

# GEMİ ve DENİZ TEKNOLOJİSİ

GMO JOURNAL OF SHIP AND MARINE TECHNOLOGY

ISSN: 1300-1973 / e-ISSN: 2651-530X



**TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI**

*The Turkish Chamber of Naval Architects and Marine Engineers*

GMO



**KURULUŞ YIL DÖNÜMÜ'MÜZ**  
*Kutlu olsun!*



**TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI**

### Değerli Meslektaşlar ve Okurlar,

TMMOB Gemi Mühendisleri Odası'nın kuruluşunun 66. yıldönümü hepimize kutlu olsun, nice yıllara!

Yılın ikinci yarısında daha da şiddetlenen salgını yaşıyoruz. Minnettar olduğumuz sağlık çalışanları ile birlikte ilk cephede mücadele verenlerden ve hayatî malzemeleri taşıyan deniz çalışanları ile birlikte meslektaşlarımız, deniz endüstrisindeki dostlarımız ve yakınlarından kaybettiklerimizi rahmetle anıyor geride kalanlara sağlıklı uzun ömürler diliyoruz.

Gemi Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliği'nin her yıl geleneksel olarak gerçekleştirdiği ve bu yılki konusu "Elektrikli Feribot Tasarımı" olan proje yarışmasında 28 öğrencinin hazırladığı 14 proje içerisinden dereceye giren projeleri bu sayımızda inceleyebilirsiniz.

Odamız Yayın Komisyonu tarafından düzenlenecek, dünya deniz endüstrisinin beklentilerini ele alan ilgi çekici oturumları ile akademi ve sektörün buluşacağı 2. Uluslararası Gemi ve Deniz Teknolojisi Kongresi "Yeşil ve Akıllı Denizcilik Endüstrisi - Green and Intelligent Maritime Industry" 16-17 Eylül 2021 günlerinde düzenlenecektir. Başvurular ile ilgili bilgileri bu sayımızda duyurmaktayız.

218. sayımızda 4 adet bilimsel makale yayınlıyoruz. İlk makale Doç.Dr.Özgür Özgüç'ün "LNG Gemisinin Tekne Boyuna Giden Yapısal Eleman Bağlantılarının Basitleştirilmiş Yorulma Mukavemeti" başlıklı çalışması olup dergimize verdiği desteklerden dolayı kendisine teşekkürlerimizi sunarız. Bir sonraki çalışma olan Sn. Aytek Güngör'ün "Türkiye'de Katmanlı İmalat ve Gemi İnşaatı Üzerine Etkileri" başlıklı makalesinde, yenilikçi katmanlı imalat tekniğinin gemi sanayiindeki ilk uygulamasının 2019 yılında başladığı duyurulmaktadır. Üçüncü makalede Ali Ragıp Akkaya ve Dr.Öğr.Üyesi Dursun Murat Sekban "Örtülü Elektrod Ark Kaynağı ve Gazaltı Kaynağı Kullanılarak Birleştirilen Gemi İnşa Çeliğinde Kaynak Bölgesinin İyapı ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi" başlıklı makalesinde, yaptıkları uygulama sonuçlarına göre gazaltı kaynağı ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde sertlik, dayanım ve darbe tokluğu değerlerinin tamamında örtülü elektrodla ark kaynağına göre daha iyi sonuçlar gösteren çalışmayı incelemenize sunuyoruz. Bu sayının yine ilgi çekici son makalesinde Dr.Öğr.Üyesi Onur Usta'nın bir araştırmasını sunuyoruz. "Doğadan İlham Alınarak Geliştirilen Bir Denizaltı Formunun Direnç Özelliklerinin Sayısal İncelemesi" başlıklı makalesinde Dr.Öğr.Üyesi Onur Usta, doğadan ve özellikle deniz canlılarının gövde formlarından esinlenilerek geliştirilecek yeni denizaltı çalışmalarına ilginç bulguları ile dikkat çekmektedir.

Bilimsel makale, mesleki ve teknik konuları raporlayan yazılarınızın dergimize güç katacağını belirtir bir sonraki sayımıza kadar siz, sevdiğiniz ve çalışma arkadaşlarınızın sağlık ve güven içerisinde kalmanızı dileriz.

Saygılarımızla.

Prof.Dr.Ahmet Dursun ALKAN  
Baş Editör

Dr.Öğr.Üyesi Onur USTA  
Yardımcı Editör

Dr.Öğr.Üyesi Dursun Murat SEKBAN  
Yardımcı Editör



**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  
Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey

**Yardımcı Editörler / Associate Editor**  
Asst. Prof. Onur USTA PhD  
National Defense University, Istanbul, Turkey  
Asst. Prof. Dursun Murat SEKBAN PhD  
Karadeniz Technical University, Istanbul, Turkey

**Yayın Sekreteri / Editorial Secretary**  
Tuğba AKTAŞ

#### 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: GMOShipMar@gmo.org.tr  
<http://www.gmoshipmar.org>  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/gdt>

**Yayın Türü / Publication Type / Sayı / Number**  
Sürelili Yayın (6 Aylık) / Periodical, 6 months  
Sayı / Number : 218

**Basıldığı Yer ve Tarih / Printed in / Date**  
Cenkler Matbaacılık Amb. San. Tic. Ltd. Şti.  
Halil İbrahim 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](http://www.cenkler.com)  
ISSN: 1300-1973  
E-ISSN: 2651-530X

Baskı Tarihi / Date of print : December 2020  
Baskı Sayısı / Number of prints : 500



Gemi ve Deniz Teknolojisi (GDT) Dergisi; TMMOB Gemi Mühendisleri Odası'nın 1955 yılından beri yılda en az 2 kez yayımlanan, üyelerinin meslekle ilgili bilgilerini geliştirmeyi, gemi ve deniz teknolojilerine katkıda bulunmayı, özellikle sektörün ülke çıkarları yönünde gelişmesini ve teknolojik yeniliklerin duyurulmasını amaçlayan bir dergidir. GDT, uluslararası düzeyde, hakemli, çok disiplinli, alanında özgün çalışmalara yer veren bir bilimsel dergidir.

Dergide; başta Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri/Deniz Teknolojisi Mühendisliği olmak üzere, Denizcilik, Makine, Elektrik/Elektronik, Endüstri Mühendisliği alanlarında bilimsel nitelikli araştırma makaleleri, derlemeler, teknik notlar, kitap incelemeleri, editöre mektuplar ile konferans ve toplantıların genişletilmiş raporlarına yer verilmektedir. Dergide yer alan makaleler Türkçe veya İngilizce olarak yayımlanmaktadır.

Açık erişimli yayın politikası izleyen GDT Dergisi, değişik bilimsel bakış açılarını okuyucularına sunmaktadır. Dergide yayımlanan makalelerin bilim, içerik ve dil bakımından sorumluluğu yazarlarına aittir. Basın Ahlak Esasları, ulusal ve uluslararası etik kural ve mevzuatlarına uyulur.

Doğrudan veya dolaylı olarak ifade edilen görüşler kurumun resmi görüşleri olarak görülmemelidir. Dergide, makale değerlendirme sürecinde çift-kör hakemlik sistemi kullanılmaktadır.

GMO Journal of Ship and Marine Technology (GMOShipMar); is a journal that has been published annually since 1955, aiming to improve its members' knowledge about the profession of ship and marine technologies, to develop the sector especially in the interests of the country and to announce technological innovations. GMOShipMar is an international, refereed, multidisciplinary scientific journal that has been published at least 2 times a year.

In the journal; scientific research articles, reviews, technical notes, book reviews, letters to the editor, and extended reports of conferences and meetings, particularly in Naval Architecture and Marine Engineering, Maritime Technology, Machinery, Electrical / Electronics, Industrial Engineering and other related sciences. Articles in the journal are published in Turkish or English.

Following Open Access Model of Publishing, GMOShipMar presents a variety of scientific viewpoints. The authors are responsible for the scientific, contextual, and linguistic aspects of the articles published in the journal. The views expressed or implied in this publication, unless otherwise noted, should not be interpreted as official positions of the institution. In the journal, double-blind review system, which means that both the reviewer and author identities are concealed from the reviewers, and vice versa, is used throughout the review process.

Makale göndermek için lütfen aşağıdaki DergiPark sistemimizi kullanınız / Please use our online system for paper submissions

[www.dergipark.org.tr/en/pub/gdt/](http://www.dergipark.org.tr/en/pub/gdt/)

### Distinguished Colleagues and Readers,

We proudly inaugurate the 66th anniversary of the foundation of UCTEA The Turkish Naval Architects and Marine Engineers.

We are experiencing the pandemic that gets more severe in the second half of the year. We commemorate the lost lives of our colleagues, our friends in the marine industry and their relatives, as well as marine workers who fight at the first front, together with the healthcare professionals we are grateful for, and carry vital supplies and we wish healthy long lives to those who remain.

In this issue, you can review the projects ranked among 14 projects prepared by 28 students in the project competition, about the subject of "Electric Ferry Design", is traditionally organized every year by the Ship Yacht and Services Exporters' Association.

The 2nd International Ship and Marine Technology Congress "Green and Intelligent Maritime Industry", which will be organized by the Publication Commission of our Chamber and where the academy and the industry will meet with its interesting sessions addressing the expectations of the world marine industry, will be held on 16-17 September 2021.

We publish 4 scientific papers in issue 218. The first paper entitled "Simplified Fatigue Assessment of Hull Longitudinals Connections of an LNG Vessel" written by Assoc.Prof.Dr. Özgür Özgüç to whom we forward our special thanks for his continuous paper support of paper submissions. The following paper entitled "Additive Manufacturing in Turkey and Its Influence on Shipbuilding" by Mr. Aytek Güngör informs about well known additive manufacturing as a novel technique and its first application in ship industry in 2019. The third paper prepared by Ali Ragıp AKKAYA and Asst.Prof. Dr. Dursun Murat SEKBAN entitled "Comparative Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Shielded Metal Arc Welded and Gas Metal Arc Welded Shipbuilding Steel" where their experimental study reveals that better results were obtained in welded joints made with gas arc welding in all values of hardness, strength and impact toughness with respect to shielded metal arc welding. Another interesting paper, the last paper of this issue, was studied by Asst.Prof.Dr. Onur Usta entitled "Numerical Analysis of Resistance Characteristics of a Submarine Form Inspired by Nature" where an expected study of new submarines that will be developed inspired by nature, especially by the forms of various marine animals is stated.

We kindly invite you to submit scientific papers, professional and technical notes to GMO Ship and Marine Technology that will add strength to our journal and wish you, your loved ones and colleagues to stay healthy and safe until our next issue.

Best regards,

Prof. Ahmet Dursun ALKAN PhD  
Editor-in-Chief

Asst.Prof. Onur USTA PhD  
Associate Editor

Asst.Prof. Dursun Murat SEKBAN PhD  
Associate Editor



### IMO Denizciler Günü - 25 Haziran 2020'de 10. yılı kutlandı.

This year, the annual Day of the Seafarer was celebrated its 10th anniversary on 25 June 2020.

### IMO Genel Sekreter'inden Kutlama Mesajı / Message from IMO Secretary-General

[IMO Genel Sekreteri Sn. Kitack Lim](#), Denizciler Günü mesajında denizcilerin eşsiz ve elzem çalışmalar yaptığını vurguladı. Sn. Kitack Lim "Denizciler tıpkı diğer kilit rol oynayan işçiler gibi, bu küresel mücadelede ön cephe saflarında mücadele veriyorlar. Teşekkürlerimizi hak ediyorlar. Fakat bunun yanında denizcilerin, sadece salgın sırasında değil her zaman ve her yerde hükümetlerinden hızlı ve kararlı insanî yardımlara ihtiyaçları var ve buna layıkları."

In his Day of the Seafarer message, [IMO Secretary-General Kitack Lim](#) highlights the unique and essential work of seafarers. "Just like other key workers, seafarers are on the front line in this global fight. They deserve our thanks. But they also need – and deserve – quick and decisive humanitarian action from governments everywhere, not just during the pandemic, but at all times", Mr. Lim said.

## ALAN EDITÖRLERİ / SECTION EDITORS

### Naval Architecture

Prof. Alberto FRANCESCUTTO - University of Trieste, Trieste, Italy  
Prof.Dr. Murat ÖZKÖK - Karadeniz Technical University, Istanbul, Turkey  
Dr. Ziya SAYDAM - Piri Reis University, Istanbul, Turkey

### Marine Hydrodynamics

Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL - Gedik University, Istanbul, Turkey  
Prof. Dr. Şakir BAL- Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey  
Assoc.Prof.Dr. Yiğit Kemal DEMİREL - Strathclyde University, Glasgow, UK

### Marine Engineering

Prof. Yasin ÜST - Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey  
Assoc.Prof.Dr. Görkem KÖKKÜLÜNK - Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey  
Asst.Prof.Dr. Levent BİLGİLİ – Bandırma 17 Eylül Üniversitesi, Balıkesir, Turkey

### Maritime Engineering

Prof.Dr. Ercan KÖSE - Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey  
Prof.Dr. Özcan ARSLAN - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey  
Dr. Hasan ÖLMEZ - Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

### Offshore Technology

Prof.Dr. İsmail Hakkı HELVACIOĞLU - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey  
Assoc.Prof.Dr. Özgür Özgüç - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey  
Dr. İsmail Başaran - ABS, London, UK

### Marine Electronics

Assoc.Prof.Dr. Fatih ERDEN - National Defence University, Istanbul, Turkey

### Maritime Economics

Prof. Dr. Oral ERDOĞAN - Piri Reis University, Istanbul, Turkey

### Energy and Environment

Prof.Dr. Bahri ŞAHİN - Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey  
Prof.Dr. Adrian BEJAN - Duke University, North Carolina, USA  
Dr. Ümit GÜNEŞ - Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey

## Editörler Kurulu / Editorial Board

- Prof. Dr. Karin ANDERSSON - Chalmers University, Gothenburg, Sweden
- Prof. Dr. Mehmet ATLAR - Strathclyde University, Glasgow, UK
- 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. Dr. Ömer GÖREN - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey
- Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey
- Prof. Dr. Atilla İNCECIK - Strathclyde University, UK
- Prof. Dr. Nurhan KÂHYAOĞLU - Piri Reis University, Istanbul, Turkey
- Prof. Dr. Rumen KISHEV - Varna Technical University, Varna, Bulgaria
- Prof. Dr. Abdi KÜKNER - Istanbul, Turkey
- Prof. Dr. Emin KORKUT - İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey
- Prof. Dr. Gökdeniz NEŞER - Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey
- Assoc.Prof. Dr. Ömer Kemal KINACI - İstanbul Technical University, İstanbul, 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. 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
- Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT - İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey
- Assoc.Prof.Dr. Veysel ALANKAYA - 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
- Assoc.Prof.Dr. Uğur Oral ÜNAL - Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey
- M. Tufan YILDIRIM - National Defense University, Istanbul, Turkey

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

<b>9. Gemi ve Yat Tasarımı Yarışması -2020</b> <i>9th National Ship and Yacht Design Competition - 2020</i>	6
<b>2. ULUSLARRARASI GEMİ VE DENİZ TEKNOLOJİSİ KONGRESİ</b> <b>2nd INTERNATIONAL CONGRESS ON SHIP AND MARINE TECHNOLOGY</b>	19
<b>LNG Gemisinin Tekne Boyuna Giden Yapısal Eleman Bağlantılarının Basitleştirilmiş Yorulma Mukavemeti</b> <b>Simplified Fatigue Assessment of Hull Longitudinals Connections of an LNG Vessel</b> <i>Özgür Özgüç</i>	21
<b>Türkiye’de Katmanlı İmalat ve Gemi İnşaatı Üzerine Etkileri</b> <b>Additive Manufacturing in Turkey and Its Influence on Shipbuilding</b> <i>Aytek Güngör</i>	36
<b>Örtülü Elektrod Ark Kaynağı ve Gazaltı Kaynağı Kullanılarak Birleştirilen Gemi İnşa Çeliğinde Kaynak Bölgesinin İy Yapı Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi</b> <b>Comparative Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Shielded Metal Arc Welded and Gas Metal Arc Welded Shipbuilding Steel</b> <i>Ali Ragıp Akkaya, Dursun Murat Sekban</i>	54
<b>Doğadan İlham Alınarak Geliştirilen Bir Denizaltı Formunun Direnç Özelliklerinin Sayısal İncelemesi</b> <b>Numerical Analysis of Resistance Characteristics of a Submarine Form Inspired by Nature</b> <i>Onur Usta</i>	65




**9. ULUSAL GEMİ VE YAT TASARIM YARIŞMASI**

KONU: ELEKTRİKLİ FERİBOT TASARIMI SON KATILIM: 1 AĞUSTOS 2020

Birinci	İkinci	Üçüncü
40.000₺	20.000₺	10.000₺

[www.gemiyattasarim.org](http://www.gemiyattasarim.org)

Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı koordinatörlüğü, Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM) işbirliği, İstanbul İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği organizatörlüğü ile gemi ve yat sektörünün gelişimine katkıda bulunmak ve tasarımın sektör için önemini vurgulamak amacıyla düzenlenmektedir.

Yarışmanın ödül törenine Türkiye İhracatçılar Meclisi Başkanı **İsmail Gülle**, Türkiye İhracatçılar Meclisi Başkan Vekili **Başaran Bayrak**, GYHİB Yönetim Kurulu Başkanı **Cem Seven**, Deniz Ticaret Odası Başkanı **Tamer Kıran**, Deniz Ticaret Odası Meclis Başkanı **Salih Zeki Çakır**, Gemi Mühendisleri Odası Başkanı **Salih Bostancı**, Türk Loydu Başkanı **Cem Melikoğlu** ile **GYHİB Yönetim Kurulu** Üyeleri katıldı.

Ticaret Bakanlığı Bakan Yardımcısı Rıza Tuna Turagay, törene canlı bağlantı ile katılarak, yarışma heyecanına ortak oldu.

## 9th NATIONAL SHIP AND YACHT DESIGN COMPETITION - 2020

### 9. GEMİ VE YAT TASARIMI YARIŞMASI - 2020

National Ship and Yacht Design Competitions have been organized regularly by the Ship, Yacht and Services Exporters' Association coordinated by Republic of Turkey Ministry of Commerce and Turkey Exporters Assembly (TIM) since 2012. The competition aims to design technological, environment-friendly and functional ships as well as to encourage the young and successful designers and introduce them to the maritime industry designers. On the other hand, member of the winning group-will be supported by the Association-will have a chance to support Master study abroad.

The Competition is open to the students of Naval Architecture and Marine Engineering, Naval Architecture and Ocean Engineering, Ship and Yacht Design, Industrial Design, Mechanical Engineering and Architecture programs studying in the universities in Turkey.

At least one or a group of four students can participate in the competition. There must be at least one Naval Architecture and Marine Engineering or Naval Architecture and Ocean Engineering student in the groups. The jury members are composed of 7 academicians, 8 professionals in ship and yacht design sector.

The competition is organized every year with different topics and categories. The topic of 2020 was Electricity Driven Ferryboat Design.

Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı koordinatörlüğü, Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM) işbirliği, İstanbul İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği organizatörlüğü ile gemi ve yat sektörünün gelişimine katkıda bulunmak ve tasarımın sektör için önemini vurgulamak amacıyla, 2012 yılından beri düzenli olarak Gemi Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliği – Ulusal Gemi ve Yat Tasarım Yarışması etkinliklerini düzenlenmektedir.

Yarışmanın ödül törenine Türkiye İhracatçılar Meclisi Başkanı **İsmail Gülle**, Türkiye İhracatçılar Meclisi Başkan Vekili **Başaran Bayrak**, GYHİB Yönetim Kurulu Başkanı **Cem Seven**, Deniz Ticaret Odası Başkanı **Tamer Kıran**, Deniz Ticaret Odası Meclis Başkanı **Salih Zeki Çakır**, Gemi Mühendisleri Odası Başkanı **Salih Bostancı**, Türk Loydu Başkanı **Cem Melikoğlu** ile **GYHİB Yönetim Kurulu** Üyeleri katıldı.

Ticaret Bakanlığı Bakan Yardımcısı Rıza Tuna Turagay, törene canlı bağlantı ile katılarak, yarışma heyecanına ortak oldu.

Yarışmaya katılacak öğrenci en az bir veya en fazla dört kişiden oluşan grup halinde katılabilir. Gruplarda en az bir Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği ya da Gemi İnşa ve Gemi Makineleri Mühendisliği öğrencisi olmalıdır. Jüri üyeleri gemi ve yat tasarımı konusunda uzman 7 akademisyen ve 8 endüstri temsilcisinden oluşmaktadır.

Yarışma her yıl farklı konu ve kategoriler ile düzenlenmektedir. 2020 yılı yarışma konusu Elektrik Tahrikli Feribot Tasarımı idi.

## THE WINNERS OF 9th NATIONAL SHIP AND YACHT DESIGN COMPETITION - 2020

### 9. GEMİ VE YAT TASARIMI YARIŞMASI -2020'DE ÖDÜL ALAN TASARIMLAR

Gemi Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliği'nin (GYHİB), Ticaret Bakanlığı koordinasyonunda organize ettiği ve artık geleneksel hale gelen "9. Ulusal Gemi ve Yat Tasarım Yarışması" sonuçlandı. Kazanan yarışmacılar, bu yıl pandemi önlemleri nedeni ile dijital platformlar üzerinden canlı olarak yayınlanan törende ödülleri aldı. 2012 yılından beri her yıl düzenli olarak gerçekleştirilen ve bu yıl temasının «Elektrikli Feribot Tasarımı» olarak belirlendiği yarışmaya **28 öğrenci 14 proje** ile katıldı.

Yarışmanın ödül törenine Türkiye İhracatçılar Meclisi Başkanı **İsmail Gülle**, Türkiye İhracatçılar Meclisi Başkan Vekili **Başaran Bayrak**, GYHİB Yönetim Kurulu Başkanı **Cem Seven**, Deniz Ticaret Odası Başkanı **Tamer Kıran**, Deniz Ticaret Odası Meclis Başkanı **Salih Zeki Çakır**, Gemi Mühendisleri Odası Başkanı **Salih Bostancı**, Türk Loydu Başkanı **Cem Melikoğlu** ile **GYHİB Yönetim Kurulu** Üyeleri katıldı.

Ticaret Bakanlığı Bakan Yardımcısı Rıza Tuna Turagay, törene canlı bağlantı ile katılarak, yarışma heyecanına ortak oldu.





Ödül töreninin açılış konuşmasını gerçekleştiren **Gemi, Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliği Başkanı Cem Seven**, yarışma ile hedeflerinin gençlere inovasyon ve tasarım kültürünü aşılamak olduğunu belirterek, "Ülkemizin, Norveç başta olmak üzere, Avrupa ülkelerine gerçekleştirdiği, çevreye duyarlı ve inovatif ürün olma özelliğine sahip 'Elektrikli Feribotların' yarışma konusu olması üniversitemizin sektörümüz ile olan etkileşimini artırıcı bir unsur olması açısından önemlidir" dedi.

Ulusal Gemi ve Yat Tasarım Yarışmalarının amacının bir rekabet ortamı yaratmaktan ziyade, sektöre yeni adım atan gençlerin gelişimlerine ve kariyerlerine katkıda bulunmak ve gençleri Türkiye gemi ve yat inşa sektörü ile buluşturmak olduğunu altını çizen **Cem Seven**, "İçinde bulunduğumuz salgın koşullarında dahi, elektrikli feribot gibi meşakkatli bir tasarım ortaya koymak için büyük bir emek harcayan tüm arkadaşlarımızı yarışma sonuçlarından bağımsız olarak, göstermiş oldukları cesaret, özveri ve mesleki dayanışma nedeni ile tebrik ediyorum. İnaniyorum ki, bu yarışma için hazırlanmış olduğunuz projeler sizlere gelecekte sektörümüzde yer edinmek adına geçmişte olduğu gibi, önemli referanslar olacaktır" dedi.

Yarışma jürisinin değerlendirmesi sonucu **birinciliğe "Orkoz"** isimli projesi ile Yıldız Teknik Üniversitesi öğrencileri **Onur Kiren, Alperen Kılıç, Oğuzhan Kıt; ikinciliğe "Akana"** isimli projesi ile Yıldız Teknik Üniversitesi öğrencileri **Onurcan Baytok, Sare Nur Çıplakkaya, Alihan Uzun; üçüncülüğe «Breathe»** isimli projesi ile İstanbul Teknik Üniversitesi öğrencileri **Bekir Kurt, Oğuzhan Hümmet, Ahmet Akülkü, Kemal Furkan Öztürk; Mansiyon ödülüne "Lotus"** isimli projesi ile İstanbul Teknik Üniversitesi'nden **Deniz Tahan; Gemi Mühendisleri Odası Özel Ödülü'ne "Fresh"** isimli projesi ile Karadeniz Teknik Üniversitesi öğrencisi **Can Taşkan; Türk Loydu Özel Ödülüne ise "Greenpass"** isimli projesi ile Karadeniz Teknik Üniversitesi'nden **Abdulsamet Yoldaş** layık görüldü.

Yarışmada dereceye giren tasarımcılardan birinciye 40 bin TL, ikinciye 20 bin TL, üçüncüye 10 bin TL, Gemi Mühendisleri Özel Ödülü, Türk Loydu Özel ödülü ve Mansiyon ödülü sahibine ise 5 bin TL ödül verildi.

Yarışmanın jürisinde Salih Bostancı (Gemi Mühendisleri Odası), Mehmet Aziz Göksel (Maltepe Üniversitesi), Bekir Şener (Yıldız Teknik Üniversitesi), Ahmet Dursun Alkan (Milli Savunma Üniversitesi Deniz Harp Okulu), Ercan Köse (KTÜ Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi), İsmail Hakkı Helvacıoğlu (İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği), Ömer Belik (Piri Reis Üniversitesi Mühendislik Fakültesi), Necdet Salgür (Gemi Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliği), Haluk Suntay (serbest tasarımcı), H. Bülent Şener (serbest tasarımcı), Tanju Kalaycıoğlu (serbest tasarımcı), Yusuf Turhan Soyaslan (Gemi Yat ve Hizmetleri İhracatçıları Birliği), Ercüment Kafalı (Yelkenli Gemide Eğitim Derneği), Mustafa İnsel (akademisyen), Cem Melikoğlu (Türk Loydu) yer aldı. Projeler inovasyon, sektöre katkısı, uygulanabilirlik, yerli katkı oranı, çevrecilik ve sunumun kalitesi kriterlerine göre değerlendirildi.

Törenin sonunda, bir sonraki yarışmanın konusunun "12 metre altı tekne tasarımı" olduğu açıklandı.

(Kaynak: <http://www.iib.org.tr/tr/iib-gundem-9-ulusal-gemi-ve-yat-tasarim-yarismasi-sonuclandi.html>)

## 1st Winner Design / 1'ncilik Ödülü Alan Tasarım

Design name: **ORKOZ** Designer students: **Onur Kiren\***, **Alperen Kılıç\*** and **Oğuzhan Kıt\***

\* Yıldız Technical University, Department of Naval Architecture and Marine Engineering.



**ORKOZ**
**NVA30520**

*Sultanahmet Silüeti*

**NASIL BİR FERİBOT SİZİ ETKİLER?**

Kategori	Oran (%)
İstanbul'u Yansıtan	25%
Modern	10%
Uçlarda	17%
Klasik	15%
Diğer	33%

**ORKOZ, Nasıl bir feribot sizi etkiler?** sorusu ile yapılan anket bölümünde elde edilen sonuçlara göre tasarlandı.

**ORKOZ**
**NVA30520**

**KIÇ GÜÇ ÜNİTESİ**

Diğer Kullanıcılar

Switchboard Odası

Kıç Batarya Odası  
68 Adet Modül  
4 Pack  
450kWh

Rolls Royce AZP 085 CPP  
900KW

Siemens SIMOTICS HV C Elektrik Motoru  
1000KW

SİRKEÇİ İSKELESİ PLUG-IN ROBOTİK KOLU

SİRKEÇİ KIYI ŞARJ İSTASYONU  
68 ADET MODÜL  
4 PACK  
450kWh

SİRKEÇİ Şehir Şebeke Hattı

**BAŞ GÜÇ ÜNİTESİ**

Diğer Kullanıcılar

Switchboard Odası

Baş Batarya Odası  
68 Adet Modül  
4 Pack  
450kWh

Siemens SIMOTICS HV C Elektrik Motoru  
1000KW

Rolls Royce AZP 085 CPP  
900KW

HAREM İSKELESİ PLUG-IN ROBOTİK KOLU

HAREM KIYI ŞARJ İSTASYONU  
68 ADET MODÜL  
4 PACK  
450kWh

HAREM Şehir Şebeke Hattı

**ELEKTRİKLİ SEVK SİSTEMİ**

**ORKOZ**
NVA30520

### SAYDAM SOLAR CAM



	TOPLAM SOLAR CAM ALANI	:400 m <sup>2</sup>
	TOPLAM SAYDAM CAM ADEDİ	:210
	TOPLAM SAYDAM CAM FİYATI	:75600 ₺
	AYLIK KAZANÇ(TL)	:9600 ₺
	AYLIK ENERJİ KAZANCI	:4550 kWh

Tasarlanan feribotta yenilikçi ve çevreci yönünü geliştirmek amacıyla güneş panellerinin bir çeşidi olan saydam cam teknolojisi kullanılmıştır. Saydam cam teknolojisi ile elektrik enerjisi üretiminin fayda-maliyet analizine bakıldığında 8. aydan sonra maliyetini karşıladığı ve kâra geçtiği görülmektedir.


### RÜZGAR TÜRBİNLERİ



	RÜZGAR TÜRBİNİ GÜCÜ	:600 W
	TOPLAM RÜZGAR TÜRBİNİ ADEDİ	:2
	TOPLAM RÜZGAR TÜRBİNİ FİYATI	:10400 ₺
	AYLIK KAZANÇ(TL)	:1208 ₺
	AYLIK ENERJİ KAZANCI	:576 kWh

Rüzgârı her yönden kabul edebilme üstünlüğünden dolayı feribotumuzda DERT tipi (Dikey Eksenli) rüzgâr türbini seçilmiştir. Bu türbinler rüzgâr sürükler veya kaldırır. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %35'tir. Rüzgâr türbini teknolojisini ile elektrik enerjisi üretiminin fayda-maliyet analizine bakıldığında 8. aydan sonra maliyetini karşıladığı ve kâra geçtiği görülmektedir.

### KASIS TEKNOLOJİSİ



	OTOMOBİL GEÇİŞİYLE ELDE EDİLEN GÜÇ	:3 W
	TOPLAM KASIS ADEDİ	:10
	TOPLAM KASIS FİYATI	:50000 ₺
	AYLIK KAZANÇ(TL)	:8000 ₺
	AYLIK ENERJİ KAZANCI	:3812 kWh

Tasarlanan iskelelerde araç iniş kapağının hemen önünde ve iskelerin çeşitli yavaşlama noktalarında hareket enerjisini, dinamo ile elektrik enerjisine çeviren kasis teknolojisi kullanılmıştır. Kasis ile elektrik enerjisi üretiminin fayda - maliyet analizine bakıldığında 7. aydan sonra maliyetini karşıladığı ve kâra geçtiği görülmektedir.

