekim 2013 yürürlük tarihli Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'nin alt maddelerinde kapalı alanlarda alınması gereken tedbirlere yer verilmiştir. Yönetmeliğin EK-4 Bölümünde Kapalı Mekanlardaki Çalışma Yerleri ile alakalı bazı maddeler aşağıda sıralanmıştır (Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, 2013):

Ek-4 Madde 37– *Zehirli veya zararlı madde bulunması muhtemel veya oksijen düzeyi yetersiz veya parlayıcı olabilecek bir ortama girmek zorunda kalan çalışanların, herhangi bir tehlikeye maruz kalmalarını önlemek üzere kapalı ortam havası kontrol edilir ve gerekli tedbirler alınır.*

Ek-4 Madde 38– *Çalışanlar, sınırlı hava hacmine sahip yüksek riskli ortamlarda çalıştırılmazlar. Zorunlu hallerde, her türlü tedbir alındıktan sonra çalıştırılabilirler. Bu durumlarda çalışanlar dışarıdan sürekli izlenir ve gerektiğinde derhal yardım yapılması için bütün tedbirler alınır.*

30 Nisan 2013 yürürlük tarihli Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik ve ekleri, sağlık ve güvenlik yönünden işyerlerinde oluşabilecek patlayıcı ortamların tehlikelerinden korunmak için alınması gereken önlemlere ilişkin usul ve esasları düzenlemektedir. Bu yönetmeliğe göre tehlikeli yerler, patlayıcı ortam oluşma sıklığı ve bu ortamın devam etme süresi esas alınarak, bölgeler halinde sınıflandırılmaktadır. Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği (19.09.2013) ve Kimyasal Maddelerde Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği (12.08.2013) gibi düzenlemelerde kapalı ortamlarda yapılacak çalışmalara ilişkin düzenlemeler bulunmaktadır.

Denizcilik sektörü ile alakalı gemi inşa, tamir ve söküm işlerinde ise Gemi ve Deniz Araçlarının İnşa, Tadilat, Bakım, Onarım ve Söküm İşlemlerinde Gazdan Arındırma Yönetmeliği (21.12.2004) bulunmaktadır. Bu yönetmeliğin amacı, gemi veya deniz araçlarında Birleşmiş Milletler (BM) Tehlikeli Ürünlerin Sınıflandırılması ile ilgili direktifte belirtilen; katı sıvı, gaz, aerosol haldeki parlayıcı, patlayıcı ve zehirli maddelerin depolandığı tanklar ve kapalı mahaller ile ilgili bu gibi yerlerin bitişiğinde bulunan bölmeler ve boru devrelerinde, inşa, tadilat, bakım veya söküm işlemlerine başlamadan önce ve devamında yapılacak işlemler ile can, mal ve çevre güvenliği bakımından, işlem yapılacak tehlikeli mahalle güvenli giriş ve buralarda veya sıcak çalışma yapılması amacıyla ölçüm yapan, yaptıran görevlilerin sorumluluklarının belirlenmesi olarak belirlenmiştir. Kapalı bölmelerin tanımları yapılarak bu mahallere giriş öncesi uyulması gereken kurallar sıralanarak çeşitli formların düzenlenmesi talimatlandırılmıştır.

3. Tersanelerde Gerçekleştirilen Faaliyetler

Tersanelerde inşa edilen gemilerin inşa süreçleri; dizayn, kabuk imalatı, boya, teçhiz donatım, boru donatım, güverte ekipmanlarının yerleşimi, yaşam mahalli kamara donatımları, makine dairesi ve sek sistemi ekipmanlarının yerleşimleri, elektrik, elektronik, seyir ve haberleşme cihazlarının yerleşimi, izolasyon, havalandırma, klas otoritesi test ve gözetimleri, denize indirme ve seyir tecrübeleri olarak sıralanabilir. İnşa sürecinde, gemi kabuğunun şekillenmesiyle birlikte diğer faaliyetlerin yoğunluğu da artarak devam etmektedir. Gemi yapısı gereği oluşan kapalı alanlarda bu çalışmaların birçoğu beraber yürütülmektedir.

Kabuk imalatı, yeni inşa projelerinde sözleşme üzerinden ilk olarak geminin ana boyutları ve performans kriterleri hesaplanarak tasarım planları oluşturulur. Klas tarafında onaylanan bu planlara göre ihtiyaç duyulan sac miktarları gerekli kalınlıklar gözetilerek sipariş geçilir. Mukavemet testlerinden

geçtikten sonra saclar, nesting planlarına uygun olarak CNC tezgahlarında kesilir. Blok poz numaralarına göre daha önce bitirilmesi gereken kısımlardan başlanarak imalat süreci gerçekleştirilir. Kesilen parçalarda bulunan cüruf ve keskin köşeler elden geçirilerek ön imalat işlemleri tamamlanır. Ön imalat işleminden geçen konstrüksiyon elemanları daha geniş yüzey alanlarına sahip dış kaplama, güverte ve perdeler üzerine kaynatılarak panel imalatı tamamlanır. Panel imalatı tamamlanan kısımların birleştirilmesiyle bloklar ortaya çıkmaktadır. Gemi kabuğu, kızak üzerinde blokların birleştirilmesi ile kaynak ve boya öncesi yüzey hazırlıkları tamamlanarak klas kontrollerine uygun hale getirilir.

İnşa sürecinde sac üzerinde bulunan pas, kir, yağ, vb. maddeler mekanik ve çeşitli sert materyallerin metal yüzeye püskürtülerek uzaklaştırılması ile temizlenir. Bu uygulamadan sonra geminin çalışma şartlarına uygun özellikte deniz boyalar seçilerek su altı, su üstü, güverteler, balast tankları, kargo tankları ve yaşam mahalleri boyanır. Geminin su ile direkt olarak temas eden karina bölgesinde astar, ara bağlayıcı ve son kat uygulamaları korozyon ve deniz canlılarının tutunmasını önleyecek özellikte boya ile uygulanır. Yine kargo yüklerinin taşınacağı kargo tankları ve balast suyunun alınacağı balast tankları uygun özellikte yüzey kaplamaları ile boyanır. Gemi kabuğu ile birlikte tank içi ve güverte iniş çıkış merdivenleri, ekipman fondeyşinleri, menhol, kaporta, su geçmez kapılar, vardevela, yürüme yolları, cam, havalandırma manikaları, kinistin süzgeçleri, baş-vasat-kıç kana rakamları ve tutyalar gibi teçhiz işlemleri tamamlanır.

Yine boru donatım planları üzerinden atölye sahasında ön imalatları tamamlanan boru devreleri ilk konulan dip blokların imalatı ile birlikte balast devreleri yerinde montajlanarak tamamlanır. Boruların malzeme cinsi ve et kalınlıkları, içerisinden geçecek olan sıvı ve gazın özelliklerine göre değişmektedir. Deniz suyu sistemine ait borular özel olarak galvanizleme işlemine tabi tutulur. Gemi boyutu büyüdükçe izometrik çizimler üzerinden imalatlar süreci hızlandırmaktadır. Yine boru devreleri yerinde montajdan önce basınç testlerine tabi tutulur. Son olarak tank ve ekipman bağlantıları yapılan boru devrelerinde imalat sürecinden kalan parçaların uzaklaştırılması için flushing işlemi uygulanır. Gemi kabuğu ile birlikte elektrik yük balans hesabına göre belirlenen güç tüketicilerinin kablolmasına geçilir. Kabloların düzenli ilerlemesi tava şeklinde kablo yollarının gemi boyunca döşenmesi ile sağlanır. Gemi çalışma enerjisi doğrultusunda atölyelerde yalıtım testlerinden geçerek imal edilen ana dağıtıcı güç panoları uygun elektrik teçhizatıyla donatılarak gemiye monte edilir. Ekipman ve panolarının pano bağlantıları tamamlanır. Gemide elektrik ve elektronik donanımın en çok bulunduğu bölgeler, makine dairesi kontrol odası ve köprüüstü mahalleridir. Seyir ve haberleşme cihazlarının yerleşimlerine köprüüstü mahallinin tamamlanmasıyla başlanır, yerleşimleri tamamlanan cihazların start-up işlemleri gerçekleştirilir.

Gemilerde izolasyon ve havalandırma işleri en yoğun olarak yaşam mahalli bölmelerinde ve makine dairesinde uygulanır. Uygulama genel olarak; izolasyon çivileri, sıkılaştırılmış cam elyafı, ses yalıtımı ve kaplama malzemesi şeklinde uygulanır. Makine dairesi ve alabandaları uygun yangın geciktirici özellikte izolasyon malzemeleri ile kaplanır. Yine egzoz boruları uygun izolasyon malzemeleri ile kaplanır. Uygun kesitte hava kanallarının fanlar ile montajları tamamlanır. Makine dairesi ve güverte ekipmanları önceden hazırlanan fondeyşinler üzerine oturtularak sabitlenir. Ekipmanların elektrik ve boru devre bağlantıları ile birlikte ana makine, jeneratör, insinatör ve kazanların egzoz bağlantıları yapılır. Gemilerin inşa süreci denize indirme sonrası yapılan seyir ve kabul testleri ile tamamlanarak klas gözetimine alınır. Gemilerin tamir bakım işleri, iskele ve rıhtımlarda, beton ve yüzer havuzlarda ya da kızak üzerine alınarak gerçekleştirilir. Periyodik kontrol dönemlerinde gemilerde, güverte ve makine bakım-tutumları, onarımları, ilave ekipman ve mahal montajları, boy uzatma, kalınlık kontrolleri sonrasında zayıf yerlerin sac değişimleri ve yüzey temizliği ve boya uygulaması gibi çalışmaları gerçekleştirilir.

4. Kapalı Alanlarda Karşılaşılan Riskler ve Alınması Gereken Tedbirler

Tersanelerde ve gemilerde kapalı alanlarda yapılan çalışmalarda oluşabilecek temel riskler aşağıdaki sınıflandırılabilir. Aşağıdaki riskler yanında cisimle çarpışma, cisim düşmesi, gürültü, ıslak alanlara bağlı elektrik çarpmaları, kaygan zeminler ve sıcaklık değişimleri gibi fiziksel riskler de bulunmaktadır:

- Oksijen konsantrasyonuna bağlı riskler,
- Tutuşabilir ve alevlenebilir maddelerden kaynaklı riskler,
- Zehirli ve korozif maddelerin oluşturduğu riskler.

4.1 Oksijen konsantrasyonuna bağlı riskler

Vücuttaki oksijen dengesi yaşam için hayati öneme sahiptir. Solunum fizyolojisinde, akciğerlerde kılcıl damarlar ve alveoller arasında bulunan zar şeklinde bariyer sayesinde kan ile alveol içindeki hava arasında gaz değişimi olur. Bu gaz değişimi, gazların yoğun olduğu bölgeden daha az yoğun olduğu bölgeye geçme özelliğiyle gerçekleşir. Buna difüzyon denir. Vücutta kullanıldıktan sonra akciğerlere dönen oksijeni az, karbondioksiti fazla kan alveol çevresindeki kılcıl damar ağına geldiğinde, kanda fazla olan karbondioksit alveole ve alveolde fazla olan oksijen de kılcıl damarlar içindeki kana geçer. Buradan da önce kalbe, oradan da tüm vücuda dağılır. Yaşamın sağlık içinde devam edebilmesi için, solunum ve dolaşım sisteminin düzgün çalışmasıyla kandaki oksijen ve karbondioksit düzeyi belirli limitler içinde tutulmalıdır (Toklu ve Mirasoğlu, 2015).

Kapalı mahallerde yapılan kaynak, oksijenle kesme, taşlama ve boya gibi çalışmalar neticesinde ortamda bulunan oksijen seviyesi düşer. Tersanelerde yapılan kaynak türleri zararlı metal dumanı ve yan gaz ürünlerini içeren görünür duman üretirler. Argon, azot, karbon dioksit, karbon monoksit ve hidrojen florür gazları genellikle kaynak sırasında ortaya çıkar. Yine kimyasal maddelerin reaksiyonları ve oksijenin, karbon dioksit, karbon monoksit veya nitrojen gibi gazlarla yer değişimi neticesinde ortamdaki konsantrasyonu düşebilir. Kapalı ortamlarda oksijenin diğer gazlarla yer değiştirmesi neticesinde çalışanlarda önce bilinç kaybı, baş dönmesi, mide bulantısı sonrasında ise ölüm gibi sonuçlar ortaya çıkabilir.

Kapalı mahallerde oksijen (O₂) konsantrasyonunu %19.5 seviyesinin altına düşüğünde ilave teneffüs aparatı olmadan giriş yapılmayacağı belirtilmektedir. % 18-12 arasında solunum sıklaşır, nabız artar, % 14-9 arasında soluk alma sık ve eksiktir. Bulantı, halsizlik, kulak uğultusu ve çınlama başlar. % 10-6 arasında yukarıdaki belirtiler artar. Bayımlar görülebilir ve kısa zamanda komaya girilir, % 5-0 arasında yaşam olası değildir. Kapalı ortamlarda kabul görmüş oksijen seviyesi ve buna bağlı oluşabilecek riskler Tablo 1’de belirtilmiştir (Pettit ve Linn, 1987).

Tablo 1. Kapalı ortam oksijen konsantrasyonu ve riskleri.

Oksijen seviyesi	Açıklama
%21	Oksijen bakımından zengin
% 19.5	Oksijen yetersizliğinin başlangıç seviyesi
% 16	Karar verme ve teneffüs bozukluğu
% 14	Hatalı karar verme ve hızlı yorulma
% 6	Teneffüs güçlüğü ve birkaç dakika içinde ölme

Tablo 1'e göre özellikle düşük konsantrasyonlarda dahi yaşamı tehdit eden karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (CO₂) gibi gazların kapalı ortamlarda birikmesi sonucunda oksijen konsantrasyonuna bağlı olarak can kayıpları yaşanabilmektedir. Kaynak dumanında mevcut olan ve sinsi olarak hareket eden CO renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Kimyasal boğucu gaz grubunda yer alan CO, çok düşük konsantrasyonlarda dahi, kandaki hemoglobini bağlayabilme özelliğine sahiptir. Bu da boğulma ve zehirlenmelere yol açmaktadır. Yine kaynak dumanında da yer alan renksiz, hafif asit kokusunda ve tadında olan CO₂ boğucu bir gaz olup, ortamda % 1 konsantrasyonunda bulunduğu soluk almayı güçleştirir. Soluk alma sıklığı % 3'te iki kat ve % 5'te üç kat artar ve zorlaşır. % 10 civarında CO₂ konsantrasyonunda komaya girilir. % 20 ve üstünde ise ölüm kaçınılmazdır. Yine kapalı alanlarda yangınların söndürülmesinden sonra ortamın karbon dioksit gazı ile dolmasına bağlı olarak oksijen eksikliği veya düşük yüzdesine göre boğulma vakaları ile karşılaşılmaktadır.

Kapalı alanlarda çalışmaya başlamadan önce ortamda korozyon, paslanma, kimyasalların tepkimesi, yeni boyama veya bitişik alanlardan ya da borulardan sızıntı olup olmadığı kontrol edilmelidir. Korozyon veya paslanma oksijen ile tepkimeye girdiğinden ortamdaki oksijen seviyesi hızla düşer. Kapalı alanlara bitişik alanlardan sızıntı veya kimyasalların tepkimesi sonucu ortamdaki oksijen miktarı azalabilir ya da zehirli gaz miktarı artabilir (Işık, 2016).

4.2 Tutuşabilir ve alevlenebilir maddelerden kaynaklı riskler










Tersanelerde kapalı ortamlarda ölümlü iş kazalarının en çok yaşandığı risk grubu yangın ve buna bağlı patlamalardır. Ortamda bulunan zengin oksijen seviyesi ile birlikte ortamda bulunan gaz ve sıvılar yangın ve patlamaların kaynağıdır. Atmosferin yanıcı hale gelebilmesi için ortamda, havada oksijen ile uygun karışımda yanıcı gaz, buhar, kimyasal reaksiyon sonucu ortaya çıkan toz bulutunun bulunması gerekir. Farklı gazlar farklı yanıcı aralıklara sahiptir. Bir tutuşma kaynağı (örneğin; bir kıvılcım veya elektrikli alet, statik elektrik, kum püskürtme) yanıcı bir atmosfer içeren bir alana sokulursa, patlamaya neden olur. Oksijence zengin bir atmosfer (% 22'nin üzerinde), giyim ve saç gibi yanıcı maddelerin şiddetle yanarak tutuşmasına neden olacaktır. Oksijen seviyesinin artması çalışma elbisesi gibi giysilerin çabuk tutuşmasını arttırır. Bu nedenle, kapalı bir alanı havalandırmak için asla saf oksijen kullanılmamalı, normal hava ile havalandırılmalıdır (IACS Confined Space Safe Practice, 2000).

Bazı dökme yükler, özellikle kargo elleçleme ve temizlik sırasında patlayıcı tehlike oluşturabilecek toksik tozları üretebilir. Yine tersanelerde genel olarak oksijen-gaz kaynaklarında kullanılan gaz propan, doğal gaz ve asetilen kapalı mahallerde birikerek yangın ve patlama riskleri oluşturmaktadır. Gemi boru devrelerinde basınç altında bulunan gazlar ve tehlikeli sıvılar üzerinde yapılan çalışmalar esnasında özellikle tamir-bakım çalışmalarında yetersiz iş güvenliği uygulamaları, yangın ve patlamalara sebep olabilmektedir. Tablo 2'de bulunan bütün gazlar tehlikeli olup iş sağlığı ve güvenliğini tehdit etmektedir. Bu gazlar, kapalı ortamlarda özellikle gemilerin çok fazla elemanla desteklenmiş tank yapılarında fark edilmeden oksijeni bastırarak birikerek boğulma, patlama ve yangınlara sebep olmaktadır (Stojkovic, 2013).

Patlama hızlı gelişen ve yüksek basınç meydana gelmesiyle oluşan bir yanma çeşididir. Tersanelerde hem yeni gemi inşasında hem de bakım ve onarım yapılırken yoğun bir şekilde boya işleri yapılmakta ve birçok muhtelif yanıcı, patlayıcı kimyasallar ve gazlar kullanılmaktadır. Kaynak işlerinde ve de kesme işlerinde yakıcı özellikteki oksijen kaynağı da yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Havada mevcut olan oksijen de yangının unsurları açısından yeterli düzeydedir. Üçüncü unsur olan ısının ise yaz aylarında yanma olayının gerçekleşmesi açısından uygun seviyelere ulaşması patlama kabiliyetini artmaktadır. Bütün bu nedenlerden dolayı yanma ve patlama sonucu meydana gelen kazaların en çok yaz aylarında

meydana gelmesi beklenmektedir. Kapalı ortamlarda gerçekleşen kazalar bize bu durumu açıklamaktadır (Yavuz, 2012).

Tablo 2. Kapalı ortamda bulunan zehirli gazlar ve özellikleri.

Gaz	Molekül yapısı	Özelliği
Oksijen (O_2)		19.5 % altı ortamca az, 23.5 % üzeri zengin
Metan (CH_4)		Boğucu, oksijen seviyesi 19.5 % üzerinde olmalı
Hidrojen Sülfür (H_2S)		Çok Tehlikeli, havadan daha ağır, birikme özelliği, yanıcı, LEL 4 %
Karbon Monoksit (CO)		Boğucu, 8 saatlik süre için ortalama PEL değeri 50 ppm
Nitrojen (N_2)		Boğucu, oksijeni havada değiştiren inert ajan olarak kullanılır
Amonyum (NH_3)		Solunum, deri ve göze zarar verir, 8 saatlik süre için ortalama PEL değeri 50 ppm
Asetilen (C_2H_2)		Havadan daha hafif, son derece yanıcı, oksijen kaynağı için kullanılır, LEL 2.5 %
Karbon Dioksit (CO_2)		Boğucu, 8 saatlik süre için ortalama PEL değeri 5.000 ppm
Klorin (Cl_2)		Keskin kokulu, yeşilimsi sarı renk, 8 saatlik süre için ortalama PEL değeri 1 ppm

Toplam gerçekleşen 151 adet ölümlü iş kazasının, 26 adedi kapalı ortam ve benzeri bölgelerde gerçekleşen iş kazalarıdır. Bunlardan 18'i gemi içerisindeki kapalı alan iş kazaları, kalan 8 adedi ise tersane üretim sahasında gerçekleşen kapalı alan iş kazalarıdır. Tablo 3'te tersanelerimizde 2000 ve 2014 yılları arasında meydana gelmiş olan yangın ve/veya patlama ve zehirlenme kazalarının sayısal verileri sunulmuştur. Bu tablodan da görüleceği üzere, yangın ve/veya patlama ve zehirlenme kazaları neticesinde, yaş aralıkları 23 ile 53 arasında olan 26 çalışmamız hayatını kaybetmiştir. Ağırlıklı olarak yangın ve/veya patlama ve zehirlenme kazaları neticesinde hayatını kaybeden çalışanların meslek grupları incelendiğinde, kaynakçı, raspa ve boya işçisi, tav işçisi, boru montaj işçisi oldukları görülmüştür.

Tablo 3. Tersanelerimizde Ocak 2000 ve Aralık 2014 yılları arasında yangın ve/veya patlama ve zehirlenme kazalarının sınıflandırılması.

Kaza tipi	Ölümlü kaza sayısı
Patlama ve yangın	23
Yangın	1
Zehirlenme	2
Toplam	26

4.3 Zehirli ve korozif maddelerin oluşturduğu riskler

Kapalı alanlardaki bir diğer önemli tehlike unsuru zehirlenme vakalarıdır. Kapalı alanlarda zehirlenmeye sebep olabilecek gazlar atık, sıvı buharlaşması, ortamda yapılan işten kaynaklı veya bitişik alanlardan sızıntı şeklinde ortaya çıkabilir. Yakıt tankı gibi içinde sıvı kalıntıların bulunduğu kapalı alanlardaki

sıvıların buharlaşması sonucu tehlikeli gazlar açığa çıkar. Korozyona maruz kalmış kapalı ortamlarda hidrojen sülfür (H_2S) salınımı gerçekleşir.

Kapalı alanlarda zehirlenme vakalarının üçte biri çalışma esnasında açığa çıkan zehirli gazlar ya da oksijenin azalması sonucu meydana gelmektedir. Taşlama, pürüzlü yüzeylerin giderilmesi için yapılan yüzey temizlikleri, raspa, boyama işleri, kaynak, oksit-kesme işleri ya da içten yanmalı ana makine ve jeneratörlerin kullanımı sonucunda ortamda zehirli hava birikmesi meydana gelir. Zehirli gazların belirli yoğunluktaki maruziyetleri yaşam ve sağlık için tehlikelidir. Bu seviyelerde çalışanlar üzerinde kısa maruziyetlerde dahi kapalı alanlardan kaçışı engelleyecek sağlık sorunlarına neden olabilir. Kapalı alanlarda bulunabilecek zehirli gazlar ve yaşam ve sağlık için ani tehlike meydana getiren konsantrasyon değerleri Tablo 4'de gösterilmiştir (Işık, 2016).

Tablo 4. Kapalı alanlarda bulunan gazlar ve ani tehlike konsantrasyonları.

Kimyasal Madde	Tehlike	Kokusu, rengi	IDHL (ppm)
Karbon dioksit (CO_2)	Oksijenin yerini alır. Zehirleyicidir. Zeminde birikir	Renksizdir. Kokusuzdur.	40,000
Karbon monoksit (CO)	Zehirleyicidir. Boğulmaya neden olur	Renksizdir. Kokusuzdur.	1,200
Benzin buharı	Yangın ve patlamaya neden olur. Zeminde birikir	Renksizdir. Tatlı kokuludur.	-
Hidrojen Sülfür (H_2S)	Aşırı zehirleyici ve alevlenebilir özelliğe sahiptir. Akciğer yetmezliğine neden olabilir. Zeminde birikir.	Renksizdir. Çürük yumurta kokuludur.	100
Sülfür dioksit (SO_2)	Zehirleyicidir. Ciddi akciğer tahrişine neden olur. Zeminde birikir.	Renksizdir. Çürük, boğucu kokuludur.	100
Klor (Cl_2)	Zehirleyicidir. Akciğer ve göz tahrişine neden olur. Zeminde birikir	Yeşilimsi sarı renklidir. Keskin kokuludur.	10
Azot dioksit (NO_2)	Zehirleyicidir. Akciğer tahrişlerine neden olur. Zeminde birikir	Kırmızımsı kahverengidir. Keskin kokuludur.	20

5. Örnek Kaza Analizi ve Risk Değerlendirmesi

Kaynaklar metin içinde yazar soyadı ve tarih belirtilerek parantez içinde verilir. Tek yazarlı kaynaklar (Boran, 2003), ikiden fazla yazarı olan kaynaklar (Day et al., 2011) şeklinde, iki yazarlı makaleler ise (Perera and Soares, 2012) şeklinde gösterilir. Cümleye birden fazla atıf verilecekse kaynaklar (Szlacpzyński and Szlacpzyńska, 2015; Tam et al., 2009) şeklinde verilir.

Ülkemiz tersane ve gemi söküm yerlerinde kapalı çalışma ortamlarında çeşitli kazalar yaşanmakta olup büyük bir bölümünde ölümler gerçekleşmektedir. Yaşanan kaza olaylarının analizi yapılarak gerekli iş sağlığı ve güvenlik tedbirlerinin tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir. Çünkü yaşanan bu kazalar incelendiğinde, ortamdaki tehlike unsurlarının hemen hemen benzer olduğu ve buna karşın çalışanlar tarafından sergilenen dikkatsiz ve özensiz davranışların tüm kazalarda ortak olarak bulunduğu görülmüştür. Kapalı ortamlarda meydana gelen ve raporlanan bazı kazalar incelenmiştir. Tuzla Tersaneler Bölgesinde bulunan bir özel sektör tersanesinde, 05.04.2012 tarihinde meydana gelen iş

kazasında yeni inşa geminin balast tankında meydana gelen patlama sonucun 2 işçi hayatını kaybetmiş, 6 işçi de çeşitli yerlerinden yaralanmıştır. Olay, yeni inşa gemi üzerinde bozuk yüzeylerin düzlenmesi amacıyla yapılan tavlama işi esnasında gerçekleşmiştir. Ortaya konan raporlar patlamaya kapalı tank içerisinde açık unutulmuş oksijen-gaz kesme lambasından sızan gazın sebep olduğu belirtilmektedir. Diğer yaralı işçilerin bir kısmı patlamanın yaşandığı tanka yakın bölgelerde çalışma yapan işçilerdir.

Yine Tuzla Tersaneler bölgesinde bir diğer tamir tersanesinde, 05.06.2005 tarihinde meydana gelen olayda, LPG tanker gemisinin tamir bakımı esnasında kış tarafta bulunan sabit yangın söndürme sisteminin odasının (CO₂) değişimi esnasında meydana gelen patlama sonucu 2 çalışan ağır yaralanarak hastaneye kaldırılmış sonrasında ise yanığa bağlı olarak hayatlarını kaybetmişlerdir. Yine yaşam mahallinin farklı bölgelerinde bulunan işçilerde çeşitli yerlerinden yaralanmışlardır.

Çalışmamızın bu bölümünde gemi üzerinde bulunan kapalı alanlardaki tehlike unsurları örnek bir kaza üzerinden risk analizi yapılarak ele alınmıştır. Örnek olarak, İzmir Aliğa Gemi Söküm Bölgesinde faaliyet gösteren bir işletmede 2013 yılında meydana gelen bir iş kazası olayı incelenmiştir. Olay, söküm için tesise yansıtılan geminin makine dairesinde bulunan suyun benzin motorları ile dışarıya tahliyesi esnasında gerçekleşmiştir. Tahliye esnasında oluşan karbonmonoksit (CO) gazı zehirlenmesi sebebiyle olay yerinde bulunan 3 işçiden 2'si hayatını kaybetmiştir. Kaza ile ilgili hususlar şu şekildedir:

-Söküm için bekleyen gemi daha önce uzun süre atıl vaziyette denizde bekletildiğinden dolayı yıpranmış ve eskimiştir. Bu yüzden Aliğa'ya yolculuk sırasında gemi su almaya başlamıştır.

-Normal koşullarda geminin müteammim cüz heyetinin kontrolü, sörvey heyetinin kontrolü, gaz free kontrolü vb. işlemleri açıkta yapılırken, geminin su almasından dolayı bu işlemlerin gemi karaya çekildikten sonra yapılmasına karar verilmiştir.

-Gemi üzerinde müteammim cüz ve sörvey heyetleri çalışmalarını yaparak tutanak altına almışlardır. Fakat bayram tatili dolayısıyla geminin gaz free işleminin yapılmadığı belirtilmiştir.

-Baştankara gemi karaya vurduktan sonra da su almaya devam etmiş ve yaklaşık 27 derece yan yatmıştır.

-Saha sorumlusu olan çalışan bayram tatili dolayısıyla işyerinde başka bir yetkili olmadığından saha sorumlusu yetki ve inisiyatifini kullanarak gemiye müdahale kararı almıştır.

-Tahliye operasyonunda henüz SGK işe giriş bildirimleri bayram tatili dolayısıyla yapılmayan 3 kazazede bulunmaktadır.

-Gemi üzerinde enerji bulunmadığından karanlık bölgelerde seyyar aydınlatmalar kullanılmıştır.

-Kaza geminin makine dairesinde gerçekleşmiştir. Burada bulunan suyun yüksekliğinin yaklaşık 1.5 m olduğu belirtilmektedir.

-Tahliye operasyonu iki adet seyyar benzinli motor ile yapılmış, motorları egzozu dışarı yerine kapalı ortama verilmiştir. Yine motorların, yanma esnasında ortamda bulunan oksijeni kullanarak seviyesini azalttığı ve ortaya çıkan karbon monoksit seviyesinin arttığı tespit edilmiştir.

-Motorların üzerinde "Egzoz gazı zehirlenmesine karşı kapalı mekanlarda kesinlikle kullanmayın" uyarı levhasının bulunduğu raporlanmıştır. Fakat bu durum görülmemiş ve dikkate alınmamıştır.

-Motorların kurulumunu yapan iki çalışan, tamirini yapan bir çalışan, bir ekip başı ve bir yardımcısından hiçbirinin kişisel koruyucu donanım kullanmadıkları tespit edilmiştir.

-İlk gün tahliye operasyonu iki çalışan tarafından yapılmış, ikinci gün ise bir çalışan daha operasyona katılmış, bu çalışan bir süre sonra rahatsızlanmıştır. Bunun üzerine çalışanın temiz havaya çıkartıldığı ve yoğun, ayran vb. şeylerin içirildiği belirtilmiştir.

-Olay günü olan üçüncü gün ise bu üç çalışanın tahliye işlemine devam ettikleri, bu ekibe tahliye için bir adet elektrikli dalgıç pompasının kurulumun yapılması için iki yeni çalışanın da katıldığı belirtilmiştir.

-Elektrikli dalgıç pompasının suya yerleştirilmesi sırasında çalışanlardan birinin ayağı bir şeye takılarak halsiz düşmüş, diğer çalışan kendisine yardım etmek isterken yine halsiz düşerek yardım istemiş, yardım istenilen diğer üçüncü bir çalışan aşağı inerek onları dışarı çıkarmaya çalışmış fakat başarılı olamamıştır. Ekibe sonradan katılan diğer iki çalışan arkadaşlarını kurtaramayarak telefonla kara ekibinden yardım istemiştir.

-Olay yerine gelen yardım ekipleri çalışanlardan birini makine dairesi çıkış merdivenine sarılı vaziyette, diğerini oturur vaziyette, bir diğerini ise suda sırt üstü yüzer vaziyette bilinci kapalı olarak bulmuşlardır. Yardıma giden 15 kişinin yardım sırasında gazdan zehirlenerek çeşitli hastanelere sevk edildiği tespit edilmiştir.

-Yardım amacıyla gelen kişilerden bazıları; gemi içinde bulunan ve muhtelif yerlerden temin edilen eski, kontrol tarihi geçmiş maske ve oksijen tüplerini kullanmış fakat işe yaramamış ve yine ortamdaki gazdan etkilenerek çeşitli hastanelere kaldırılmıştır. Genel olarak hiç kimse, kişisel koruyucu donanım olarak çalışır vaziyette ve uygun nitelikte gaz maskesi ve/veya pozitif basınçlı oksijen maskesi kullanmamıştır.

-Kaza neticesinde 2 çalışan hayatını kaybetmiştir. Adli Tıp Kurumu tarafından yapılan otopsi sonucunda çalışanların kanlarında, 47.6% ve 44.8% oranında COHb (karboksi hemoglobin) bulunduğu ve ölüm nedenlerinin CO (karbon monoksit) zehirlenmesi olduğu belirtilmiştir.

-İşyerinde incelenen evraklar sonucunda su tahliye işini yapan çalışanlara su tahliyesi ile ilgili yazılı talimat verildiği, ancak su tahliyesi konusunda herhangi bir eğitim almadıkları tespit edilmiştir. İşyeri risk analizinin kapalı ortamlarda çalışma ve gemiden su tahliyesi gibi konuları kapsamadığı tespit edilmiştir.

-İşyerinde acil durum planının olmadığı ve ekiplerinin oluşturulmadığı ve eğitim verilmediği tespit edilmiştir.

-Çalışanların bazılarında İSG eğitimi verildiği halde sertifika verilmediği ve bazılarında ise işe giriş öncesi çok tehlikeli işlerde çalışabilir raporlarının verilmediği tespit edilmiştir.

-Operasyon için uygun ekipman ve bu ekipman göre uygun kurulumun yapılmadığı tespit edilmiştir.

5.1 Biçimsel güvenlik değerlendirmesi yöntemi

Çalışmamızın bu bölümünde, denizcilik endüstrisinde emniyet analizi konusundaki çalışmalarda yararlanılan Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesi (BGD) yöntemi kullanılarak yukarıda detayları verilen kapalı alan iş kazası örneği üzerinden risk değerlendirme yapılmış ve sonuçları analiz edilmiştir. BGD ile bir kazanın ya da istenmeyen bir olayın oluşmasından önce gerekli olan her türlü önlemin alınmış olduğu dikkate alınarak bu önlemlerin kontrol edilmesine yönelik bir dizi işlemler yapılır. BGD, mevcut ve oluşabilecek riskleri değerlendiren IMO'nun bu riskleri azaltması ve/veya ortadan kaldırması için uygulayacağı seçeneklerin fayda/maliyet analizini yaparak karar verme aşamasında yardımcı olmak amacıyla geliştirilen bir risk değerlendirme yöntemidir (Akyıldız, vd., 2012).

Bu yöntemin uygulanması sırasında izlenmesi gereken beş adım mevcuttur. Bunlar sırayla;

- Tehlikelerin tanımlanması
- Risk değerlendirilmesi
- Risk kontrol seçenekleri
- Maliyet-Fayda değerlendirilmesi
- Karar alma önerileri şeklindedir.

Tehlikelerin tanımlanması bu analiz yönteminde risk yönetiminde en önemli adım olup sistem ve organizasyonda potansiyel zarar ve zarara neden olabilecek etkilerin analiz edilmesidir. Senaryolar üzerinde tanımlanan tehlike kaynaklarına göre olasılıklar ortaya konarak risk faktörleri belirlenir. Risk faktörlerini tamamen ortadan kaldırmak veya gerçekleşme olasılığını azaltmak için risk kontrol seçenekleri oluşturulur. Bu seçeneklerin uygulanması bir maliyet ve fayda değerlendirilmesi karşılaştırması yapılarak sınıflandırılır. Maliyet-Fayda analizi tüm olası risk azaltma seçeneklerinin ve maliyetlerinin etkililiğine dayalı risk azaltma seçeneklerinin karşılaştırılmasını içermelidir. Bu karşılaştırmanın sonucunda, kabul edilebilir veya ihmal edilebilir sonuçlar karar alıcılara sunulur (Kontovas, 2005).