DETAYLI ANALİZ ORKOZ RAPORDA

**ORKOZ**
NVA30520



**KARAKÖY**

**SİRKEÇİ İSKELESİ**

**HAREM İSKELESİ**

**İstanbul**

**Sirkeci**

### NEDEN SİRKEÇİ-HAREM HATTI ?

- Güzergâh süresi 8-10 dakika arasında değiştiği için elektrik ile sevk mesafesi için uygundur.
- Sefer hattı güzergahında tasarıma ilham kaynağı olan mimari ve tarihi unsurlar içerir.
- Marmaray projesine alternatif bir güzergâhtır.
- Yolcu ve araç taşıma kapasitesi bakımından en yoğun kullanılan hattır.

	ARAÇ	:80
	YOLCU	:600
	MESAFE	:3.8 km
	SÜRE	:10 dk
	SEFER YAPACAK FERİBOT SAYISI	:2
	PLANLANAN MAKS. SEFER SAYISI(GÜNDE)	:102
	TAŞINACAK MAKS. ARAÇ SAYISI(GÜNDE)	:8160
	TAŞINACAK MAKS. YOLCU SAYISI(GÜNDE)	:61200

### TAHİMİNİ YILLIK TASARRUF

	700,000 litre dizel
	1850 ton CO <sub>2</sub> salınımı

## 2nd Winner Design / 2'ncilik Ödülü Alan Tasarım

Design name: **AKANA** Designer students: **Onurcan Baytok\***, **Sare Nur Çıplakkaya\*** and **Alihan Uzun\***


\* Yıldız Technical University, Department of Naval Architecture and Marine Engineering.

AKANA
ELEKTRİKLİ FERİBOT  
TASARIMI
EUR79621



LOA : 60 [m]	Gros Tonaj : 482 [GT]	<b>Tasarım Konsepti</b> Kısa-Orta Menzilli 60 Metre Çevreci Elektrikli Feribot <b>Üretimde Kullanılacak Teknikler</b> Kaynak, Mekanik Birleştirme, Talajsız Şekillendirme <b>Üretimde Kullanılacak Malzemeler</b> Gemi İnşa Çeliği, Akrilik, Ahşap, Cam, Kompozit
B : 13,5 [m]	Yolcu Kapasitesi : 540/770	
T : 2,23 [m]	Araç Kapasitesi : 32 [PCU]	
V : 18 [knot]	İsim Önerisi : AKANA	
Δ : 810,9 [ton]		

AKANA
TASARIM ÖZELLİKLERİ
EUR79621



**CAM KUBBE**  
Yolcu güvertesinin doğal ve homojen aydınlatılmasını sağlayan tasarım.

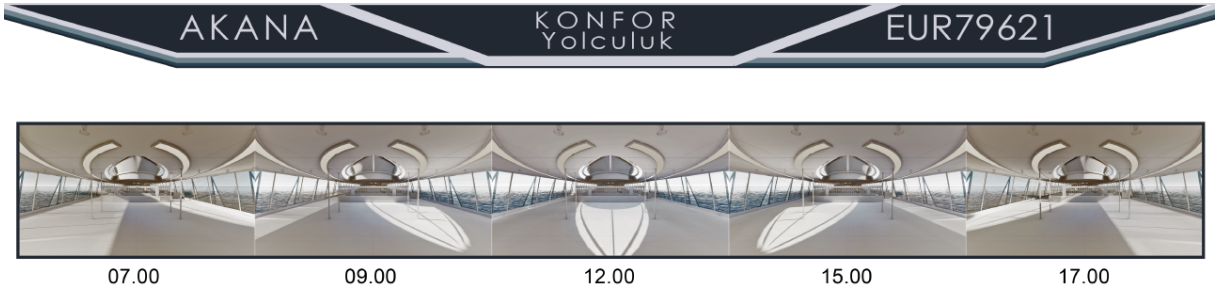
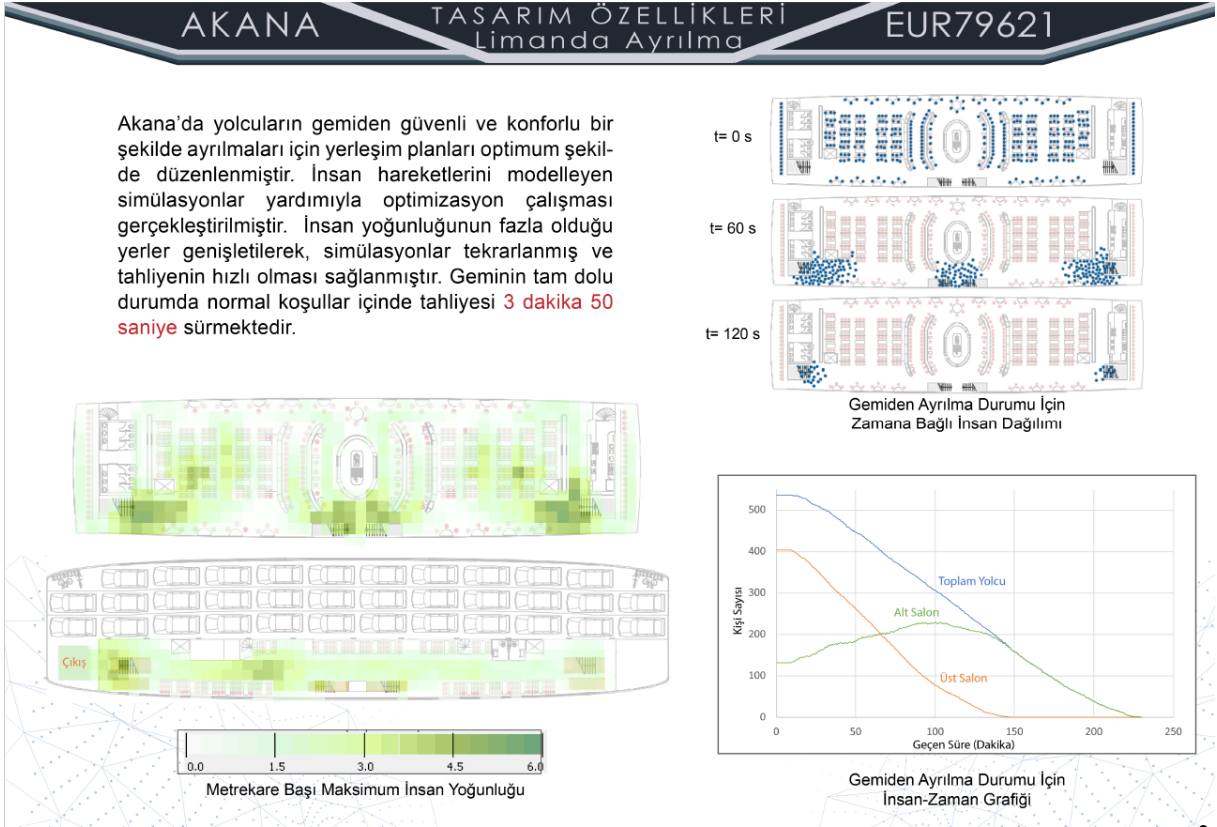
**GÜNEŞ PANELLERİ**  
Zararlı güneş ışınlarını soğurarak hem elektrik üretimi hem de konfor sağlayan şeffaf yapıda akrilik panellere entegre güneş panelleri

**KAPTAN KÖŞKÜ**  
Navigasyon cihazlarını gizleyen kompakt tasarım

**AKRİLİK PANELLER**  
Sahip olduğu özel açılar sayesinde lokal basınç düşüşü yaratarak havalandırma sistemine katkı sağlayan hafif yapıda şeffaf paneller

**BORDA CAMI**  
Maksimum gün ışığı için tasarlanmış panoramik yapı

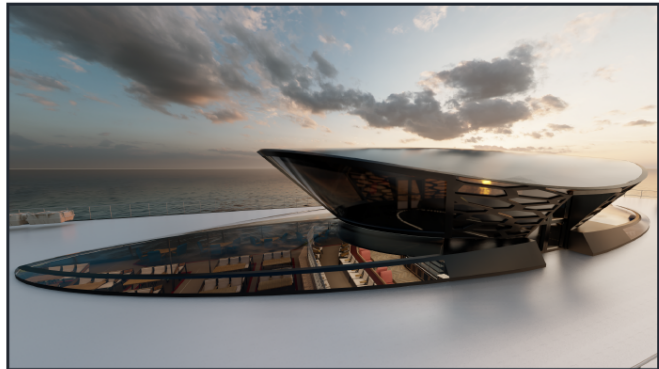
**GÜNEŞ PANELİ**  
Dış tasarımı bozmayacak şekilde konumlandırılmış güneş panelleri



Akana'nın dış tasarım sürecinde de misafirlerin konforu en önemli etkenlerden biri olmuştur. Bu yüzden geminin tüm yolcu güvertelerini kapsayan panoramik borda camları ve üst yolcu güvertesinde 80 m<sup>2</sup> izdüşümü alanına sahip bir cam kubbe bulunmaktadır. Geminin camları, gün ışığını geminin içine alarak geminin büyük bir kısmının doğal aydınlatmadan yararlanmasını sağlamaktadır. Bu hem geminin iç hacmi ile dışı arasındaki ayrımı azaltmaktadır hem de salonlardaki yapay aydınlatma gerksimini düşürmektedir.

Pandemi gibi sosyal anksiyetenin arttığı dönemlerde, insanlar kapalı alanlarda vakit geçirmekten kaçınmaktadır. Misafirlerimizde bu algının oluşmaması için Akana'da hacimler arasındaki sınırlar olabildiğince kaldırılmıştır. Sağlık ve temizlik algısı oluşturmak için Le Corbusier'in de savunduğu gibi gemi içinde beyaz monokromatik tonlar kullanılmış, gün ışığı olabildiğince iç hacme katılmıştır.

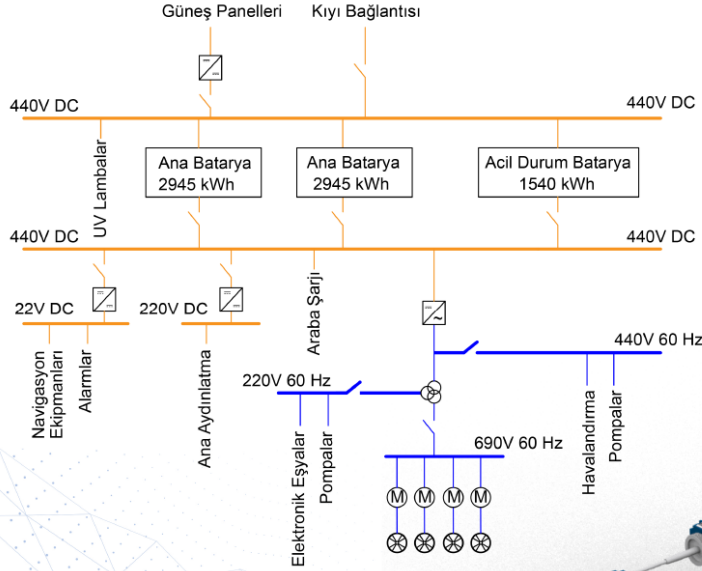
Tavan camları sayesinde güneş alan bölgeler yukarıda verilmiştir. Güneş alan bölgeler oluşturulurken İstanbul boğazında yaz aylarındaki güneş konumu esas alınmıştır.



## AKANA

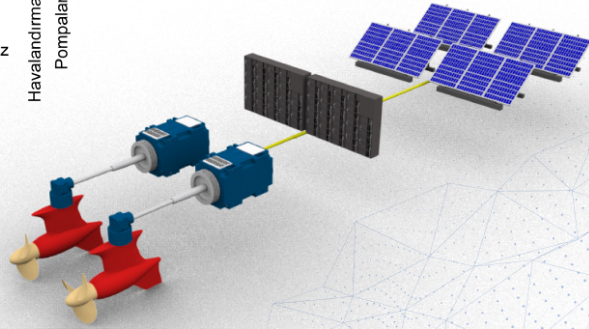
 TEKNİK ÖZELLİKLER  
Elektrik

## EUR79621



Akana'nın elektrik sistemi, enerji kaybını en aza indirmek için DC şebeke ağırlıklı olarak tasarlanmıştır. Şebeke düşük voltajda tutulup, transitor ve transformatör kayıpları minimuma indirilmiştir.

Akana'nın kıyından aldığı elektriği pervaneye iletene kadar yaklaşık %8 kayıp olmaktadır. Konvansiyonel içten yanmalı motorlarla karşılaştırıldığında, bu oldukça düşük bir değerdir. IMO'nun EEDI standartlarının yakalanması için, %8 yeterli bir değerdir.



## AKANA

## ROTALAR

## EUR79621



SEYAHAT BOYUNCA ELEKTRİKLİ  
ARAÇLARI ŞARJ ETME İMKANI



SIFIR EMİSYONLU SEFERLER



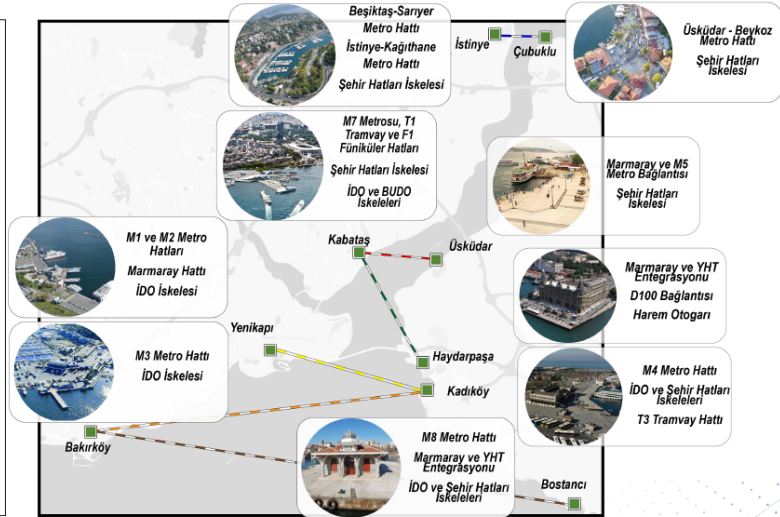
ANA ULAŞIM HATLARINA ENTEGRASYON  
SAYESİNDE ORTALAMA TRAFİKTE KALMA  
SÜRESİNDE AZALMA



GÜNLÜK ORTALAMA 600 KW  
ENERJİ ÜRETİMİ



BİSKİLETLİ YOLCULAR İÇİN ERİŞİLEBİLİR  
DİZAYN VE BİSKİLET YOLLARINA ENTEGRE  
ROTALAR



**Kabataş - Üsküdar Hattı**  
2 km - Sefer Süresi: 5 dakika  
TAM DOLU ŞARJ İLE 36 SEFER  
YILLIK 6 MİLYON YOLCU

**Kabataş - Haydarpaşa Hattı**  
5 km - Sefer Süresi: 10 dakika  
TAM DOLU ŞARJ İLE 18 SEFER  
YILLIK 6 MİLYON YOLCU

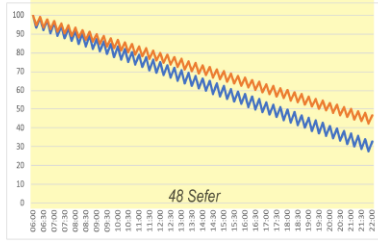
**Kadıköy - Bakırköy Hattı**  
12 km - Sefer Süresi: 22 dakika  
TAM DOLU ŞARJ İLE 8 SEFER  
YILLIK 3 MİLYON YOLCU

**Kadıköy - Yenikapı Hattı**  
6 km - Sefer Süresi: 12 dakika  
TAM DOLU ŞARJ İLE 15 SEFER  
YILLIK 4 MİLYON YOLCU

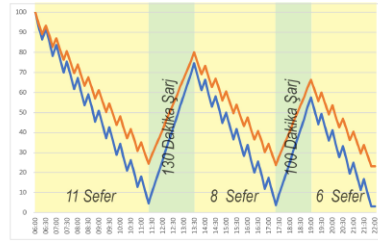
**İstinye - Çubuklu Hattı**  
1.7 km - Sefer Süresi: 5 dakika  
TAM DOLU ŞARJ İLE 36 SEFER  
YILLIK 2 MİLYON YOLCU

**Bostancı - Bakırköy Hattı**  
18 km - Sefer Süresi: 33 dakika  
TAM DOLU ŞARJ İLE 5 SEFER  
YILLIK 3,5 MİLYON YOLCU

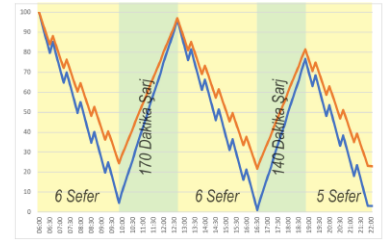
## AKANA TEKNİK ÖZELLİKLER Elektrik EUR79621



10 Dakika Sefer - 10 Dakika Liman Koşulları



20 Dakika Sefer - 10 Dakika Liman Koşulları

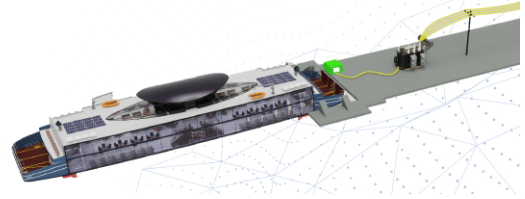


30 Dakika Sefer - 10 Dakika Liman Koşulları

— Toplam Batarya Yüzdesi  
— Ana Bataryaların Yüzdesi

Grafiklerde Akana'nın 06:00 - 22:00 saat aralığında işletilmesi için 3 farklı sefer süresine göre batarya yüzdeleri verilmiştir. Feribotun 185 dakikada kendini tamamen şarj etmesi planlanmıştır. Dünya'daki diğer örneklerde olduğu gibi, iskeleye hızlı şarj için trafo sistemi kurulması gerekmektedir. Feribottaki devre için en uygun voltajın 440V DC olduğuna karar verilmiştir.

Akana'da DNV-GL ve RINA sertifikalı Le Clanche Li-Ion bataryalar kullanılmıştır. IP65 standartına göre üretilen bataryalarda, entegre yangın dedektörü ve söndürme sistemi mevcuttur. Bataryaların ortalama 20000 çevrim ömrü vardır.



### 3rd Winner Design / 3'üncülük Ödülü Alan Tasarım

Design name: **BREATHE** Designer students: **Bekir Kurt\***, **Oğuzhan Hümmet\***, **Ahmet Akülkü\***, **Kemal Furkan Öztürk\***

\* Istanbul Technical University, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering.

 Breathe
BRE09697

#### Teknik Özellikler ve Genel Görünüm

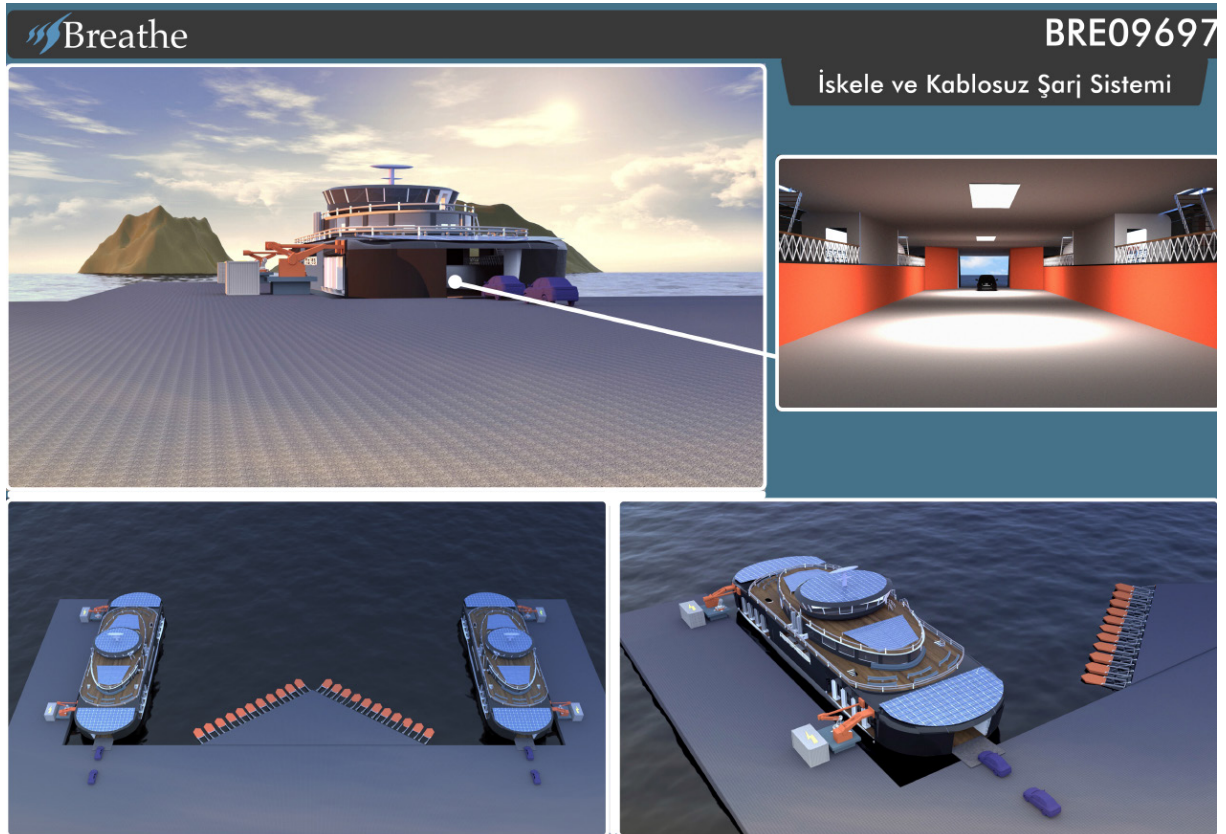
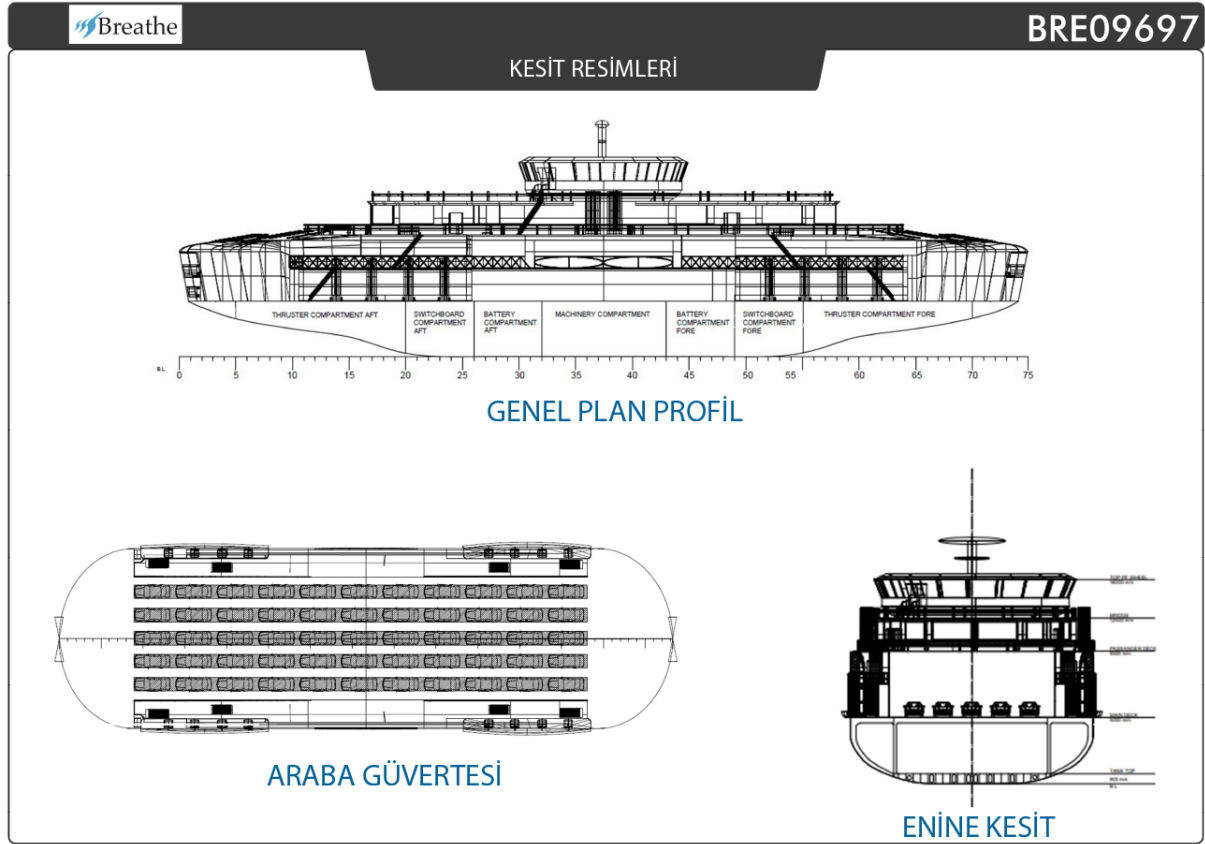


#### TEKNİK ÖZELLİKLERİ

L: 75 m	Deadweight: 350 t
B: 22 m	Gros tonaj: 3670 t
D: 5 m	Displacement: 1987 t
T: 2.9 m	Yolcu: 300
V: 13-15 knot	Araç: 60

#### BREATHE

Solar, rüzgar ve dalga enerjisini kullanarak kendini sevk edebilen elektrikli feribot



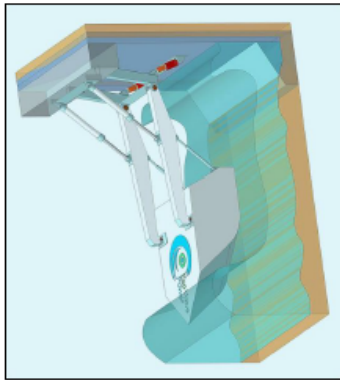




BRE09697

20 türbin → 1 günde → 4 kWh enerji  
 20 × 13 = 260 kg

#### Eco Wave Power Wave Farm



BREATHE gibi şarj edilebilir gemiler için tasarlanan iskelelerimizde bulunan 22 adet dalga Eco Wave dalga yakalayıcısı vardır.

Bu dalga yakalayıcılar gemilerin iskeleye yanaşırken ve ayrılırken yapmış oldukları manevralardan yararlanarak enerji dönüşümüne katkı sağlar.

Şekil 16. Eco Wave dalga yakalayıcı [13].

#### 3.2.2. Batarya ve Pervane Seçimi

##### Corvus Dolphin Energy



System Specifications	
Single Module Size / Increments	78 kWh / 128 VDC
Single Pack Range	78-624 kWh / 128-1024 VDC
Max Cravimetric Density - Pack	130 Wh/kg   177 kg/kWh
Max Volumetric Density - Pack	75 Wh/l
Example Pack - 7 Modules	
Energy	54,6 kWh
Voltage	Max. 895 VDC   Nom. 805 VDC   Min. 672 VDC
Dimensions	Height: 2370 mm   Width: 654 mm   Depth: 500 mm   420 kg

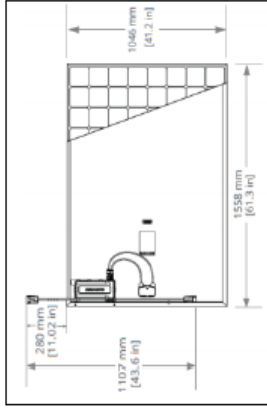
Şekil 14. Corvus Dolphin Energy batarya ve genel özellikleri [14].



BRE09697

150 m<sup>2</sup> baş, 150 m<sup>2</sup> kış ve 200 m<sup>2</sup> kaptan koşkünde olup toplamda 500 m<sup>2</sup> alan kaplayan güneş panelleri ;

SunPower® X-Series: X22-370 | X22-360



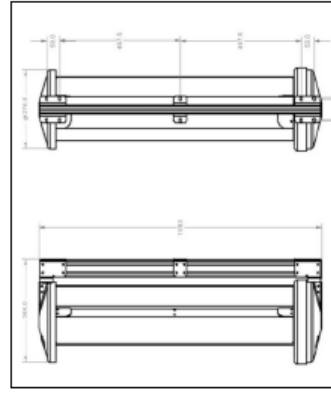
Operating Condition And Mechanical Data	
Temperature	-40° F to +185° F (-40° C to +85° C)
Impact Resistance	1 inch (25 mm) diameter ball at 52 mph (23 m/s)
Appearance	Class A+
Solar Cells	96 Monocrystalline MonoGen III
Tempered Glass	High transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-65, MC4 compatible
Weight	41 lbs (18.6 kg)
Max. Load	Wind: 62 psf, 3000 Pa, 305 kg/m <sup>2</sup> front & back Snow: 1.25 psf, 6000 Pa, 611 kg/m <sup>2</sup> front
Frame	Class 1 black-anodized (high-strength AAMA rating)
Nominal Power (P <sub>max</sub> )	360 W

Şekil 12. Sunpower monokristal güneş panelci özellikleri [11].

1.65 m<sup>2</sup> → 1 panel → 1 saatte → 0.36 kWh enerji  
 500 m<sup>2</sup> → 300 panel → 1 saatte → 108 kWh enerji  
 300 × 18.6 = 5.5 ton

Sancak-iskele bordada 8'er tane ve yolcu güvertesinde 4 adet olup toplamda 20 adet dikey rüzgar türbinleri ;

##### LE-v150 Extreme



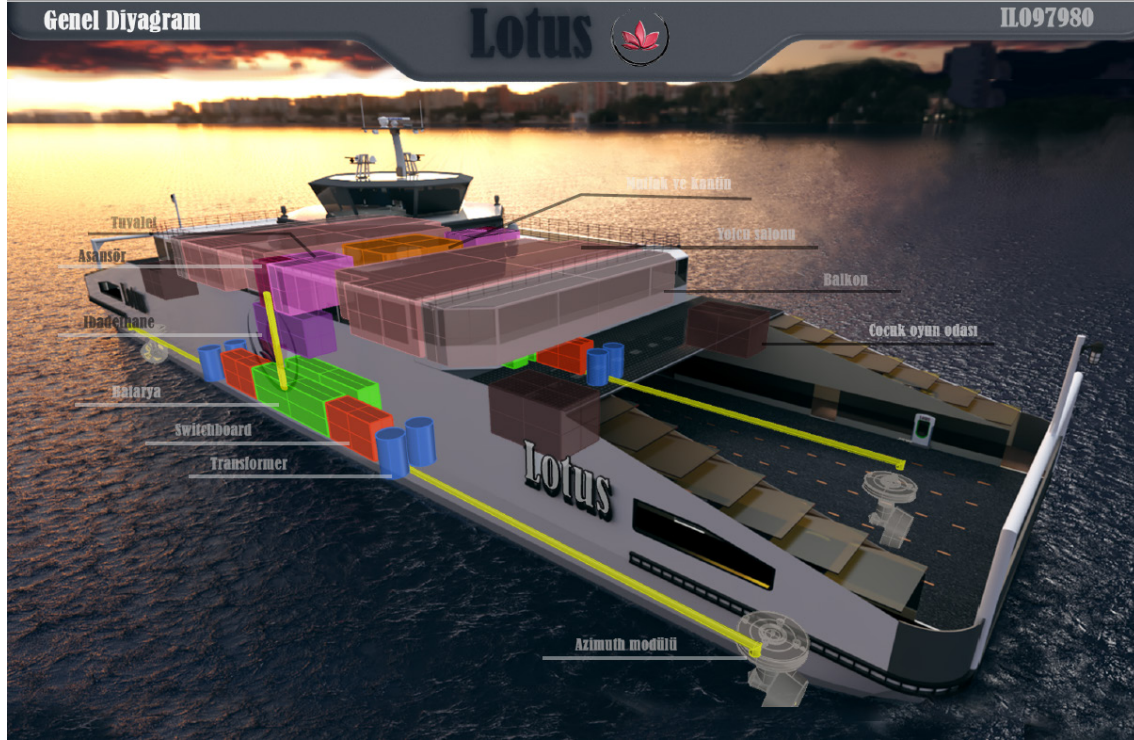
**Rotor diameter** - 270mm  
**Rotor Height** - 918mm  
**Rotor Type** - 3-Blade savonius  
**Blade Material** - Stainless Steel  
**Rated output** - 24W at 8m/s (18mph)  
**Peak output** - 200W  
**Cut-in speed** - 5m/s (11mph)  
**DC output voltage** - 1.2V, 24V, 48V  
**Weight** - 13Kg  
**Warranty** - 2 years

Şekil 13. LE-v150 Extreme dikey rüzgar türbini özellikleri [12].

### 3rd Winner Design / 3'üncülük Ödülü Alan Tasarım Mention Winner Design / Mansiyon Ödülü Alan Tasarım

Design name: **LOTUS** Designer student: **Deniz TAHAN\***

\* Istanbul Technical University, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering.



**Teknik Rapor**
**Lotus**
**IL097980**

#### Direnc Güç Hesabı

Direnc grafiği  
 $t=k \times w$   
 $R=T(1-t)$   
 $nH=(1-t)/(1-w)$   
 $nT=nH \times n0 \times nS \times nR$

Sırasıyla üstteki bağıntılar kullanılarak mekanik toplam verim 0,692 olarak hesaplanmıştır. Elektrik kayıpları ile 0,663 olarak gerçekleşmiştir. Gemi sevk işleminin 17 knot hızda yürütülebilmesi için %10 deniz marjiniyle beraber gerekli olan güç  $Pb=1980kW$  olarak hesaplanmıştır. İtici olarak sefer sırasında 2'si çalışmak üzere 4 adet Schottel üretimi SRE 340 seçilmiştir.

Tipi	Rated Power (kW)		Propeller ø (m)		İtici hızları 2-20kn (kn/h)		İtici hızları 1-20kn (kn/h)	
	A	B	C	D	1	2	1	2
SRE 210	550	550	550	640	1,55	1500/1600/1700/2100	-	1200
SRE 240	8200	1120	1200	1200	2,10	750/900/1000/1200/1600/1800	-	900
SRE 430	1400	1550	1850	1800	2,50	750/900/1000/1200/1600/1800	-	750
SRE 460	1700	1800	2000	2200	2,75	750/900/1000/1200/1600/1800	-	800
SRE 560	2100	2350	2500	2800	3,10	750/900/1000/1200/1600/1800	-	750
SRE 640	2630	2820	3000	3400	3,35	-	-	-
SRE 760	3280	3580	3830	4400	3,80	-	-	840
SRE 780	3640	4220	4500	5100	4,20	-	-	-

#### Batarya Hesabı

1980+340kw toplam güç ihtiyacı

1 saat 35 dakika için 3600 kWh enerji

Günde toplam 6 sefer

21600 kWh harcanacak enerji

1100 volt 4400 amper

30 dakika için 2420 kWh şarj

Günde toplam 5 şarj operasyonu

12100 kWh geri kazanılacak enerji

Bir gün için toplam harcanan enerji ile bataryalara geri yüklenebilen enerji arasındaki fark, seferleri aksamaması için bataryalardan sağlanmalıdır. Bu nedenle batarya kapasitesi 10 MWh olarak kabul edilmiştir.

Leclanché üretimi The Marine Rack System (MRS) modüllerinden oluşacak batarya kurulumu için, her iki yarı gövde de simetrik olarak 16 adet MRS 9 modülü 8s4p varyantıyla kullanılacaktır. Bu dizim ile şarj sistemi ile sevk sistemi için gerekli 1100 volt karşılanmaktadır.

Sıradan bataryaların döngü ömürlerini sınırlayan en önemli faktör yüksek amperdir. Kurulumu planlanan batarya sisteminde ise kullanılan bağlantı varyantı sayesinde bu tehlikeden korunulmaktadır.

Bataryalar sıradan lityum iyon pillere göre 4 kat daha yüksek döngü ömrüne sahip G-NMC tipinde seçilmiştir.

Switchboard olarak yerli Betesan üretimi NB Lv serisikullanılacaktır.

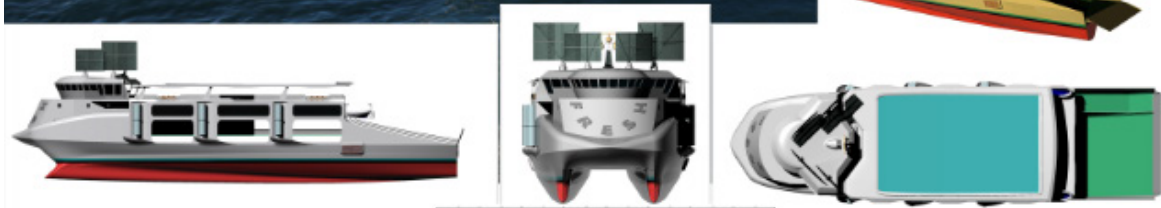
## GMO Special Premium Winner Design / GMO Özel Ödülü Alan Tasarım

Design name: **FRESH** Designer student: **Can TAŞKAN\***

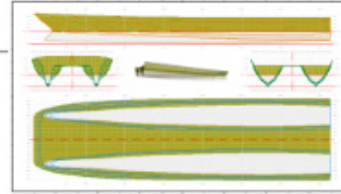
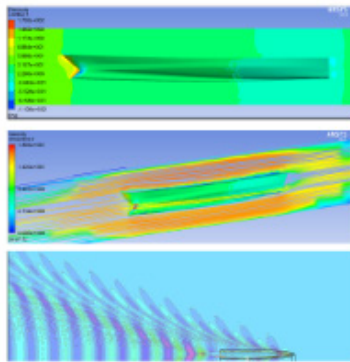
\* Karadeniz Technical University, Department of Naval Architecture and Marine Engineering.

# FRESH

N0F37811



### Gövde geometrisi ve analizleri

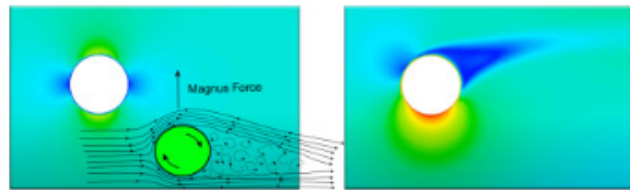
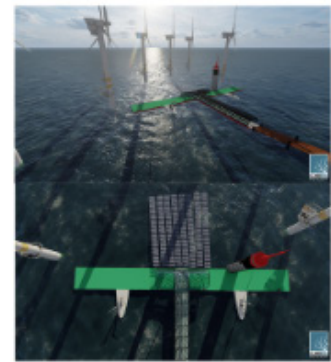


**LENGTH:70m**  
**BEAM:17m**  
**DRAFT:3.20m**

Fresh; yaklaşık 100 sene önce gündeme getirilmiş ve inşa edilmiş rotor gemilerinin izinden gitmektedir. Fosil yakıtların erişilebilirliği ve ucuzluğu beraberinde getirdiği göz ardı edilemez zararlar neticesinde terk edilmeye mahkumdur.

Fresh üzerinde bulunan rotarlar ve yelkenlerine ayrıyetten bağlı bulunduğu limandaki panelleri ve rüzgâr güllerinin sağladığı enerjiyi depolayarak rotorsuz ve yelkensiz de sevkini sağlayabilmektedir

### Liman yapısının çeşitli görünüşleri



Rotarlar geminin iskele ve sancak yönünde gelen hava akımını bi yönde sıkıştırarak hızlandırır ve hızlanan hava akımı basınç düşümüne sebep olur. Bu basınç farkı gemiye istenilen yönde itme kuvveti sağlar.

## Türk Loydu Special Premium Winner Design / Türk Loydu Özel Ödülü Alan Tasarım

Design name: **GREENPASS** Designer student: **Abdulsamet YOLDAŞ\***

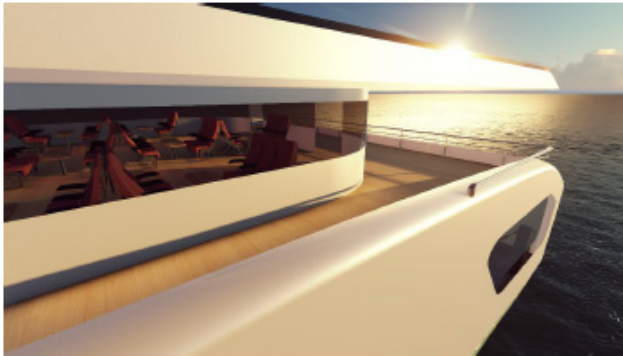
\* Karadeniz Technical University, Department of Naval Architecture and Marine Engineering.

# GREEN PASS

KGT43589

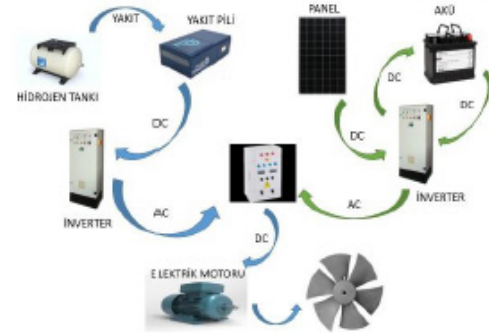
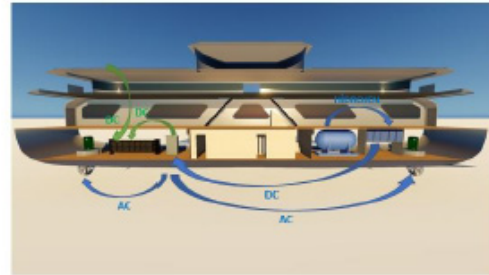
### PROJENİN AMACI ;

- Çevreye duyarlı bir proje olma amacı güdülmüştür. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için hidrojen ve güneş paneli sevk sisteminde kullanılmış olup 0 emisyon salınımı gerçekleştirilmiştir.
- Hidrojen enerjisi yakıt pillerinde tersine elektroliz ile oksijen ile birleşerek elektrik enerjisi elde edilmiş amaçlanmıştır.
- Güneş panelleri feribot tasarımının ilgili bölümlerine montajı yapılarak maksimum derecede verim alınması amaçlanmıştır.
- GREEN PASS genel olarak günümüz teknolojisinin tüm imkanlarını kullanarak çevreci dostu bir proje olmayı amaçlamaktadır.

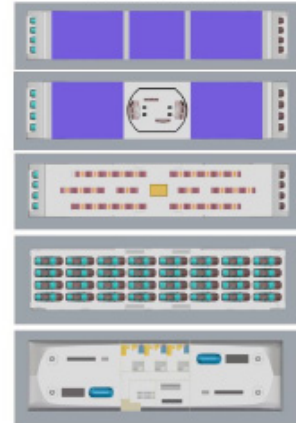


Tasarım Kategorisi: Elektrikli Feribot  
Tasarım Adı: Green Pass

GREEN PASS 'DE SEVK SİSTEMİ VE HİBRİT ŞEMASI



GREEN PASS 'DE KAT PLANI





## **2nd INTERNATIONAL CONGRESS ON SHIP AND MARINE TECHNOLOGY**

**“Green and Intelligent Maritime Industry”**

*Inspire, Innovate & Develop for the Benefit of Sea*

**(GMO-SHIPMAR 2021)**

**İstanbul, 16-17 September 2021**

Değerli Üyelerimiz ve Endüstri Ortaklarımız,

Odamız Yayın Komisyonu tarafından 16-17 Eylül 2021 tarihlerinde, **2. ULUSLARARASI GEMİ VE DENİZ TEKNOLOJİSİ KONGRESİ** adlı - Yeşil ve Akıllı Denizcilik Endüstrisi temalı bilimsel ve teknik bir etkinlik düzenlenecektir. Bilim insanları, araştırmacılar, uzmanlar ve endüstri ortaklarımızı kongremize katılmaya davet ederiz. Bildiri sunumları ve özel oturumların planlandığı kongre 16-17 Eylül 2021 günlerinde canlı bağlantılı ve fiziksel katılım ile gerçekleştirilecektir.

Bildiri özet ve tam metin kayıtları aşağıdaki link üzerinden gerçekleşecektir.

<https://easychair.org/conferences/?conf=gmoshipmar2021>

Saygılarımızla,

GMO-SHIPMAR 2021 Düzenleme Kurulu  
[www.gmoshipmar.org](http://www.gmoshipmar.org)

Dear Members and Colleagues,

The Publication Commission of the Turkish Chamber of Naval Architects and Marine Engineers is proud of organizing the **2nd INTERNATIONAL CONGRESS ON SHIP AND MARINE TECHNOLOGY (GMO-SHIPMAR 2021)** with the central theme “Green and Intelligent Maritime Industry”. Scientists, researchers, professionals and industry partners are kindly invited to present papers subjected to exchange their experiences and research outcomes on all aspect. GMO-SHIPMAR 2021 is planned to be held on 16-17 September 2021, Istanbul, Turkey, offering both online and on-site sessions.

Submission link for summary and full papers: <https://easychair.org/conferences/?conf=gmoshipmar2021>

Regards,

GMO-SHIPMAR 2021 Organizing Committee  
[www.gmoshipmar.org](http://www.gmoshipmar.org)

Önemli Tarihler / Deadlines :

Workshop / Special Session Proposal	: 06.06.2021
Full / Short Paper and Poster Abstract	: 05.02.2021
Notification	: 15.02.2021
Fullpaper Submission	: 06.06.2021
Notification of Fullpapers	: 25.06.2021

WWW.GMOSHIPMAR.ORG

**2<sup>nd</sup> INTERNATIONAL CONGRESS ON SHIP  
AND MARINE TECHNOLOGY**

**2. ULUSLARARASI GEMİ VE DENİZ  
TEKNOLOJİSİ KONGRESİ**



CONGRESS LANGUAGES ARE TURKISH AND ENGLISH.  
KONGRE DİLİ TÜRKÇE VE İNGİLİZCEDİR.

16-17 SEPTEMBER 2021 | ISTANBUL, TURKEY

**Bildiri Kayıt/Paper Submission:**  
<https://easychair.org/conferences/?conf=gmoshipmar2021>

THE TURKISH CHAMBER OF NAVAL  
ARCHITECTS AND MARINE ENGINEERS  
TMMOB GEMİ MÜHENDİSLERİ ODASI

 @TMMOBGMOERKEZ  @GEMIMUHENDISLERIODASI  @GEMIMUHENDISLERIODASI

 @GEMIMUHENDISLERIODASI  @TMMOBGEMIMUHENDISLERIODASI

 0216 447 40 30-31-32  
 GMO@GMO.DRG.TR

Kapsamı esnek kongre konuları / Suitable topics for the congress include, but are not limited to, the following:

Green&Sustainable Maritime,  
Offshore Technologies,  
Marine Design and Safety,  
Safety and Risk Management,  
Human Factor Engineering,  
Ship Resistance,  
Drag Reduction & Energy Saving  
Technologies,  
Fouling/Coating Hydrodynamics,  
Ship Stability,  
Advanced Materials,  
Marine Structures,  
Fluid and Structure Interactions,  
Propulsion Systems,  
Noise and Vibration,  
Bunkering,

Alternative Fuels,  
Marine Renewable Energy,  
Offshore Wind Energy,  
Ocean Energy,  
Energy Efficiency,  
Decommissioning and Recycling,  
Underwater Technology and Acoustics,  
Arctic Engineering,  
Marine Electrical Equipments,  
Innovation,  
Artificial Intelligence,  
Unmanned Vehicles,  
Big Data Analytics,  
Small Crafts and Yachts,  
Multimodal Transportation,  
Ship Finance.

# LNG Gemisinin Tekne Boyuna Giden Yapısal Eleman Bağlantılarının Basitleştirilmiş Yorulma Mukavemeti

Özgür Özgüç<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

ozguco@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7238-0642

## ÖZET

Yorulma mukavemeti konusu, gemi inşa endüstrisindeki gemi sahipleri, tersaneler, tasarımcı ve Klas kuruluşları için her zaman kritik olmuştur. Yorulma analizleri için hesaplama prosedürleri karmaşık ve zaman alıcı bir iştir, ancak güvenli operasyon amaçlı çok kritik bir öğedir. Bu çalışmanın temel amacı, bir LNG gemisinin DNVGL Klas 30.7: “Gemi Yapılarının Yorulma Değerlendirmesi” ne dayanan basitleştirilmiş yorulma mukavemeti yöntemini kullanarak bir vaka çalışması üzerinde boyuna giden yapısal elemanların yorulma ömrünü tahmin edebilmektir. Ful yükleme durumu ve balast durumu, yorulma hasarı değerlendirmesine göre incelenir. Yorulma ömrü, Kuzey Atlantik deniz ortamlarında seçilen dinamik dalga ortamı ve 25 yıllık bir tasarım ömrü için hesaplanır. İncelenen detaylarının çoğu için, yorulma ömürleri 15 yıllık verimli bir korozyon ömrü kullanılarak 25 yılın üzerindedir. Bununla birlikte, dip yapı, alt cidar ve alt hopper levhasının çerçevelerine uzunlamasına bağlantıların, 25 yılın altında bir yorulma ömrünü göstermektedir. Geminin tüm ömrü boyunca etkin bir korozyon kaplama sağlanırsa, boyuna giden stifner bağlantılarının sadece alt tarafı ve üst hopper kısmı modifikasyonlara gereksinim duyuyor. Yorulma ömürleri 25 yıldan az olan yapısal detayların onarım yöntemleri bir öneri şeklinde bu çalışmanın sonunda sunuluyor.

**Anahtar kelimeler:** Yorulma hasarı, S-N yorulma eğrileri, LNG gemisi, yorulma nedenli çatlak, onarım önerisi.

**Makale geçmişi:** Geliş 25/07/2020 – Kabul 03/10/2020

# Simplified Fatigue Assessment of Hull Longitudinals Connections of an LNG Vessel

Özgür Özgüç<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

ozguco@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7238-0642

## SUMMARY

The problem of fatigue has been very critical for ship owners, designer, classification society etc. in shipbuilding industry. The assessment procedure for fatigue strength is complicated and a time-consuming job, but, for the maintenance purpose, it is a very critical item. Main target of present study is to calculate the fatigue life of longitudinal members amidships, where an LNG vessel is addressed as a case study using simplified fatigue method, which is based on DNVGL Classification Note 30.7: "Fatigue Assessment of Ship Structures". A full load condition and a ballast condition are investigated with respect on fatigue damage assessment. Fatigue life is computed for selected longitudinal connections, amidships and 25-year designed life is aimed with North Atlantic wave environment. For the most of the details examined, the fatigue lives are found above 25 years using an efficient coating life of 15 years. The lower side, bottom and hopper plate longitudinal connections to web frames indicate fatigue lives below 25 years. If an effective coating is maintained during the entire lifetime of the vessel, only lower side and lower part of hopper plate longitudinal connections at web frames would need modifications. Repair proposals are given for those details having fatigue lives less than 25 years in the end of the study.

**Keywords:** Fatigue damage, S-N fatigue curves, LNG carrier, fatigue crack, repair proposal.

**Article history:** Received 25/07/2020 – Accepted 03/10/2020

## 1. Introduction

Fatigue damage is the most common damage in ship structures due to cyclic wave loads. Fluctuating stresses arising from wave loads can initiate fatigue cracks in the vicinity of joints which are inadequately designed, constructed and maintained. When the critical areas with respect to fatigue are identified, it is time to select the fatigue calculation method. The methods range from a simplified method based on simplified analytical expressions to refined numerical simulations. Depending on the detail to be considered and requested accuracy of the calculations, three fatigue analysis options are mainly used such as simplified method, component stochastic and full spectral method.

The simplified fatigue calculation option is suitable for members where the total stress response can be defined as a sum of individual stress components due to global wave bending moments, external



and internal local pressures. Typical details are stiffeners and plating. The wave loads are computed using Class Rule formulas and stress response is calculated by simplified approaches using beam theory in conjunction with tabulated values of stress concentration factors (Ozguç, 2016).

Fatigue is important designing criteria for ships to ensure a sufficiently high safety level. It is known that the fatigue strength decreases in corrosive environment and many experiments were carried out to comprehend the decrease in fatigue strength in corrosive environment (Ozguç, 2017a)

The results of fatigue assessment are influenced by several aspects of cost and safety, including the quality of connection materials, quality of welding fabrication, frequency of inspections and repairs, consequences of potential fatigue failure, and residual strength of partially damaged structural systems (Ozguç, 2017b and 2017c). An overview of some recent developments on the aging effects on the structural integrity of ships was addressed by Jurišić et al. (2017).

The occurrence of cracks in the hull structure of oil and gas carriers is a major concern for the marine industry because the crack propagation will reduce the collapse strength of the stiffened panels and consequently decrease the ultimate hull girder capacity of ship structures (Garbatov et al. 2016). Classification Societies developed different tools to ensure a high-quality standard of ageing vessels. The computer programs and procedures available today are sufficient to avoid most fatigue problems associated with ship shaped structures (Kyungseok 2013). An example of a more rigorous procedure by means of DNVGL Nauticus Hull and Sesam program packages (DNVGL, 2007) was presented, where a simplified method was used in accordance with Class Rules for ships.

Corrosion and fatigue cracks are the most significant degradation effects of ship structures. Both of the aging effects have strong implications for virtually all related failure modes, such as rising stress levels and weakening ship structural strength. A very large crude oil carrier's corrosion-related impact on a ship's hull was investigated and analyzed by Van and Yang (2017).

The fatigue assessment of the deck longitudinals of oil carriers was investigated by Parunov et al. (2013). An assessment of stress intensity factors and the Paris-Erdogan law were defined in a parametric expression. During the inspection of two tanker vessels, long-term corrosion effects were modelled in accordance with the regression equation fit for measuring thickness. The value of the governing parameters of crack propagation was studied in parametric studies. A comparison was produced with fatigue experiments carried out by means of linear mechanics of fracture and S-N approaches.

Fatigue damages reduce the load-carrying capacity of the structure, and may result in leakages, resulting in pollutions, and cargo mixing in confined areas in severe cases, and such structural damage may conceivably cause catastrophic failure or total loss of the units. Hull longitudinals are essential structural elements in the side shell structure of floaters. The wave loads introduce significant dynamic stresses in the side shell below the mean water level. This has led to a number of fatigue cracks in the welded connections between side longitudinal stiffeners and transverse frames and bulkheads (Ozguç, 2018a and 2018b).

Lotsberg (2019) has provided an overview of the evolution over the past 40 years of fatigue quality requirements for marine structures. The construction of offshore structures in harsh environments like the North Sea in the 1970s called for fatigue quality requirements for ship and offshore structures. The need for fatigue design of ship structures became increased as more high strength steel was being used in these structures during the 1970s.

Ozguç (2020a and 2020b) generated Finite Element (FE) models for a typical midship section between two transverse bulkheads in order to determine relative deflection between a transverse frame and a

transverse bulkhead due to external sea pressure and internal loads from tanks. The assumptions made in the analyses might differ from those governing the fatigue life of specific vessels. The findings of structural analyses provided remaining life assessment, inspection plan definition based on hot-spot maps, determination of repair and modification solution such as avoiding further cracking, ensure sufficient corrosion margin, and avoiding integrity issues resulting in production down time and hot work or dry dock (Ozguc, 2020c).

The fatigue damage is a potential for the structural safety of ship structures and accurate prediction of fatigue crack propagation, and its impact on the integrity of the ships are crucial. Ozguc (2020d) conducted this task and achieved ensuring the safety of ship structures with fatigue life extension of the upper and lower hopper knuckle connection at an oil tanker by modifying properly the structural layout of the configuration.

Ozguc (2020e) described fatigue analysis procedures that were supported by a developed tool to be used in the calculations. Three details of local fine mesh models such as deck erection butt weld, longitudinal stiffener through web-frame, and bottom erection butt weld were analyzed. The results were compared with the component-based approach.

Main goal of current study is to report the calculated fatigue life of longitudinal members amidships, where a LNG vessel is addressed as a case study using the simplified fatigue method, which is based on DNVGL Classification Note 30.7: "Fatigue Assessment of Ship Structures". A full load condition and a ballast condition are investigated with respect on fatigue damage assessment. Fatigue life is calculated for the selected longitudinal connections amidships and 25-year design life is aimed in North Atlantic wave environment. For the most of the details examined, the fatigue lives are found above 25 years using an efficient coating life of 15 years. The lower side, bottom and hopper plate longitudinal connections to web frames show the fatigue lives below 25 years.

## 2. Fatigue Calculation Method

The fatigue life may be computed based on the S-N fatigue approach under the assumption of linear cumulative damage (Palmgrens-Miner rule). Fatigue calculations are carried out based on DNVGL Classification Note 30.7: "Fatigue Assessment of Ship Structures". To calculate fatigue lives of longitudinals (also referred to as stiffeners) connected to web frames and transverse bulkheads. A brief explanation of the calculation procedure is provided as follows;

- Loads (transfer functions) are taken from the hydrodynamic analysis.
- Fatigue damage is calculated on basis of the Palmgrens-Miner rule, assuming linear cumulative damage.
- North Atlantic wave data are applied according to DNVGL CN 30.7. Short crested waves with a wave spreading function  $\cos^2$ , a constant wave directional distribution and Pierson Moskowitz wave spectrum are used.
- A vessel speed of 13 knots, corresponding to 2/3 of design speed is used.
- 12 headings with 22 periods for each heading has been used.
- The target life is set to 25 years
- The S-N Curve I (Welded joint, Air or Cathodic protection), is used for the deck.

- Both S-N Curve II (Welded joint, Corrosive Environment) and SN Curve I, is used for details in the ballast tanks. Fatigue damage both for coated and uncoated ballast tanks are calculated.
- The fraction of time at sea has been taken as 0.85 (0.45 in full load and 0.40 in ballast).
- Stress reduction factor,  $f_m = 0.85$ , due to mean stress effect is included (assumed zero mean stress).

### 3. Load Transfer Function

The fatigue calculations are in accordance with the transfer functions determined in hydrodynamic analysis. The linear mode of the wave load program DNVGL WASIM (2009) calculates the dynamic pressures below the waterline. In order to include the effect of intermittent wet and dry surfaces, pressure is reduced above  $T_{act} - z_{wl}$ , using the factor  $r_p$ , as seen in Figure 1. The external dynamic pressure amplitude,  $p_e$ , related to the draught of the load condition considered, is taken as:

$$p_e = r_p \cdot p_d \quad (1)$$

Where  $p_d$  : dynamic pressure amplitude calculated by DNVGL WASIM

$r_p$  : reduction and extrapolation of the pressure amplitude in the surface zone

$$r_p = 1.0 \quad \text{for} \quad z < T_{act} - z_{wl}$$

$$r_p = \frac{T_{act} + z_{wl} - z}{2z_{wl}} \quad \text{for} \quad T_{act} - z_{wl} < z < T_{act} + z_{wl}$$

$$r_p = 0.0 \quad \text{for} \quad T_{act} + z_{wl} < z$$

$z_{wl}$  : height of dynamic wave pressure, measured from actual water line

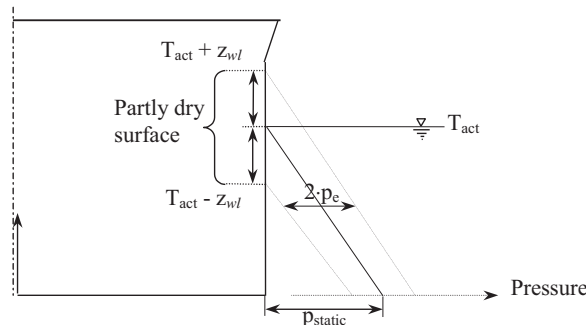
$$z_{wl} = \frac{3}{4} \frac{p_{dT}}{\rho g} \quad (2)$$

$p_{dT}$  : dynamic pressure at  $10^{-4}$  probability level at  $z = T_{act}$

$T_{act}$  : the draught in the considered load condition

$\rho$  : density of sea water = 1025 kg/m<sup>3</sup>

$z$  : distance from B.L. to considered point



**Figure 1.** Reduced pressure range in the surface region (DNVGL CN 30.7).

#### 4. Stress Concentration Factors

The fatigue life of a detail is governed by the notch stress range. For components, other than smooth specimens, the notch stress is obtained by multiplication of the nominal stress by K-factors. The K-factors in this study are described as follows:

$$K = \frac{\sigma_{\text{notch}}}{\sigma_{\text{nominal}}} \quad (3)$$

The relation between the notch stress range to be used together with the S-N-curve and the nominal stress range is:

$$\Delta\sigma = K \cdot \Delta\sigma_{\text{nominal}} \quad (4)$$

All stress risers have to be considered when evaluating the notch stress. This can be done by multiplication of K-factors arising from different causes. The resulting K-factor to be used for calculation of hot spot stress is derived as:

$$K = K_g \cdot K_w \cdot K_{te} \cdot K_{t\alpha} \cdot K_n \quad (5)$$

Where,  $K_g$  : stress concentration factor due to the gross geometry of the detail considered

$K_w$  : stress concentration factor due to the weld geometry.  $K_w=1.5$  if not stated otherwise

$K_{te}$  : additional stress concentration factor due to eccentricity tolerance (normally used for plate connections only)

$K_{t\alpha}$  : additionally stress concentration factor due to angular mismatch (normally used for plate connections only)

$K_n$  : additional stress concentration factor for asymmetrical stiffeners on laterally loaded panels, applicable when the nominal stress is derived from simple beam analyses.

#### 5. Unit Stress Factors

The load-stress-relation is calculated independently for loads such as global vertical bending, global horizontal bending, Local bending of laterally loaded stiffener and plate, and Shear in stiffener lug. The calculations are based on unit loads.