Ülkemiz gemi inşa sanayisinde kapalı mahallerde gerçekleşen kazalar incelendiğinde istatistiki verilere göre en çok rastlanılan kaza tipleri; patlama ve yangın, yangın, zehirlenme, takılma ve yüksekte düşme, malzeme düşmesi ve çarpması olarak sıralanabilir. Çalışmamızda kapalı mahallerde gerçekleşen zehirlenme tipi kazalar ele alınmış Tablo 5'te verilen şiddet ve sıklık ölçeği kullanılarak değerlendirilmiştir. Buna göre şiddet (S); S1=Önemsiz, S2=Önemli, S3=Ciddi, S4=Çok Ciddi, S5=Felaket şeklinde, gerçekleşme sıklığı (F) ise; F1= Nadir, F2=Seyrek, F3=Arada Sırada, F4=Sıklıkla, F5=Çok Sık şeklindedir.

Tablo 5. Sıklık ve Şiddet Ölçeği.

Sıklık (F)/Şiddet (S)	F1	F2	F3	F4	F5
S1	1	2	3	4	5
S2	2	3	4	5	6
S3	3	4	5	6	7
S4	4	5	6	7	8
S5	5	6	7	8	9

Bu ölçeğe göre önemsiz kazaları; hafif maddi hasarın yaşandığı, herhangi bir can kaybı ve yaralanmanın gerçekleşmediği kazalar, Önemli kazaları; orta derecede maddi hasarın ve iş kaybının yaşandığı ve küçük hasar ve ilk yardımlar ile çalışanların kurtarıldığı kazalar, Ciddi kazaları; çalışanların yaralandığı, iş kaybının ağır maddi hasarın yaşandığı kazalar, Çok Ciddi kazaları; ölüm ve uzuv kaybı gibi yaralanmalar ile sonuçlanan, çok ciddi çevresel etkilerin yaşandığı kazalar, Felaket ile sonuçlanan kazaları ise; 1 den fazla ölümlerin ve önemli maddi felaketlerin yaşandığı kazalar olarak tanımlayabiliriz.

5.2 Risk değerlendirilmesi

Yukarıda izah edilen kaza olayı, kapalı alanlarda gerçekleşebilecek zehirlenme ve bağlı durumlarına uygun bir örnektir. Kaza olayı için risk analizi BGD yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Yöntemin ilk aşaması tehlike kaynaklarının tespit edilmesidir. Buna göre bu kazaya aşağıda belirtilen potansiyel

tehlike kaynaklarının sebep olduğunu söylemek mümkündür. Kaza öncesinde gemi açıkta iken denetim ve kontrol işleri kapsamında kapalı tankların ve mahallerin gazdan arındırma işlemlerinin yerine getirilmediği, çalışanların karbon monoksit zehirlenmesi geçirmelerine rağmen farkında olmadıkları, zehirlenme vakası ile ilgili çalışanlarda bilinç ve farkındalık oluşturması gereken eğitimlerin verilmediği anlaşılmaktadır.

Tehlike kaynaklarının tespiti: Yine kazanın yaşandığı gemi söküm tesisi çok tehlikeli sınıfta yer alan ağır işlerin yerine getirildiği bir işletmedir. Bayram tatili dolayısıyla ağır hizmet faaliyetlerinin sunulmasında güvenlik talimatları ve yetki devirleri ilgili talimatların ihmal edildiği görülmektedir. Çalışanların yanlış ekipman seçimi ve eğitim eksikliği kaynaklı geminin makine dairesindeki suyu daha güvenli ve egzoz çıkışı olmayan elektrikli dalgıç pompa yerine seyyar benzinli motor ile tahliye etmeleri çok ciddi sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Yine olay yerine gelen diğer çalışanların, acil müdahale konusunda eğitilmiş ve donanımlı olmadıkları, yanlış müdahale ile kazazedelerle birlikte olaydan etkilenerek olayın kazanın sonuçlarını çok daha kötüleştirdikleri görülmektedir.

-Yetersiz ortam havalandırması

-Gaz kaçak ve sızıntıları

-İnsan Hatası (Hatalı müdahale ve yanlış ekipman seçimi)

-Eksik gözetim ve denetim

-Hatalı acil durum müdahalesi

Risk Değerlendirmesi: Gemi söküm işlerinde kaza tiplerinin yaşandığı konumları bu kaza olayındaki gemi için ele aldığımızda; açıkta ve yan yatarak su almış iken ve karaya yanaşık söküm işleri yapılırken olarak tanımlayabiliriz.

Tablo 6. Örnek kaza olayının risk değerlendirilmesi

Sıklık (F)/Şiddet (Ş)	Yan yatmış, su almış gemi	Karada söküm esnasında
Yetersiz ortam havalandırması	S3F3=5	S4F3=6
Gaz kaçak ve sızıntıları	S1F4=4	S5F3=7
İnsan Hatası	S2F3=4	S5F4=8
Eksik gözetim ve denetim	S2F2=3	S4F3=6
Hatalı acil durum müdahalesi	S1F1=1	S3F2=4

Tablo 6'ya göre en yüksek risk skoruna insan hatası kaynaklı tehlikelerin sahip olduğu görülmektedir. Karada yoğun söküm faaliyetlerinin başlamasıyla birlikte ortamdaki tehlike unsurlarının artması insan kaynaklı hataların da artmasını tetiklemektedir. Elektrikli dalgıç tipi pompa yerine benzinli motor kullanarak suyu tahliye etmek insan kaynaklı yanlış bir tercihtir. Bu durum karbon monoksit (CO) gazının ortama verilmesine sebep olmuştur. Yine Tablo 6'ya göre çok ciddi ve felaket şeklinde kazaların her iki durumda ara sıra yaşanabileceği gözlemlenmiştir.

Risk Kontrol Seçeneklerinin Değerlendirilmesi: Bütün kaza tipleri için Kaza Nedeni - Olay -Kaza - Kaza Sonucu olay örgüsü kurulmuş ve Tablo 7'de gösterilmiştir (Akyıldız ve diğ., 2012).

Tablo 7. Örnek kaza için olay örgüsü.

Kaza Nedeni	Olay	Kaza tipi	Sonuç
Yetersiz ortam havalandırması	Ortamdaki oksijenin azalması	Zehirlenme	Bilinç kaybı, halsizlik
Gaz kaçak ve sızıntıları	Egzoz tahliyesinin ortama verilmesi		
İnsan Hatası	Hatalı müdahale ve ekipman seçimi		Personel kaybı
Eksik gözetim ve denetim	Gazdan arındırma ve eğitim eksikliği		Yaralanma, maddi hasar
Hatalı acil durum müdahalesi	Yetersiz KKD ve eğitimsiz personel		

Risk kontrol seçeneklerine bakılarak kaza nedeni, olay, kaza ve sonucun yaşanmaması için ne gibi müdahale seçenekleri ve tedbirlerin alınması gerektiği tespit edilebilir. Zehirlenme için bunları sıralayacak olursak;

Kaza nedeni oluşmadan önce için yapılması gerekenler;

- Çalışanlara İSG ve işyeri prosedürleri konusunda gerekli eğitimler
- Tecrübeli personel istihdamı
- Şirket kalite kontrol ve yönetim prosedürlerinin iyileştirilmesi
- Gemi üzerinde etkili kontrol ve denetim
- İşe giriş öncesi yasal sürece uygunluk

Olayın yaşanmaması için öncesinde yapılması gerekenler;

- Gemi söküm işinde yetkin ve sertifikalı personel istihdamı
- Gemi söküm esnasında karşılaşılan özel problemlere yönelik eğitimler
- Ekipman seçimi ve kullanımı konusunda pratik eğitimler
- Kapalı ortam kazalarına yönelik İSG eğitimleri

Kazanın yaşanmaması için öncesinde yapılması gerekenler;

- Su tahliyesinin elektrikli dalgıç pompa ile yapılması
- Kapalı ortam iş prosedürlerinin sıkı denetim ve kontrolü
- Çalışanlarla etkili iletişim
- Kapalı ortamdaki çalışanların sağlık durumlarının takibi

Sonuçların önlenmesine yönelik yapılması gerekenler;

- Yeterli yardımcı ekipman ve kişisel koruyucu donanım
- Acil müdahale ve sağlık hizmeti konusunda eğitim
- Kaza olayının yetkili birimlere haber verilmesi
- Gemi söküm iş planlamalarının iyileştirilmesi

Fayda/Maliyet Analizi: Risk matrisinde en yüksek puana sahip tehlikeler fayda-maliyet analizi açısından en uygun kontrol tedbirlerinin bilgilerini sağlar. Risk kontrol seçeneklerine göre alınacak kontrol tedbirlerinin sağlayacağı fayda ve bunun maliyeti, en düşükten en yükseğe 1 ile 5 arasında puanlandırılarak Tablo 8’de verilmiştir. Fayda maliyet analizinde insan kaynaklı hataların önlenmesine yönelik eğitim, denetim ve iletişim gibi risk azaltma yollarının en efektif çözümler olduğu gözükmektedir. Yetkin personel istihdamı, ekipman tedariki, kişisel koruyucu donanım ve iş planlamalarının iyileştirilmesi gibi risk azaltma tedbirlerinin ise fayda/maliyet açısından efektif olmadıkları görülmektedir.

Tablo 8. Zehirlenme vakası için maliyet/fayda analizi.

Kaza nedeni oluşmadan önce için yapılması gerekenler;	Maliyet	Fayda	Puan
Çalışanlara İSG ve işyeri prosedürleri konusunda gerekli eğitimler	3	2	1.50
Tecrübeli personel istihdamı	3	4	0.75
Şirket kalite kontrol ve yönetim prosedürlerinin iyileştirilmesi	2	4	0.50
Gemi üzerinde etkili kontrol ve denetim	3	3	1.00
İşe giriş öncesi yasal sürece uygunluk	2	1	2.00
Olayın yaşanmaması için öncesinde yapılması gerekenler;	Maliyet	Fayda	Puan
Gemi söküm işinde yetkin ve sertifikalı personel istihdamı	3	5	0.60
Gemi söküm esnasında karşılaşılan özel problemlere yönelik eğitimler	4	2	2.00
Ekipman seçimi ve kullanımı konusunda pratik eğitimler	5	3	1.66
Kapalı ortam kazalarına yönelik İSG eğitimleri	5	2	2.50
Kazanın yaşanmaması için öncesinde yapılması gerekenler;	Maliyet	Fayda	Puan
Su tahliyesinin elektrikli dalgıç pompa ile yapılması	4	4	1.00
Kapalı ortam iş prosedürlerinin sıkı denetim ve kontrolü	4	2	2.00
Çalışanlarla etkili iletişim	3	1	3.00
Kapalı ortamdaki çalışanların sağlık durumlarının takibi	4	2	2.00
Sonuçların önlenmesine yönelik yapılması gerekenler;	Maliyet	Fayda	Puan
Yeterli yardımcı ekipman ve kişisel koruyucu donanım	4	5	0.80
Acil müdahale ve sağlık hizmeti konusunda eğitim	4	3	1.33
Kaza olayının yetkili birimlere haber verilmesi	3	1	3.00
Gemi söküm iş planlamalarının iyileştirilmesi	2	5	0.40

6. Sonuç

Gemi söküm işlerinde kaza olasılığı yüksek birçok tehlikeli durum söz konusudur. Çalışanlara hem genel iş sağlığı ve güvenliği hem de mesleki anlamda tecrübe ve farkındalığı arttıracak eğitimlerin periyodik olarak sunulması gerekmektedir. Özellikle mesleki yeterlilik sertifikasyonu temelli istihdam kazaların önlenmesinde kaza öncesi önleyici tedbirlerin başında gelmektedir. Yaşanan örnek kaza olayında bayram tatili dolayısıyla işe giriş bildirimleri resmi olarak yapılmamış ve mesleki anlamda yetkin olmayan birkaç personelin kendi başlarına inisiyatif alarak işe başlamaları tehlike potansiyeli arttırmıştır. Bu tür işletmelerde iş proseslerinin işletme tarafından işe başlamadan önce belirlenmiş

olması gerekir. Yapılacak faaliyetin bu plan uygun ilerleyip ilerlemediği sürekli kontrol edilmelidir. Örnek kaza olayında çalışanlar zehirlenme vakası geçirmelerine rağmen ilk gün bunun farkına varamamışlardır. Bu konuda farkındalık eğitimlerinin artırılması gerekir. Buna sebep olan yanlış ekipman seçimi kazanın temel sebeplerindedir. Yapılacak işe uygun ekipman seçiminin ve çeşitliliğinin çalışanlara sunulması gerekir. Ortamda biriken zehirli gazın tahliyesi konusunda yeterli ekipman sağlanması gerekir. İşe başlamadan önce denetim ve kontrollerin bu doğrultuda yapılması gerekmektedir. Özellikle kaçak ve sızıntı ihtimali yüksek olan kapalı mahallerde iş öncesi bu kontrollerin uygun aletlerle ölçülmesi lazımdır.

Acil müdahale ve tıbbi yardımın eksikliği, kazanın sonuçlarını daha da vahim hale getirebilir. Bu konuda çalışan sayısına göre uzman personel istihdamı gerekir. Yine çalışanlar arasından bazılarının acil müdahale ve ilk yardım konusunda ileri eğitimlerin verilmesi kötü sonuçların ortaya çıkmasını engelleyebilir. Yine maliyet açısından düşük fakat fayda açısından yüksek verimliliğe sahip iletişim çeşitliliği, kazaların önlenmesinde önemli bir önleyici faktördür. İş ile alakalı teknik ve idari kademelerde çalışanlar arasında oluşacak etkili iletişim ve koordinasyon bu tür tehlikeli faaliyetlerin yapıldığı gemi söküm işlerinde kritik bir öneme sahiptir.

Tersanelerde kapalı alanlarda yapılan çalışmalarda iş sağlığı ve güvenlik tedbirlerinin farklı bir perspektifle ele alınması gerekmekte olup ortamdaki oksijen yetersizliği, yangın ve patlama gibi tehlike kaynaklarının çok ciddi sonuçlara sebebiyet verebilecek olması, yapılacak olan risk analizinin önemini, risklerin ortamdaki uzaklaştırılması ya da bertaraf edilmesi açısından daha da arttırmaktadır. Kapalı alanlarda gerçekleşen ölüm ve yaralanma ile sonuçlanan iş kazalarının azaltılmasına yönelik eğitim, denetim ve kontrol tedbirlerinin çalışma alanlarında etkin bir şekilde uygulanması ve takip edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

7. Kaynaklar

Akyıldız, H., Menten, A., Helvacıoğlu, İ.H. (2012). Formal Safety Assessment of Cargo Ships at Coasts and Open Seas of Turkey. Proceedings of the ASME 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Rio de Janeiro, Brazil.

Barlas, B., İzci, F.B. (2017). Gemi İnşaatı Sektöründe Kapalı Alanlarda Çalışmalar, İzin Prosedürleri ve Mevzuat Uygulamaları, İstanbul Teknik Üniversitesi 2. İş Sağlığı ve Güvenliği Çalıştayı, İTÜ Vakfı Yayınları, İstanbul, s. 117-126.

Barlas, B., İzci, F.B. (2018). Individual and workplace factors related to fatal occupational accidents among shipyard workers in Turkey, Safety Science (101):173–179.

Chinniah, Y., Bahloul, A., Bulet-Vienney, D., Roberge, B. (2017). Development of a Confined Space Risk Analysis and Work Categorization Tool, IRSST Studies and Research Projects, R-955.

Gazdan Arındırma Yönetmeliği (2004). Gemi ve Deniz Araçlarının İnşa, Tadilat, Bakım, Onarım ve Söküm İşlemlerinde Gazdan Arındırma Yönetmeliği, Kabul Tarihi: 21.12.2004

GİSBİR, (2014). Gemi İnşa, Bakım-Onarım Sektör Raporu, GİSBİR Yayınları, İstanbul.

IACS Confined Space Safe Practice (2000), Rec. 2000/Rev.2 2007/Corr.1 2017

Işık, M. K. (2016). Gemi Bakım Ve Onarım Sektörü Kapalı Alanlarında İş Sağlığı Ve Güvenliği, ÇSGB İş Sağlığı ve Güvenliği İstanbul Uzmanlık Tezi.

Kontovas, C. A. (2005). Formal Safety Assessment Critical Review and Future Role, (Yüksek

LisansTezi/MSc thesis), School of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens.

Michael, K. H., William, M. E., William, L., Christopher, D., Michael, D. M., Richard, H.&R. S. (2007). Manganese Exposures During Shielded Metal Arc Welding (SMAW) in an Enclosed Space, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 2(8):375-382.

OSHA, (2015). 29 CFR Part 1926 Confined Spaces in Construction; Final Rule.

Pettit, T., Linn, H. (1987). A Guide to Safety in Confined Spaces., Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 87-113, s.1-20.

Stojkovic, A. (2013). Occupational Safety In Hazardous Confined Space, Safety Engineering, (3):137-144

Toklu, A.S., Mirasoğlu, B. (2015). Çeken Akıntılar ve Suda Boğulmalar, Editörler: S.Beji ve B.Barlas, İstanbul Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, İstanbul, s. 46-56.

Washington Administration Code, (2018). Chapter 296-809 WAC, Safety Standards for Confined Spaces, s. 1-11.

Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, (2013).EK-4, Kabul Tarihi: 05.10.2013

Yavuz, K. (2012). Tersanelerde Kazaların Önlenmesi ve İş Güvenliği: Tuzla Tersaneleri, (Yüksek LisansTezi/MSc thesis), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, A.İ., Yılmaz F., Celebi, U.B. (2014). Analysis of Shipyard Accidents in Turkey, British Journal of Applied Science & Technology, (5): 472-481.