##### 5.1. Global bending

$$A_{VBM/HBM} = K_w K_a \cdot \frac{M_w}{I} \cdot (z - z_{N.A.}) \quad (6)$$

where:  $K_a$  : Stress concentration factor for axial stress

$M_w$  : Wave induced bending moment, vertical or horizontal

$z$  : Distance from BL or CL to the considered point

$z_{N.A.}$  : Height of neutral axis, measured from BL or CL

$I$  : Moment of inertia

## 5.2. Local bending of stiffeners

The load-stress-relation for local bending of stiffeners are calculated as:

$$A_p = K_w K_b \cdot K_n \cdot \frac{M}{Z_s} \quad \text{for unit pressure} \quad (7)$$

where  $K_b$  : stress concentration factor for local bending

$K_n$  : stress concentration factor of laterally loaded unsymmetrical stiffeners

$M$  : bending moment per unit pressure at stiffener support adjusted to the hot spot position

$Z_s$  : section modulus of stiffener

The bending moment is calculated as:

$$M = \frac{sl^2}{12} r_p \quad (8)$$

Where,  $s$  : stiffener spacing

$l$  : effective span of longitudinals

$r_p$  : moment interpolation factor for interpolation to hot spot position

## 5.3. Shear in stiffener lug

The principal stress amplitude due to the shear force in the stiffener web-frame-connection is:

$$A_{SP} = K_q \cdot \frac{Q}{A_s} = K_q \cdot \frac{sl}{A_s} \quad (9)$$

Where,  $A_s$  : stiffener connection area

$K_q$  : total stress concentration factor based on nominal shear stress in stiffener connection area and notch stress in lug/frame.

## 6. S-N Curves

The S-N curves are in accordance with Paris-Erdogan rule, which are the mean minus two-standard-deviation curves for relevant experimental data, and thus associated with a 97.6% probability of survival. For deck plating S-N curve I, for welded joints in air is applied in the calculation of the fatigue damage. The S-N parameters are listed in Table 1. The S-N curve II, for welded joints in corrosive environment is applied in the calculation of the fatigue damage for stiffeners. The S-N parameters are given in Table 2.

**Table 1.** S-N Parameters Curve  
 I (DNVGL CN 30.7)

Cycles	Log(a)	m
$N \leq 10^7$	12.65	3
$N > 10^7$	16.42	5

**Table 2.** S-N Parameters Curve  
 II (DNVGL CN 30.7)

Cycles	Log(a)	m
All	12.38	3

## 7. An LNG Vessel

The main particulars of LNG vessel are presented in Table 3.

**Table 3.** LNG vessel main particulars

Length overall, $L_{OA}$	287.00	m
Length between perpendiculars, $L_{PP}$	275.00	m
Breadth, B	44.00	m
Depth, D	26.80	m
Draught, T (in design)	12.10	m

Two load conditions are being analysed, which are load condition LC (1), ballast condition departure with 100% consumables LC (2). The main characteristics for the loading conditions are presented in Table 4.

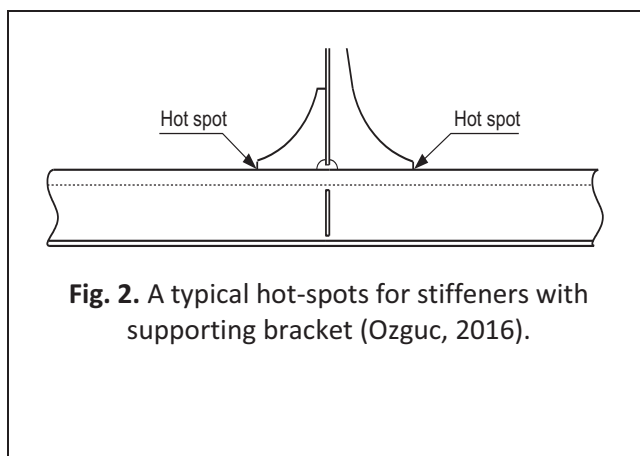
**Table 4.** Analysed loading conditions

Load Condition	Draught AP [m]	Draught FP [m]	Displ. [Tonnes]	C.O.G. from AP [m]	KG [m]	GM [m]	Roll Radius [m]	Pitch Radius [m]
LC (1)	9.903	9.903	82007.6	138.246	11.985	9.869	16.72	69.07
LC (2)	11.856	11.856	98102.3	137.168	15.882	4.399	13.78	64.56

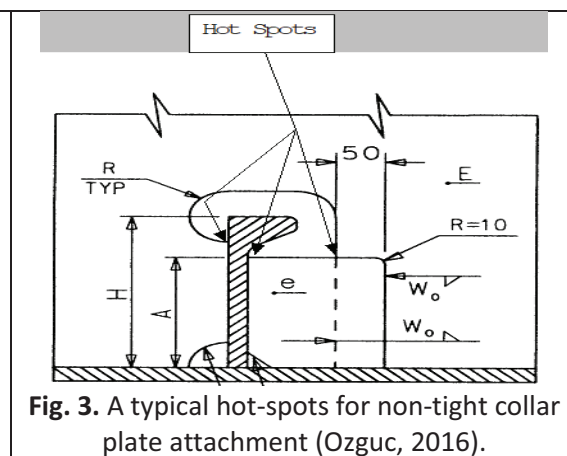
## 8. The Hot-spots Examined in Fatigue Damage

A length between web frames of 3200 mm and a stiffener spacing of 800 mm is applied in the calculations. Some of the stiffener have supporting brackets on top of the stiffener at the web frame. The hot spot is located in the toe and heel of the supporting bracket as shown in Figure 2. The combined stress response is calculated as the combination of global hull girder bending and local bending of laterally loaded stiffener. All other stiffeners are attached to the web frame by non-tight collar plates. The hotspot of these stiffeners is located in the lug as shown in Figure 3. The total stress response is calculated based on the shear stress in the lug due to lateral loading of the stiffener, and the combination of global hull girder bending and local bending of laterally loaded stiffener. The two

effects are not combined. Fatigue calculations are also performed for general deck details. The total stress response is calculated as the combination of global horizontal and vertical bending.



**Fig. 2.** A typical hot-spots for stiffeners with supporting bracket (Ozguç, 2016).



**Fig. 3.** A typical hot-spots for non-tight collar plate attachment (Ozguç, 2016).

### 9. Fatigue Assessment Results

The calculated fatigue damages are based on a design life of 25 years and the associated fatigue lives are summarized in Table 5 and Table 6. The total fatigue damage is calculated as:

$$D_{total} = D_{Full} + D_{Ballast} \quad (10)$$

Fraction of time in loaded and ballast condition is assumed to be 0.45 and 0.4 respectively. From the calculated fatigue damage, the fatigue life is given as:

$$FatigueLife = \frac{FatigueDesignLife}{D_{total}} = \frac{25}{D_{total}} \quad (11)$$

**Table 5.** Calculated fatigue damage and associated fatigue life for longitudinal stresses

Detail	SCF		Uncoated		15 year effective coating		Coating all lifetime	
	$K_w K_g^*$	$K_n$	Damage	Fatigue life	Damage	Fatigue life	Damage	Fatigue life
<b>Frames with brackets</b>								
B-10	1.875	1.0	1.0	<b>24</b>	0.7	34	0.4	67
B-23	1.875	1.0	1.0	26	0.7	34	0.4	71
IB-10	1.875	1.0	0.4	58	0.4	67	0.1	194
H-103	1.845		0.5	46	0.4	56	0.2	143
S-28	1.845		1.3	<b>19</b>	0.9	28	0.5	50
<b>Frames without brackets</b>								
B-2	1.8	1.0	2.6	<b>10</b>	1.4	<b>18</b>	1.2	<b>21</b>
B-10	1.8	1.0	2.5	<b>10</b>	1.4	<b>18</b>	1.1	<b>23</b>
B-23	1.8	1.0	2.6	<b>10</b>	1.4	<b>18</b>	1.1	<b>22</b>
IB-2	1.8	1.0	1.0	<b>24</b>	0.8	34	0.4	58
IB-8	1.8	1.0	1.1	<b>23</b>	0.8	32	0.5	55
IB-10	1.8	1.0	1.1	<b>22</b>	0.8	31	0.5	53
S-28	1.8 - 1.9	1.4	5.1	<b>5</b>	2.0	<b>13</b>	2.4	<b>10</b>

Detail	SCF		Uncoated		15 year effective coating		Coating all lifetime	
	K <sub>w</sub> K <sub>g</sub> *	K <sub>n</sub>	Damage	Fatigue life	Damage	Fatigue life	Damage	Fatigue life
S-31	1.8 - 1.9	1.4	3.0	<b>8</b>	1.5	<b>17</b>	1.4	<b>18</b>
S-33	1.8 - 1.9	1.3	4.0	<b>6</b>	1.7	<b>14</b>	1.9	<b>14</b>
S-36	1.8 - 1.9	1.3	1.9	<b>13</b>	1.2	<b>22</b>	0.8	30
S-39	1.8 - 1.9	1.3	0.8	31	0.6	39	0.3	77
H-100	1.8 - 1.9	1.5	2.3	<b>11</b>	1.3	<b>19</b>	1.1	<b>23</b>
H-104	1.8 - 1.9	1.4	2.4	<b>10</b>	1.4	<b>18</b>	1.1	<b>23</b>
H-108	1.8 - 1.9	1.4	1.7	<b>15</b>	1.1	<b>23</b>	0.7	33
IS-33	1.8 - 1.9	1.4	1.5	<b>17</b>	1.0	25	0.6	39
IS-36	1.8 - 1.9	1.3	1.2	<b>20</b>	0.9	29	0.5	52
IS-39	1.8 - 1.9	1.3	0.6	41	0.5	50	0.2	128
<b>Bulkheads</b>								
Bx2	2.1	1.0	1.5	<b>16</b>	1.0	25	0.6	40
IBx3	2.1	1.0	0.6	41	0.5	52	0.2	127
IBx8	2.1	1.0	0.6	39	0.5	49	0.2	119
Hx103	1.845	1.5	0.8	30	0.6	40	0.3	79
Sx33	1.845	1.3	1.4	<b>17</b>	0.9	26	0.6	43
Sx34	1.845	1.3	1.1	<b>22</b>	0.8	31	0.4	56
Sx36	1.845	1.3	0.7	35	0.6	45	0.2	106
Sx52	1.845	-	0.3	74	0.3	85	0.1	307
<b>Deck plating</b>								
Plate in deck	2.2	1					0.6	41
Plate in deck	2.4	1					0.9	30

\* Axial and bending, B – Bottom, IB – Inner Bottom, H – Hopper Tank, S – Side, x- At BHD (Stiffener Numbers as shown on Midship Section)

Please note that for the frames without brackets fatigue calculations are also calculated for details that have brackets or small length (B-2, B-10, B-23, IB-10, S-28). The calculations have been performed for relative regular steps in order to have an overall picture of where the fatigue life is acceptable or not. Calculations will thus be relevant for the stiffener next to the calculated one.

**Table 6.** Calculated fatigue damage and associated fatigue life for shear connections (stiffener lug)

Detail	SCF	Full load	Ballast	Total Fatigue Damage	Calculated Fatigue Life
	K <sub>w</sub> K <sub>g</sub>	Damage	Damage	Damage	Years
S-33	6.9	0.23	0.18	0.41	62
S-34	6.9	0.16	0.12	0.28	90
S-36	6.9	0.08	0.04	0.12	>100
S-41	6.9	0.00	0.00	0.00	>100

Fatigue calculations are performed for one cross-section amidships and at nearest bulkhead. The location and fatigue lives of the selected details are demonstrated in Figure 4.





## 10. Concluding Remarks

The concluding remarks from present study can be drawn as follows;

### Frames – assuming uncoated condition:

- Stiffeners with brackets (B-10, B-23, IB-10, H-103, S-28) show fatigue lives above 25 years.
- Stiffeners in bottom without brackets show fatigue lives below 25 years.
- Stiffeners in inner bottom without brackets show fatigue lives above 25 years in uncoated condition.
- Stiffeners in hopper plate without brackets show fatigue lives below 25 years.
- Stiffeners in inner side show fatigue life above 25 years in uncoated condition.
- Stiffeners in outer side show fatigue lives below 25 years for stiffeners below stiffener S-37.
- The deck area is assumed to be in a non-corrosive environment.

### Frames – assuming 15-years effective coating:

- Stiffeners with brackets (B-10, B-23, IB-10, H-103, S-28) show fatigue lives above 25 years.
- Stiffeners in bottom without brackets show fatigue lives below 25 years. Stress concentration factors according to bulbs connected to frames with lugs are used. This is conservative, but fatigue lives are expected to be below 25 years for the actual detail.
- Stiffeners in inner bottom without brackets show fatigue lives above 25 years.
- Stiffeners in hopper plate without brackets show fatigue lives below 25 years.
- Stiffeners in inner side show fatigue life above 25 years.
- Stiffeners in outer side show fatigue lives below 25 years for stiffeners below stiffener ~S-35. These stiffeners have to be modified.
- The deck area is assumed to be in a non-corrosive environment.

### Frames – assuming 25-years effective coating:

If effective coating is maintained during the entire 25 years' design life, only lower side longitudinals and hopper plate longitudinals show fatigue lives below 25 years. The conservative assumption used for the bottom longitudinals probably leads to fatigue lives above 25 years.

### Bulkheads:

The bulkheads show fatigue lives below and above 25 years for uncoated condition. For coated condition, all fatigue lives are above 25 years. Relative deflection is not included in the calculations. This will affect the results in bottom and side. It may be advisable to increase bracket size and apply soft nose brackets at all locations.

### Shear connections (stiffener lug details)

For shear connections, there are some effects that are not accounted for in the calculations since they require a more comprehensive study by means of local FE analysis. Such effects are:

- *Web Frame Bending:* The web frame bending will cause tensile and compressive stresses at the hot spot locations. This is not evaluated.

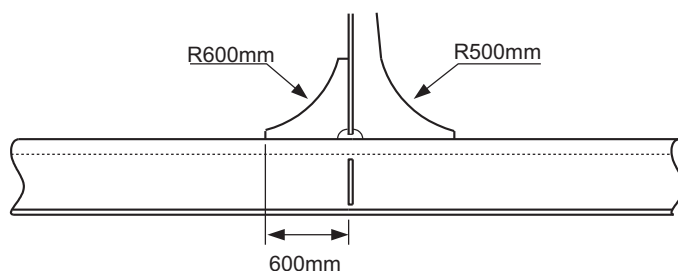
- **Web Frame Shear:** Web frame shear will either counteract or amplify the shear stress depending on the stress direction, and the consequence of this effect should be further investigated.
- **Relative Deflection:** Relative deflections between web frames will produce additional shear forces in the stiffeners and rotation of the stiffeners in the web connection. The stress due to relative deflection will superimpose stresses due to local lateral loading of the stiffener. Rotation of the stiffener will lead to through thickness bending of the lug and web frame and thereby influence the hot spot stress.

Double bottom stresses are not included in the fatigue calculations, but is not expected to influence the results significantly.

The fatigue damage for lug connection depends on the actual geometry of the detail. The stress concentrations used are based on details as defined in DNVGL CN 30.7. Note that the bending moment decreases towards the ends such that 40 m away from midship in either direction the vertical bending moment is 20% lower than amidships. This will affect the fatigue damage at bottom/deck longitudinals. For the deck, all stresses arise from hull girder bending moment, and for the bottom large parts of the stress arise from hull girder bending moments. The fatigue damage will consequently decrease towards the ends for these parts.

For those areas where stresses mainly are caused by local internal or external pressure, the situation is opposite as both external pressures and accelerations normally increase towards the ends. The fatigue damage may consequently increase away from amidships. The fatigue strength of the longitudinals subjected to lateral loading attached to the web frames by nontight collar plates may be improved by modifying the geometry of the lug and web cut-out as shown in Figure 3. This will reduce the stress concentration factor in the order of 1.3. As an approximation (conservative), the fatigue life is inverse proportional to the stress raised to the power of 3 and hence the fatigue life will be increased by a factor in the order of 2.

For stiffeners with fatigue life below 25 years it is advised that supporting brackets with soft nose are fitted at the web frames since stiffener rotation at the web frame will cause large stresses due to through thickness bending at the hot spot of the lug. Such brackets will significantly reduce the stress response in the lug and web frame and in most cases, move the critical hot spots to the bracket toe and heel. Typical positions are at transverse bulkheads, web frames adjacent to transverse bulkheads and web frames where the distance to the adjacent frame aft is different to the adjacent frame forward. Specific positions are lower side where the fatigue life is low. A suggested bracket design with double-sided soft nose brackets having 600mm breadth with 500 and 600mm radius and is shown in Figure 5.



**Fig. 5.** Proposed bracket design.

In conclusion, the findings of the analyses provide remaining life evaluation, inspection plan definition based on hot-spot maps, determination of repair and modification solution such as avoiding further cracking, ensure sufficient corrosion margin, and avoiding integrity issues resulting in production down time and hot work or docking activities.

## 11. References

Det Norske Veritas (DNVGL) Rules for Classification of Ships, Pt. 3 Ch. 1, Hull structural design ships with length above 100 meters, July 2014.

DNVGL Classification Note 30.7. Fatigue Assessment of Ship Structures, September 2012.

DNVGL Nauticus Hull, Nauticus Hull User Manual: "Fatigue", Fatigue Assessment, Simplified Method, January 2007.

DNVGL SESAM User Manual - WASIM. (2009). Wave Loads on Vessels with forward Speed, DNVGL Software Report.

Garbatov, Y., Rodopoulos, C., and De Jesus, A. (2016). Fatigue strength assessment of ship structures accounting for a coating life and corrosion degradation. *International Journal of Structural Integrity*.

Kyungseok, L. (2013). Simplified fatigue guideline for deck opening and outfitting supports, *Ships and Offshore Structures*, 8:2, pp. 154-162.

Ozguc, O. (2016). Fatigue assessment of longitudinal stiffener end connections for ageing tankers. *Journal of Offshore Structure and Technology*. 3(1): 1–12.

Ozguc, O. (2017a). Fatigue assessment of longitudinal stiffener end connections for ageing bulk carriers. *Journal of Marine Science and Technology*, 25(5), 543-551.

Ozguc, O. (2017b). Evaluation of different trading routes on fatigue damage for a 216K m3 LNG carrier. *Journal of Marine Science and Technology*, 25(4), 458-463.

Özgüç, Ö. (2017c). Typical cracks in deck of ship-shaped structures and ways to modify and improve the design. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(5), 759-768.

Ozguc, O. (2018a). Simplified fatigue analysis of structural details of an ageing LPG carrier. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 17(1), 33-42.

Özgüç, Ö. (2018b). Global fatigue assessment for deepwater semi-submersible. *GMO Journal of Ship and Marine Technology*, 24(214), 37-53.

Ozguc, O. (2020a). A new risk-based inspection methodology for offshore floating structures. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 19(1), 40-55.

Ozguc, O. (2020b). Fatigue assessment of FPSO hull side shell longitudinals using component stochastic and full spectral method. *Applied Ocean Research*, 101. DOI: 10.1016/j.apor.2020.102289.

Ozguc, O. (2020c). Conversion of an oil tanker into FPSO in Gulf of Mexico: strength and fatigue assessment. *Ships and Offshore Structures*, 1-19. DOI: 10.1080/17445302.2020.1790298.

Ozguc, O. (2020d). Efficient fatigue assessment of the upper and lower hopper knuckle connections of an oil tanker. Proc IMechE Part M: J Engineering for the Maritime Environment, DOI: 10.1177/1475090220945460.

Ozguc, O. (2020e). Procedures of fatigue analysis by supporting direct load application on midship sections. Transactions on Maritime Science, 9(1), 6-22.

Parunov, J., Gledić, I., Garbatov, Y. Y., & Guedes Soares, C. (2013). Fatigue assessment of corroded deck longitudinals of tankers. International journal of maritime engineering, 155(PART A), pp. 9-21.

Lotsberg, I. (2019). Development of fatigue design standards for marine structures. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 141(3).

Van, T. V., and Yang, P. (2017). Effect of corrosion on the ship hull of a double hull very large crude oil carrier. Journal of marine science and application, 16(3), 334-343.

Jurišić, P., Parunov, J., & Garbatov, Y. (2017). Aging effects on ship structural integrity. Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike, 68(2), 15-28.

## Türkiye’de Katmanlı İmalat ve Gemi İnşaatı Üzerine Etkileri

**Aytek Güngör**

STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Türkiye  
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

aytek.gungor@stm.com.tr, gungorayt@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9294-4679

### ÖZET

Dövme, kesme, şekil verme, eğme, döküm, kaynak, lehim, haddeleme, ekstrüzyon ve talaşlı imalat gibi geleneksel üretim yöntemleri; yüzyıllardır yegâne imal usulleri olarak görülmektedirler. Bu durum, katmanlı imalat teknolojilerinin öne sürülmesi ile değişmiştir. Yaklaşık otuz yıldan beri üretim çevrelerinin gündeminde bulunan bu devrimsel imal usulü; cisimlerin üç boyutlu dijital modellerinin katmanlara ayrılması, imal edilmesi ve üst üste serilmesi prensibine dayanmaktadır. Katmanlı imalat teknolojilerinden sanayi dallarının kaçınılmaz bir şekilde etkileneceği öngörülmektedir. Gemi inşaatının bu konuda istisna olmayacağı, gemi tasarımı, inşaatı, malzeme tedariki ve lojistiği, tahrik sistemleri ve gemi makinelerinin üretimi, sertifikasyon ve eğitim konularında katmanlı imalatın uygulama alanı haline geleceği düşünülmektedir. Bu çalışmada; katmanlı imalat süreci, teknolojileri ve yöntemleri incelenecek, geleneksel üretim yöntemleri ile karşılaştırılacaktır. Türkiye’nin katmanlı imalat konusunda akademik ve sektörel ilerlemesi irdelenecektir. Gemi inşaatında katmanlı imalat teknolojilerinin uygulama alanları değerlendirilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Katmanlı İmalat, Eklemeli İmalat, 3B Baskı, Gemi İnşaatı, Endüstri 4.0

**Makale geçmişi:** Geliş 26/08/2020 – Kabul 21/10/2020

# Additive Manufacturing in Turkey and Its Influence on Shipbuilding

**Aytek Güngör**

STM Defense Technologies Engineering and Trade Inc., Istanbul, Turkey  
Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey  
aytek.gungor@stm.com.tr, gungorayt@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9294-4679

## SUMMARY

Conventional production methods such as forging, cutting, shaping, bending, casting, welding, brazing, rolling, extrusion and machining have been considered as sole production methodologies over the centuries until the idea of additive manufacturing have been asserted. This revolutionary method has been attracting attention for almost three decades that relies on division of digital three dimensional model of part into thin layers, manufacturing and then combining of those layers. Industry is presumably to be affected dramatically by these novel technologies. Shipbuilding would therefore be easily regarded as being no exception for application of additive manufacturing technologies with ship design, construction, procurement and logistics, production of propulsion systems and ship machinery, certification and training. In this study additive manufacturing process, technologies and methods will be examined and compared against conventional production processes. Turkey's advance in academic field and in industrial development on incremental production techniques will then be evaluated. Finally application of additive techniques in shipbuilding will be discussed.

**Keywords:** Additive Manufacturing, Incremental Techniques, 3D Printing, Shipbuilding, Industry 4.0

**Article history:** Received 26/08/2020 – Accepted 21/10/2020

## 1. Giriş

Bir parçanın işlevini yerine getirebilmesi iki özelliğine bağlıdır. Bunlardan biri geometri diğeri malzemedir. Geometri ve malzemenin uygun şekilde belli süreçlerden geçirilerek işlenmesi imal usulleri ile mümkün olmaktadır. Üç temel imal usulü bilinmektedir. Bunlar; şekil verme, aşındırma ve katmanlı imalat yöntemleridir. Malzeme üzerine kuvvet uygulanması ya da ergimiş malzemenin kalıba dökülmesiyle şekillendirilmesi, şekil verme imalat yöntemi olarak bilinmektedir. Dövme, eğme, döküm, kaynak, lehim, haddeleme ve ekstrüzyon bu yönetime örnek olarak verilebilir. Malzemedен parçalar çıkarılması ile cismin elde edildiği kesme, torna, freze, delme, vargelleme, planyalama, taşlama gibi talaşlı imalat yöntemleri aşındırma yöntemleri olarak adlandırılmaktadır. Şekil verme ve aşındırma imal usulleri, geleneksel üretim yöntemleri olarak ifade edilmekte olup çalışmanın buradan sonraki kısmında bu şekilde anılacaklardır. Gelişen teknoloji, geleneksel üretim yöntemlerine rakip ya da tamamlayıcı olarak malzemenin katmanlar halinde imal edilerek üst üste serilmesi ile cismin oluşturulması yani katmanlı imalat usulünü de beraberinde getirmiştir.

## 2. Katmanlı İmalat Kavramı

Katmanlı imalat; bir nesnenin dijital ortamda modellenmesi, mikrometre (milimetrenin onda biri, mikron) seviyesinde katmanlara ayrılması, bu katmanların üç boyutlu yazıcı makinesi ile katı, sıvı ya da toz malzemeden ergitilerek, sinterlenerek (malzemenin ergime ısısının hemen altına kadar ısıtılarak ergitilmeden kaynatılması), kürlenerek ya da yapıştırılarak imal edilmesi prensibini esas alır. Üretilen katmanlar nihayetinde üst üste serilerek cismi oluşturur. Katmanlı imalat terimi dışında; eklemeli imalat, üç boyutlu (3D ya da 3B) baskı, additive manufacturing, incremental techniques, layered manufacturing, 3D Printing gibi pek çok kavram bu yeni imal usulünü tanımlamak için kullanılmaktadır. İlk olarak Amerikalı Charles Hull tarafından 1984 yılında kürlenabilir reçinenin lazer ışınları ile istenen şekilde sertleştirilmesi (stereolitografi) fikriyle ortaya atılmıştır (Kyzioł, Kończewicz, Dynowski, 2019). Bu devrimsel üretim yönteminin, bilgisayar destekli tasarımdan (CAD) sonra üretimde yaşanan en büyük teknolojik ilerleme olduğu kabul görmektedir (Bryson, Clark, Mulhall, 2013).

Katmanlı imalat usulüne bağlı olarak yedi teknoloji geliştirilmiş olup bunlara bağlı pek çok yöntem farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Ürün yelpazesinde polimer, metal, seramik veya reçine gibi malzemeler bulunmaktadır. Katmanlı olarak üretilen cisimler; kaynak, lehim, yapıştırıcı gibi kimyasal ve fiziksel süreçler kullanılarak birleştirilebilmekte, talaşlı imalat kullanılarak nihai şekline getirilebilmektedir (ISO, 2018).

Hızlı prototipleme (rapid prototyping), hızlı kalıp üretimi (rapid tooling) ve hızlı imalat (rapid production) katmanlı imalat yönteminin üç temel kullanım amacı olarak bilinmektedir. Bir ürünün tasarım, analiz ve değerlendirme için kullanılacak fiziksel ve fonksiyonel bir benzerinin hızlı bir şekilde imal edilmesi anlamına gelen hızlı prototipleme, katmanlı imalat teknolojilerinin ilk ve en önemli kullanım sahası olarak ele alınmaktadır. Hızlı prototiplemenin, tekil ürünler için ideal olduğu belirtilmektedir. Çok sayıda üretilen nesnelere için kalıpların hızlıca imal edilmesi, hızlı kalıp üretimi olarak adlandırılmaktadır ve katmanlı imalat teknolojilerinde yaşanan gelişmelere paralel olarak ikinci kullanım amacı olarak ortaya çıkmıştır. Hızlı prototipleme ve hızlı kalıp üretiminden başka ürünün doğrudan doğruya katmanlı olarak imalatı, hızlı imalat olarak tanımlanmaktadır (ISO, 2018).

Katmanlı imalat, üretim konseptinin tanımlanması ile başlamaktadır. Bu aşamada fizibilite analizleri yapılmaktadır. Cismin katmanlı olarak imal edilmesi gereği, geleneksel üretim yöntemleri ile üretilmesine nazaran avantajları, hangi katmanlı imalat teknolojisinin ve yönteminin daha uygun olduğu belirlenmektedir. Konseptin belirlenmesinden tasarım aşamasına geçilmektedir. Gereksinimlerin ve teknik şartnamenin belirlenmesi akabinde üç boyutlu dijital model oluşturulmaktadır. Bu model üzerinde gerekli analizler yürütülmektedir. Tasarım aşaması tamamlandıktan sonra üretim safhasına geçilmektedir. Bu aşamada öncelikle üç boyutlu baskı gereklilikleri gibi imalatı ilgilendiren hususlar açıklığa kavuşturulmaktadır. Cismin üç boyutlu olarak basılmasından sonra yüzey düzeltme, freze ya da ısıl işlemler gibi imalat sonrası işlemler uygulanabilmektedir. İmalat süreci tamamlandıktan sonra görsel muayene, tahribatlı ya da tahribatsız testler ve basınç testleri gibi süreçlerin akabinde üretilen parça sertifikalandırılmaktadır. Ürünün hizmete girmesi sonrasında belli periyodik testler ve muayeneler uygulanmakta ve nihayetinde hurdaya ayrılmaktadır (DNV-GL, 2017).

Bu teknoloji, görece yeni bir oluşum olsa da önemli öngörüler mevcuttur. Wohlers Şirketi'nin öngörüsüne göre, küresel katmanlı imalat pazarı önümüzdeki yıllarda milyarlarca doları bulan dev bir sektör haline gelecektir. Bu sektörün %60'ının doğrudan ilişkili parçalar ve hizmetler; %40'ının ise malzeme ve baskı makinelerinden oluşması öngörülmektedir. Yine aynı şirket tarafından yapılan araştırmada gemi inşa ve denizcilik sektörü, üç boyutlu yazıcı satışları payında %5'in altında



konumlanmıştır (Bergsma, Zalm, Pruyn, 2016). Bir başka çalışmada Ulsan Creative Economy Innovation Center (Hyundai Heavy Industries iştiraki) referans gösterilerek gemi inşaatında kullanılan sadece 165 parçanın geleneksel yöntemler yerine katmanlı imalat usulleri ile üretilmesinin, yıllık 1,8 milyar dolar tasarruf sağlayacağı belirtilmektedir (Korsmik, et al, 2020).

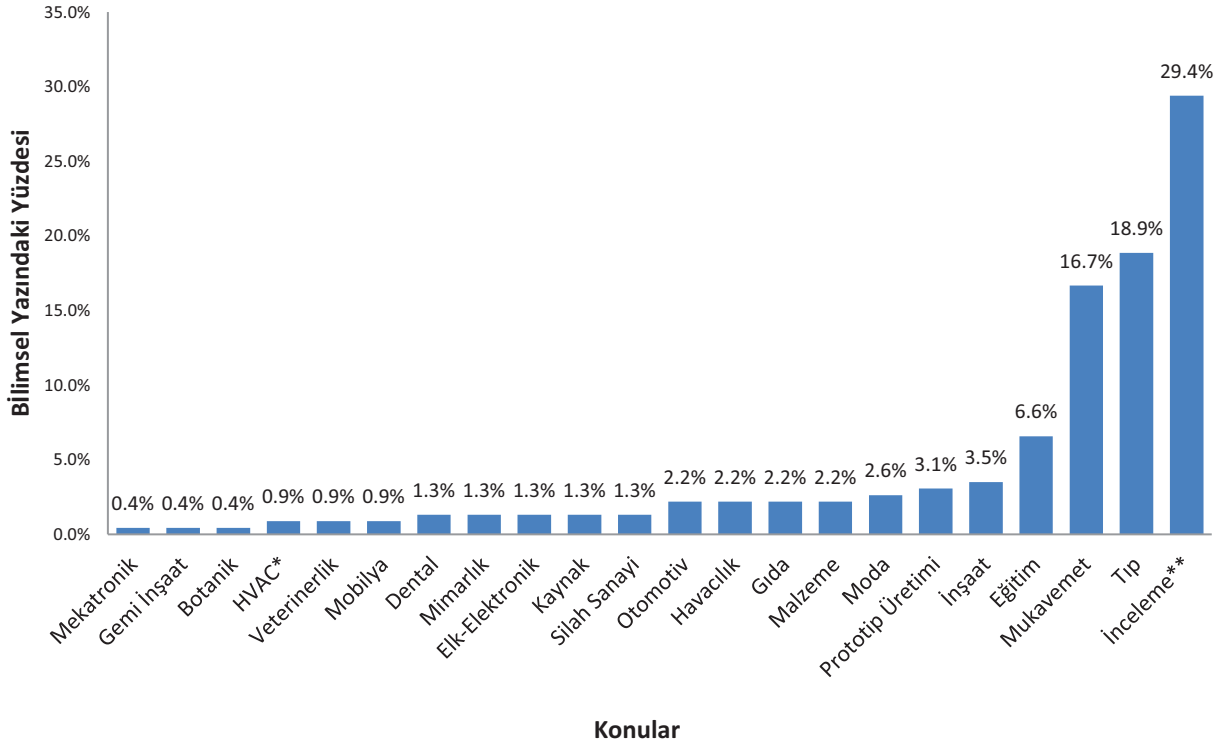
### 3. Katmanlı İmalat ve Türkiye

Başta hobi amaçlı ya da fonksiyonel olmayan parçaların üretimi olmak üzere polimer malzeme kullanılarak yapılan katmanlı imalat faaliyetlerinin Türkiye’de belli bir seviyeye geldiği görülebilmektedir. Buna karşın endüstriyel uygulamaların ise hala başlangıç seviyesinde olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durumun sebepleri yapılan çalışmaların akademik seviyede kalması, teknik eleman eksikliği, katmanlı imalat teknolojileri üzerine çalışma yapan ticari kurum sayısının azlığı ve metal baskı makineleri ile tozlarının üretimi konusunda bilgi birikiminin ya da isteğin kısıtlı oluşu olarak sıralanabilir. Tüm bunların ötesinde katmanlı imalat ve dijital dönüşüm konusunda farkındalığın oldukça mütevazı seviyede olması vurgulanması gereken bir diğer konudur.

Savunma Teknolojileri ve Mühendislik Ticaret A.Ş. (STM) Firması, 2016 yılında Türkiye’nin özellikle savunma sanayiinin katmanlı imalat teknolojilerinde geldiği noktanın belirlenmesi amacıyla bir rapor yayınlanmıştır. Bu raporda Türkiye’de havacılık sektöründe özelinde katmanlı imalat teknolojilerinin büyük bir potansiyele sahip olduğu belirtilmektedir. Raporda Milli Muharip Uçak (TF-X), özgün helikopter, motor, iniş takımları, roket geliştirme gibi projelerde Savunma Sanayii Başkanlığı tarafından fizibilite çalışmalarının yürütüldüğü belirtilmektedir. Üç boyutlu baskı makinesi geliştirebilen ve üretebilen firmaların ağırlıklı olarak Almanya ve ABD menşeli olduğu az da olsa Japonya, Hollanda, İsveç ve İsrail firmalarının da bulunduğu raporda yer almaktadır. Türkiye’de kullanılan üretim tezgâhlarının çoğunun polimer malzeme işleme yeterliliğinde olduğu ve bunların çok azının büyük boyutlu işleme kapasitesine sahip olduğu ifade edilmektedir. Büyük işleme kapasitesine sahip makinelerin, sayılı büyük kuruluştaki bulunduğu üç boyutlu yazıcı fiyatlarının ise hayli yüksek seviyelerde konumlandığı vurgulanmıştır. 125x125x75 mm boyutlarında metal baskı kapasitesine sahip bir makinenin maliyetinin 450 bin Avro, 500x280x325 mm boyutlarında metal baskı yapabilen bir tezgâhın maliyeti ise 1,2 milyon Avroya ulaşabildiği bilgisi sunulmaktadır.

Tüm bu verilerin ışığında bu çalışma kapsamında, Google Akademik veri tabanı kullanılarak Türkiye’de katmanlı imalat konusunda bilimsel yazın taraması yapılmıştır. Araştırmanın diğer ayağı olan sektörel uygulamaları için Google arama motoru üzerinde Türkiye genelinde firmalara ulaşmaya çalışılmıştır. Bilimsel yazında örneklendirilen akademik çalışmaların (Şekil 1) büyük bölümünün katmanlı imalat teknolojileri yöntem ve uygulamaları üzerine genel inceleme çalışmaları olduğu görülmüştür. Tıp alanında özellikle hasarlı dokuların yeniden üretilmesi, protez ve doku imalatı, stereolitografi yöntemi ile kalp kası ve kalp kapakçıklarının imalatı gibi konuların işlendiği sonucuna varılmıştır. Katmanlı imalat teknolojilerinin tartışmaya en açık konularından biri olan mukavemet, bilimsel yazında üzerinde önemle durulan bir diğer konu olmuştur. Karbon takviyeli ya da takviyesiz PLA ve ABS gibi termoplastik malzemelerin nozul ekstrüzyonu yöntemi ile üretilmesi ve bu malzemeden üretilen kirşlerin mukavemet ve burkulma analizleri gibi önemli konular ele alınmıştır. Gemi modellerinin katmanlı imalat kullanılarak üretilmesi üzerinde durulmuştur.

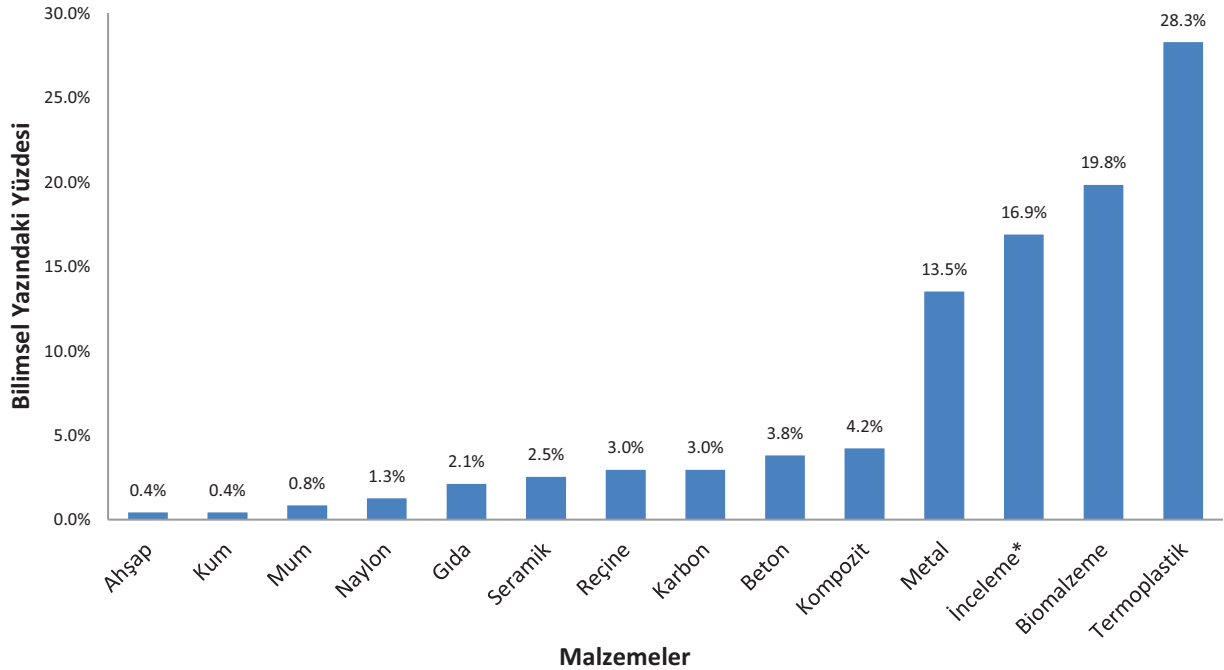
Akademik çalışmaların konu aldığı malzemelerde termoplastik üst sırada yer almaktadır. Ardından katmanlı imalatın tıbbi amaçlar ile uygulaması için yapılan yoğun araştırmalar nedeniyle biyomalzeme takip etmektedir. Akabinde metal gelmektedir (Şekil 2).



\* HVAC: Heating, Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Soğutma ve Havalandırma)

\*\* Belirli bir malzeme ya da konu özelinde şekillendirilmeyen, genel yöntem ve uygulamalar konusunda yürütülen çalışmalar

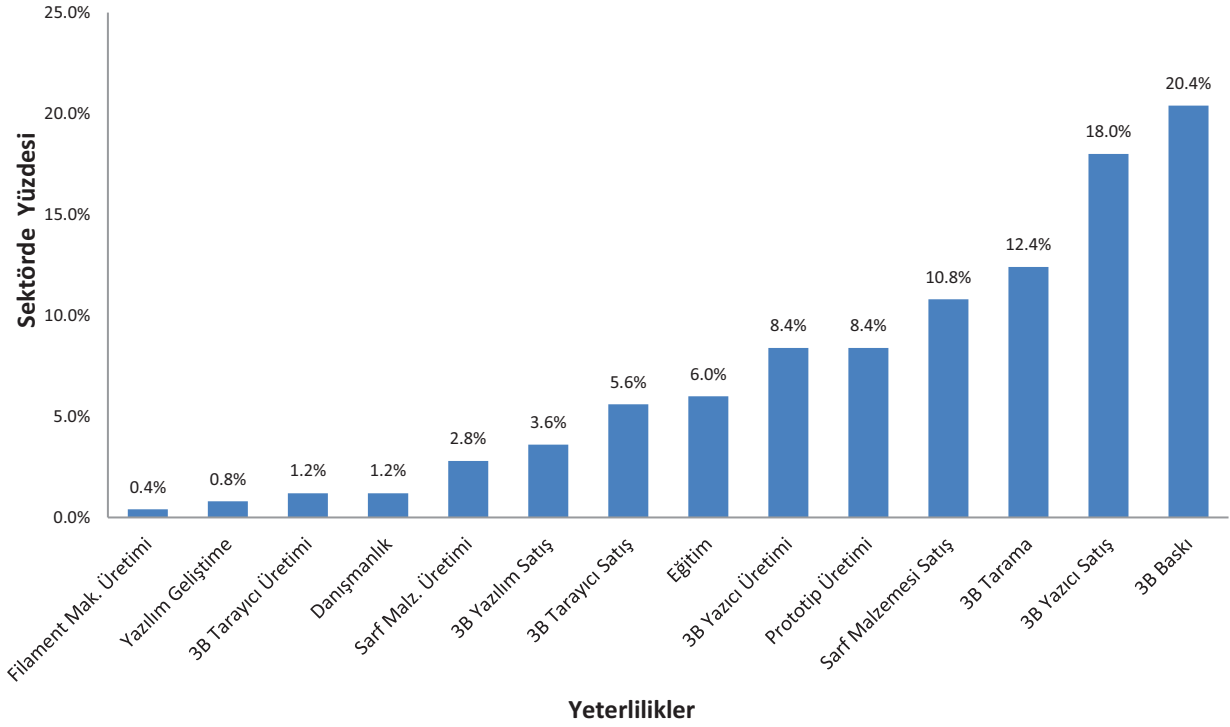
Şekil 1. Bilimsel yazında işlenen konular



\* Belirli bir malzeme ya da konu özelinde şekillendirilmeyen, genel yöntem ve uygulamalar konusunda yürütülen çalışmalar

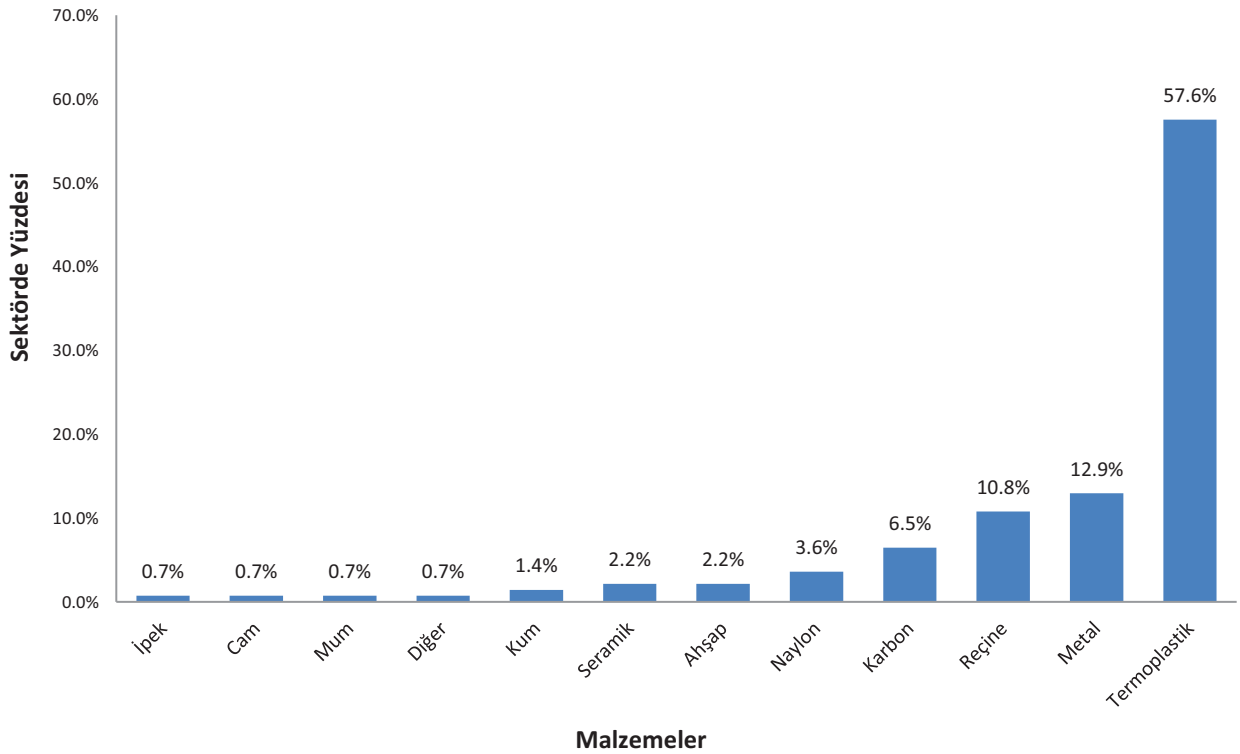
Şekil 2. Bilimsel yazında işlenen malzemeler

Türkiye’de faaliyet gösteren ve bu çalışma kapsamında örneklenen firmaların, genellikle üç boyutlu baskı faaliyeti icra ettikleri görülmüştür. Baskı hizmetlerini üç boyutlu yazıcı satış hizmetleri izlemektedir. Satış faaliyetlerinin ağırlıklı yurtdışında üretilen makinelerin ve markaların Türkiye temsilciliği boyutunda olduğu değerlendirilmiştir. Yerli yazıcı üretimi yapan firmaların da bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 3).



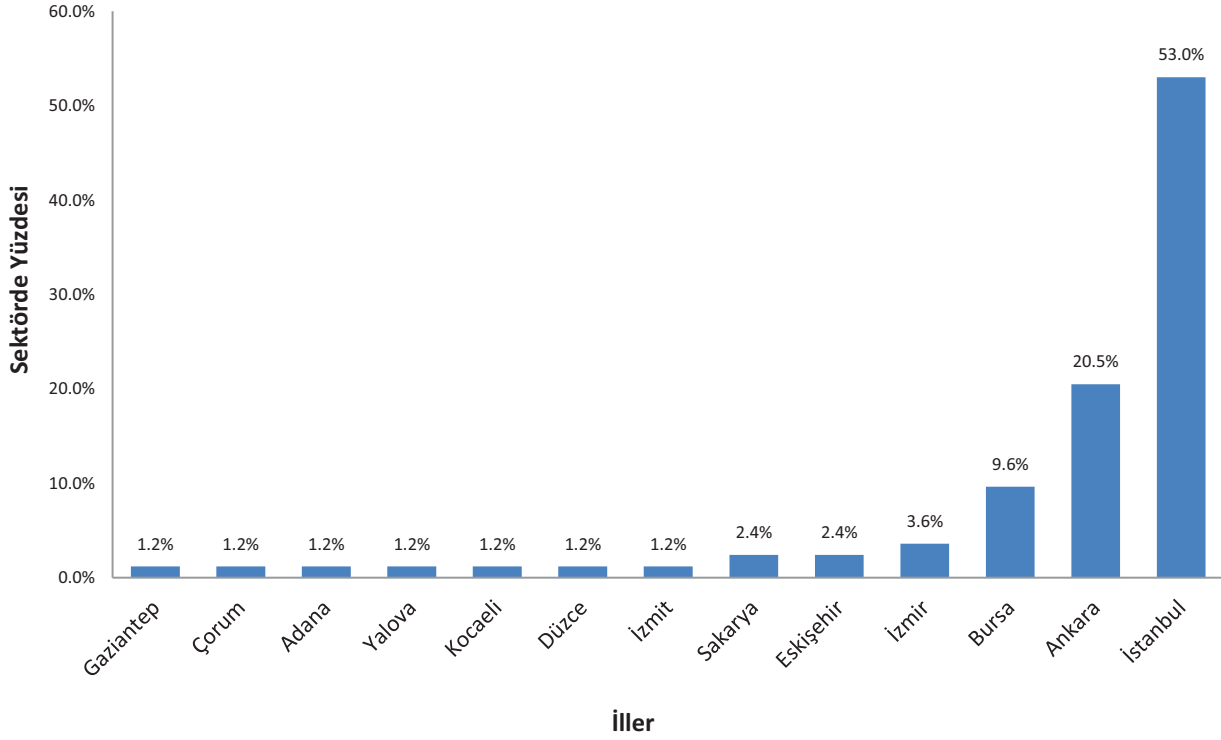
**Şekil 3.** Firma yeterlilikleri

Firmaların faaliyetlerinde kullandığı malzemelerin başında termoplastiğin geldiği bunu metal ve reçine takip ettiği sonucuna varılmıştır (Şekil 4).



**Şekil 4.** Firmaların işlediği malzemeler

Firmaların kurulduğu bölgeler incelendiğinde ağırlıklı olarak İstanbul, Ankara ve Bursa civarında konumlandıkları tespit edilmiştir. Gaziantep, Çorum, Adana, Yalova, Kocaeli, Düzce, İzmit, Sakarya, Eskişehir ve İzmir illerinde kurulan firma sayısının gün geçtikçe arttığı gözlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Firma konumları

#### 4. Geleneksel ve Katmanlı İmalat Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Katmanlı imalat teknolojilerinde malzeme yalnızca ürün için kullanılmaktadır. Döküm kalıbı gibi üretimi destekleyici yapılara ihtiyaç duyulmamaktadır. Talaşlı imalat sürecindeki kesilip atılan madde bulunmadığından ötürü atık madde oluşmamaktadır. Lojistik ve depo maliyetleri önemli ölçüde azalmaktadır. Düşük atık ve düşük yakıt tüketimi söz konusudur. Depo maliyetlerinin düşmesi tedarik zincirini hatırı sayılır derecede kısaltmaktadır. Karmaşık tasarımların kolayca imal edilebilmesi mümkün kılınmış, daha optimize, bütünleşmiş ve çoklu malzemeden oluşan ürünlerin elde edilebilmesinin önü açılmıştır. Tasarımın model üzerinden yürütülmesi, tasarımda yaşanan değişikliklere kolayca adapte olunabilmesini beraberinde getirmiştir. Katmanlı imalat, Dördüncü Sanayi Devriminin (Endüstri 4.0) en büyük vaatlerinden olan değişikliklere çok hızlı adaptasyon idealini bir kademe daha gerçekleştirilebilir kılmaktadır (Bergsma, Zalm, Pruyn, 2016).

Katmanlı imalat; yalın üretim, ham madde, işgücü ve lojistik konularında ciddi tasarruf ve karmaşık tasarımların üretilmesinde önemli kolaylıklar sunmaktadır. Bununla beraber bir takım olumsuzluklar da söz konusudur. Ancak uygun stratejiler ve yöntemler kullanılması, gelişen teknoloji ile sürecin daha verimli hale gelmesi ve talebin artması ile kısa ve uzun vadede aşamayacak engeller mevzu bahis değildir.

Bir parçanın katmanlı imalat maliyeti, aynı ürününün bir sonraki üretiminde düşmemekte ve ölçek ekonomisi katmanlı imalat için uygulanabilir görünmemektedir. Mevcut teknoloji ile geleneksel imal usulleri uzun vadeli seri üretim için, katmanlı imalat ise sipariş ürünlere ya da kısa üretim tekrarlarına daha uygun görünmektedir. Burada hızlı kalıp üretimi (rapid tooling) ile parçanın değil kalıbın katmanlı olarak üretilmesi ölçek ekonomisi açısından daha uygun bir strateji olarak görülmektedir. Ayrıca teknolojinin ve talebin gelişmesi ile hızlı imalatın (rapid production) ekonomik açıdan daha cazip hale gelebilmesi de mümkün olabilecektir. Bir diğer husus malzeme özellikleridir. Malzeme özellikleri,

malzeme tabakalarının doğrultusuna göre değişmekte olup anizotropi yaratmaktadır. Bu nedenle mukavemet ve yorulma (fatigue) gibi yapısal özellikler üzerinde etkileri tam olarak bilinmemektedir. Ancak bilimsel yazında yürütülen bazı çalışmalar, ısı ile mekanik özelliklerde ciddi düzelmeler kaydedildiğini belirtmektedir (Nemani, Ghaffari, Nasiri, 2020; Jung, et al, 2019). Katmanlı imalat sürecinde tabakalar kaba bir yüzey görüntüsü oluşturabilmekte ve basamak etkisi yaratabilmektedir. Bu durum da yine üretim sonrası işlemler ile kolaylıkla düzeltilebilmektedir. Katmanlı imalat esnasında hız ile kalite arasında bir ödünleşme söz konusu olabilmektedir. Teknolojinin gelişmesi, yeni yöntemler öne sürülmesi ya da mevcut yöntemlerin hızlanması gerekmektedir. Bir diğer konu iş sağlığı ve güvenliğidir. Plastik ve metal tozlarının sağlık açısından yeni riskler teşkil edebilmektedir. İş sağlığı ve güvenliği standartlarının katmanlı imalat süreçlerini göz önünde bulunduracak şekilde gözden geçirilmesi bu sorunun çözümüne katkı sağlayacaktır. Katmanlı imalat konusunda yeterli yasal düzenleme, standart ve kural seti henüz bulunmamakta olup yeterli kalifiye eleman sıkıntısı hissedilmektedir. Kural ve standartların geliştirilmesi konusunda özellikle klas kuruluşlarının kılavuzlarının (ABS, 2018), (BV, 2019), (DNV-GL, 2017), (LR, 2016) yayınlanmaya başlaması bu problemin beklenenden kısa sürede çözülebileceğini göstermektedir (Bergsma, Zalm, Pruyn, 2016).

## 5. Katmanlı İmalat Teknolojileri

### 5.1. Hazne polimerizasyonu (Vat polymerization)

Hazne polimerizasyonu; kürlenme (polimer malzemenin çeşitli yöntemler ile sertleştirilmesi) kimyasal işlemi üzerine kurulmuş bir teknolojidir. Kürlenilebilir sıvı fotopolimer malzemenin UV ışınları kullanılarak katmanlar halinde bir hazne içinde oluşturulması amacını taşımaktadır. Kürlenmemiş sıvı malzemenin destek vazifesi görmesi sebebiyle ayrıca destek malzeme gerektirmemektedir. Bu teknolojiye hazne içindeki platform, hazne yüzeyinden katman kalınlığı kadar aşağı iner. Bu esnada UV ışını katmanı kürlenir. Akabinde platform bir katman yüksekliği kadar tekrar aşağı iner ve yüzeye dolan sıvı fotopolimer malzeme de önceki kürlenmiş katman üzerine kürlenir. Cisim oluşana kadar bu süreç devam eder. En sonunda kürlenmeyen sıvı tahliye edilir ve cisim elde edilir. Bazı makinelerde katmanları arasında hareket ederek daha pürüzsüz bir yüzey sağlanması için kullanılabilir (Loughborough University, n.d.).

Tıbbi ürünlerin imalatı, otomotiv, havacılık gibi pek çok sektörde kullanılabilir (Dehghanhadikolaei, et al, 2018).

Hazne polimerizasyonu teknolojisi çeşitli yöntemler vasıtası ile uygulanabilmektedir. Bunlardan bazıları şunlardır: Stereolitografi (Stereolithography, SLA/SL), Sıvı Termal Polimerizasyon (Liquid Polymerization, LP), Dijital Işık İşleme (Digital Light Processing, DLP), Sürekli Dijital Işık İşleme (Continuous Digital Light Processing, CDLP), Film Transfer Görüntüleme (Film Transfer Imaging, FTI) (Bergsma et al., 2016).

### 5.2. Nozul ekstrüzyonu (Extrusion)

Nozul ekstrüzyonu, genellikle bir makaraya sarılmış filament şeklinde depolanan termoplastik malzemelerin (ABS, PLA) ısıtılarak bir nozuldan ergitilmiş halde katmanlar halinde serilmesi ve cismin çıkarılması şeklinde gerçekleşen yöntemdir. Bu sırada katmanların serildiği platform aşağı yukarı hareket edebilmektedir. Destek yapıların imal edilmesi için ek nozul kullanılabilir. Nozuldan ergitilmiş olarak bırakılan malzeme, ilk katmanı oluşturacak şekilde serilir. Diğer katmanlar da bir önceki katman üzerine serilir. Katmanlar serildiği anda ergimiş halden katı hale geçer (Loughborough University, n.d.).

Pürüzsüz yüzey özellikleri beklenmiyorsa, bu yöntemin akabinde ayrıca yüzey düzeltme işlemlerinin uygulanmasına pek ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu yöntem daha çok ofis-ev tipi amatör uygulamalarda, yük taşımayan cisimlerin üretilmesinde ya da moda amaçlı baskılarda uygulanabilmektedir.

Nozul Ekstrüzyonu teknolojisi altında yer alan bazı yöntemler şunlardır: Ergiterek Biriktirme ile Modelleme (Fused Deposition Modelling, FDM), Erimiş Filament Üretimi (Fused Filament Fabrication, FFF), Ergimiş Katman İmalatı (Fused Layer Manufacturing, FLM), Robocasting, Direct Ink Writing, (Robocasting, Direct Ink Writing, DIW) (Bergsma et al., 2016).

### 5.3. Püskürtme (Material jetting)

İki boyutlu mürekkep püskürtmeli yazıcılara benzer şekilde kullanılan bu yöntemde malzeme bir platform üzerine sürekli ya da gerektiğinde platforma yatay olarak hareket edebilen bir nozul vasıtası ile püskürtülür. Püskürtme sonrasında UV ışını kullanılarak kürlenir ya da değdiği anda sertleşebilir. Nihayetinde destek malzemeler kaldırılır. Malzeme damlalar halinde serildiği için kullanım alanı polimer ya da mum gibi maddeler ile sınırlıdır (Loughborough University, n.d.).

Bu yöntemin diğer önemli avantajları; düşük zehirlilik, az güç tüketimi ve düşük malzeme maliyeti olarak sayılabilmektedir (All About Engineering, n.d.).

Inkjet, Polyjet, Thermojet, Aerosoljet, Multi Jet Modelling, Nano Parçacık Püskürtme (Nano Particle Jetting, NPJ), Balistik Parçacık İmalat (Ballistic Particle Manufacturing, BPM) ve Drop on Demand (DOD); püskürtme teknolojisinin uygulandığı yöntemlerden bazılarıdır (Bergsma et al., 2016).

### 5.4. Yapıştırımlı püskürtme (Binder jetting)

Sıvı bağlayıcının yatay düzlemde hareket edebilen bir başlıktan katmanlar halinde toz yatağı üzerine püskürtülmesine dayanan bir yöntemdir. Toz malzeme bir hazneden süpürücü ile serilir. Her bir katmanın bağlayıcı sıvı uygulanarak serilmesinden sonra platform aşağıya indirilerek yeni katman için hazırlık yapılır. Sıvı bağlayıcı kullanılarak yapıştırılması nedeniyle bu yöntem fonksiyonel parçaların imalatı için uygun değildir. İmalat sonrası işlemler işlem süresinde uzamalara sebep olabilir. Basılan cisim toz yatağında kendinden desteklidir (Loughborough University, n.d.).

Hazne polimerizasyonu teknolojisi temelinde öne sürülen yöntemlerden bazıları şunlardır: Bağlayıcı Jet Baskı (Binder Jet Printing, BJP), 3DP Yapıştırımlı Püskürtme (3DP Binder Jetting, 3DP) Yönlendirilmiş Döküm Kalıp Üretimi (Direct Shell Production Casting, DSPC) (Bergsma et al., 2016).

### 5.5. Toz yataklı ergitme (Powder bed fusion)

Toz malzemenin toz yatağının yanında bulunan hazneden bir çeşit süpürücü kullanılarak platforma serilmesi, katmanların lazer ya da elektron ışını kullanılarak ergitilmesi ya da sinterlenmesi prensibine dayanır. İlk katman üretildikten sonra platform bir katman yüksekliğinde aşağı indirilir ve hazneden yeni bir katman toz serilir. Ergitilmeyen ya da sinterlenmeyen toz, işlem sonunda cisimden temizlenerek geri dönüştürülür. Özellikle metal fonksiyonel parçaların üretilmesi için tercih edilebilecek yöntemler bu teknolojiye aittir (Loughborough University, n.d.).

Bu teknolojiye bağlı en yaygın yöntemler; Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering, SLS), Seçici Lazer Ergitme Selective Laser Melting, SLM) ve Doğrudan Metal Lazer Sinterlemedir (DMLS). SLS ve SLM yöntemleri, metal ve metal olmayan malzemelere uygulanabilirken DMLS yöntemi sadece metal malzemelere uygulanabilir. Bu katmanlı imalat yöntemleri, genellikle bir vakum ortamında ya da inert gazın altında yapılır. Cismin büyük kısmı, üstün mekanik ve kimyasal özelliklerle bu şekilde basılabilir.

Jig, boru parçaları, hava kanalları gibi yapıların üretilmesinde kullanılabilir (Dehghanhadikolaei, et al, 2018).

SLS, SLM ve DMLS dışında Çoklu Jet Ergitme (Multi Jet Fusion, MJF), Elektron Işını ile Ergitme (Electron Beam Melting, EBM), Seçici Isı Sinterleme (Selective Heat Sintering, SHS), Kıvılcım Plazma Sinterleme (Spark Plasma Sintering, SPS) ve Yönlendirilmiş Metal Baskı (Direct Metal Printing, DMP) gibi yöntemler toz yataklı ergitme teknolojisi metotlarına örnek verilebilir (Bergsmaet al., 2016).