Derin Su Yarı Batık Platformlarının Global Yorulma Analizi

Özgür Özgüç

ozguco@itu.edu.tr

İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Yarı batık açık deniz yapıları petrol ve doğal gaz sektöründe yaygın olarak kullanılır. Özellikle arama, sondaj, kurulum ve konaklama amaçlarında hizmet vermektedir. Derin ve sert sularda operasyon yapabilmek için dizayn edilirler. Yorulma, açık deniz çelik yapılar için kaçınılmaz problemlerden biri olarak bilinir. Tasarıma bağlı olarak, birçok bağlantı yapılarını içeren yarı batıklar özellikle yorulma yaralanmasına maruz kalırlar. Yorulma analizleri, tasarım aşamasında tekne yapısının yeterli bir yorulma mukavemetine sahip olması için detaylı bir şekilde yapılır. Bu çalışmanın temel amacı, derin su yarı-batık yapının yorulma hasarını hesaplamak ve yorulma ilişkili dizayn faktörleri ile birlikte yapısal bileşenleri dikkate alarak 40 ~ 400 yıl için ömür yeterliliğini teyit etmektir. Elde edilen sonuçlar özetlenip tartışmaya açılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yorulma yaralanması, yarı batık yapıları, tekne yapısı, dinamik yükler, S-N eğrileri.

Makale geçmişi: Geliş 13/10/2018 – Kabul 25/11/2018

Global Fatigue Assessment for Deepwater Semi-submersible Platform

Özgür Özgüç

ozguco@itu.edu.tr

Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

ABSTRACT

Semi-submersible off-shore rigs are widely operated in offshore oil and gas industry, especially it serves the purpose of drilling, exploration, installation and accommodation purposes. It is designed for operating in deep waters and harsh environments. Fatigue damage is known as one of the unavoidable problems for offshore steel structures. Depending on the design type; a semi-submersible hull structure consists of connections that are prone to fatigue damage. Fatigue analyses should be carried out during the design stage so that the hull structure can have an adequate fatigue life. The main objective of this study is to calculate global fatigue damage and confirm the adequacy of the deepwater semi-submersible rig for 40 ~ 400 years life, where the structural components with respective design fatigue factors are accounted for. The results and insights derived from the present study are summarized and discussed.

Keywords: Fatigue damage, semi-submersible rig, hull structure, dynamic waves, S-N curves.

Article history: Received 13/10/2018 – Accepted 25/11/2018

1. Introduction

A semi-submersible is with minimum 20 years design life. The structure is exposed to environmental loads, payload, and changes of water ballast due to different operating conditions. The cyclic loads bring about possible fatigue problems and some of the critical locations which are considered sensitive to fatigue which are the connections between column – pontoon and column – brace. Every welded joint and structural detail or other form of stress concentration is a potential source of fatigue cracking and should be taken into consideration as well. Fatigue assessment which is supported by a detailed fatigue analyses are performed to make sure that the structure exposed to extensive dynamic loading has an adequate fatigue life and the estimated fatigue life obtained through analyses is used as a basic for planning inspection and maintenance program during the operation life of the structure.

Xie and Xie, 2009, focused on spectral-based fatigue analysis for offshore semi-submersible rig in South China Sea. The radiation/diffraction theory is used to calculate wave load acting on semi-submersible rig. The 3D FEA model of the rig is generated by using shell element, beam element, and mass element.

In accordance with long-term wave distribution of South China Sea, stress response of the global structure is determined. The fine FEA modelling of typical joint is performed, the result of global FEA is taken as the load boundary condition, and the hotspot stress transfer functions are calculated considering for hydrodynamic load and gravity load. Based on the Miner's rule, the fatigue life of the typical joint are determined by using a spectral fatigue analysis.

The fatigue life on key-components of semi-submersible platform is addressed by Jin et al., 2010 with spectral-based analysis. First of all, the stress responses of whole model platform under the random wave loads are determined. The calculation results of whole model platform for cut-boundary interpolation are generated in local model to calculate the key-component stress responses of the local model. Producing the fatigue stress energy spectrum by scaling the wave energy spectrum and the complex fatigue stress transfer function in detailed local model. The stress response of short-term sea-state is assumed to obey Rayleigh distribution, and the spectral moments are calculated. Finally, the fatigue life of key components is analyzed according to S-N curve and Palmgren-Miner's rule. The results show that the fatigue life of the connection meets the specification requirements, and the key elements are the fatigue sensitive areas of offshore semi-submersible rig.

Jin et al., 2016 addressed to analyse fatigue damage of an integrated structure model, where several methods are developed. An mixture simulation as well as a wind and wave coupling model are constructed to simulate combined wind and wave field accurately and efficiently. Formex algebra and the automatic replication technique are used to establish the parametric integrated model. The relationship between wind/wave and fatigue stress is presented to obtain the time histories of the hotspots' stresses. The fatigue damage of the hotspot is determined at different incident angles by using the rain flow counting method and Miner criterion. Some simulation results are expected to provide important reference for the wind and wave resistant designs in offshore platform design.

Before the oil price plunged from its peak in 2014, the growing demand for affordable and reliable energy especially fossil fuels has driven oil companies to invest in deep water exploration and drilling so as to tap the deep-water reserves. With the help of the technological advances, reserves in deep or ultra-deep water are now more accessible with drilling rigs that are specially designed for the water depth like semi-submersible rigs. Semi-submersibles are known with high payload and better stability with in terms of lesser rolling and pitching during drilling operations. In addition, global warming makes the Arctic and other icy regions more accessible for oil companies to carry out exploration and drilling in order to tap the possibly massive oil reserve in the region. Specially designed semi-submersibles that are able to work in arctic conditions seem to be attractive and practicable options for the possible massive oil and gas development in arctic region (Kok, 2017).

Kok, 2017 performed fatigue calculations on ring pontoon semi-submersibles, where two structural panel located on the pontoon-column connection points at the centre and side of the semi-submersible by using FE model with mesh size of 1cm x 1cm that are generated. Based on the assumptions and the loading condition considered, the adding of sponsons brings minor impact on the semi-submersible in terms of global responses, hydrodynamic load and fatigue life.

Ma and Yao, 2018, performed the fatigue lives of a new type of assembled marine floating platform for special purposes. Firstly, by using ANSYS AQWA software, the hydrodynamic model of the platform was established. Secondly, the structural stresses under alternating change loads were calculated under complex water environments, such as wind, wave, current and ice. The minimum fatigue lives were obtained under different working conditions. The analysis outcomes presented that the fatigue life of the rig structure can meet the requirements.

Ma et al., 2018 assessed fatigue damages on local components of a semi-submersible platform under combined actions of wind and wave loads in time domain. Some improvements are provided in the study to improve the efficiency and accuracy of the whole evaluating process. Firstly, a combined wind and wave relationship as well as an innovative mixture simulation method are used to generate time series of random wind and waves. Moreover, an m-block division method is proposed to compress the number of the complete short-term sea states in the wind-wave scatter diagram. Then, with an improved multiple interpolation sub-model method, the structural stress responses of the local structural components are calculated as is in the whole model analysis. Finally, a modified rain-flow counting method is provided and validated to count the stress cycles efficiently and accurately. Thus, the short- and long-term fatigue damages are computed based on the S-N curve approach and the cumulative fatigue damage rule. In relative agreement with the numerical results by the traditional time-domain method and existing experimental data, these proposed improved methods are demonstrated to be applicable and efficient methods for fatigue damage analyses.

Basically fatigue design is of increasing importance as the platforms are intended to design more cost-efficiently and for longer service. In ordinary ship and offshore structures such as oil tankers, FPSO, FLNG, drill-ships and the pontoons, the side shell is severely exposed to fatigue damages. The fatigue capacity of the side shell is strongly dependent on the local details design. Even small variations in the local design may significantly improve the fatigue capacity. The fatigue life is dependent on some factors such as global and local design, workmanship quality during construction, maintenance, corrosion protection, trade and load history. Offshore structures are subjected to variable cyclic loading during operation. Fatigue happens due to high stress concentrations around welds, and sharp geometric transitions at member connections. Fatigue crack starts at a localized spot and then with cyclic stress gradually increase over the cross section of the member.

Fatigue damages reduce the load-carrying capacity of the structure, and eventually may cause leakages, environmental pollutions, cargo mixing, contaminations or gas accumulating in enclosed spaces. In more serious cases, such structural damage may lead to catastrophic failure or even total loss of offshore units.

The main objective of this study is to calculate global fatigue damage and confirm the adequacy of the deepwater semi-submersible rig for 40 ~ 400 years life, where the structural components with respective design fatigue factors are accounted for.

2. Column Stabilized Semi-submersible Design

The facility is a column-stabilised, offshore semi-submersible production unit supporting hydrocarbon processing systems and utilities, as well as living quarters for about 220 people.

The facility will be towed about 6,500 kilometres to the offshore Western Australia. It will be permanently moored near the field for the life of the project by 28 mooring lines, representing more than 27,000 tonnes of the anchor chain.

The main dimensions on the hull are given in Table 1 and Table 2 as follows.

Table 1. Main dimensions – General.

Operation draught (from keel)	26,00 m
Height, keel to underside Topsides BOS	48,00 m
Height, keel to main deck, TOS	62,00 m
Hull outer dimension excluding Guide Tube Box	110,30 m
Hull outer dimension including Guide Tube Box	118,675 m
Column spacing (centre to centre), (longitudinal and transverse)	83,65 x 83,65 m

Table 2. Main dimensions – Columns (rectangular types).

Number of columns	4
Width	26,65 m
Corner radius	6,20 m
Height from keel to top of column	48,00 m
Number of columns	4

A computerized hull structural and finite element (FE) models are demonstrated in Figure 1 and Figure 2.

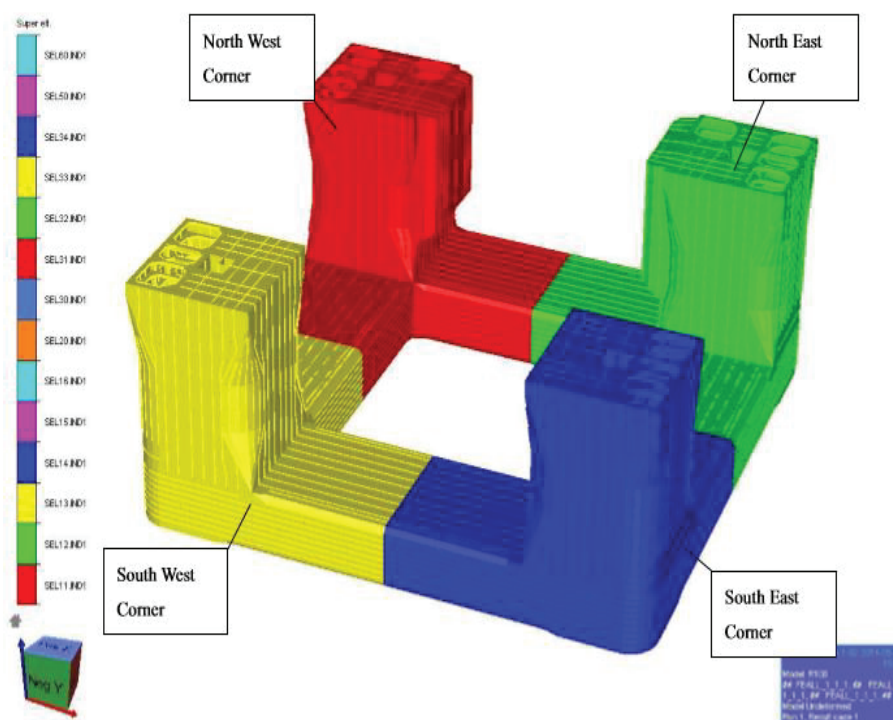


Figure 1. Hull main dimensions.

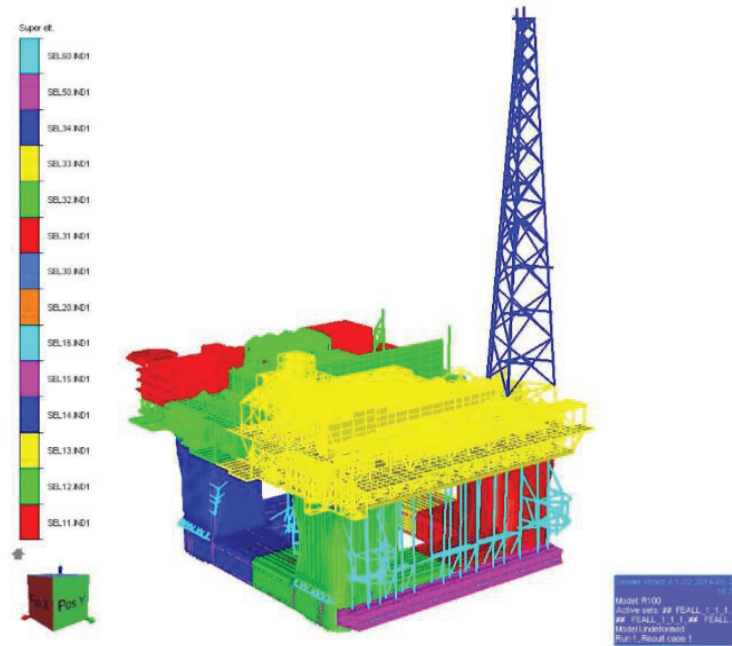


Figure 2. Computer finite element (FE) model.

The four-node shell element, three-node shell element, beam element and rod element are used for the Finite Element (FE) model. The unit for length and force is m and N respectively. When calculating the fatigue damage, the unit of stress is converted to MPa (N/mm²). The material density and Young's modulus are 7.85E3 kg/m³ and 2.1E11 N/m² respectively.

FE models are generated based on gross scantling, which is sum of net scantling and DNV Class corrosion margin. The whole platform FE model with one longitudinal stiffener mesh is used for the global fatigue analysis such as typical element size are 600 mm.

3. Fatigue Cumulative Damage

The fatigue life may be calculated based on the S-N fatigue approach under the assumption of linear cumulative damage (Palmgrens-Miner rule).

When the long-term stress range distribution is expressed by a stress histogram, consisting of a convenient number of constant amplitude stress range blocks $\Delta\sigma_i$ each with a number of stress repetitions n_i the fatigue criterion reads (DNVGL-RP-C203, 2010);

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = \frac{1}{\bar{a}} \sum_{i=1}^k n_i \cdot (\Delta\sigma_i)^m \leq \eta \quad (1)$$

Where,

- D = accumulated fatigue damage
- \bar{a}, m = S-N fatigue parameters
- k = number of stress blocks
- n_i = number of stress cycles in stress block i
- N_i = number of cycles to failure at constant stress range $\Delta\sigma_i$
- η = usage factor. Accepted usage factor is defined as $\eta = 1.0$

Applying a histogram to express the stress distribution, the number of stress blocks, k , is to be large enough to ensure reasonable numerical accuracy, and should not be less than 20. Due consideration should be given to selection of integration method as the position of the integration points may have a significant influence on the calculated fatigue life dependent on integration method (DNVGL-RP-C206, 2012).

When the long-term stress range distribution is defined by applying Weibull distributions for the different load conditions, and a one-slope S-N curves is used, the fatigue damage is given by,

$$D = \frac{v_0 T_d}{\bar{a}} \sum_{n=1}^{N_{load}} p_n q_n^m \Gamma\left(1 + \frac{m}{h_n}\right) \leq \eta \quad (2)$$

Where,

- N_{load} = total number load conditions considered
- p_n = fraction of design life in load condition n , $\sum p_n \leq 1$, but normally not less than 0.85
- T_d = design life of ship in seconds (20 years = 6.3×10^8 sec.)
- h_n = Weibull stress range shape distribution parameter for load condition n ,
- q_n = Weibull stress range scale distribution parameter for load condition n
- v_0 = long-term average response zero-crossing frequency
- $\Gamma\left(1 + \frac{m}{h_n}\right)$ = gamma function.

The Weibull scale parameter is defined from the stress range level, $\Delta\sigma_0$, as,

$$q_n = \frac{\Delta\sigma_0}{(\ln n_0)^{1/h_n}} \quad (3)$$

where n_0 is the number of cycles over the time period for which the stress range level $\Delta\sigma_0$ is defined. ($\Delta\sigma_0$ includes mean stress effect) the zero-crossing-frequency may be taken as,

$$v_0 = \frac{1}{4 \cdot \log_{10}(L)} \quad (4)$$

where L is the ship rule length in meters.

Alternatively, in combination with calculation of stress range $\Delta\sigma_0$ by direct analyses, the average zero crossing frequency.

When the long term stress range distribution is defined through a short term Rayleigh distribution within each short term period for the different loading conditions, and a one-slope S-N curve is used, the fatigue criterion reads as,

$$D = \frac{v_0 T_d}{\bar{a}} \Gamma\left(1 + \frac{m}{2}\right) \sum_{n=1}^{N_{load}} p_n \cdot \sum_{\substack{\text{all seastates} \\ \text{all headings}}} r_{ijn} (2\sqrt{2m_{0ijn}})^m \leq \eta \quad (5)$$

Where,

- r_{ij} = the relative number of stress cycles in short-term condition i, j
- v_0 = long-term average response zero-crossing-frequency,

m_{0j} = zero spectral moment of stress response process

The Gamma function, $\Gamma(1 + \frac{m}{2})$ is equal to 1.33 for $m = 3.0$.

The aim of the study and the literature review should be given in detail in the introduction section, with or without subheadings.

3.1. S-N Curve

The fatigue design is based on use of S-N curves that are obtained from fatigue tests. The design S-N curves which follow are based on the mean-minus-two-standard-deviation curves for relevant experimental data. The S-N curves are thus associated with a 97.6% probability of survival.

The S-N curves are applicable for normal and high strength steels used in construction of hull structures.

The basic design S-N curve is given as,

$$\log N = \log \bar{a} - m \log \Delta \sigma \tag{6}$$

Where,

N = predicted number of cycles to failure for stress range $\Delta \sigma$

$\Delta \sigma$ = stress range

m = negative inverse slope of S-N curve

$\log \bar{a}$ = intercept of $\log N$ -axis by S-N curve

$$\log \bar{a} = \log a - 2 s \tag{7}$$

Where,

a = is constant relating to mean S-N curve

s = standard deviation of $\log N$;

$s = 0.20$

S-N Curve F3 is used in the fatigue damage calculations and given in Table 3 and Table 4.

Table 3. S-N Curve in Air (DNVGL-RP-C203, 2010).

Table 2-1 S-N curves in air						
S-N curve	$N \leq 10^7$ cycles		$N > 10^7$ cycles $\log \bar{a}_2$ $m_2 = 5.0$	Fatigue limit at 10^7 cycles *)	Thickness exponent k	Stress concentration in the S-N detail as derived by the hot spot method
	m_1	$\log \bar{a}_1$				
B1	4.0	15.117	17.146	106.97	0	
B2	4.0	14.885	16.856	93.59	0	
C	3.0	12.592	16.320	73.10	0.15	
C1	3.0	12.449	16.081	65.50	0.15	
C2	3.0	12.301	15.835	58.48	0.15	
D	3.0	12.164	15.606	52.63	0.20	1.00
E	3.0	12.010	15.350	46.78	0.20	1.13
F	3.0	11.855	15.091	41.52	0.25	1.27
F1	3.0	11.699	14.832	36.84	0.25	1.43
F3	3.0	11.546	14.576	32.75	0.25	1.61
G	3.0	11.398	14.330	29.24	0.25	1.80
W1	3.0	11.261	14.101	26.32	0.25	2.00
W2	3.0	11.107	13.845	23.39	0.25	2.25
W3	3.0	10.970	13.617	21.05	0.25	2.50
T	3.0	12.164	15.606	52.63	0.25 for SCF ≤ 10.0 0.30 for SCF > 10.0	1.00

*) see also section 2.10

Table 4. S-N Curve in Seawater with cathodic protection (DNVGL-RP-C203, 2010).

Table 2-2 S-N curves in seawater with cathodic protection						
S-N curve	$N \leq 10^6$ cycles		$N > 10^6$ cycles $\log \bar{a}_2$ $m_2 = 5.0$	Fatigue limit at 10^7 cycles ^{*)}	Thickness exponent k	Stress concentration in the S-N detail as derived by the hot spot method
	m_1	$\log \bar{a}_1$				
B1	4.0	14.917	17.146	106.97	0	
B2	4.0	14.685	16.856	93.59	0	
C	3.0	12.192	16.320	73.10	0.15	
C1	3.0	12.049	16.081	65.50	0.15	
C2	3.0	11.901	15.835	58.48	0.15	
D	3.0	11.764	15.606	52.63	0.20	1.00
E	3.0	11.610	15.350	46.78	0.20	1.13
F	3.0	11.455	15.091	41.52	0.25	1.27
F1	3.0	11.299	14.832	36.84	0.25	1.43
F3	3.0	11.146	14.576	32.75	0.25	1.61
G	3.0	10.998	14.330	29.24	0.25	1.80
W1	3.0	10.861	14.101	26.32	0.25	2.00
W2	3.0	10.707	13.845	23.39	0.25	2.25
W3	3.0	10.570	13.617	21.05	0.25	2.50
T	3.0	11.764	15.606	52.63	0.25 for SCF \leq 10.0 0.30 for SCF $>$ 10.0	1.00

^{*)} see also 2.10

4. Fatigue Damage Assessment Procedure

The analysed model includes the hull and topside structure. Results for main elements of hull are presented in this study. The global dynamics analysis returns the 200 years stress amplitude for operating and 10^{-5} probability stress amplitude for towing condition. The loading consists of global extreme design wave loads with 200 years return period for operating condition and 10^{-5} probability for towing condition respectively. The direction of the design waves are chosen to give the maximum response at various locations on the platform (DNVGL-OS-C103, 2015).

Stochastic fatigue analysis is performed in order to calculate the fatigue damage of the hull. Global model loading includes unit waves, hydrodynamic loads and accelerations due to platform motions. The long-term stress distribution is obtained by multiplying chosen wave spectra and scatter diagram with the principal stress transfer functions obtained from the dynamic wave response analysis (DNVGL-OS-C101, 2016).

Additionally, the damage (Miner-Palmgren rule) due to long-term stress distribution will be calculated with specific S-N curve, DFF and SCF. Stress points are taken into the element corner points. The shell element top and bottom sides were put into consideration when extracting principal stresses and damage. The dynamic wave response analysis is performed by using WADAM, which provides input to the structural analysis in forms of hydrodynamics forces and inertia forces. SESTRAS is used for structural analysis and fatigue damage is calculated by STOFAT module (DNV SESAM, 2011).

Semi-submersible platform is designed to withstand a total of 40 years' life duration taking into account on-site and towing loading from shipyard to on-site. Following flow diagram for global fatigue calculation is provided in Figure 3, where how those parameters are used and implemented in the fatigue assessment. Corresponding number of cycles and critical stress are also referred to corresponding to S-N Curves given by DNV-OS-C203 Standard.

In the global model that typical element size are 600 mm. Even if 8noded elements are used, the results from the FE analysis are to be considered as nominal stress because the elements are too big to give

realistic stress concentrations in the hotspot detail. The stresses must be scaled with a geometrical SCF before fatigue damage is calculated. Magnitude SCF is depending on the detail.

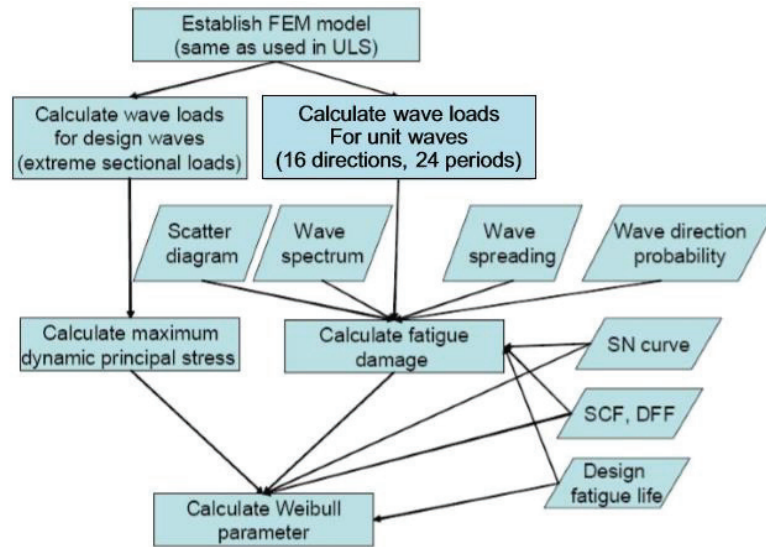


Figure 3. Flow diagram for global fatigue calculation.

Solution (displacements) of the global analysis is transferred to the local models using submodelling technique. The idea of submodelling is in general that a portion of a global model is separated from the rest of the structure, re-meshed and analyzed in greater detail. The calculated deformations from the global analysis are applied as boundary conditions on the borders of sub models.

5. Fatigue Input for Operating Condition

Omnidirectional Hs-Tp scatter diagram with wave spreading (short-crested seas) have been used as shown in the following Table. The JONSWAP wave spectrum has been used for parameterizing sea states in the scatter diagram.

Cos8 wave spreading is used for accounting wave spreading which corresponding to a wave-spread factor of 0.9. Wave loads are generated in WADAM (DNV Sesam, 2011) and after stiffness analysis; the fatigue damage is calculated by using STOFAT. In the analysis the following 24 wave periods varying from 0.8 ~ 2.1 rad/s (equivalent to 3 to 35 seconds) and 16 wave directions have been accounted for.

Table 5. S-N Curve in Seawater with cathodic protection (DNVGL-RP-C203, 2010).

Wave Direction (degree)	Wave Periods (rad/s)																							
	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
0	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
22.5	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
45	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
67.5	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
90	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
112.5	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
135	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
157.5	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
180	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
202.5	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
225	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
247.5	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
270	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
292.5	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
315	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1
337.5	0.18	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1

The stochastic fatigue analysis is performed with S-N F3 curve for seawater with cathodic protection (DNVGL-RP-C203, 2010), where the unit waves are presented in Table 5.

6. Fatigue Input for Towing Condition

The fatigue damage for towing is calculated by using wave scatter from Korea to Australia as given in Table 6. Total towing duration is assumed 38 days with towing speed 3.5 knots of average speed. Wave scatter for each sail away scenario will be made under the duration time at each location, season and probability of sea state (DNV-RP-F205, 2010).

Table 6. Transit Route D from Korea to Australia – Speed 3.5 knots

Route D	Distance (nm)	Duration (38 day Base)	Duration (48 day Base)	No delay	1 month delay	2 month delay	3 month delay	4 month delay	5 month delay	6 month delay
WW1	271	3.2	4.07	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
WW2	240	2.9	3.69	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
WW3	301	3.6	4.58	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
WW4	300	3.6	4.58	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
WW5	330	3.9	4.97	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
WW6	662	7.9	10.06	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
WW7	568	6.8	8.66	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
WW8	292	3.5	4.46	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
Ichthys	189	2.3	2.93	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
Total	3,153	38	48							

Wave scatter for each sail away scenario will be made under the duration time at each location, season, and probability of sea state. JONSWAP peakedness parameters based on DNV simplified method are summarized in below Table 9. JONSWAP peakedness parameters based on DNV simplified method. Most of the peakedness parameters for the sea state over 5% probability are below 2.0. Therefore, JONSWAP peakedness parameter 2.0 shall be used in towing fatigue analysis. Wave scatter for 1-month delay sail away case is shown in Table 7. An example of combined wave scatter is shown below in Table 8.

Table 7. Wave scatter for 1-month delay sail away case.

Hs[m]	Tp [sec]											Total
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	
0.25		2.884	6.758	0.774	1.098	1.934	1.114	0.147	0.027			14.735
0.75		3.795	7.591	1.861	0.983	1.634	1.406	0.232	0.065	0.008		17.577
1.25		0.204	6.519	5.569	3.414	1.099	0.576	0.192	0.023			17.595
1.75			3.639	7.333	5.817	1.048	0.344	0.082	0.021			18.285
2.25		0.001	0.737	6.186	5.342	0.852	0.177	0.044	0.008			13.347
2.75			0.037	3.290	3.666	0.581	0.130	0.012				7.715
3.25				1.695	2.440	0.637	0.029	0.007				4.809
3.75				0.487	1.868	0.298	0.006	0.004				2.663
4.25				0.086	1.307	0.206	0.000					1.599
4.75				0.002	0.692	0.167	0.000					0.862
5.25					0.301	0.120	0.002					0.422
5.75					0.091	0.110	0.001					0.202
6.25					0.014	0.164	0.014					0.192
Total	0.000	6.885	25.281	27.284	27.033	8.849	3.800	0.719	0.144	0.008	0.000	100.002

Table 8. Combined wave scatter.

Wave scatter for area 1			Wave scatter for area 2		
Hs / Tp	1 sec	2 sec	Hs / Tp	1 sec	2 sec
0.5m	0.1	0.4	0.5m	0.05	0.15
1.0m	0.2	0.3	1.0m	0.3	0.5
Duration (day)	3		Duration (day)	7	

Combined wave scatter		
Hs / Tp	1 sec	2 sec
0.5m	0.1 x 3 + 0.05 x 7	0.4 x 3 + 0.15 x 7
1.0m	0.2 x 3 + 0.3 x 7	0.3 x 3 + 0.5 x 7
Duration (day)	10	

The most severe wave scatter data among 7 scenarios described in below Table 9 is 1 month delay case (=2 month delay case) based on wave energy ($H^2 \times \text{probability}$). The wave scatter for 1 month delay case will be used for towing fatigue analysis. $H_s - T_p$ contours for 10^{-5} probability level are considered in towing design wave condition for simplified fatigue analysis (DNVGL-RP-C206, 2012) and presented in Figure 4. It is obtained from the above wave scatter diagram data and shown below in Table 9.

Table 9. JONSWAP peakedness parameters based on DNV simplified method (DNV-OS-C206, 2012).

Hs [m]	Tp [sec]										
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
0.25		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
0.75		5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
1.25		5.00	1.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
1.75			4.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
2.25		5.00	5.00	1.47	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
2.75			5.00	2.45	1.00	1.00	1.00	1.00			
3.25				3.61	1.01	1.00	1.00	1.00			
3.75				4.92	1.50	1.00	1.00	1.00			
4.25				5.00	2.07	1.00	1.00				
4.75				5.00	2.72	1.00	1.00				
5.25					3.43	1.26	1.00				
5.75					4.19	1.61	1.00				
6.25					5.00	1.99	1.00				

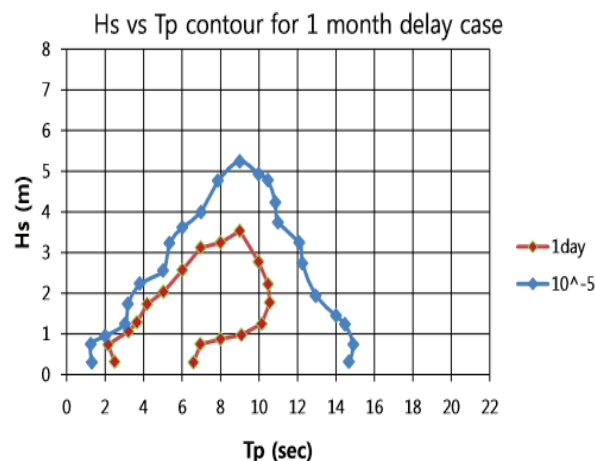


Figure 4. $H_s - T_p$ contours for 1 month delay case for towing state.

7. Loads

Table 10. Load cases for 200 years return period for operating conditions.

Complex load no	Parameter	Wave heading (deg.)	Wave period (sec)	Wave amplitude (m)	Response
					90% fractile
CL1	Longitudinal Split Force	0	11.5	8.41	215.83 [MN]
CL2	Transverse Split Force	270	11.5	8.50	228.55 [MN]
CL3	Roll Connection Moment	330	8.0	4.26	2375.77 [MNm]
CL4	Pitch Connection Moment	60	8.0	3.04	1970.07 [MNm]
CL5	Longitudinal Shear Force	315	8.0	7.76	66.92 [MN]
CL6	Longitudinal Shear Force	315	11.5	9.7	66.92 [MN]
CL7	Transverse Shear Force	225	8.0	7.87	69.49 [MN]
CL8	Transverse Shear Force	225	11.0	9.62	69.49 [MN]
CL9	Longitudinal Racking Force	180	8.0	5.53	0.94 [m/s ²]
CL10	Transverse Racking Force	270	8.0	5.47	0.98 [m/s ²]
CL11	Vertical Racking Force	0	13.5	9.76	1.28 [m/s ²]
CL12	Longitudinal Split Force	30	11.5	8.62	152.31 [MN]
CL13	Longitudinal Split Force	210	11.5	8.72	152.35 [MN]
CL14	Transverse Split Force	300	12.0	8.61	163.66 [MN]
CL15	Transverse Split Force	240	12.0	8.61	163.05 [MN]

Table 11. Load cases for 10⁵ probability for towing conditions (at 15m draft).

Complex load no	Parameter	Wave heading (deg.)	Wave period (sec)	Wave amplitude (m)	Response
					90% fractile
CL1	Longitudinal Split Force	0	11.5	8.41	215.83 [MN]
CL2	Transverse Split Force	270	11.5	8.50	228.55 [MN]
CL3	Roll Connection Moment	330	8.0	4.26	2375.77 [MNm]
CL4	Pitch Connection Moment	60	8.0	3.04	1970.07 [MNm]
CL5	Longitudinal Shear Force	315	8.0	7.76	66.92 [MN]
CL6	Longitudinal Shear Force	315	11.5	9.7	66.92 [MN]
CL7	Transverse Shear Force	225	8.0	7.87	69.49 [MN]
CL8	Transverse Shear Force	225	11.0	9.62	69.49 [MN]
CL9	Longitudinal Racking Force	180	8.0	5.53	0.94 [m/s ²]
CL10	Transverse Racking Force	270	8.0	5.47	0.98 [m/s ²]
CL11	Vertical Racking Force	0	13.5	9.76	1.28 [m/s ²]
CL12	Longitudinal Split Force	30	11.5	8.62	152.31 [MN]
CL13	Longitudinal Split Force	210	11.5	8.72	152.35 [MN]
CL14	Transverse Split Force	300	12.0	8.61	163.66 [MN]
CL15	Transverse Split Force	240	12.0	8.61	163.05 [MN]

The maximum dynamic stresses have been calculated by using design waves as shown in the Table 10 and Table 11 as above. Only the maximum hogging and sagging ballast condition have been accounted for (DNV-RP-C205, 2014).

8. Results and Discussion

The main purpose of this study is to calculate global fatigue limit state (FLS) and confirm the adequacy of the deepwater semi-submersible rig for 40 ~ 400 years life for the structural components with respective design fatigue factors. The computer model consist of all structural members such as all main bearing elements, columns, nodes and pontoons in the hull are modelled with shell elements for webs and beam element for flanges. Stiffeners are lumped and modelled as beam elements with correct sectional areas.

Ballast water is distributed in pontoons in such way that maximum hogging and sagging conditions are simulated. This is achieved by filling one pontoon and keeping one pontoon empty. Two analyses have been run; one dynamic analysis and one stochastic fatigue analysis. The global dynamic analysis returns the 200 years stress amplitude for operating and 10^{-5} probability stress amplitude for towing condition. The loading consists of global extreme design wave loads with 200 years return period for operating condition and 10^{-5} probability for towing condition respectively.

The fatigue damage is calculated by using a stochastic analysis based on a long term wave statistics (DNVGL-RP-C203, 2010). An omni-directional scatter diagram is used. Directional probabilities for 16 evenly spaced wave directions are used. Totally 24 wave periods varying from 0.18 ~ 2.1 rad/s (equivalent to 3 to 35 seconds) are used. For towing condition, combined wave scatter diagram is considered according to the towing route from Korea to Australia and departure scenarios. 1 month delay case is the most severe scenario and it is taken into account in towing fatigue analysis (DNV STOFAT, 2011).

The conclusions can be drawn such as the fatigue damage is below 0.4 except for the areas around the castings in operating condition as shown in Figure 5 while the fatigue damage is below 0.4 except for the areas around the castings in towing condition as presented in Figure 6.