#### 5.6. Yönlendirilmiş enerji biriktirme (Directed energy deposition)

Birden çok düzlemde hareket edebilen mekanik bir kola monte edilmiş nozul ile ergitilmiş malzemenin bir yüzeye serilmesi ve sertleşmesi prensibine dayanır. Tamir ve mevcut parçalara ek malzeme konulması gibi uygulamalarda da kullanılabilmesi, toz yatağına ihtiyaç duymaması, metal malzemedeki fonksiyonel yapı ve parçaların üretilebilmesi gibi özellikleri ile bu teknoloji öne çıkmaktadır. Seramik ve plastik malzemeler ile uygulanabilir olsa da daha ziyade metal uygulamaları tercih edilir. Malzeme; Lazer Mühendislik Net Şekillendirme (Laser-Engineered Net-Shaping, LENS) yönteminde olduğu gibi toz ya da Tel Ark Katmanlı İmalat (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) yönteminde olduğu gibi tel formunda kullanılır (Loughborough University, n.d.)

Tel Ark Katmanlı İmalat (WAAM), ark kaynağının kullanıldığı katmanlı imalat yöntemidir. Elektrik ark kaynağı, CNC benzeri bir robotik hareket sistemi ve tel besleme mekanizmasından ibarettir. En çok tercih edilen kaynak türleri, Metal İner Gaz (MIG), Tungsten İner Gaz (TIG) ve Plazma Ark Kaynağıdır (PAW). Bunların içinde kaynak telinin doğrudan beslendiği MIG en çok kullanılanıdır. Düşük baskı kalitesi (imalat sonrası yüzey işlemleri kesinlikle gerektirir), artık gerilme ve distorsiyonlar gibi mekanik özellikleri olumsuz etkileyen hususlar WAAM'ın en büyük dezavantajlarıdır. Yine de ısıl işlemler ve yüzey işlemleri ile beraber kullanımı umut vadetmektedir. Alüminyum, titanyum, nikel alaşımları ve paslanmaz çelik kullanılan malzemelerdir (Li et al., 2019)

Lazer Mühendislik Net Şekillendirme (LENS), SLM yönteminin farklı bir uygulamasıdır. Tıpkı SLM'de olduğu gibi metal malzemelerde uygulanmaktadır. Cismin her bir katmanı için, bir lazer ile eş eksenli bulunan bir nozul, yüzey üzerinde dolaşarak hava veya inert gaz yardımıyla toz metali yüzeye aktarır. Sonrasında eş eksenli lazer bu tozu ergitir ve püskürtme-ergitme süreci tüm cisim basılına kadar devam eder. SLM'ye benzer olarak mükemmel kimyasal ve mekanik özelliklerde ürünlerin oluşturulmasına imkân veren bu yöntem ile kesilmesi zor NiTi ve paslanmaz çelik ya da bakır ve alüminyum gibi yumuşak metaller işlenebilir. Alüminyum ve bakırın bu yöntem ile SLM'ye nazaran daha kolay işlendiği görülmüştür. Ancak; bu yöntemin SLM'ye kıyasla en büyük avantajı, yüzeye yayılan tozların ergitilmesi yerine belli bir noktaya tozların püskürtülmesi ve ergitilmesi dolayısıyla tamir, yenileme gibi işlemleri mümkün kılmasıdır (Dehghanhadikolaei et al., 2018).

Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme teknolojisi; WAAM ve LENS dışında Lazer Bazlı Metal Biriktirme (Laser Based Metal Deposition, LBMD), Telli Lazer Metal Biriktirme (Laser Metal Deposition-Wire, LMD-w), Elektron Işını ile Yönlendirilmiş İmalat (Electron Beam Direct Manufacturing, EBDM), Elektron Işın Serbest Form İmalatı (Electron Beam Free Form Fabrication, EBF3), Yönlendirilmiş Metal Biriktirme (Direct Metal Deposition, DMD), Yönlendirilmiş Işık ile İmalatı (Direct Light Fabrication, DLF), Lazer Serbest Form İmalatı (Laser Free Form Fabrication, LFF), Lazer Tümlleştirme (Laser Consolidation, LC), Kontrollü Metal Biriktirme (Controlled Metal Build Up, CMB), İyon Eritme Formasyonu (Ion Fusion Formation, IFF) gibi yöntemler ile de uygulanabilmektedir (Bergsma et al., 2016).

#### 5.7. Katman laminasyonu (Sheet lamination)

Plastik, kâğıt, metal gibi malzemelerden imal edilmiş ince tabaka; yapıştırıcı, basınç, ısı ya da ultrasonik

kaynak vasıtasıyla lamine hale getirilir ve bilgisayar destekli bir hareket mekanizması ile çalıştırılan bıçak ya da lazer yardımıyla kesilir. Bu şekilde bir katman üretildikten sonra baskının gerçekleştirildiği platform yaklaşık bir katman kalınlığında aşağı indirilir ve yeni tabaka çekilerek ısı veya yapıştırıcı vasıtasıyla bütünleştirilir. Bıçak ya da lazer yardımıyla yeni katman kesilir. Aynı zamanda dışarıda kalan tabaka artıkları da kesilerek ardıl işlem ihtiyacı azaltılır. Tüm cisim bu şekilde oluşturulana kadar işlem devam eder (Livescience, n.d.).

Lamine Nesne İmalatı (Laminated Object Manufacturing, LOM) ve Ultrasonik Katmanlı İmalat (Ultrasonic Additive Manufacturing, UAM) katman laminasyonu teknolojisinde öne çıkan bazı yöntemlerdir (Bergsma et al., 2016).

## 6. Katmanlı İmalat ve Gemi İnşaatı

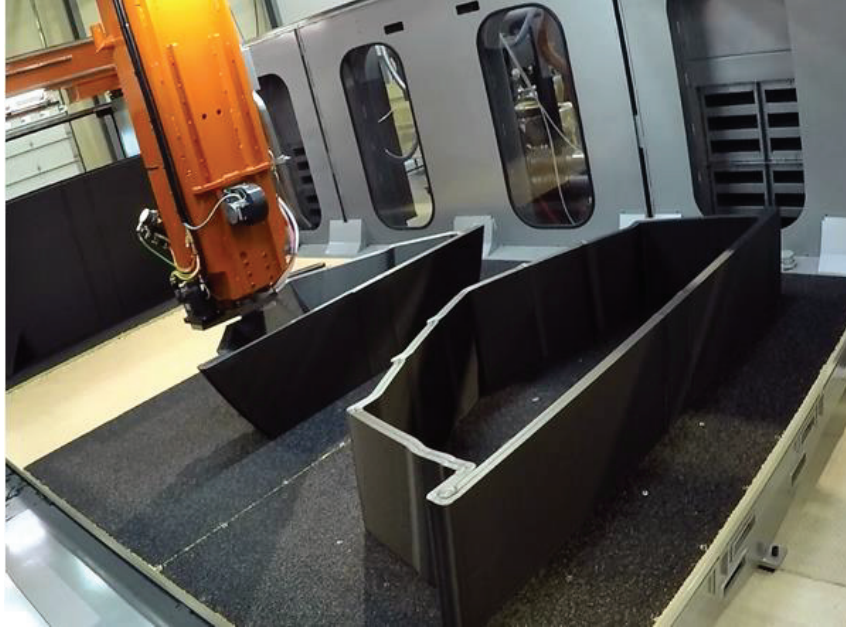
Katmanlı imalatın sivil ve askeri gemi tasarımı, inşaatı, malzeme tedariki, gemi tahrik sistemleri ve gemi makinelerinin imalatına önemli etkileri olacağı öngörülmektedir. Sertifikasyon ve teknik personelin eğitimi konuları, katmanlı imalatın gemi inşaatı uygulamalarının yaygınlaşması ile aydınlatılması gereken hususlar olarak öne çıkmaktadır.

Tüm geminin üç boyutlu baskı teknolojileri ile üretilmesi yakın gelecekte mümkün görülmesi de umut verici gelişmeler de bulunmaktadır. Thermwood Corporation, Techmer PM ve Marine Concepts işbirliği ile hayata geçirilen projede bir çeşit yönlendirilmiş enerji biriktirme teknolojisi yöntemi olan Thermwood's Large Scale Additive Manufacturing (LSAM) adı verilen bir metot ile fiberglas kompozit tekne kabuğu üretimi (Şekil 6) yapılacak bir kalıp üretilmiştir (JEC Group, 2017).

Mukavemet testlerinde kullanılan detaylı ve karmaşık minyatür gemi modellerini geleneksel imal usulleri ile üretmek zahmetli ve masraflı görülmektedir. Katmanlı imalat ile detay parçalar yüksek başarı ile küçük ölçekli modellere yansıtılabilmektedir. Yapılan çalışmada (Calle, et al, 2020) mukavemet testlerinde kullanılmak üzere 316L paslanmaz çelikten borda konstrüksiyon parçası üretilmiştir. Bu parça, aynı amaçla üretilen borda konstrüksiyon parçasının 1:40 ölçeğinde küçültülmüş halidir. Yapılan çekme testinde geleneksel üretim ile yapılmış büyük model ile katmanlı olarak üretilen minyatür modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bunu yaparken minyatür modelin yapısal tepkimelerinin, gerçek boyutlu eleman ile karşılaştırılabilmesi için ölçeklendirme ve kalınlık distorsiyonundan doğacak uyumsuzluklar da dikkate alınmıştır. Minyatür model ile gerçek boyutlu eleman arasında kırılma öncesi başta absorbe edilen enerji olmak üzere güzel uyum tespit edilmiştir. Minyatür model temasın başlangıcında kirşin nispeten kalın cidarı yüzünden başta bir pik değer görmüş ancak katlanma başladıktan sonra beklenen seviyeye inmiştir. Çalışmada kullanılan geleneksel yöntemle üretilen büyük model (sol üstte) ile katmalı imal edilen küçük model (sol altta) ve sonuçları (sağda) Şekil 7'de verilmektedir.

Katmanlı imalat teknolojilerinin gemi inşaatında uygulanması ile satın alma süreçlerinin, depolama, üretim ve montaj aşamalarının büyük ölçüde kısalması, daha basit ve ihtiyaç olduğu anca temin edilmesinin önü açılacağı öngörülmektedir. Sadece bir CAD programında depolanan katmanlara ayrılmış üretim modeli, baskı makinesinin olduğu herhangi bir yere gönderilebilecek ve anında imal edilebilecektir. Bu durum, gemide gereksiz miktarda yedek parça bulundurma ihtiyacını ortadan kaldıracaktır. Tüm bunların yanı sıra bu esnek üretim anlayışının malzeme stokunu tutma oranını

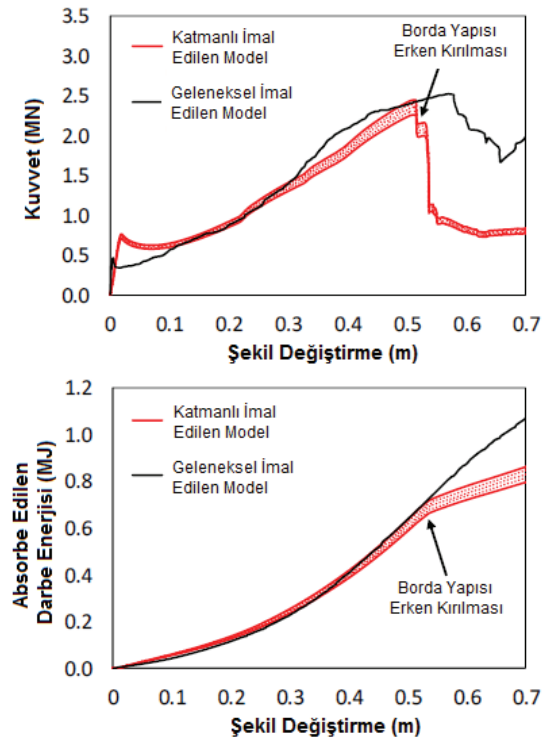




Şekil 6. 3B basılan kompozit tekne kalıbı (JEC Group, 2017)

azaltması, teslim maliyeti, atıl geçen zamanı ve kâr kaybını engellemesi öngörülmektedir (Bergsma et al., 2016).

Termoplastik malzemelerden hobi, ticari ve eğitim amaçlı gemi modelleri oluşturulması oldukça yaygınlaşmıştır. Bazı yardımcı sistemlerin kısmi olarak yüksek özelliklere sahip plastik malzemelerden üretilebilirliği araştırılmaktadır. Sözelimi havalandırma sistemlerinin yüksek ısı ve aşındırıcı kimyasal ortama maruz kalmayan ızgaralar gibi bazı kısımları plastik malzemelerden imal edilmesi konusunda uygulamalar da mevcuttur. Böylece metalden üretimi zaman alan ve pahalı olan bazı yapıların imalatında önemli bir verimlilik kaydedilebileceği düşünülmektedir (Ksenia, 2020)



Şekil 7. Çekme Deneysel Modelleri ve Sonuçları (Calle, et al, 2020)

Yapılan çalışmada (Wu, et al, 2014) ASTM A131 EH36 çeliği, SLM yöntemi ile başarılı bir şekilde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmeden üretilmiştir. Geleneksel yöntemler ile  $7,83 \text{ g/cm}^3$  olan yoğunluk değerine %97 oranında yaklaşılmış ve  $7,64 \text{ g/cm}^3$  değerine ulaşılmıştır. Bu deney ile yoğunluğun artırılması, işlem sonrası ısı işlemlerin uygulanması ve sertlik, çekme testleri gibi yöntemler ile doğrulanması halinde SLM ile üretilen EH36 yüksek mukavemetli gemi inşa çeliğinin –teorik olarak– gemi yapılarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bir başka çalışmada EH36'nın ark katmanlı imalat (WAAM) ile üretimi, geleneksel haddeleme yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada su verilmiş durumda WAAM ile gemi inşa çelik saclarının üretiminin makul olduğu ortaya konulmuştur (Nemani et al., 2020).

Bir diğer önemli çalışmada (Jung, et al, 2019) Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme (DED) teknolojisi ile 316L paslanmaz çelik ve alaşım 625'den katmanlı üretilen numuneler, korozyon testlerine tabi tutulmuşlardır. Katmanlı üretilen numunelerin mikroyapıları nedeniyle korozyon dayanımlarının döküm türdeşlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. CPT (Kritik Çukur Korozyonu Sıcaklığı) ve CCT (Kritik Çatlak Korozyonu Sıcaklığı) deniz suyu korozyon direnci için önemli referans değerleridir.  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de uygulanacak ısı işlem ile 316L ve alaşım 625 kullanılarak üç boyutlu baskı ile üretilen numunelerin CPT ve CCT değerlerinde ciddi toparlanma görüldüğü bildirilmiştir. Fathi (2019) Yönlendirilmiş Metal Lazer Sinterleme (DMLS) yöntemi ile AlSi10Mg\_200C tozundan ürettiği numuneleri oldukça yakın kimyasal bileşime sahip A360.1 alaşımdan dökülen numune ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre katmanlı imal edilen parça mikroyapısı sebebiyle dökümden imal edilen numuneye göre daha iyi korozyon dayanım özellikleri sergilenmiştir. Ayrıca taşlamanın katmanlı imal edilen AlSi10Mg\_200C malzemenin korozyon direnci üzerine olumlu etkisi olduğu buna karşın yüzey işlemi hiç görmemiş ya da raspa işlemine tabi tutulan numunenin daha zayıf korozyon dayanım özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Aynı yüzey işleminin uygulandığı katmanlı imal edilen numune ile döküm parça karşılaştırıldığında DMSL ile üretilen parçanın daha iyi korozyon direnci gösterdiği tespit edilmiştir.

Gemi pervanelerinin katmanlı imalatı konusunda ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan en önemlisi "WAAMPeller" olarak görülmektedir (Şekil 8). Bu pervane, Hollanda'da Tel Ark Katmanlı İmalat (WAAM) yöntemi ile Damen Tersaneleri Grubu, RAMLAB, Promarin, Autodesk ve Bureau Veritas'ı da içeren bir şirketler işbirliği ile üretilmiştir. Katmanlı olarak imal edilip klas onaylı olarak bir gemiye monte edilen ilk pervane özelliği ile öne çıkmaktadır (Ya, Hamilton, 2018). Pervane konusunda yapılan bir diğer önemli gelişme Korskim tarafından yürütülen araştırma (2020) ile aktarılmaktadır. Bu çalışmada Lazer Metal Biriktirme yöntemi (LMD) ile çelik malzemedeki katmanlı olarak imal edilen bir gemi pervanesini ele alınmaktadır. Pervane, yapılan analiz ve deneyler sonucunda mukavemet ve maliyet özellikleri bakımından döküme göre daha başarılı sonuç vermiştir. Ağırlık azaltılmış ancak dayanıklılıktan feragat edilmemiştir. Burada, LMD'nin yöntem olarak tozların lazer ile kaynatılması esasında zaten bir ısı işleminden geçmesi ve ek işleme gerek duymaması yatmaktadır. Bu çalışma, LMD teknolojisinin hareketsiz parçalar ile beraber dönen parçalara da uygulanabilirliğinin kanıtlanması açısından oldukça önemlidir. Başka bir çalışmada kavitasyon tüneline kullanılmak üzere bir gemi pervanesi modeli, katmanlı olarak imal edilmiştir (Cilia et al., 2019).

Katmanlı imalatın özellikle ABD Donanmasının dikkatini yoğun şekilde çektiği değerlendirilmektedir. Birleşik Devletler Donanması, bir askeri geminin ölçekli karmaşık modelini üç boyutlu baskı ile imal etmiştir. Metal katmanlı imalat yöntemlerinin aynı ülkenin savunma sanayiinde alüminyum şase, dizel makine, gemi soğutma sistemlerinin hava giriş, egzoz ve turboşarjer muhafazasının imalatı gibi alanlarda da kullanıldığı belirtilmektedir (Li et al., 2019). Wang ve Whitworth tarafından yapılan çalışmada (2016) Amerika Birleşik Devletleri Donanmasının, yirmi yıldan uzun süredir katmanlı imalat teknolojileri alanındaki gelişmeleri ve yapılan çalışmaları gemide kullanılan donanım ve parçaların imalatı, uçak tamirleri ve hatta yaralı askerler için kafatası gibi parçaların üretimi gibi amaçlar ile fonladığı belirtilmektedir. Tüm bu gelişmelere rağmen donanma, diğer tüm katmanlı imalat yapan tesisler gibi

sertifikasyon konusunda sorunlar yaşanmaktadır. USS Harry S. Truman uçak gemisi buhar devresi su tahliye sistemine konulan bir parçanın (Şekil 9) katmanlı imalatı yapılmış ve bu parçanın gemiye konulması NAVSEA tarafından onaylanmıştır. Bu durum, sertifikasyon sorununun aşılması yolunda bir dönüm noktası teşkil etmektedir (The Sentinel, 2019). Housel çalışmasında (2015) ABD Donanmasının 20 yıl içinde donanmasının muharip gücünü arttırma hedefine paralel olarak karşılaşıcağı maliyet yükünün DDG (destroyer), LHA ve LPD (amfibi hücum gemisi) inşaatında katmanlı imalat yöntemlerinin kullanılmasının yıllık \$800,000 civarında maliyet düşüşünün sağlanacağı tahmini verilmiştir.



Şekil 8. WAAMPeller (Damen, n.d.)

Katmanlı imalatın gemi inşaatında yaygınlaşması önündeki en büyük engellerden biri sertifikasyon olduğu ifade edilmektedir. Katmanlı üretilen parçaların malzeme davranış özelliklerinin tam olarak bilinmemesi, sınırlı geçmiş imalat verileri ve konu ile ilgili hem teorik hem pratik bilgi ve tecrübe eksikliği sertifikasyon için kural ve standartların oluşturulması imkânlarını sınırlamaktadır (DNV-GL, 2017). Bununla beraber klas kuruluşları hâlihazırda katmanlı imalat süreçleri ile ilgili kılavuzlar yayınlamaktadırlar. Bu dokümanlarda temel olarak ilgili katmanlı imalat yöntemlerinin kısa tanımları, süreçler, onaya tabi dokümanlar, tel gibi malzemelerin tip onay gereklilikleri, katmanlı imalat yapan tesislerin uygunluk gereksinimleri, test gereklilikleri gibi bölümler mevcuttur (ABS, 2018), (BV, 2019), (DNV-GL, 2017), (LR, 2016).

Garcia, Edenfield ve Yoshida master tezlerinde (2019) katmanlı imalatın için bir eğitim modeli geliştirmişlerdir. Bu modele göre ilgili teknik personelin; katmanlı imalat teknolojileri ve yöntemleri ile ilgili bilgisinin olması, ürün isterlerine değerlendirebilecek ve üretim için geleneksel ya da katmanlı imalat arasında seçim yapabilmesinin en önemli yetiler olarak değerlendirilmiştir. İmalatı yapacak kişinin aynı zamanda yetkin bir tasarım bilgisine, CAD programı kullanım becerisine ve gerekiyorsa üç boyutlu tarama bilgisine ihtiyaç duyacağı da belirtilmiştir. Malzeme seçimi de önemli bir konu olarak görülmektedir. İmalatı yapacak kişinin ürünün kullanım yeri özelliklerine göre (nem, sıcaklık, meyil, titreşim gibi) uygun ham maddeyi seçebiliyor olması beklenmektedir. Baskı makinesi ile ilgili temel bilgilerin bilinmesi, basit arızaların giderilebilmesi ve hangi koşullarda nasıl sorunların oluşabileceği öngörüsü de oldukça önemli görülmektedir. Son olarak, katmanlı imalat sonrası sıklıkla uygulanan ısı



**Şekil 9.** Gemide kullanımı NAVSEA tarafından onaylanan katmanlı üretilen ilk parça  
(The Sentinel, 2019)

işlem ya da talaşlı imalat gibi geleneksel yöntemler hakkında bilgi sahibi olunmasının altı çizilmiştir. Buradan üç boyutlu baskı yapacak kişinin hem geleneksel hem katmanlı imalat konusunda bilgi sahibi olması gerektiği tekrar vurgulanmış olmaktadır.

## 7. Sonuç ve Değerlendirme

Katmanlı imalat, yıllardan beri dikkatleri üzerine çekmektedir. Geleneksel imal usullerine göre belirgin üstünlükleri ve kullanım alanları bulunan bu imalat yönteminde özellikle metal ürünlerin üç boyutlu basılmasının mümkün kılınmasıyla yeni bir teknolojik seviyeye gelinmiştir.

Bir cismin üç boyutlu modelinin tasarım aşamasından doğrudan üretim aşamasına geçmesi, konvansiyonel üretim yöntemlerindeki lojistik ve depo ihtiyacını neredeyse sıfıra indirmektedir. Bir üç boyutlu yazıcı ve uygun bir bilgisayar bulunan her yer bir üretim atölyesi haline alabileceği değerlendirilmektedir. Oldukça karmaşık ürünlerin kolaylıkla imal edilebilmesi, tasarımın kolayca modifiye edilmesi ve üretim için herhangi bir kalıp ya da üretim makinesi adaptasyonu ihtiyacı olmaması, atık malzeme oluşmaması, zamandan tasarruf gibi hususlar katmanlı imalat usullerinin önemli avantajlarıdır. Bunun yanında katmanlı imalat teknolojilerinin geleneksel imal usullerine kıyasla bir takım dezavantajları da bulunmaktadır; ancak üretim sonrası uygun ısıl işlem, gelişen teknoloji, talebin artması ve katmanlı imalat yöntemlerinin makul üretim stratejileri ile kullanılması ile bu dezavantajlar kolaylıkla aşılabilecektir.

Türkiye’de katmanlı imalat konusunda akademik olarak belirli seviyede çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalar ağırlıklı genel değerlendirme olup tıp alanında hatırı sayılır çalışmalar bulunmaktadır. Katmanlı olarak imal edilen ürünlerin mekanik özellikleri konusunda çalışmalar mevcuttur. Üç boyutlu imalat yapan firmalar kurulmuş olsa da bu firmalar daha çok baskı faaliyetleri yürütmekte olup katmanlı imalat yapabilen makinelerin Türkiye sorumluları olarak kendilerini konumlandırmışlardır. Yerli baskı makinesi ve filament üretimi konusunda umut vadeden gelişmeler mevcuttur.

Gemi tasarımı, klaslama ve sertifikasyon, malzeme ve yedek parça tedariki, inşaa süreçleri, malzeme ve askeri uygulamalar üzerinde katmanlı imalatın kayda değer etkileri olacağı bilimsel yazından

anlaşmaktadır. Özellikle mukavemet analizleri ve pervane model deneylerinde kullanılan modellerin lazer metal biriktirme yöntemleri ile oluşturulmasında yol kat edilmiş görülmektedir. Katmanlı üretim sonucu elde edilen ürünlerin mekanik özellikleri henüz beklendiği seviyede değildir; ancak üretim sonrası ısıtma işlemlerinin bu konuda fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bu açıdan bakıldığında üç boyutlu baskı ile imal edilen parçaların, mevcut teknolojide dövme ile imal edilen yapısal parçaların yerini alamayacağı söylenebilir. Döküm ile imal edilen pervane kanadı gibi parçaların katmanlı olarak üretildiği örneklerin mekanik özellikleri başarılıdır. Dolayısıyla katmanlı imalatın ilk etapta gemi inşaatında dökümün yerini alabileceği iddia edilebilmektedir. WAAMPeller çalışması gibi projeler, sektörün katmanlı imalat konusundaki farkındalığını arttırabilme potansiyeline sahiptir.

## 8. Kaynaklar

ABS (2018). 299-Guidance Notes on Additive Manufacturing.

<https://ww2.eagle.org/en/rules-and-resources/rules-and-guides.html#/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/299-gn-on-additive-manufacturing-2018> [Online] (Erişim: Haziran 2020)

All About Engineering, Ballistic Particle Manufacturing (BPM).

<https://www.topengineeringcommunity.com/ballistic-particle-manufacturing-bpm/>[Online] (Erişim: Haziran 2020)

Bergsma, J., Zalm, M., Pruyn, J. (2016). 3D-Printing and the Maritime Construction Sector. Conference Paper: HIPER 2016, At Cortona, Italy, Volume: 10

Bryson, J. R., Clark, J., Mulhall, R. (2013). The Competitiveness and Evolving Geography of British Manufacturing: Where Is Manufacturing Tied Locally and How Might This Change. Future of Manufacturing Project: Evidence Paper 3. Foresight, Government Office for Science

BV, (2019). NI662 Additive Manufacturing - Guidelines for Certification of Product Made Using Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) Process.

<https://marine-offshore.bureauveritas.com/ni662-additive-manufacturing-guidelines-certification-product-made-using-wire-arc-additive> [Online] (Erişim: Haziran 2020)

Calle, M. A. G., Kujala, P., Salmi, M., Mazzariol, L. M. (2020). ASIS Web Girder Test: A Miniature Experiment. Developments in the Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures

Cilia, T., Bertetta, D., Gualeni, P., Tani, G. (2019). Additive Manufacturing Application to a Ship Propeller Model for Experimental Activity in the Cavitation Tunnel. Journal of Ship Production and Design DOI: 10.5957/JSPD.11170055

Damen, World's First Class Approved 3D Printed Ship's Propeller Unveiled.

[https://www.damen.com/en/news/2017/11/worlds\\_first\\_class\\_approved\\_3d\\_printed\\_ships\\_propeller\\_unveiled](https://www.damen.com/en/news/2017/11/worlds_first_class_approved_3d_printed_ships_propeller_unveiled) [Online] (Erişim: Haziran 2020)

Dehghanhadikolaei, A., Namdari, N., Mohammadian, B., Fotovati, B. (2018). Additive Manufacturing Methods A Brief Overview. Journal of Scientific and Engineering Research, 2018, 5(8):123-131 ISSN: 2394-2630

DNV-GL, (2017). DNVGL-CG-0197-Additive Manufacturing - Qualification and Certification Process for Materials and Components.

<https://www.dnvgl.com/services/additive-manufacturing-3d-printing-110872> [Online] (Erişim: Haziran 2020)

Fathi, P. (2019). On Microstructure and Corrosion Behavior of AlSi10Mg Alloy Fabricated by Direct Metal Laser Sintering. Memorial University of Newfoundland Master of Engineering in Mechanical Engineering

Garcia, G., Edenfield, B. L., Yoshida, K. (2019). Establishing an Additive Manufacturing (AM) Navy Enlisted Classification for the Machinery Repairman to Enable Efficient Use of AM and Mass Adoption of the Technology. MBA Professional Project Naval Postgraduate School

Housel, T. J., Mun, J., Ford, D. N., Hom, S. (2015). Benchmarking Naval Shipbuilding with 3D Laser Scanning, Additive Manufacturing, and Collaborative Product Lifecycle Management. Acquisition Research Program Graduate School of Business & Public Policy Naval Postgraduate School

ISO, (2018). ISO/ASTM DIS 52900 Additive Manufacturing - General Principles – Terminology Fabrication Additive, International Standardization Organization (ISO) ICS: 01.040.25; 25.030

JEC Group, (2017). Additive Manufacturing Becoming a Disruptive Force in Marine Tooling.

<http://www.jeccomposites.com/knowledge/international-composites-news/additive-manufacturing-becoming-disruptive-force-marine> [Online] (Erişim: Temmuz 2020)

Jung, G. S., Park, Y. H., Kim, D. J., Lim, C. S. (2019). Study on Corrosion Properties of Additive Manufactured 316L Stainless Steel and Alloy 625 in Seawater. Corrosion Science and Technology, Vol.18, No.6 (2019), pp.258-266 pISSN: 1598-6462 / eISSN: 2288-65245 [Research Paper] DOI: <https://doi.org/10.14773/cst.2019.18.6.258>.

Korsmik, R., Rodionov, A. A., Korshunov, V., Ponomarev. D. A. (2020). Topological Optimization and Manufacturing of Vessel Propeller via LMD-Method. Materials Today Proceedings DOI: 10.1016/j.matpr.2020.01.044

Ksenia, K., (2020). Overview of High-Temperature FDM Plastics for Industrial 3D Printing, Internauka, e-Library ID: 42442037

Kyzioł, L., Kończewicz, W., Dynowski, A. (2019). The Analysis of the Possibilities of Using 3D Printer for Making Components and Parts of Marine Equipment for Example Flexible Clutch Coupling, Journal of Konbin 2019 Volume 49, Issue 3 DOI 10.2478/jok-2019-0057

Li, J., Duan, C., Zhao, M., Luo, X. (2019). A Review of Metal Additive Manufacturing Application and Numerical Simulation. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 252 (2019) 022036 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/252/2/022036

Li, J. L. Z., Alkahari, M. R., Rosli, N. A. B. R., Hasan, R., Sudin, M. N., Ramli, F. R. (2019). Review of Wire Arc Additive Manufacturing for 3D Metal Printing. International Journal of Automation Technology 13(3):346-353 DOI: 10.20965/ijat.2019.p0346

Livescience, What is Laminated Object Manufacturing?

<https://www.livescience.com/40310-laminated-object-manufacturing.html> [Online] (Erişim: Temmuz 2020)

Loughborough University, Additive Manufacturing Research Group The 7 Categories of Additive Manufacturing.  
<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/> [Online] (Erişim: Temmuz 2020)

LR (2016). Guidance Notes for Additive Manufacturing Certification  
<https://www.lr.org/en/additive-manufacturing/resources/guidance-notes-for-additive-manufacturing/> [Online] (Erişim: Temmuz 2020)

Nemani, A. V., Ghaffari, M., Nasiri, A. (2020). Comparison of Microstructural Characteristics and Mechanical Properties of Shipbuilding Steel Plates Fabricated by Conventional Rolling Versus Wire Arc Additive Manufacturing. Additive Manufacturing Volume 32, March 2020, 101086

STM Savunma Teknolojileri ve Mühendislik Ticaret A.Ş. (2016). Katmanlı İmalat Teknolojileri ve Havacılık Uygulamaları Sektör Değerlendirme Raporu.  
[https://www.stm.com.tr/documents/file/Pdf/1.katmanli\\_imalat\\_teknolojileri\\_raporu\\_\\_2016-08-03-14-11-28.pdf](https://www.stm.com.tr/documents/file/Pdf/1.katmanli_imalat_teknolojileri_raporu__2016-08-03-14-11-28.pdf) [Online] (Erişim: Temmuz 2020)

The Sentinel, NAVSEA Approves First Metal Additively Manufactured Component for Shipboard Use.  
[https://hanfordsentinel.com/news/lemoore/navsea-approves-first-metal-additively-manufactured-component-for-shipboard-use/article\\_98ac16b6-0655-5e09-a32c-673997775ee9.html](https://hanfordsentinel.com/news/lemoore/navsea-approves-first-metal-additively-manufactured-component-for-shipboard-use/article_98ac16b6-0655-5e09-a32c-673997775ee9.html) [Online] (Erişim: Temmuz 2020)

Wang, X. Y., Whitworth, J. R. (2016). Using Additive Manufacturing to Mitigate the Risks of Limited Key Ship Components of The Zumwalt-Class Destroyer, Naval Postgraduate School MBA Professional Report. Accession Number : AD1031546

Wu, W., Tor, S. B., Chua, C. K., Liu, Z., Lui, O. K. B., Merchant, A. A. (2014). Preliminary Investigation on SLM of ASTM A131 EH36 High Tensile Strength Steel for Shipbuilding Applications, Proceedings of the 1st International Conference on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2014), 158-163

Ya, W., Hamilton, K. (2018). On-Demand Spare Parts for the Marine Industry with Direct Energy Deposition: Propeller Use Case, Conference: International Conference on Additive Manufacturing in Products and Applications DOI: 10.1007/978-3-319-66866-6\_7

# Örtülü Elektrod Ark Kaynağı ve Gazaltı Kaynağı Kullanılarak Birleştirilen Gemi İnşa Çeliğinde Kaynak Bölgesinin İyçayı Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi

Ali Ragıp AKKAYA<sup>1</sup>, Dursun Murat SEKBAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği, Trabzon, Türkiye

akkayyalı.98@gmail.com<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2911-2068><sup>1</sup>; msekban@ktu.edu.tr<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-7493-1081><sup>2</sup>

## ÖZET

Bilindiği üzere gemiler sacların ve çeşitli profillerin kaynaklı birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Önceleri bir tamir yöntemi olarak kullanılan kaynak işlemi, bu alandaki gelişmelerin sonucu olarak tamamen kaynaklı bağlantıların kullanıldığı büyük çaplı gemilerin inşaatına imkân sağlamıştır. Günümüzde gemi imalatında en çok örtülü elektrotlarla ark kaynağı ve gazaltı kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Öte yandan geminin kullanım amacı, gemideki kullanım yeri ve seyirin yapıldığı sular gibi birçok değişkene bağlı olmakla birlikte, iyi tokluk değerleri, yüksek korozyon direnci, düşük maliyetleri ve yüksek kaynak edilebilirlikleri göz önüne alındığında gemi imalatında genellikle %0,15-0,23 aralığında karbon ihtiva eden düşük-orta mukavemetli çelikler kullanılmaktadır. Bu bilgiler ışığında düşük-orta mukavemetli gemi inşa çeliklerinin bahsi geçen kaynak yöntemleri ile kaynak edilmesi sonucunda kaynak bölgesinde oluşan yapısal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi son derece faydalı olacaktır. Bu bağlamda çalışmada düşük-orta mukavemetli gemi inşa çeliği örtülü elektrotlarla ark kaynağı ve gazaltı kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş ve sonrasında kaynak bölgesinin iyçayı ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda gazaltı kaynağı sonucunda kaynak bölgesinde daha ince taneli bir iyçayı olduğu görülmüştür. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için yapılan testler sonucunda da sertlik, dayanım ve darbe tokluğu değerlerinin tamamında gazaltı kaynağı ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Örtülü elektrotla ark kaynağı, gazaltı kaynağı, düşük-orta mukavemetli gemi inşa çeliği.

**Makale geçmişi:** 08/12/2020 – 20/12/2020



# Comparative Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Shielded Metal Arc Welded and Gas Metal Arc Welded Shipbuilding Steel

Ali Ragıp AKKAYA<sup>1</sup>, Dursun Murat SEKBAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Department of Marine Engineering Operations, Trabzon, Türkiye

akkayali.98@gmail.com<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2911-2068><sup>1</sup>; msekban@ktu.edu.tr<sup>2</sup>  
<https://orcid.org/0000-0002-7493-1081><sup>2</sup>

## ABSTRACT

As it is known, ships are built by welded joining of sheets and various profiles. Welding, which was previously used as a repair method, has enabled the construction of large-scale ships using fully welded joints as a result of the developments in this field. Nowadays, shielded metal arc welding and gas metal arc welding are mostly used in shipbuilding. The materials used in ships depend on many variables such as the purpose of use of the ship, the place of use on the ship and the waters in which the navigation takes place. On the other hand, low-medium strength steels with carbon content in the range of 0.15-0.23% are generally used in ships due to their good toughness values, high corrosion resistance, low costs and high weldability. In light of this information, it will be extremely useful to comparatively examine the microstructural and mechanical properties of the welded zone as a result of welding low-medium strength shipbuilding steels with the mentioned methods. In this context, in this study, low-medium strength shipbuilding steel was joined with shielded metal arc welding and gas metal arc welding methods, and then the microstructure and mechanical properties of the weld zone were compared comparatively. As a result of the investigations, it was observed that a finer-grained microstructure was formed in the weld area as a result of gas metal arc welding. Also, result of the tests performed to determine the mechanical properties, better results were obtained in welded joints made with gas arc welding in all values of hardness, strength and impact toughness.

**Keywords:** Shielded metal arc welding, gas metal arc welding, low-medium strength shipbuilding steel.

**Article history:** 08/12/2020 – 20/12/2020

## 1. Giriş

Sevk için rüzgâr ve insan gücü yerine sanayi devriminden sonra makine gücüne geçilmesi; gemilerin tasarımları, boyutları ve inşa malzemelerinin çeşitlenmesi gibi birçok alanda gelişmelerin yaşanmasına sebep olmuştur (Sekban, 2018). Gemi imalatındaki gelişmelere paralel olarak malzeme bilimi alanında da birçok gelişme yaşanmış ve yeni yapı malzemeleri ortaya çıkmıştır. Malzeme bilimindeki bu gelişmeler gemi inşaatında kullanılan malzeme türlerinin çeşitlenmesinde de önemli rol oynamıştır.

Günümüzde gemi inşaatında kullanılan malzemeler incelendiğinde çelikler, alüminyum, ahşap ve kompozit malzemelerin öne çıktığı görülmektedir.

Geminin ağırlığını düşürmek amacıyla ahşap, alüminyum ve kompozit malzemeler gemi yapımında kullanılsa da bu malzemelerin dayanım anlamındaki problemlerinden ötürü çelikler gemi inşaatında kullanım yoğunluğu olarak öne çıkmaktadır. Dayanım dışında kolay temin edilebilmesi, yüksek kaynak edilebilirliği ve iyi şekil verilebilirlik özellikleri de çelikleri diğer malzemeler karşısında gemilerde kullanımı açısından ön plana çıkarmaktadır. Klas kuruluşu tarafından gemi inşaatında kullanılan çelikler genel anlamda düşük-orta mukavemetli ve yüksek mukavemetli çelikler olarak 2 ana gruba ayrılmaktadır. Geminin kullanım amacı, gemideki kullanım yeri ve geminin çalıştığı su sıcaklığı gibi değişkenlere bağlı olmakla birlikte düşük maliyetleri, iyi kaynak edilebilirlikleri ve iyi tokluk değerleri göz önüne alındığında gemilerde genellikle %0,15-%0,23 aralığında karbon içeren düşük-orta mukavemetli çelikler kullanılmaktadır. Öte yandan gemi türüne ya da gemilerde kullanıldığı yere göre (yüksek dayanım değeri istenen bölgelerde) gemi inşaatında yüksek mukavemetli çelikler de kullanılabilir. Gemi inşaatında kullanılan yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımıyla ilgili en önemli sınırlayıcı etken bu tür çeliklerin düşük kaynak edilebilirlik özellikleridir (Eyres, 2001).

Gemi inşaatında kullanılan çelik plakaları bir araya getirerek yapıyı oluşturmaya yarayan birleştirme elemanı kaynak işlemidir. Temel anlamda kaynak, malzemeyi ısı, basınç ya da her ikisini birden kullanarak bir ilave metal kullanarak ya da kullanılmaksızın yapılan birleştirme işlemidir. Gemi inşaatında kullanılan kaynak yöntemleri incelendiğinde örtülü elektrotlarla ark kaynağı ve gaz-altı kaynak yöntemlerinin kullanım yoğunluğu anlamında ön plana çıktığı görülmektedir.

Gemi inşaatında kullanılan farklı malzemelerin farklı kaynak metotları ile birleştirilmesi üzerine yapılan literatür incelendiğinde çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir (Kaya and Kahraman, 2013, Çolak vd., 2020, Mathivanan vd., 2014, Ragu Nathan vd., 2015, Sumpter and Kent, 2006, Martin and Wei, 2015, Roepke vd., 2010, Turichin vd., 2017, Yılmaz and Günay, 2017, Kaya vd., 2017, Kaya, 2018, Churiaque vd., 2019, Ericsson and Sandström, 2003, İmdat vd., 2017, Yılmaz and Tümer, 2009, Sekban vd., 2019). Bu çalışmalar incelendiğinde ise çalışmaların örtülü elektrotlarla ark kaynağı ve gazaltı kaynak yöntemlerinin dışındaki kaynak yöntemleri ya da farklı tür çelik malzemelerin kaynağı üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu anlamda gemi inşaatında yoğun kullanıma sahip düşük-orta mukavemetli çeliklerin örtülü elektrotlarla ark kaynağı ve gaz-altı kaynağı kullanılarak birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin içyapısal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi son derece faydalı olacaktır. Bu bağlamda bu çalışmada gemi inşaatında yoğun olarak kullanılan düşük-orta mukavemetli çelik örtülü elektrotlarla ark ve gaz-altı kaynağı kullanılarak birleştirilmiştir ve kaynak bölgesinin içyapısı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yine çalışma kapsamında her iki kaynak sonrasında kaynak bölgelerinin sertlik, mukavemet ve darbe dayanımı değerleri belirlenmiş ve uygulanan kaynak yöntemleri sonrasında kaynak bölgesinin mekanik özellikleri arasında karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

Çalışma kapsamında gemi inşaatında yoğun bir kullanıma sahip düşük-orta mukavemetli gemi inşaatı çeliği kullanılmıştır. Kullanılan çeliğin kimyasal bileşimi 0.17 wt % C, 0.16 wt % Si, 0.7 wt % Mn, 0.01 wt % S, 0.016 wt % P, 0.1 wt % Cr, 0.1 wt % Mo, 0.04 wt % Cu, 0.04 wt % V ve kalan Fe şeklindedir. Numuneler 8 mm kalınlığında sıcak hadde ürünü olarak temin edilmiştir.

Kaynak işlemlerinden önce plakalara 45° kaynak ağı açılmıştır. Kaynak ağı açılan numuneler alın altına birleştirilerek örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı kullanılarak birleştirilmiştir. Örtülü

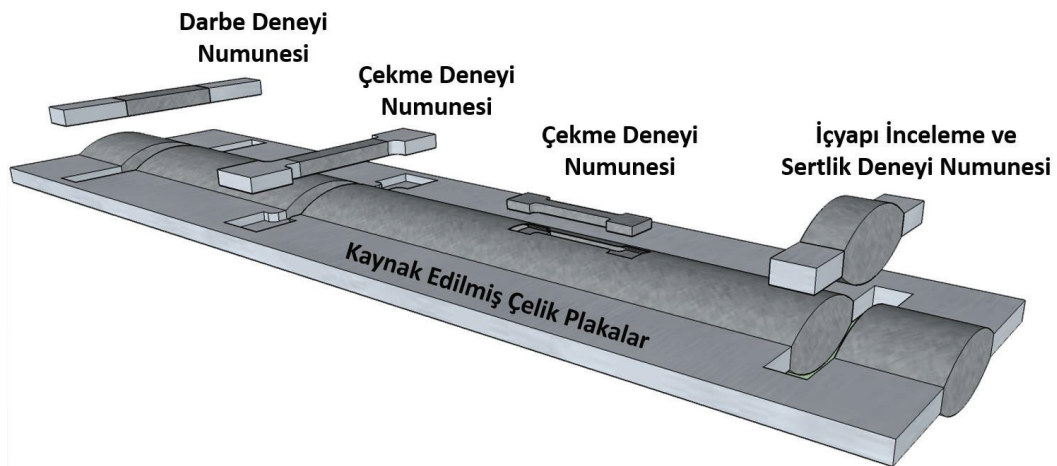
elektrodlarla ark kaynağı işleminde 3.25 mm çapında rutil özlü kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak işlemleri için 120 A akım değeri seçilmiştir. Gazaltı kaynağı işlemi esnasında 1.2 mm çapında rutil özlü kaynak teli kullanılmış, akım 200-220 A aralığında tutulmuş, gerilim değeri olarak ise 30-32 V aralığında çalışılmıştır. Gazaltı kaynağı esnasında koruyucu gaz olarak CO<sub>2</sub> kullanılmıştır.

Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen plakaların kaynak bölgesinde içyapı inceleme numuneleri Şekil 1'de gösterilen şekilde tel erozyon kesme cihazı kullanılarak çıkarılmıştır. Tüm numunelerin içyapı incelemeleri için optik mikroskop kullanılmıştır. Optik mikroskop incelemeleri için çıkarılan numuneler sırasıyla farklı numaralardaki zımparalar kullanılarak zımparalanmış sonrasında 1 µm boyutunda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanılarak parlatılmış ve %3 Nital çözeltisi ile dağlanarak hazır hale getirilmiştir.

Sertlik incelemeleri için Şekil 1'de gösterildiği gibi kaynak yapılmış plakalardan çıkarılan numunelere Vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak Struers marka (Duramin 3) mikro sertlik deney cihazında sertlik ölçümleri uygulanmıştır. Sertlik ölçümleri için batıcı ucun basma yükü 300 g ve yük altında bekleme süresi olarak da 10 s seçilmiştir. Sertlik taraması kaynaklı numuneye dik kesitten bakıldığında tam merkeze gelen kısımdan başlanarak 0,5 mm'lik adımlarla her iki yönde ana yapıya doğru gidilerek yapılmıştır.

Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen plakalardan çekme deneyi numuneleri Şekil 1'de görüldüğü gibi tamamı kaynak bölgesinden olacak ve çekme bölgesinde ana yapıyı da içerecek şekilde 2 farklı boyutta çıkarılmıştır. Buradaki amaç sadece kaynak bölgesinden çıkarılan numuneler ile kaynak bölgesinin dayanım değerlerini belirlemekken çekme bölgesinde ana yapıyı da içeren numuneler ile kopmanın ana yapıda mı yoksa kaynak bölgesi içinden mi olacağını saptamaktır. Çekme deneyleri oda sıcaklığında en az 3 numune çekilerek 5x10<sup>-4</sup> s<sup>-1</sup>'lik deformasyon hızında gerçekleştirilmiş ve meydana gelen uzama değerleri bu cihaza bağlı video tipi bir ekstansometre yardımıyla belirlenmiştir.

Her iki kaynak yöntemiyle birleştirilen plakalardan Şekil 1'de görüldüğü gibi çıkarılan numuneler oda sıcaklığında darbe deneylerine tabi tutularak kaynak bölgesinin kırılma enerjisi değerleri belirlenmiştir. Deneyler 50 J kapasiteli Charpy çentik darbe makinesinde DIN 50115 standardına uygun olarak hazırlanan numunelerle gerçekleştirilmiştir. Her iki kaynaklı bağlantı içinde en az 3 adet numune darbe deneyine tabi tutulmuş ve tutarlı sonuçların ortalaması alınarak elde edilen değerler sonuçlar kısmında verilmiştir.

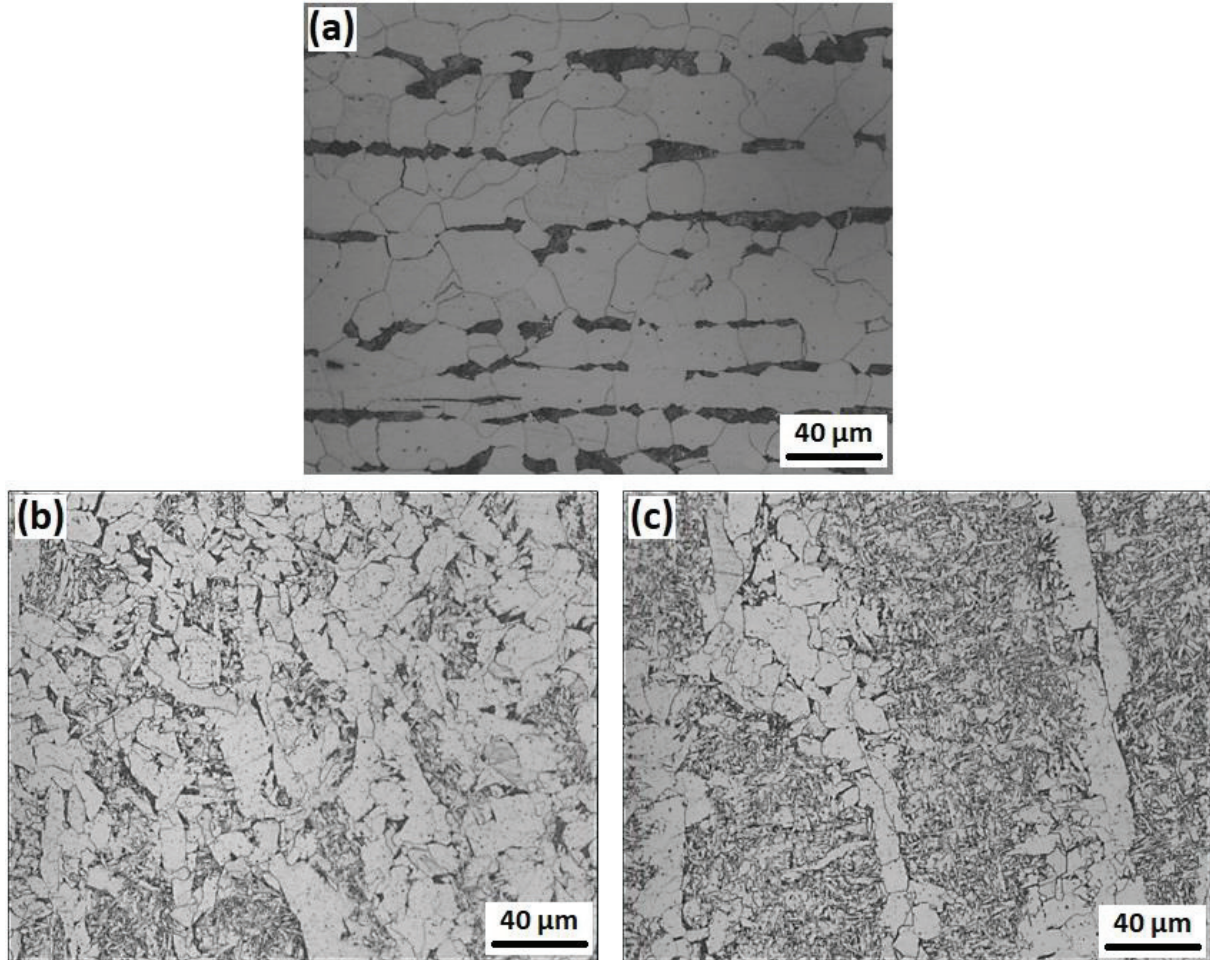


**Şekil 1.** Örtülü elektrod ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen çelik plakalardan çıkarılan içyapı ve mekanik özellik inceleme numuneleri.

### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1 İyapı

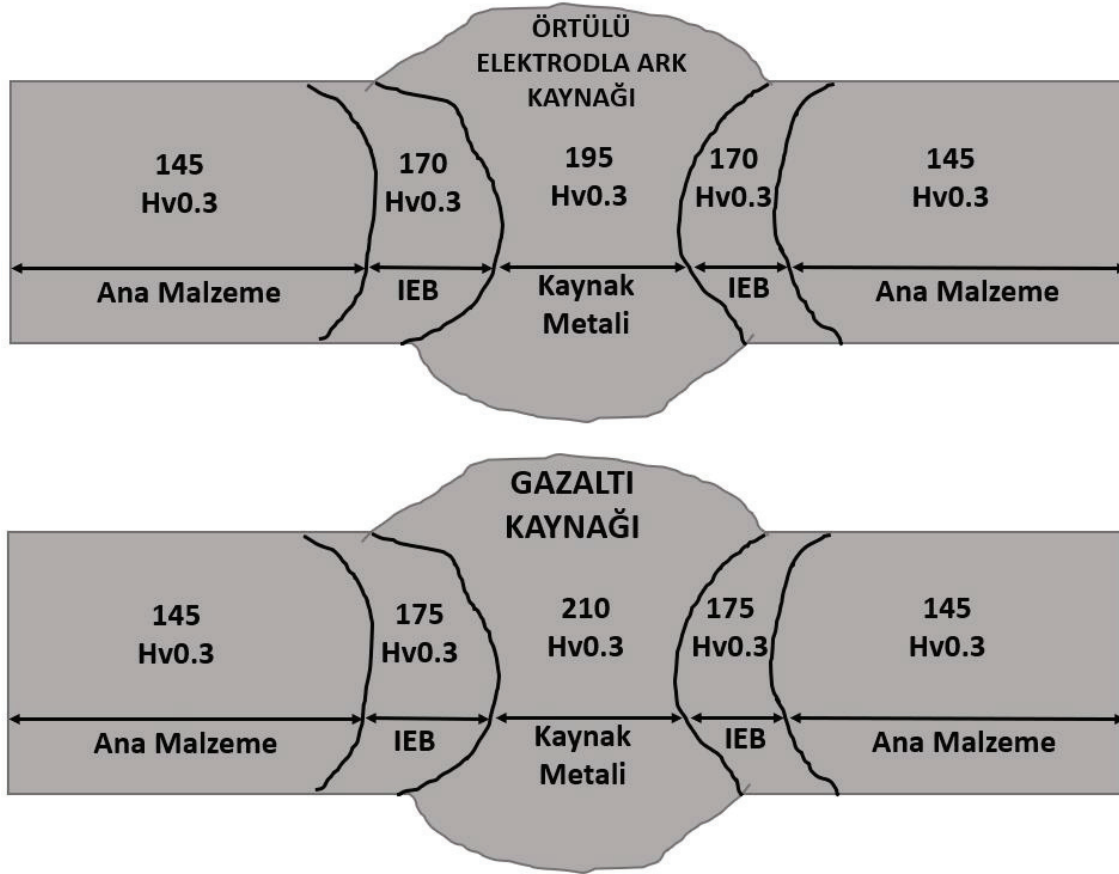
Çalışma kapsamında kullanılan düşük-orta mukavemetli gemi inşa çeliğinin, bu çeliğin örtülü elektrodla ark kaynağı ile birleştirilmesi sonrası kaynak bölgesinin ve yine bu çeliğin gazaltı kaynağı ile birleştirilmesi sonrasında kaynak bölgesinin iç yapılarına ait görüntüler Şekil 2’de gösterilmektedir. Şekil 2(a)’da görülebildiği gibi kullanılan çeliğin iyapısı tipik bir düşük-orta karbonlu çelik yapısı sergilemektedir. Görülen açık renkli fazlar ferrit fazı iken, koyu renkli fazlar sementit lamelleri içeren perlit fazlarıdır. Sıcak hadde ürünü olarak temin edilen çeliğin iyapısında beklenildiği üzere perlit fazının bir miktar haddeleme doğrultusunda yönlendiği yine şekilden açıkça görülmektedir. Yapıdaki ferrit tanelerinin ortalama tane boyutunun yaklaşık 25  $\mu\text{m}$  olduğu iyapı görüntülerinden belirlenmiştir. Şekil 2(b)-(c)’den görülebildiği üzere kaynak işlemi öncesi iyapıdaki iri taneli yapı her iki kaynak yöntemi esnasında meydana gelen sıcaklık ve hızlı soğumanın etkisiyle oldukça incelmış ve soğumanın etkisiyle yönlenmiş bir hal almıştır. Öte yandan örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı sonrası kaynak yapısında oluşan iyapıları karşılaştırmalı olarak incelediğimizde ise gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak işlemi sonrasında iyapıda tanelerin bir miktar daha ince olduğu belirlenmiştir. Bu durumun sebebinin gazaltı kaynağının daha hızlı yapılması sonucu kaynak bölgesindeki yapının yüksek sıcaklıklara daha kısa süreler maruz kalması olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 2.** Optik mikroskop ile alınan iyapı görüntüleri: (a) Kaynak işlemi öncesi, (b) örtülü elektrodla ark kaynağı sonrası kaynak bölgesi ve (c) gazaltı kaynağı sonrası kaynak bölgesi.

### 3.2 Mekanik Özellikler

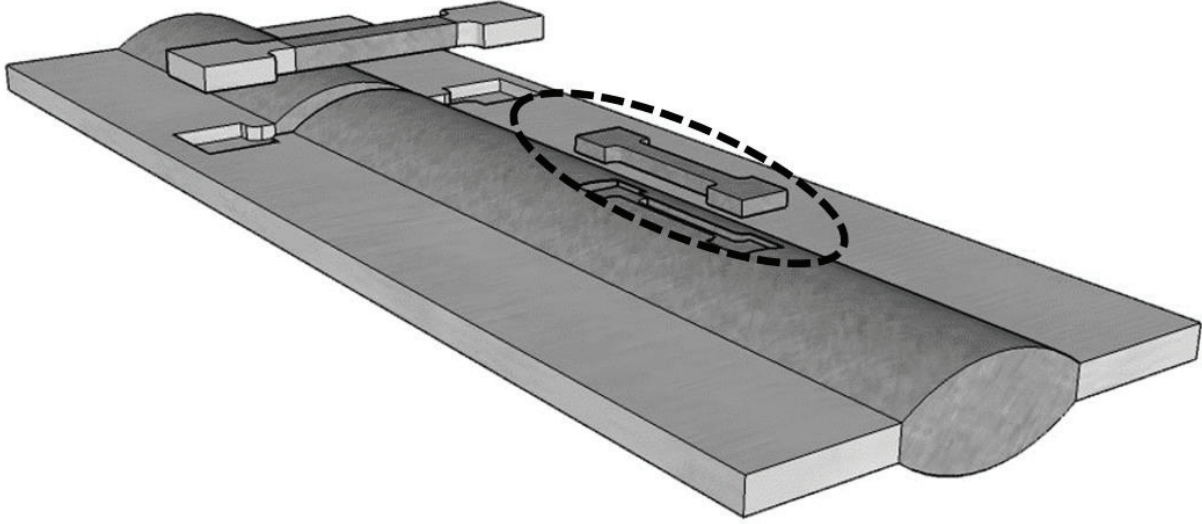
Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen çeliğin farklı bölgelerinde oluşan sertlik değerleri Şekil 3’de gösterilmiştir. Bilindiği üzere tane incelmesinin sonucu olarak yapının sertlik değerleri artmaktadır (Su vd., 2005). Bu bağlamda her iki kaynak işleminden sonrada yapıda meydana gelen tane incelmesinin sonucu olarak kaynak bölgesinde beklenildiği üzere ana yapıya göre daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Kaynak sonrasında ana yapıya ait 145 Hv sertlik değeri örtülü elektrodla arka kaynağı sonrasında kaynak bölgesinde 195 Hv’e, gazaltı kaynağı sonrasında kaynak bölgesinde ise 210 Hv’e yükselmiştir. Kaynak işlemleri sonrasında oluşan ısıdan etkilenen bölgeye (IEB) baktığımızda ise yine bu bölgede kaynak esnasında meydana gelen sıcaklık artışı ve hızlı soğuma sonrasında sertlik değerlerinde ana yapıya göre bir artış meydana geldiği görülmüş ve bu bölgede sertlik değeri örtülü elektrodla ark kaynağı sonrasında 170 Hv’e, gazaltı kaynağı sonrasında ise 175 Hv’e çıkmıştır. Uygulanan kaynak yöntemlerinin sertlik değerlerini kendi arasında karşılaştırdığımızda ise nispeten daha ince taneli içyapının oluştuğu gazaltı kaynağı sonrasında örtülü elektrodla kaynak sonrasında erişilene göre daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.



**Şekil 3.** Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı MAG kaynağı sonrası kaynak parçasında oluşan sertlik değerleri

Ana yapı, örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen ve kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyinde kullanılan numunenin ölçü uzunluğu bölgesinde ana yapıyı içermediği küçük numunelere ait temel dayanım ve uzama değerleri şematik gösterimle birlikte Şekil 4’de verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi her iki kaynak işlemi sonrasında da kaynak bölgesinin dayanım değerleri incelenen taneler sonucunda artmıştır (Hajian vd., 2015). Öte yandan daha ince tanelerin oluştuğu gazaltı kaynağı sonrasında örtülü elektrodla ark kaynağına göre daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir.

Ana yapıya ait 245 MPa akma dayanımı ve 420 MPa çekme dayanımı örtülü elektrodla ark kaynağı sonrasında sırasıyla 330 MPa ve 465 MPa ve gazaltı kaynağı sonrasında 360 MPa ve 500 MPa çıkmıştır. Dayanım değerlerinde elde edilen artışa karşın, tane incelmesinin sonucu olarak birim alanda karşılaşılan tane sınırı miktarı arttığı için kaynak bölgesinin uzama değerlerinde ana yapıya göre bir miktar düşüş yaşanmıştır (Hansen vd., 2001). Uniform uzama ve kopma uzaması değerleri örtülü elektrodla ark kaynağı sonrasında sırasıyla %16 ve %35 seviyesine inerken gazaltı kaynağı sonrasında bu değerler %14 ve %33 seviyesine gerilemiştir.