Figure 5 and Figure 6 show the stochastic fatigue analysis using global model. Noticed that fatigue life higher than the minimum required design life of at least 40 years such as the pontoon-column connection facing inwards (Figure 5) and those on the side shells that facing outboard (Figure 6) which are the critical areas. The fatigue life is 40 years and above.

Figure 5 shows the fatigue usage factor of the global model. Noticed that the whole model is with very low usage factor except that for critical such as the connection between pontoon/column, the usage factor is close to 0.4. Figure 6 shows the expected fatigue life for the model. Noticed that all locations are with fatigue life of at least above 40 years. As the design life is only 40 years, thus the structure is with fatigue design factor >10 except the connection point and a few other locations.

In overall, the analysis results show that in particular the major intersections of pontoon / column of a typical ring pontoon unit are sensitive to the fatigue cracking, such as,

- centre bulkhead pontoon / column intersection at pontoon upper deck
- pontoon outer wall / column intersection at pontoon upper deck
- pontoon / pontoon intersections.

The wave loads fatigue damage is calculated assuming it follows Rayleigh distribution. However, other load components that have different distribution, fatigue damage should be calculated in different way and total fatigue damage is calculated by summing up damage from each load component. Besides wave induced loads, following load components should also be considered in the future work.

- Low Cycle Loads due to Cargo Loading/Offloading,
- Wind Loads,
- 2nd order slowly drifting forces.

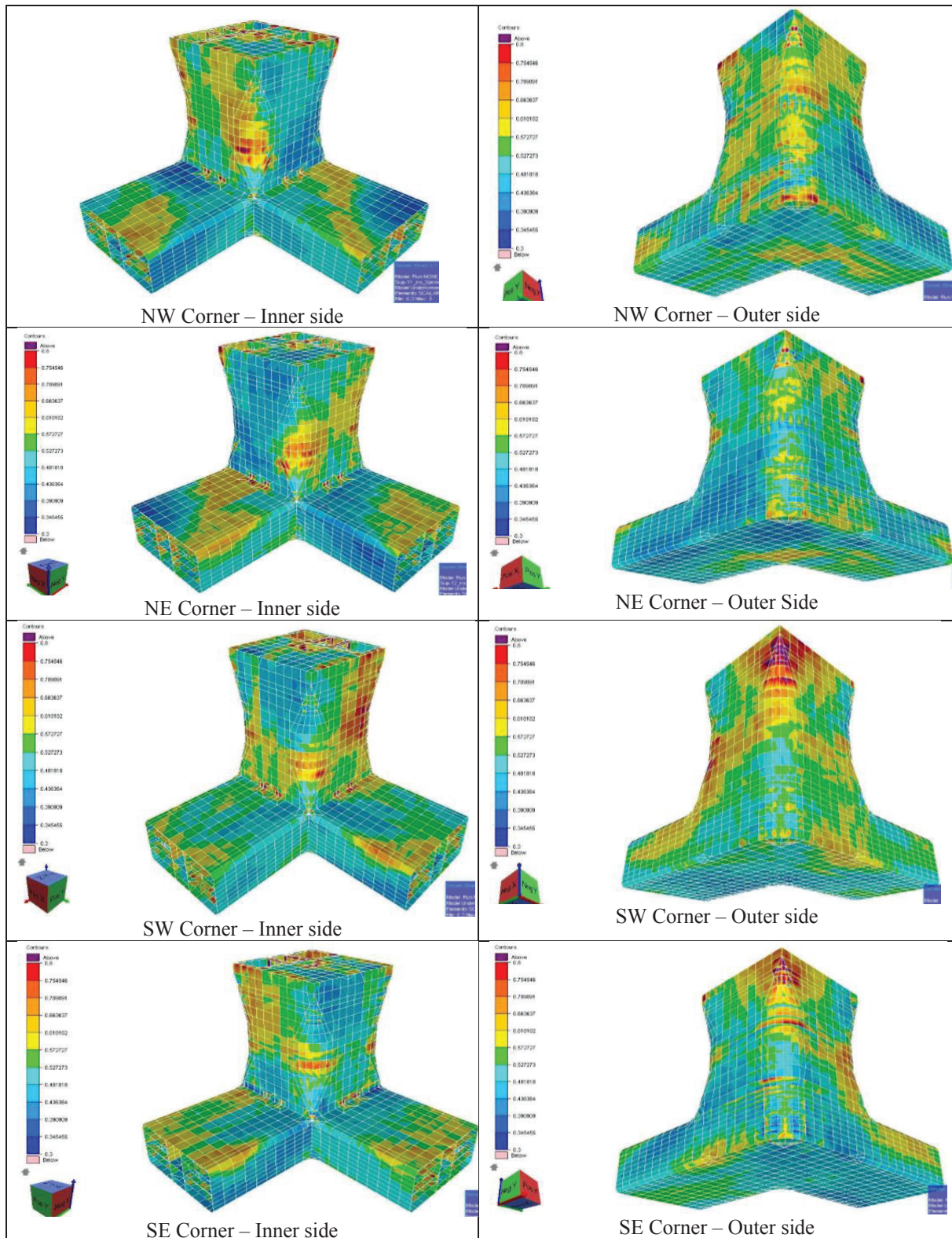


Figure 5. Calculated fatigue damage for operating condition.

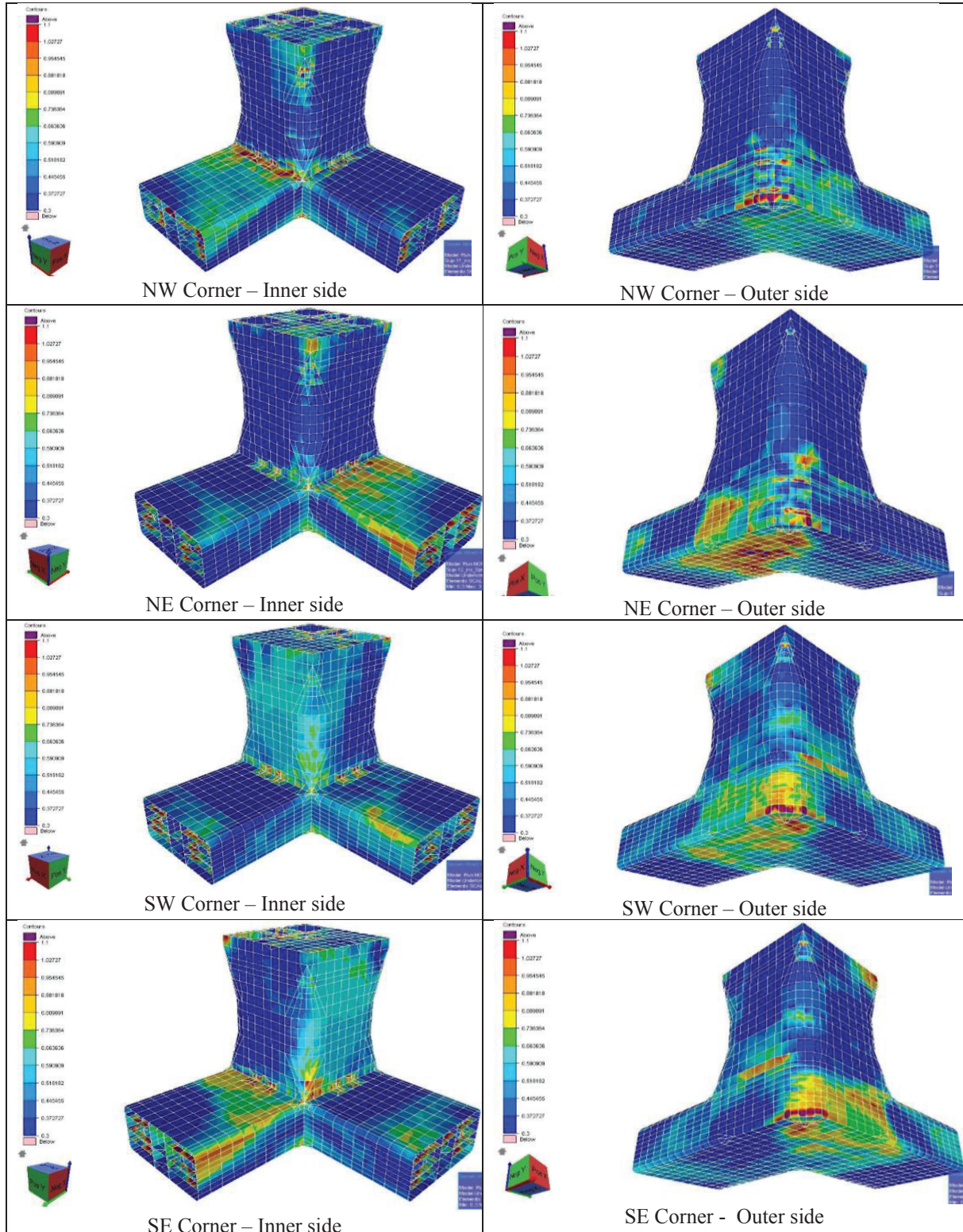


Figure 6. Calculated fatigue damage for towing condition.

Wind load or 2nd order drifting force is related to details in offshore area. Therefore, only low cycle loads from cargo loading/unloading should also be considered as non-wave frequency loads in fatigue damage assessment of semi-submersible hull structure.

9. References

- Cui, L., Xu, J., He, Y., and Jin, W. (2010). Fatigue Analysis on Key Components of Semi-Submersible Platform. ASME. International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Volume 2:671-675.
- DNV-GL (2015). DNVGL-OS-C103, Structural Design of Column Stabilised Units - LRFD method.
- DNV (2011). Sesam User Manual.
- DNV (2010). DNV-RP-F205, Global Performance Analysis of Deep Water Floating Structure.
- DNV-GL (2016). DNVGL-OS-C101, Design of Offshore Steel Structures - LRFD Method.
- DNV (2014). DNV-RP-C205, Environmental Conditions and Environmental Loads.
- DNV-GL (2012). DNVGL-RP-C206, Fatigue Methodology of Offshore Ships.
- DNV-GL (2010). DNVGL-RP-C203, Fatigue Design of Offshore Steel Structure.
- DNV (2011). Fatigue Assessment Using SESAM Program Modules Stofat, Framework and Postresp.
- Kok, Y.G. (2017). Fatigue Analysis of Semi-submersible, Master Thesis, West Pomeranian University of Technology, Szczecin.
- Ma, G and Yao, Y. (2018). Fatigue Analysis of Assembled Marine Floating Platform for Special Purposes under Complex Water Environments, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 128 012062.
- Ma, J., Zhoi, D., Pan, X., and Zhu, H. (2016). Proceedings of IASS Annual Symposia, IASS 2016 Tokyo Symposium: Spatial Structures in the 21st Century – Computational Methods, pp. 1-10(10).
- Ma, J., Zhou, D., Bao, Y., and Han, Z. (2018). Fatigue Assessment on Local Components of a Semi-submersible Platform Subjected to Wind and Wave Loads, Journal of Vibroengineering, Vol. 20, Issue 2, pp. 988-1006.
- Xie, B. and Xie, W. (2009). Spectral-based Fatigue Analysis for Deepwater Semi-Submersible Rig in South China Sea, International Society of Offshore and Polar Engineers.
- https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik_kabotaj.aspx [Online] [Erişim 19.02.2018]

Açık Deniz Yarı Batık Yapılarının Çarpışma Analizi

Özgür Özgüç

ozguco@itu.edu.tr

İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Açık deniz yapı birimleri, insan yaşamı, çevresel felaketler ve yapının tamamen kaybı gibi ciddi etkilere ve kayıplara yol açabilecek karmaşık tesisler olarak bilinir. Ayrıca, inşaat ve bakım masrafları çok yüksek olduğundan, tüm hizmet ömürleri boyunca tam olarak çalışır durumda tutmak önemlidir. Bu çalışmada, dikey bir kazık yarı-batık bir açık deniz yapısının yanına çarptığında ortaya çıkan yüklerin bir çarpışma analizi yapılmıştır. İki düzlem incelenmekte olup, örneğin, ponton tarafına paralel düşey kazık ve dikey kazık ile ponton kenarı arasındaki küçük bir açığa sahip bir eğimli platform kılıfı gibi bir düzlem darbe durumu. Mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlar ve görüşler özetlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Dikey deniz kazığı, yarı batık platformları, çarpışma analizi, yaralanmış yapı.

Makale geçmişi: Geliş 21/10/2018 – Kabul 14/11/2018

Impact Analysis of Semisubmersible Pontoon – Pile

Özgür Özgüç

ozguco@itu.edu.tr

Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

ABSTRACT

Offshore units are known as complex facilities that can lead to serious impacts and losses, such as human lives, environmental disasters and the complete loss of the structure. In addition, since the cost associated to their construction and maintenance is very high, it is important to keep them fully operational throughout their whole service life. In this study, an impact analysis is performed that the loads arising when a vertical pile strikes against the side of a semisubmersible pontoon structure. Two cases are being investigated, such as one plane impact case with the vertical pile parallel to the pontoon side and one tilted platform case with a small angle between the vertical pile and the pontoon side. The results and insights developed from the present work are summarized.

Keywords: Vertical pile, semi-submersible platform, impact analysis, damaged structure.

Article history: Received 21/10/2018 – Accepted 14/11/2018

1. Introduction

Experiences with offshore and other structures show that catastrophic accidents often are initiated by human errors that cause accidental actions that escalate progressively into undesirable consequences. Robustness may be achieved by specific Accidental Collapse Limit State (ALS) criteria. A quantitative, semi-probabilistic ALS procedure has been introduced for offshore in terms of a survival check of damaged structural systems. The risk analysis methodology on which the procedure rests, is described with an emphasis on determining the characteristic accidental actions with due account of possible risk reduction actions. Since the ALS procedure is based on an alternate path approach, methods for predicting the initial accidental damage and the survival of the damaged structure need to account for nonlinear structural behaviour (Moan T, 2009).

Nemati and Azarsina (2016) analyzed the impact of a wind turbine offshore supply vessel with 5 different mass displacements numerically. The effects of static preload weight of turbine blades and environmental loads such as wind, wave, sea current and the water pressure are accounted on the turbines before hitting the ship dynamics, in terms of the structural behaviour. Parameters such as power and momentum of support, around the turbine horizontal displacement, stress and strain Von-Mises different parts of turbines in different loading conditions compared together and the results are discussed.

A review of accidents involving collisions between ships and offshore platforms was carried out. There are reports and publications that present numbers, statistics and even details of the most important collisions between ships and offshore platforms, especially considering the North Sea region, but publications about accidents in Brazilian waters are rare. Thus, this work reports the few existing publications that consider this problem in Brazilian waters and shows the results of eleven years of collecting data of collisions on Petrobras' platforms (Amante DM and Estefen SF, 2018).

Čekerevac et al., 2017 identified new opportunities for the development of innovative mitigation strategies for the devastating effects associated to accidental actions in offshore platforms, considering the most recent developments in terms of innovative materials and of structural analysis approaches. In this context, this paper discusses the current trends in research and the future challenges related to this issue. This serves to identify the possible methods for improvement of the existing structural mitigation measures.

Pericard Y, and Halse KH, 2017 performed structural impact analyses to give a scientific foundation for an evaluation of the consequences of a possible collision. This work is based on Non-Linear Finite Element Analysis (NLFEA) of the interaction between the platform supply vessel (PSV) and the platform. Due to heavy calculations, only the ship section located close to the crash zone has been modelled and additional masses have been included on each side of this section in order to get the correct ship inertia. These additional masses correspond to the mass of the remaining part of the ship structure. Moreover, the sideways ship motion is modelled with a prescribed initial velocity, and does not contain hydrodynamic response calculations. The NLFEA software package HyperWorks is used to perform the numerical simulations.

In this study, an impact analysis is performed that the loads arising when a vertical pile strikes against the side of a semisubmersible pontoon structure. The results are to serve as basis for design of a fender system for the vertical piles. The strength and arrangement of the analysed pontoon structure correspond to a semisubmersible with a length of about 90-100m and a displacement of 25000-30000 tonnes.

The vertical pile is assumed infinitely stiff (rigid). The pile is assumed to strike the side of the pontoon at the midpoint between transverse web frames. This is the weakest part of the pontoon structure.

Two cases are being investigated, such as one plane impact case with the vertical pile parallel to the pontoon side and one tilted platform case with a small angle between the vertical pile and the pontoon side. The platform tilt angle has been determined by the transverse overturning moment on the semisubmersible due to the wind loads acting (max 200 tonnes). A striking or tilt angle of 5 degrees has been predicted.

2. The Method of Analysis

Two computer routines for calculation of the loads arising in connection with bow and broadside ship collisions developed by Det Norske Veritas (DNV, 2009). The routine BOWCOLL is used to estimate the loads and deformations of a bow striking against a rigid wall. The routine SIDECOLL estimates the resistance of a ship side against penetration by a rigid object (e.g. bow). The two routines are briefly described below.

3. BOWCOLL Routine

In the BOWCOLL routine, the crushing resistance of the bow may be predicted by use of a model originally developed by Amdahl, 1983, or a similar model developed by Yang and Caldwell, 1988. Both approaches involve calculation of the energy dissipated during deformation of the structure.

An explicit solution for estimation of the crushing load according to Amdahl's model is shown below.

$$\sigma_C = 2.42 \cdot \sigma_0 \cdot \left(\frac{n_{AT} \cdot t^2}{A} \right)^{0.67} \cdot \left\{ 0.87 + 1.27 \cdot \frac{(n_C + 0.31 \cdot n_T)}{n_{AT}} \cdot \left[\frac{A}{(n_C + 0.31 \cdot n_T) \cdot t^2} \right]^{0.25} \right\}^{0.67} \quad (1)$$

The total crushing load, P_C , is found by multiplying by the associated cross-section area of the deformed steel material of the side structure,

$$P_C = \sigma_C \cdot A \quad (2)$$

σ_C = Average crushing strength of deformed part of the side structure (MPa)

σ_0 = Dynamic strength of the steel material (MPa)

t = Average plate thickness of the considered cross-section (m)

A = Cross-section area of the deformed steel material (m²)

n_C = Number of cruciforms that the deformed cross-section of the side consists of as shown in Figure 1.

n_T = Number of T-sections contained by the distorted cross-section

n_{AT} = Number of Angle- and T-sections contained by the distorted cross-section

Further, checks are being made that the folding lengths during deformation of the structures do not exceed the spacing between longitudinal girders or depth of transverse web frames by Amdahl, 1983.

According to their method the crushing load of plate structures can be determined from,

$$P_m = 1.178 \cdot \frac{\sigma_o}{H} \cdot \sum_{i=1}^{n_f} b_i \cdot t_i^2 + 0.215 \cdot \sigma_o \cdot H \cdot \sum_{i=1}^{n_{AT}} t_i + 6.935 \cdot \sigma_o \cdot \sum_{i=1}^{n_{AT}} t_i^2 + 0.265 \cdot \sigma_o \cdot H \cdot \sum_{i=1}^{n_T} t_i + 0.589 \cdot \sigma_o \cdot \sum_{i=1}^{n_C} t_i^2 + 0.75 \cdot \sigma_o \cdot H \cdot \sum_{i=1}^{n_C} \sum_{j=1}^4 t_{ij} + 0.375 \cdot \sigma_o \cdot H \cdot \sum_{i=1}^{n_C} \sum_{j=1}^4 t_{ij} \quad (3)$$

The two last terms of Eq. (3) refer to dissipated energy in cruciforms where the energy contributions are summed up over the 4 flanges of the cruciforms.

P_m = Mean crushing load of structure (MN)

σ_o = Mean value of the yield and the tensile strengths of the steel (MPa)

b_i = Width of the i- th plate flange (m)

t_i = Thickness of the i- th plate plange (m)

H = Folding length of the distorted cross - section

n_C = Number of basic cruciforms that the distorted cross - section consists of

n_T = Number of basic T - sections in the considered cross - section

n_{AT} = Number of Angle - and T - sections in the considered cross - section

n_f = Total number flanges of Angle-, T - sections and cruciforms

4. SIDECOLL Routine

In the SIDECOLL routine, the impact load arising during distortion of the ship side has been estimated by adding up the crushing resistance of distorted decks and bulkheads and the resistance due to membrane tension forces developing in the shell plating, decks and bulkheads. The crushing and membrane tension resistance are considered separately and are assumed to be uncoupled (Pettersen and Valsgård, 1983).

The crushing resistance the side structure is calculated by use of the same approach and energy assessments as described for the bow impact, Eqs. (1) and (2), or Eq. (3).

It is further assumed that the deformations of the side structure will follow the shape of the striking object penetrating into the side. The object is in this connection assumed to be rigid. No thorough equilibrium considerations of the plastic forces are made to verify the assumed deformation pattern of the side structure is appropriate, but some coarse checks are made.

In addition to the crushing load the deformation resistance caused by the membrane tension forces in the shell plating and in the distorted deck and bulkheads is calculated. The contribution to the collision load from the tension in the shell plating is,

$$P_{TS} = \int_0^{h_d} 2 \cdot \sigma_y \cdot t_{px} \cdot \sin \alpha \cdot dz + \int_0^{l_d} \sigma_y \cdot t_{pz} \cdot (\sin \beta_u + \sin \beta_l) \cdot dx \quad \varepsilon \leq \varepsilon_{br}$$

$$P_{TS} = 0 \quad \varepsilon \geq \varepsilon_{br} \quad (4)$$

P_{TS} = Resistance due to membrane tension in ship side

σ_y = Yield stress

t_{px} = Equivalent thickness of side plating in longitudinal direction.

α = Horizontal slope angle of the indentation

h_d = Damage height (height of indent)

l_d = Damage length (length of indent)

z = Distance in vertical direction

t_{pz} = Equivalent thickness of side plating in vertical direction

β_u = Upper vertical slope angle of the indentation

β_l = Lower vertical slope angle of the indentation

x = Distance in the longitudinal direction

ε = Strain in ship side

ε_{br} = Rupture strain of steel plating

The equivalent plate thicknesses are represented by the thickness of the plating plus the cross-section area of the stiffeners divided by the spacing. The deformation resistance due to tension forces arising in distorted deck and horizontal stringers is calculated from,

$$P_{TD} = 2 \cdot \sum_{ndck} 0.5 \cdot \sigma_y \cdot t_{pd} \cdot \delta \quad \varepsilon \leq \varepsilon_{br}$$

$$P_{TD} = 2 \cdot \sum_{ndck} 0.5 \cdot \sigma_y \cdot t_{pd} \cdot \delta_{br} \quad \varepsilon \geq \varepsilon_{br}$$

(5)

P_{TD} = Deformation resistance due to membrane tension in distorted decks/stringers
 t_{pd} = Thickness of distorted deck/stringer plating
 δ_{br} = Maximum indentation of deck/stringer at which rupture started
 $ndck$ = Number of distorted decks/stringers

and the resistance of the tension forces in the transverse bulkheads and web frames,

$$P_{TB} = 2 \cdot \sum_{nbhd} 0.5 \cdot \sigma_y \cdot t_{pb} \cdot \delta \quad \varepsilon \leq \varepsilon_{br}$$

$$P_{TB} = 2 \cdot \sum_{nbhd} 0.5 \cdot \sigma_y \cdot t_{pb} \cdot \delta_{br} \quad \varepsilon \geq \varepsilon_{br}$$

(6)

P_{TB} = Deformation resistance due to membrane tension in distorted bulkheads/web frames
 t_{pd} = Thickness of distorted bulkhead/web frame plating
 $nbhd$ = Number of distorted bulkheads/web frames

The total impact load due to indentation of the side structure of the ship, P_{Side} , is correspondingly found by adding up the contributions from the crushing and membrane tension loads,

$$P_{Side} = P_C + P_{TS} + P_{TD} + P_{TB} \quad (7)$$

The absorbed energy, E_{Side} , is estimated by integration of the load-deformation relationship,

$$E_{Side} = \int_0^{\delta} P_{Side} \cdot d\delta \quad (8)$$

The deformations of the side of the ships are determined by the undeformed shape of the striking objects. No corrections of the side-indentations are made for actual deformations of the striking objects.

In case the striking object is a supply ship, the energy absorbed by deformation of the striking bow may be calculated based on the simple bow resistance curve given in Yang and Caldwell, 1988.

$$E_{Bow} = f(P_{max})$$

$$P_{max} = [P_{Side}]_{max}$$

(9)

E_{Bow} = Energy absorbed by deformation of bow structure (MNm)

P_{max} = Plastic deformation resistance of bow, which is equal to the maximum penetration resistance of the side of the struck ship (MN)

L_S = Length of striking ship (L_{pp}) (m)

The total energy absorbed during the impact, E_{IMP} , is found by adding up the contributions of the two ships.

$$E_{IMP} = E_{Side} + E_{Bow} \quad (10)$$

Apart from the load and energies involved with deformation of the ships, the model is used to calculate the extent of the damages to the side structures. The damages are described by the length, breadth, vertical position and area of any hole in the ship side and the penetration depth of the striking object. For each object indenting the side up to two holes may be created, one vertical hole related to membrane tensions and stretching of the side in the horizontal direction, and one horizontal hole related to membrane tensions and stretching in the vertical direction.

Correspondingly, a conventional bow may create two holes in the ship side while a bulbous bow which represents two indenting objects, may create up to four holes in the side, see illustration in Fig. 2. For large indentations of a bulbous bow the upper and lower vertical holes will merge into one single hole (upper hole).

For estimation of rupture and damage extents the elongations and strains in the horizontal and vertical directions of the shell plating are calculated at the locations of the decks and stringer levels and at the positions of the transverse web frames respectively. For simplicity, the indentations are assumed to vary linearly in-between deck levels and web frames.

Initial rupture is predicted to occur when the maximum strain in the horizontal or vertical direction exceeds a given rupture strain for the steel material. The magnitudes of the strains are,

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \delta I(\Delta x, z)^2} - \Delta x}{\Delta x} \\ \varepsilon_z &= \frac{\sqrt{\Delta z^2 + \delta I(x, \Delta z)^2} - \Delta z}{\Delta z} \end{aligned} \quad (11)$$

ε_x = Mean value of the horizontal strain in between neighbouring web frames

ε_z = Mean value of the vertical strain in between neighbouring decks or horizontal stringers

Δx = Longitudinal distance between web frames (web frame spacing)

Δz = Vertical distance between neighbouring decks or horizontal stringers

$\delta I(\Delta x, z)$ = Incremental variation of indentation between neighbouring web frames

$\delta I(x, \Delta z)$ = Incremental variation of indentation between neighbouring decks

The elongations of the plating in the horizontal and vertical directions at the various deck levels and web frame stations are,

$$\begin{aligned}
 S_x(z) &= \int_0^{l_d} \sqrt{dx^2 + dI(x,z)^2} \\
 S_z(x) &= \int_0^{D_u} \sqrt{dz^2 + dI(x,z)^2}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

$S_x(z)$ = Elongation (total length) of the side in the horizontal direction at elevation z

$S_z(x)$ = Elongation (total length) of the side in the vertical direction at location x

x = Longitudinal location (web frame station)

z = Vertical location (deck level above keel)

$I(x, z)$ = Indentation of shell

D_u = Vertical distance to uppermost deck

l_d = Horizontal length of the damaged part of the shell structure

The size of the holes is estimated by integration of the elongations that exceed the rupture elongation of the shell plating,

$$\begin{aligned}
 A_V &= \int_0^{D_u} [S_x(z) - S_{crx}(z)] \cdot dz \\
 A_H &= \int_0^{l_d} [S_z(x) - S_{crz}(x)] \cdot dx
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

A_V = Area of vertical hole

A_H = Area of horizontal hole

$S_{crx}(z)$ = Elongation (total length) of the side at which rupture in the horizontal direction occurred at elevation z

$S_{crz}(x)$ = Elongation (total length) of the side at which rupture in the vertical direction occurred at location x

The corresponding lengths of the vertical, VI , and horizontal, HI holes are,

$$\begin{aligned}
 VI &= \int_0^{D_u} H(z) \cdot dz \\
 H(z) &= 1.0 \quad \text{for } [S_x(z) - S_{crx}(z)] \geq 0.0 \\
 &= 0.0 \quad \text{for } [S_x(z) - S_{crx}(z)] \leq 0.0 \\
 HI &= \int_0^{l_d} H(x) \cdot dx \\
 H(x) &= 1.0 \quad \text{for } [S_z(x) - S_{crz}(x)] \geq 0.0 \\
 &= 0.0 \quad \text{for } [S_z(x) - S_{crz}(x)] \leq 0.0
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

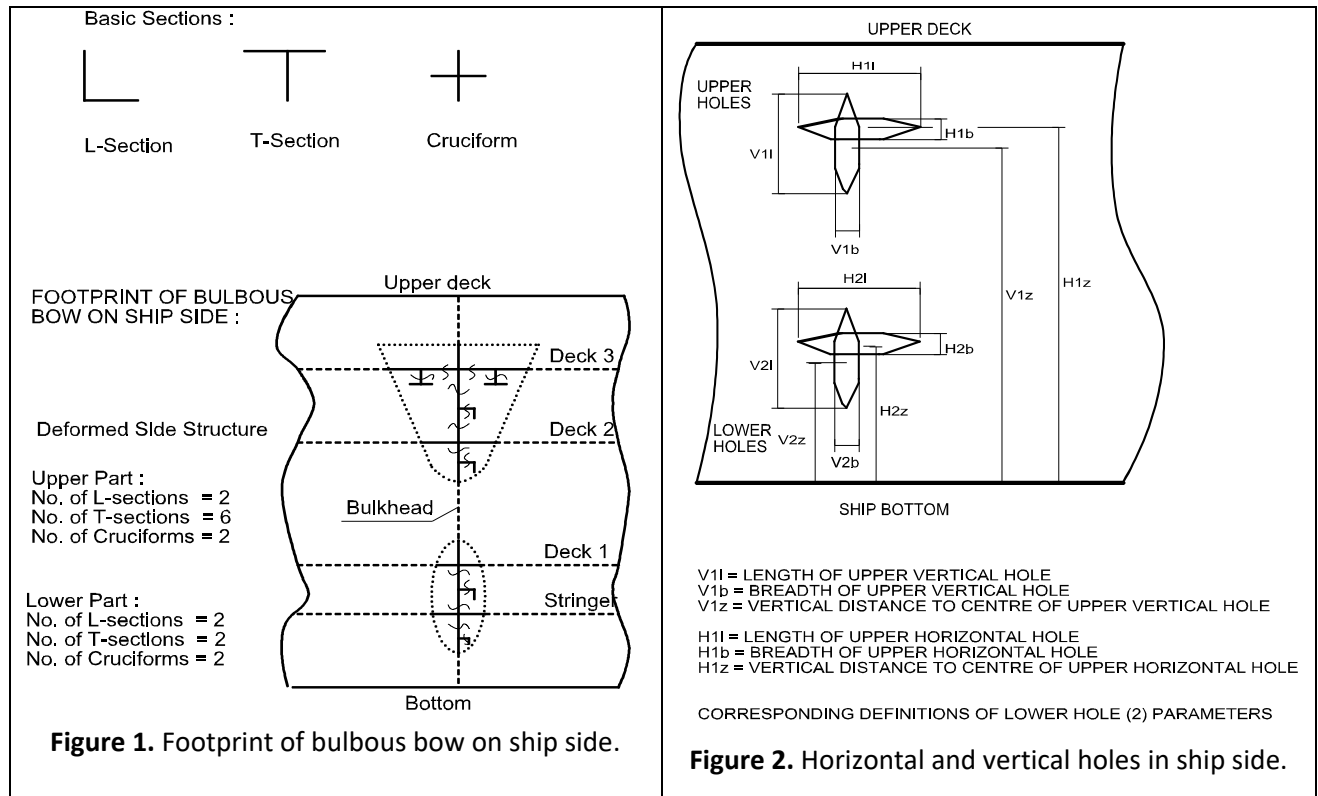
The widths of the vertical, Vb , and horizontal, Hb , holes are,

$$\begin{aligned}
 Vb &= (S_x(z) - S_{crx}(z))_{\max} \\
 Hb &= (S_z(x) - S_{crz}(x))_{\max}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

For cases or indentations where the uppermost deck or the bottom of the struck ships are being deformed, the membrane tension in the vertical direction is assumed to vanish and any horizontal rupture of the plating will cease to grow (“horizontal” damage extents kept constant for increasing indentations). Consequently, if rupture has not occurred before the deck or bottom structure is being deformed, no horizontal hole will develop.

The present routine can only handle the effect of membrane tension forces in single skin structures in a realistic manner. For double hull designs, the estimated deformation loads will only be appropriate for indentations up to the location of the inner skin and provided the inner skin does not move during this deformation stage. For larger indentations, the routine may underestimate the penetration load somewhat due to neglecting of the inner skin tension forces.

The out of plane bending resistance of stiffened panel are neither taken into account. This will underestimate the distortion load at the initial deformation stage. However, for indentations exceeding the order of the stiffener height this plastic bending resistance will disappear.



5. Striking Conditions

The characteristics of the considered pile are given in Table 1.

Table 1. The main particulars of the pile.

Pile diameter:	1.0 m
Pile position:	Vertical
Pile strength:	Rigid

The selected semisubmersible corresponds to a vessel with a displacement of 25000-30000 tonnes and with an overall length of about 90-100 m and main particulars for semisubmersible and pontoon structures are given below Table 2 and Table 3.

Table 2. The main particulars of semisubmersible platform.

Overall length:	90 – 100 m
Breadth:	70 – 75 m
Operating draught:	22 – 24 m
Displacement:	25000 – 30000 tonnes

It is noted that the pontoons are assumed to be of rectangular shape with rounded corners.

Table 3. The main particulars of the pontoon structure.

Pontoon height:	7.0 – 8.0 m
Pontoon width:	14.0 – 15.0 m
Shell thickness:	16 – 17 mm
Stiffener spacing:	0.6 – 0.7 m
Stiffener dimensions:	L300*100*12*16 (typical)
Web frame spacing:	2.5 – 3.0 m
Web frame thickness:	12.0 – 13.0 mm

The vertical pile is assumed to strike the side of the pontoon at the midpoint between transverse web frames (weakest part of the pontoon structure). Two striking conditions have been investigated, one plane impact case with the vertical pile parallel to the pontoon side and one tilted platform case with a small angle between the vertical pile and the pontoon side (rotation of platform about the longitudinal platform axis). The tilt angle represents the effect of transverse platform motions and wind forces. It is assumed that the platform motions will be small for the considered cases.

By assuming a maximum transverse wind force of 2 MN (200 tonnes) and an overturning moment of about 75 MNm (7500 tm) on the semisubmersible a tilt angle of 5 degrees of the platform has been predicted.

6. Results and Discussion

The results show that the plastic deformation resistance of the considered pontoon structure will vary with the striking (tilt) angle. The highest loads will occur when the pile and the pontoon side are parallel at the impact, i.e. contact over the total height of the pontoon side.

On the other hand the average contact pressure on the pile when penetrating into the pontoon side will not vary significantly with the striking angle. In order to prevent plastic deformations of the pontoon structure in case of impacts of semisubmersibles of 25000 – 30000 tonnes displacement it is suggested that the fender system is designed to deform when exposed to a contact pressure of about 2.0 MN/m². No analysis has been made of the required fender stiffness to prevent structural damages on semisubmersible of smaller sizes than 25000 – 30000 tonnes. The estimated deformation resistance of the pontoon for the 5 degrees tilted platform case is shown in Fig. 3.

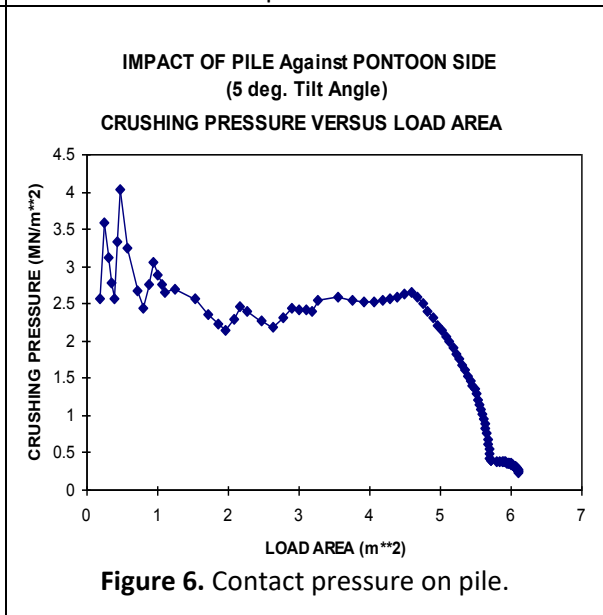
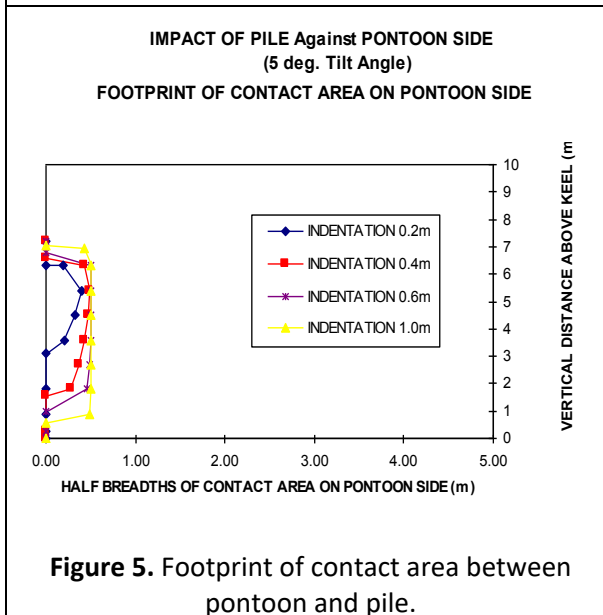
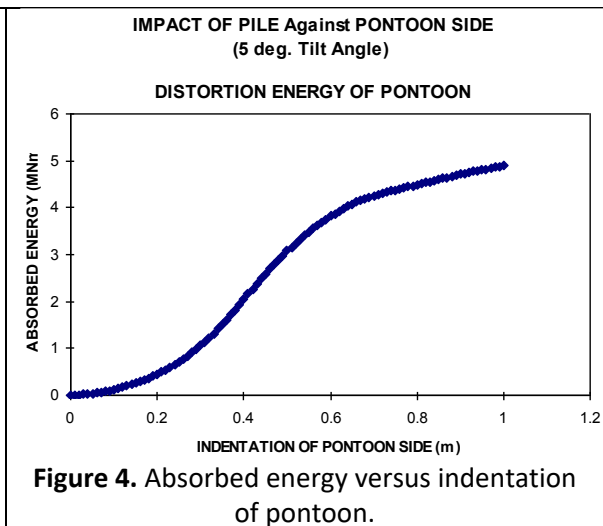
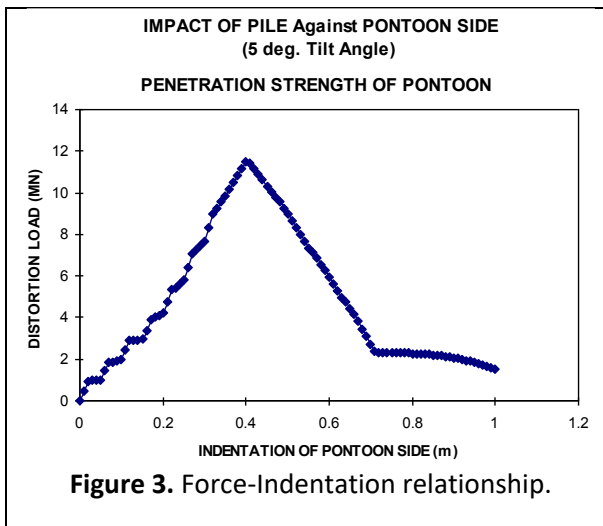
The load increases as the pile penetrates into the pontoon until rupture of the side plating starts at an indentation of about 0,4m. The associated absorbed deformation energy is shown in Fig. 4. The

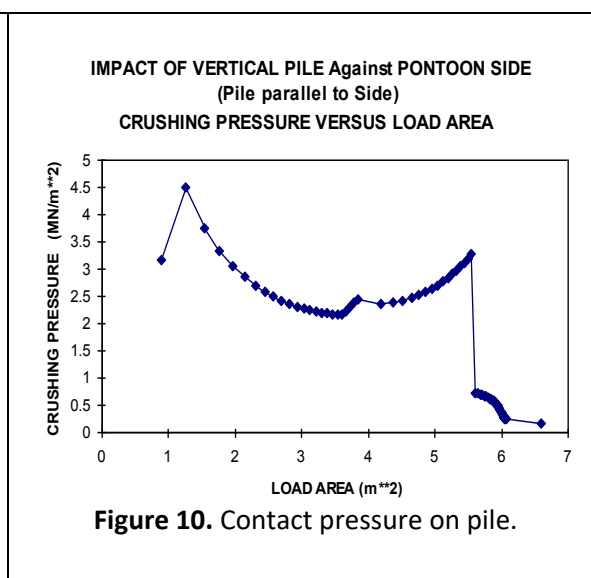
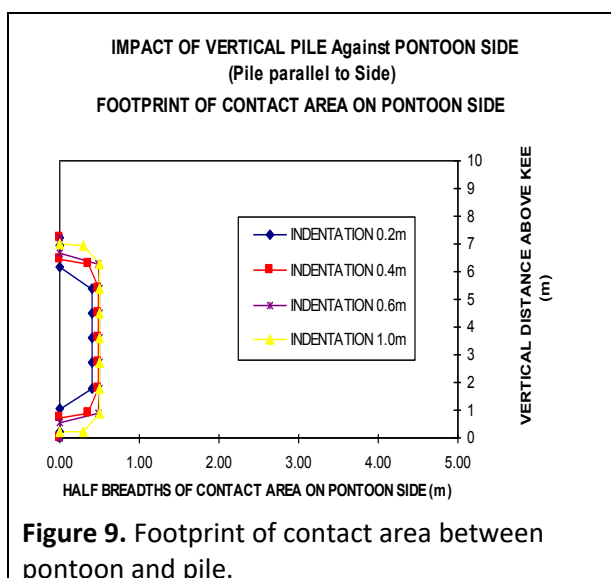
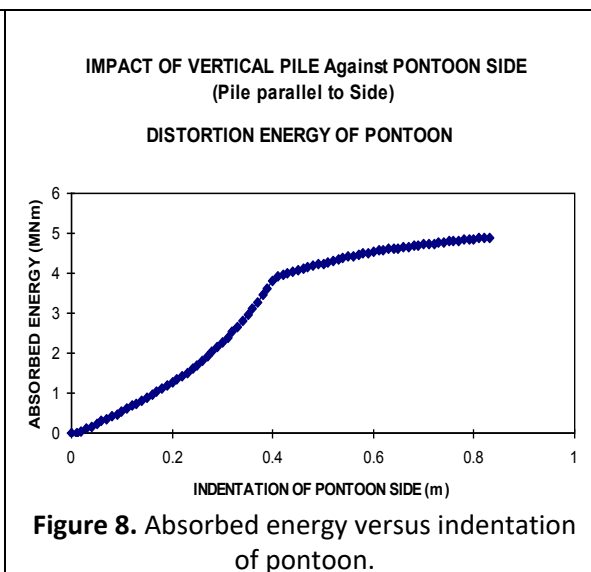
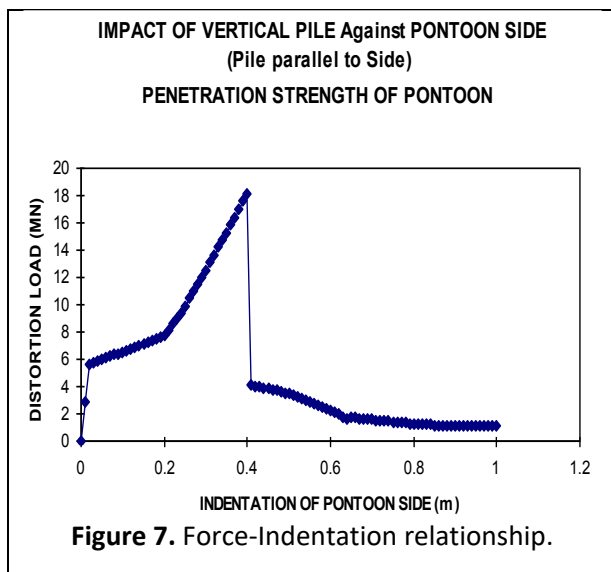
footprint of the contact area between the pile and the pontoon is illustrated in Fig. 5 for some selected indentations.

The associated average crushing or contact pressure on the pile is shown in Fig. 6 The contact pressure in Fig. 6 will start to drop when rupture of the pontoon shell plating begins, i.e. at an indentation of about 0.4 m, which corresponds to a contact area of about 4.5m².

The corresponding results for the plane or parallel impact case are shown in Figs. 7 through 10. The deformation load of the pontoon in Fig. 3.5 is higher than for the tilted platform case shown in Fig. 3 Rupture of the shell plating will occur at an indentation of about 0.4m. The absorbed deformation energy of the parallel impact case is shown in Fig. 8. The footprint of the contact area between the pile and the pontoon for the parallel impact case is illustrated in Fig. 9 for some selected indentations.

The average contact pressure on the pile for the parallel impact case is shown in Fig. 10. Before rupture of the pontoon shell plating occurs, i.e. drop in the curve at 5.5 m² in Fig. 10, the smallest average contact pressure is about 2.0 MN/m². It can be seen from Fig. 6 and Fig. 10 that the average contact pressures for the tilted and parallel impact cases are fairly similar until rupture begins.





The plastic deformation resistance of the considered pontoon structure will vary with the striking angle between the side of the pontoon and the struck vertical pile (angle in the vertical plane). The highest loads will occur when the pile and the pontoon side are parallel at the impact, i.e. contact over the total height of the pontoon side. On the other hand the average contact pressure on the pile when penetrating into the pontoon side will not vary significantly with the striking angle.

In order to prevent plastic deformations of the pontoon structure in case of impacts of semisubmersibles of 25000 – 30000 tonnes displacement it is suggested that the fender system is designed to deform when exposed to a contact pressure of about 2.0 MN/m². No analysis has been made of the required fender stiffness to prevent structural damages on semisubmersible of smaller sizes than 25000 – 30000 tonnes.

7. References

Amante, DM and Estefen, SF. (2018). Collisions between Ships and Platforms in Brazilian Waters. ASME. International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Volume 3: Structures, Safety, and Reliability. Doi:10.1115/OMAE2018-78199.

Amdahl, J. (1983). Energy Absorption in Ship-Platform Impacts. PhD. Thesis, Report No. UR-83-34, The Norwegian Institute of Technology, Division of Marine Structures, Norway.

Èekerevac, D. and Pereira, CE. (2017). Characterization of Accidental Scenarios for Offshore Structures, Volume1, Issue2-3, Special Issue: Proceedings of Eurosteel 2017, Pages 4341-4350.

Hysing, T. (2009). User's Manual for Damage Calculation Program, DNV, Norway.

Moan, T. (2009) Development of Accidental Collapse Limit State Criteria for Offshore Structures, Structural Safety, Vol. 31, Issue 2, pp. 124-135.

Nemati, H. and Azarsina, F. (2016). Numerical Analysis of Dynamics of Ship-OWT (offshore wind turbine) collision. International Journal of Coastal & Offshore Engineering, Vol. 4, pp.43-50.

Pericard, Y. and Halse, KH. (2017). Collision Study between a Ship Section Moving Sideways and an Oil Platform. ASME. International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Volume 3A: Structures, Safety and Reliability. Doi: 10.1115/OMAE2017-61799.

Pettersen, E. and Valsgård, S. (1983). Collision Resistance of Marine Structures, Structural Crashworthiness. ISBN 0-408-01308-70, Butterworth & Co (Publishers) Ltd.

Yang, P.D.C. and Caldwell, J.B. (1988). Collision Energy Absorption of Ships' Bow Structures, Int. Journal of Impact Engineering, Vol. 7, No. 2.

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası
Endaze Bülteni 15 Nisan 2018

"Sizler hepimiz geleceğin bir gülü, yıldızı, bir mutluluk parıltısısınız! Memleketi asıl aydınlığa boğacak sizsiniz"

23 Nisan Ulusal Egemenlik ve Çocuk Bayramı Kutlu Olsun!

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir. Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuzla-İstanbul
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo twitter.com/Gemimuhendis
[instagram/gemimuhendisleriodasi](https://www.instagram.com/gemimuhendisleriodasi) [Link edin/tmmobgemimuhendisleriodasi](https://www.linkedin.com/company/tmmobgemimuhendisleriodasi)

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası
Endaze Bülteni 19 Mayıs 2018

19 MAYIS ATATÜRK'Ü ANMA, GENÇLİK VE SPOR BAYRAMIMIZ KUTLU OLSUN

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir. Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuzla-İstanbul
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo twitter.com/Gemimuhendis
[instagram/gemimuhendisleriodasi](https://www.instagram.com/gemimuhendisleriodasi) [Link edin/tmmobgemimuhendisleriodasi](https://www.linkedin.com/company/tmmobgemimuhendisleriodasi)

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası
Endaze Bülteni HAZİRAN 2018

GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI MEZUNİYET HAİIRASI
Mesleğine Hoşgeldin

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir. Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuzla-İstanbul
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo twitter.com/Gemimuhendis
[instagram/gemimuhendisleriodasi](https://www.instagram.com/gemimuhendisleriodasi) [Link edin/tmmobgemimuhendisleriodasi](https://www.linkedin.com/company/tmmobgemimuhendisleriodasi)

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası
Endaze Bülteni 1 Temmuz 2018

1 TEMMUZ DENİZCİLİK VE KABOTAJ BAYRAMIMIZ KUTLU OLSUN

Denizciliği Türkün büyük milli ölküsü olarak düşünmeli ve onu az zamanda başarmalıyız.

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir. Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuzla-İstanbul
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo twitter.com/Gemimuhendis
[instagram/gemimuhendisleriodasi](https://www.instagram.com/gemimuhendisleriodasi) [Link edin/tmmobgemimuhendisleriodasi](https://www.linkedin.com/company/tmmobgemimuhendisleriodasi)

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası
Endaze Bülteni AĞUSTOS 2018

Biz Türkler tarih boyunca Hürriyet ve istiklal temsali olmuş bir milletiz.
MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir. Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuzla-İstanbul
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo twitter.com/Gemimuhendis
[instagram/gemimuhendisleriodasi](https://www.instagram.com/gemimuhendisleriodasi) [Link edin/tmmobgemimuhendisleriodasi](https://www.linkedin.com/company/tmmobgemimuhendisleriodasi)

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası
Endaze Bülteni EYLÜL 2018

27 Eylül 1538 Preveze Deniz Zaferi ve Deniz Kuvvetleri Günü Kutlu Olsun !

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir. Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuzla-İstanbul
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo twitter.com/Gemimuhendis
[instagram/gemimuhendisleriodasi](https://www.instagram.com/gemimuhendisleriodasi) [Link edin/tmmobgemimuhendisleriodasi](https://www.linkedin.com/company/tmmobgemimuhendisleriodasi)

BOMMT Gemi Mühendisleri Odası
Endaze Bülteni BİRİNCİ 2018

EMİNİYETİNİZİN İZİNDE 64 YAŞINDA

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir. Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuzla-İstanbul
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo twitter.com/Gemimuhendis
[instagram/gemimuhendisleriodasi](https://www.instagram.com/gemimuhendisleriodasi) [Link edin/tmmobgemimuhendisleriodasi](https://www.linkedin.com/company/tmmobgemimuhendisleriodasi)

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası
Endaze Bülteni 15 Eylül 2018

ODAMIZ 64. YASINI KUTLUYOR

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir. Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuzla-İstanbul
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo twitter.com/Gemimuhendis
[instagram/gemimuhendisleriodasi](https://www.instagram.com/gemimuhendisleriodasi) [Link edin/tmmobgemimuhendisleriodasi](https://www.linkedin.com/company/tmmobgemimuhendisleriodasi)

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası
Endaze Bülteni ARALIK 2018

64. YILIMIZ KUTLU OLSUN!

Endaze Bülteni, Gemi Mühendisleri Odası üyelerine e-posta yolu ile iletilir. Ulaşmasını istediğiniz e-posta detaylarını lütfen Gemi Mühendisleri Odası'na bildiriniz.
Adres: Postane Mahallesi Nil Sokak No:10 Tuzla-İstanbul
Telefon: (216) 447 40 30-31-32 - Faks: (216) 447 40 33

www.gmo.org.tr www.facebook.com/tmmobgmo twitter.com/Gemimuhendis
[instagram/gemimuhendisleriodasi](https://www.instagram.com/gemimuhendisleriodasi) [Link edin/tmmobgemimuhendisleriodasi](https://www.linkedin.com/company/tmmobgemimuhendisleriodasi)



TÜRK LOYDU

www.turkloydu.org

**Siz güvende olun diye,
Her zaman hizmetinizde.**



⚓ **Yeni İnşa Klaslama (Askeri Gemiler & Ticari Gemiler & Yatlar)**

⚓ **Gemi ve Yüzer Havuzların Sörveyleri**


⚓ **ISM & ISPS Code, MLC 2006 Sertifikasyonları**


⚓ **Ürün-Malzeme, Tip Onay, Servis Sağlayıcı Sertifikasyonu**


⚓ **Römorkör Çeki Testi Sertifikasyonu**

⚓ **Tadilat Sörveyleri**

 /TurkLoyduVakfi

 /TurkLoydu

 /Company/Turk-Loydu

 /Turk_Loydu