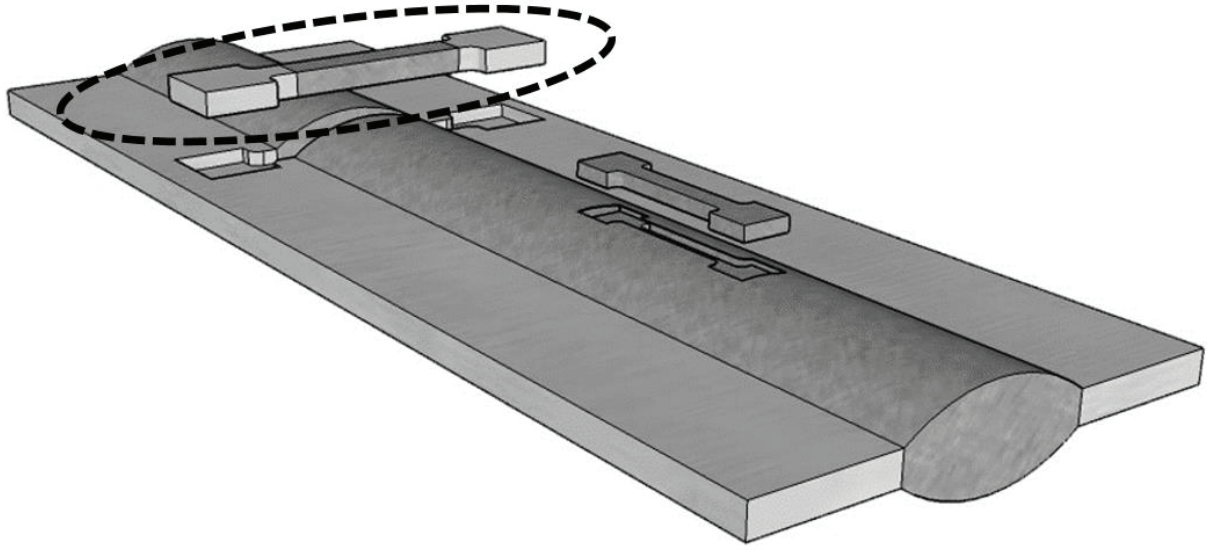


Durum	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Uniform Uzama (%)	Kopma Uzaması (%)
Ana Yapı	245	420	18	38
Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı	330	465	16	35
Gazaltı Kaynağı	360	500	14	33

**Şekil 4.** Ana yapı, örtülü elektrodla arka kaynağı ve gazaltı kaynağı uygulanarak birleştirilen ve kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinde ölçü uzunluğu bölgesinde ana yapıyı içermeyen duruma ait dayanım ve uzama değerleri.

Kaynaklı birleştirmeler sonrasında çekme uzunluğu bölgesinde ana yapıyı içermeyen küçük boyutlu numunelerle sadece kaynak bölgesinin dayanım ve uzama değerleri belirlenmiştir. Öte yandan kaynaklı bağlantıların kullanımında kaynak ana yapı geçişi de büyük önem arz ettiğinden çekme uzunluğu bölgesinde kaynak bölgesinin yanısıra ana yapıyı da içeren numuneler kullanarak çekme deneyleri uygulamak son derece önemlidir. Bu bağlamda kaynak işlemlerine tabi tutulan numunelerden ölçü uzunluğu bölgesinde ana yapıyı da içeren büyük boyutlu çekme numuneleri de çıkarılmış ve bu numuneler çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Ana yapı, örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı kullanarak birleştirilen ve ölçü uzunluğu bölgesinde ana yapıyı da (kaynaksız bölge) içeren numunelere ait temel dayanım ve uzama değerleri şematik gösterimle birlikte Şekil 5’de verilmiştir. Değerlerden görüldüğü üzere üzere her iki kaynak sonrasında da ana yapıya göre dayanım değerlerinde öndemli bir değişim gerçekleşmemiştir. Bu durumun nedeni her iki kaynak sonrasında da numunelerin kaynak bölgesinden ana yapıya geçiş noktasından kopmasıdır. Dayanım değerlerinde bir değişim olmazken her iki kaynak sonrasında da uzama değerlerinde ana yapıya göre önemli oranda azalma

olduğu görülmüştür. Ana yapıda %17 ve %37 seviyelerinde elde edilen unifor uzama ve kopma uzaması değerleri örtülü elektrodla ark kaynağı sonrasında sırasıyla %10 ve %18, gazaltı kaynağı sonrasında ise %9 ve %18 seviyesine düşmüştür. Bu duruma deney sırasında uzamaya büyük oranda sadece ana yapının katkıda bulunması ve bu yüzden de bu numunelerde toplam uzama oranının tamamen ana yapıdan oluşan numuneye kıyasla daha düşük çıkmasının neden olduğu düşünülmektedir (Kahraman et al., 2005, Kim et al., 2001).



Durum	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Unifor Uzama (%)	Kopma Uzaması (%)
Ana Yapı	240	410	17	37
Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı	242	415	10	18
Gazaltı Kaynağı	245	413	9	18

**Şekil 5.** Ana yapı, örtülü elektrodla arka kaynağı ve gazaltı kaynağı uygulanarak birleştirilen ve kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinde ölçü uzunluğu bölgesinde ana yapıyı da içeren duruma ait dayanım ve uzama değerleri.

Ana yapının ve iki farklı kaynak yöntemiyle birleştirilen kaynaklı bağlantıların kaynak bölgesinin tokluk değerleri darbe deneyleri ile belirlenmiştir. Ana yapı, örtülü elektrodla arka kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen numunelerin tokluk değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere her iki kaynak sonrasında da kaynak bölgesinde ana yapıya göre daha yüksek tokluk değerleri elde edilmiştir. Ana yapıda 8 J seviyesinde elde edilen kırılma enerjisi değeri örtülü elektrodla ark kaynağı sonrasında 9J ve gazaltı kaynağı sonrasında 9.3 J seviyesine yükselmiştir. Bu durumun sebebi kaynak işleminden sonra kaynaklı bölgelerin mukavemetinde gerçekleşen artışın uzamadaki düşüşe göre daha fazla olmasıdır. Öte yandan örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile yapılan birleştirmelerden gazaltı kaynağı ile yapılanın daha yüksek tokluk değerleri sergilediği görülmektedir. Bu durum gazaltı kaynağı ile yapılan birleştirmelerde nispeten daha yüksek dayanım değerlerinin elde edilmesinden kaynaklanmaktadır.

**Tablo 1.** Ana yapı, örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilen numunelere ait darbe tokluğu değerleri.

Durum	Darbe Tokluğu (Joule)
Ana Yapı	$8 \pm 0.5$
Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı	$9 \pm 0.4$
Gazaltı Kaynağı	$9.3 \pm 0.6$

#### 4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında gemi inşaatında yoğun bir kullanıma sahip düşük-orta karbonlu gemi inşa çeliği örtülü ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilmiş ve kaynak bölgesinin içyapısal ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1- Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı sonrası oluşan içyapılar incelendiğinde her iki kaynak sonrasında da ana yapıya göre kaynak bölgesinde daha ince taneli bir içyapı oluştuğu görülmüştür. Öte yandan gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak sonrasında örtülü elektrodla ark kaynağına göre daha ince taneli bir içyapı oluştuğu belirlenmiştir.

2- Her iki kaynak sonrasında da ana yapıya göre kaynak bölgesinde daha yüksek sertlik değerleri oluştuğu görülmüştür. Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile yapılan kaynaklar sonrasında kaynak bölgesindeki sertlik değerleri karşılaştırıldığında ise gazaltı kaynağı sonrası elde edilen daha inc taneli yapının sonucu olarak bu kaynak sonrasında daha yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir.

3- Örtülü elektrodla ark kaynağı ve gazaltı kaynağı sonrası kaynak bölgesinin dayanım değerlerinin ana yapıya göre arttığı belirlenmiştir. İki kaynak yöntemi arasında ise gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak sonrasında daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Öte yandan çekme bölgesinde ana yapıyı da içeren numunelere uygulanan çekme deneyi sonrasında her iki kaynak için denumunelerin kaynaklı bölgeden değil, ana yapıdan koptukları belirlenmiştir.

4- Çalışma sonucunda her iki kaynak sonrasında da tokluk değerlerinin ana yapıya oranla arttığı, kendi aralarında karşılaştırıldığında ise gazaltı kaynağı sonrasında örtülü elektrodla ark kaynağına göre daha yüksek tokluk değerleri elde edildiği belirlenmiştir.

#### Teşekkür

Çalışma kapsamında çelik plakaların temini ve kaynak işlemlerindeki katkılarından ötürü Mimarine Gemi İnşa Mühendislik ve Mimarlık Hiz. Ltd. Şti'ye teşekkür ederiz. Öte yandan laboratuvar imkânlarının kullanılması noktasındaki katkılarından ötürü Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Gençğa PÜRÇEK'e teşekkürü bir borç biliriz.



## 5. Kaynaklar

Churiaque, C., Chludzinski, M., Porrúa-Lara, M., Dominguez-Abecia, A., Abad-Fraga, F. & Sánchez-Amaya, J. M. (2019). Laser hybrid butt welding of large thickness naval steel. *Metals*, 9, 100.

Colak, Z., Ayan, Y. & Kahraman, N. (2020). Gerçek deniz ortamında su altı kaynağı ile birleştirilen Grade AH36 gemi sacının kaynak bölgesinin karakterizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35.

Ericsson, M. & Sandström, R. (2003). Influence of welding speed on the fatigue of friction stir welds, and comparison with MIG and TIG. *International Journal of Fatigue*, 25, 1379-1387.

Eyres, D. J. (2001). *Ship Construction*, Butterworth-Heinemann.

Hajian, M., Abdollah-Zadeh, A., Rezaei-Nejad, S. S., Assadi, H., Hadavi, S. M. M., Chung, K. & Shokouhimehr, M. (2015). Microstructure and mechanical properties of friction stir processed AISI 316L stainless steel. *Materials & Design*, 67, 82-94.

Hansen, N., Huang, X. & Hughes, D. A. 2001. Microstructural evolution and hardening parameters. *Materials Science and Engineering: A*, 317, 3-11.

Imdat, K., Kaya, Y. & Kahraman, N. (2017). Grade A Gemi Sacının Örtülü Elektrod Ark Kaynak Yöntemi ile Sualtı ve Atmosferik Şartlarda Birleştirilebilirliğinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 21, 543-552.

Kahraman, N., Gülenç, B. & Durgutlu, A. (2005). Investigation of The Effect Of Electrode Extension Distance on Microstructural and Mechanical Properties of Low Carbon Steel Welded With Submerged Arc Welding. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3), 473-480.

Kaya, Y. (2018). Microstructural, mechanical and corrosion investigations of ship steel-aluminum bimetal composites produced by explosive welding. *Metals*, 8, 544.

Kaya, Y. & Kahraman, N. (2013). An investigation into the explosive welding/cladding of Grade A ship steel/AISI 316L austenitic stainless steel. *Materials & Design (1980-2015)*, 52, 367-372.

Kaya, Y., Kahraman, N., Durgutlu, A. & Gülenç, B. (2017). Investigation of the Microstructural, Mechanical and Corrosion Properties of Grade A Ship Steel-Duplex Stainless Steel Composites Produced via Explosive Welding. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 48, 3721-3733.

Kim, J. H., Oh, Y. J., Hwang, I. S., Kim, D. J. & Kim, J. T. (2001). Fracture behavior of heat-affected zone in low alloy steels. *Journal of Nuclear Materials*, 299, 132-139.

Martin, J. & Wei, S. (2015). *Friction stir welding technology for marine applications. Friction Stir Welding and Processing VIII*. Springer.

Mathivanan, A., Devakumaran, K. & Kumar, A. S. (2014). Comparative Study on Mechanical and Metallurgical Properties of AA6061 Aluminum Alloy Sheet Weld by Pulsed Current and Dual Pulse Gas Metal Arc Welding Processes. *Materials and Manufacturing Processes*, 29, 941-947.

Ragu Nathan, S., Balasubramanian, V., Malarvizhi, S. & Rao, A. G. (2015). Effect of welding processes on mechanical and microstructural characteristics of high strength low alloy naval grade steel joints. *Defence Technology*, 11, 308-317.

Roepke, C., Liu, S., Kelly, S. & Martukanitz, R. (2010). Hybrid laser arc welding process evaluation on DH36 and EH36 steel. *Welding Journal*, 89, 140-149.

Sekban, D. M. (2018). Sürtünme Karıştırma İşleminin Bir Gemi İnşa Çeliğinin Yapısal Ve Mekanik Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi ve Bu Çeliğin Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi. Doktora, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Sekban, D. M., Aktarer, S. M. & Purcek, G. (2019). Friction Stir Welding of Low-Carbon Shipbuilding Steel Plates: Microstructure, Mechanical Properties, and Corrosion Behavior. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 50, 4127-4140.

Su, J.-Q., Nelson, T. W. & Sterling, C. J. (2005). Microstructure evolution during FSW/FSP of high strength aluminum alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 405, 277-286.

Sumpter, J. D. G. & Kent, J. S. (2006). Fracture toughness of grade D ship steel. *Engineering Fracture Mechanics*, 73, 1396-1413.

Turichin, G., Kuznetsov, M., Tsıbulskiy, I. & Fırsova, A. (2017). Hybrid Laser-Arc Welding of the High-Strength Shipbuilding Steels: Equipment and Technology. *Physics Procedia*, 89, 156-163.

Yılmaz, A. F. & Günay, M. (2017). Investigation of Mechanical Strength and Distortion in Submerged Arc Welding of AH36 Ship Steel Plate. *Journal of Ship Production and Design*, 33, 335-341.

Yılmaz, R. & Tümer, M. (2009). Gemi saclarının tozaltı ve özlü tel kullanarak MAG kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özellikleri. *Tübav Bilim Dergisi*, 2, 56-66.

# Doğadan İlham Alınarak Geliştirilen Bir Denizaltı Formunun Direnç Özelliklerinin Sayısal İncelemesi

Onur Usta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, Deniz Harp Okulu, Milli Savunma Üniversitesi, Tuzla, İstanbul, Türkiye

ousta@dho.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8087-1217

## ÖZET

Doğa milyonlarca yıldır insanlara yuva olmanın yanı sıra, sunduğu sınırsız potansiyel ve kaynaklarla insanlar için geliştirilen çeşitli teknolojilerin en temel kaynağı olmaktadır. Bu çalışmada, doğadan ilham alınarak geliştirilen bir denizaltı formunun farklı hızlara karşılık direnç özellikleri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri ile incelenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle DARPA Suboff denizaltısının farklı hız değerlerinde HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizlerde, denizaltı etrafındaki türbülanslı akış Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) modeli SST Menter k- $\epsilon$  türbülans modeli ile modellenmiştir. Uygulanan HAD yaklaşımlarının geçerlemesi, elde edilen sayısal sonuçlar ile literatürden alınan deneysel sonuçların karşılaştırılması ile sağlanmıştır ve hesaplama bölgesindeki ağ yoğunluğuna dayalı bir belirsizlik analizi ile doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, köpekbalığı formunun geometrisinden ilham alınarak, DARPA Suboff denizaltısı ile aynı boyda ve aynı ortalama genişlikte bir denizaltı formu oluşturulmuştur. DARPA denizaltısı analizleri ile aynı HAD yaklaşımları kullanılarak ve aynı hidrodinamik koşullar oluşturularak doğadan esinlenerek oluşturulan denizaltının HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. Aynı boy ve ortalama genişlikteki iki denizaltı formunun çeşitli hızlardaki toplam direnç değerleri kıyaslandığında, köpekbalığından esinlenerek geliştirilen formun direncinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın doğadan, özellikle de denizde yaşayan canlıların formlarından esinlenerek geliştirilecek yeni denizaltı çalışmaları için bir örnek olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** HAD, RANS, DARPA Suboff Denizaltısı, doğadan ilham alan denizaltı tasarımı.

**Makale geçmişi:** Geliş 09/12/2020 – Kabul 23/12/2020

# Numerical Analysis of Resistance Characteristics of a Submarine Form Inspired by Nature

Onur Usta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Turkish Naval Academy, National Defence University, Tuzla, Istanbul, Turkey

ousta@dho.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8087-1217

## ABSTRACT

Nature offers unlimited potential in addition to being a home for people for millions of years, and people have developed a wide variety of technologies for themselves using the potential that the nature has bestowed. In this study, the resistance characteristics of a submarine form which inspired by nature, were investigated by Computational Fluid Dynamics (CFD) approach for various velocity conditions. Firstly, CFD analysis of benchmark DARPA Suboff Submarine are carried out for different velocity conditions. In the computational analysis, the turbulent flow around the submarine is modeled with Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) model with k- $\epsilon$  turbulence model to solve the governing equations. The validation of the CFD approaches applied was provided by comparing the numerical results with the experimental results obtained from the literature, and verified by performing an uncertainty analysis based on the grid density in the computational domain. Then, a submarine hull form with the same length and average width that of the DARPA Submarine is generated by using the geometry of the shark form as source of inspiration. Resistance values of the nature inspired submarine are predicted by using the DARPA Submarine CFD approach and the results are compared with the results of the DARPA Submarine for the same hydrodynamic conditions. For the same length and average width; the resistance of the shark inspired submarine is achieved slightly higher than that of the DARPA Submarine. This study is expected to be an example for the study of new submarines that will be developed inspired by nature, especially by the forms of various marine animals.

**Keywords:** CFD, RANS, DARPA Suboff Submarine, nature inspired submarine design.

**Article history:** Received 09/12/2020 – Accepted 23/12/2020

## 1. Introduction

Submarines are essential and specialized underwater vessels designed and built to perform underwater operations by the navy forces of many countries. They are used for a wide range of purposes such as underwater research, rescue and submarine warfare. Submarines have one of the widest ranges of types and capabilities of any vessel. Therefore, generating a new submarine hull form is a hot topic in

marine engineering. Today, the modern submarines should be able to dive to the deepest part of the sea and have the ability to work at desired depth. From this point of view, design of a submarine is a very special and complicated engineering problem in terms of its strength, resistance and propulsion.

Nature-inspired design is using the nature as source of inspiration and create technical devices. Therefore, the nature-inspired design involves translating the information obtained from nature into new innovations. By observing and studying the form behavior, movement, adaptability and so on, people have developed new technologies or optimized existing ones inspiring from the animals or plants from the nature. For example, skin of a shark has the texture of sandpaper. It is covered in small ridged scales known as dermal denticles that optimize water flow. This excellent feature allows the shark to swim faster by reducing its frictional resistance (Feld et al. 2019). It is copied to reduce drag in boats. This has led to its further development and utilization in coatings for ship's hulls, submarines, aircrafts, and even swimwear for humans. Another example is that the geometry of the turbine blades are inspired by humpback whale fins. The humpback whales owe their agility to a row of ridges (tubercles) on the front edge of their fins. Called the tubercle effect, it markedly improves the aerodynamics of any airfoil by a significant amount. It leads to higher velocities by creating narrow streams of airflow and reduces the drag by reducing airflow over the wing-tips. The tubercle effect has used to reduce the drag and the noise and therefore to increase the speed of wind turbines. The biomimetic tubercle design has been applied to the corner shape on a deep-draft semi-submersible by Liang et al. (2019). A numerical study on flow over a deep-draft semi-submersible (DDS) with a biomimetic tubercle corner shape was carried out to investigate the corner shape effects on the overall hydrodynamics and motion responses.

In old times, researchers have studied the geometry of fish to make submarines. A steam powered submarine, the Ictíneo is a real example of fish inspired submarine presented in Figure 1 below. The submarine, made of olive wood supported with oak rings and sheathed in two-millimeter thick copper, measured 7 meters in length. The Ictíneo II was the first combustion engine driven submarine ever, pioneering concepts that were only rivalled in the 1940s (Url-1).

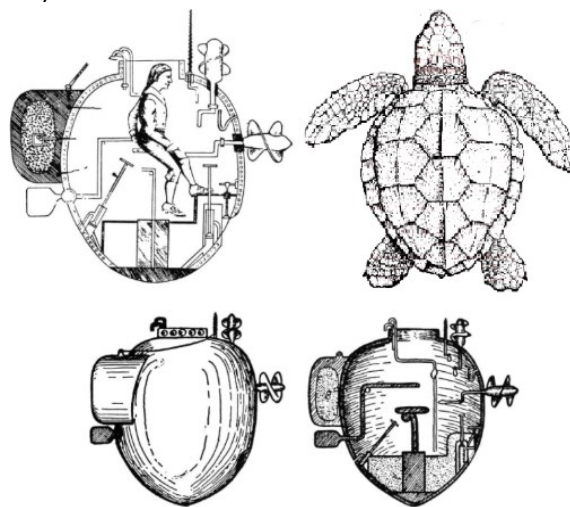
Despite its low-tech appearance, the Ictíneo was a sophisticated marvel of technology decades ahead of its time. It had a double hull, a spherical inner shell that resisted water pressure and a fish-like outer shell that protected the submarine and was used for steering and hydrodynamics (Url-2).



**Figure 1.** The Ictíneo submarine inspired by fish (left) and Replica of the Ictíneo II submarine (right) (Url-1 and Url-2).

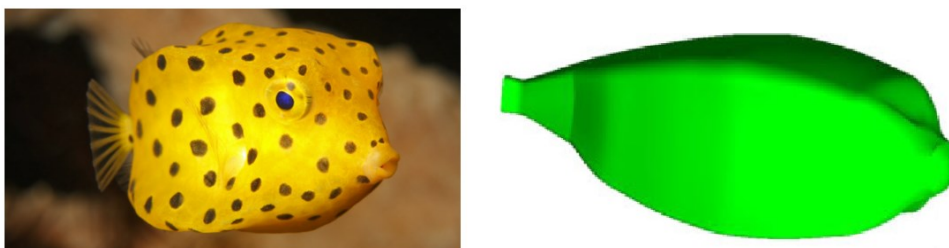
When the fish and submarine in the figures are examined, it is seen that the two are geometrically similar to each other.

The world's first combat submarine, also the first American military submarine named Turtle, was designed by David Bushnell and built in 1776 also was a nature inspired submarine. The name of the submarine had given as Turtle, because it was resembled "two upper tortoise shells of equal size joined together" (Manstan and Frese, 2010). Water was pumped in and out of the skin of the vessel to change its ballast, thus enabling the submarine to sink and rise. Thus, Turtle was the first submersible to use water as ballast for submerging and raising the submarine. Turtle was the first submersible to use a screw propeller, to maneuver under the water as well (Hunley, 2016). It had carried a single bomb and its mission was sabotage (Url-3).



**Figure 2.** The world's first combat submarine (generated by the figures from Url-3 and Url4).

A more recent study is published by Ranjith et al. (2019) that investigates the manoeuvring properties of a fish-shaped unmanned under water vehicle (UUV). They generated a box-fish shaped under water vehicle form, which presented in Figure 3 and carried out 2-D CFD simulations to obtain forces and moments in heave and pitch motions of the vehicle. They suggested that 3-D models should be used for more accurate results.



**Figure 3.** A picture of boxfish (left) and three dimensional representation of the box-fish shaped UUV generated from Ranjith et al. (2019) (right).

Researchers have been studied on hydrodynamics of submarines in recent years. Some of these studies are based on resistance prediction while the others investigate self-propulsion characteristics. In this study, the resistance characteristics of well-known he Defense Advanced Research Projects Agency

(DARPA) SUBOFF bare hull (AFF-1) is investigated. Groves et al. (1989) described a mathematical formulation for the submarine form both for bare and appended cases. Huang and Liu (1994) and Liu and Huang (1998) have performed experimental works for the DARPA Submarine model in David Taylor Research Center. Toxopeus (2008) performed viscous-flow calculations for bare hull of the submarine and Gross et al. (2011) predicted the resistance of DARPA submarine model with different angle of attack values using CFD and compared these results with the towing tank test results. Chase (2012) performed self-propulsion simulations on the submarine hull with the INSEAN propeller. Moonesun et al. (2013) used numerical methods to compute various available characteristics of Darpa submarine model and then compared their findings with relevant experimental measurements. Budak and Beji (2016) generated three slightly different bow and stern forms using the generic DARPA bare hull as the basis and conducted resistance analysis of these forms by CFD. Doğrul (2019) investigated the free surface effect for both bare and appended forms of DARPA Submarine in different velocity values.

In this study, CFD analysis of benchmark DARPA Submarine are carried out for different velocity conditions and validated with available experimental data in terms of total resistance values. Then, CFD analysis of newly generated submarine are performed with the same conditions that of DARPA Submarine and compared for the same velocity conditions. For the same length and width; the resistance of the shark inspired submarine was achieved slightly higher than that of a real submarine.

The submarine is one of the greatest human inventions inspired by nature in terms of its uses, design and role in military activities. Considering the history, it is seen that the development of the submarine was influenced by the geometric characteristics and swimming ability of the kinds of fish, whales and sharks in the sea. From this point of view, this study aims to contribute the nature inspired vehicles by presenting a newly generated a submarine hull form inspired by geometry of a shark.

This paper aims not only to contribute to a better understanding of nature inspired engineering, but also to offer new perspectives to improve the current drag reducing and energy saving technologies for submarine design.

## **2. Flow Simulations around DARPA Submarine Model**

Flow simulations of the bare hull form of DARPA Submarine model are performed to compare the numerical results with the experimental ones and accordingly establish the grid generation details and set the computational parameters for ensuring satisfactory and reliable computational results.

Within the scope of the study, firstly the flow analysis around the DARPA Submarine are carried out. A commercial CFD software has been used for the mesh generation and flow simulations steps in the paper.

### **2.1 Geometry and Main Particulars**

DARPA Suboff is a generic submarine model geometry with a length of 4.36 m comprising of 1.02 m fore body, 2.23 m mid body and 1.11 m aft body. It has a cylindrical cross-section with a maximum diameter of 0.508 m (Groves et al, 1989). Since the hull is axisymmetric, it is enough to obtain the complete surface the revolution of the curve around the symmetry axis. The hull of DARPA Suboff generated by a 3-D CAD software shown in Figure 4 below.



**Figure 4.** 3-D CAD model of the DARPA Suboff submarine.

CFD analysis carried out modeling the flow around the DARPA Suboff Submarine. Main particulars of DARPA Suboff submarine used in this work are presented in Table 1 (Toxopeus, 2008).

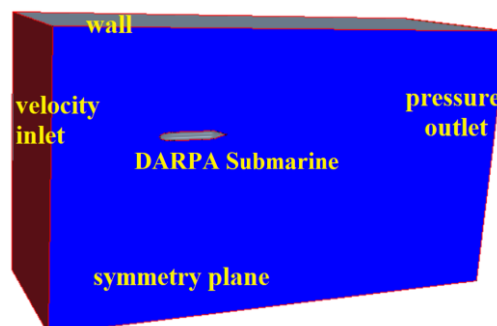
**Table 1.** Main particulars of the bare hull DARPA Suboff submarine model.

Description	
Scale ratio, $\lambda$	24.0
Length overall, $L_{OA}$	4.356 m
Length between perpendiculars $L_{PP}$	4.261 m
Maximum hull radius, $R_{max}$	0.254 m
Centre of buoyancy (aft of nose), $L_{CB}$	0.4621 $L_{OA}$
Volume of displacement, $\nabla$	0.508 m <sup>3</sup>
Wetted surface area of bare hull, $S_{WA}$	5.988 m <sup>2</sup>

## 2.2 Computational Domain and Boundary Conditions

In the numerical simulations, computational domain and mesh sizes are adjusted according to model length which is  $L=4.356$  m. The computational domain is generated according to the guideline published by the ITTC (2011) and it extends for  $3L$  in front of the submarine,  $9L$  behind the submarine, and  $4L$  to the side and  $4L$  to the under the submarine. The distance above the submarine model is  $2L$ . The flow around the submarine is considered symmetric with respect to centerline of the hull, therefore only half of the computational domain was modeled and computational time is reduced more than half.

Figure 5 illustrates that the flow is given from ‘velocity inlet’ and the end of the computational domain is defined as ‘pressure outlet’ boundary condition. The top and bottom boundaries and the submarine are defined as ‘wall’. In order to reduce computational complexity and solution time, only half of the domain and submarine is modelled, since for this condition the flow is assumed to be symmetrical with respect to the longitudinal horizontal and vertical planes. This is acquired by using ‘symmetry plane’ boundary condition that enables to accurately simulate the other half of the computational domain.



**Figure 5.** Boundary conditions of the computational domain for DARPA Suboff Submarine.



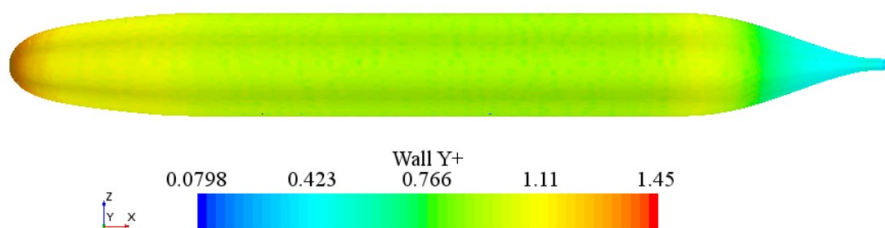
The submarine is considered as totally submerged which means that the free surface effects are neglected.

### 2.3 Grid Generation

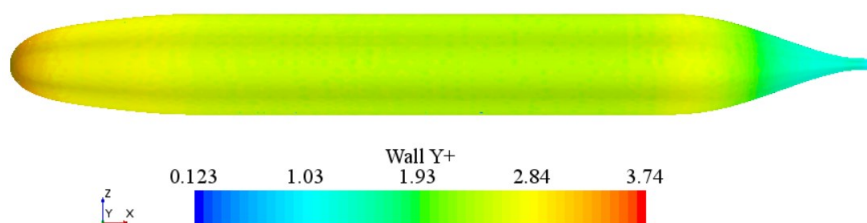
The grid generation techniques used for the CFD simulations are summarized as follows: The numerical mesh is a structured grid; however, the mesh is composed of unstructured hexahedral cells on the submarine. Prismatic cells are applied to near the surface of the submarine for resolving the boundary layer, and local volume mesh refinements around the submarine were utilized, in order to capture the turbulence effect with high resolution.

In the analysis, the first grid point from the wall, the  $y^+$  value was sufficiently small for the turbulence to be captured in the boundary layer. The wall  $y^+$  value is  $y^+ \leq 5$  in the simulations.

The wall  $y^+$  value ranges in the simulations for  $V=3.046$  m/s and  $V=9.255$  m/s are presented in the Figure 6 and Figure 7. The  $y^+$  values are between 0.0798 and 1.45 for  $V=3.046$  m/s simulations and 0.123 and 3.74 for  $V=9.255$  m/s simulations.



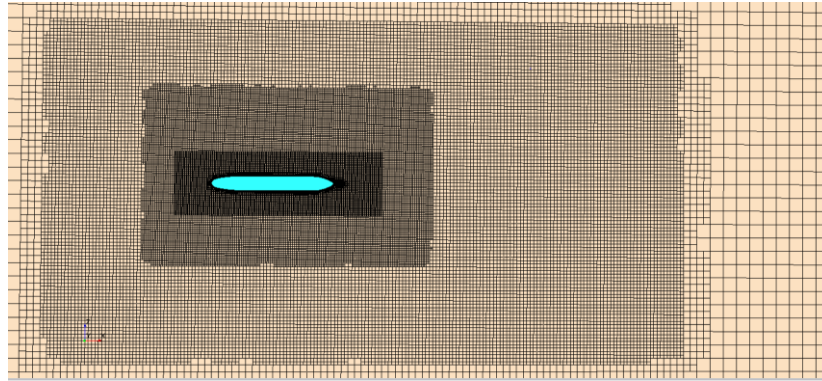
**Figure 6.** Wall  $y^+$  distribution on the surface of submarine for  $V= 3.046$  m/s.



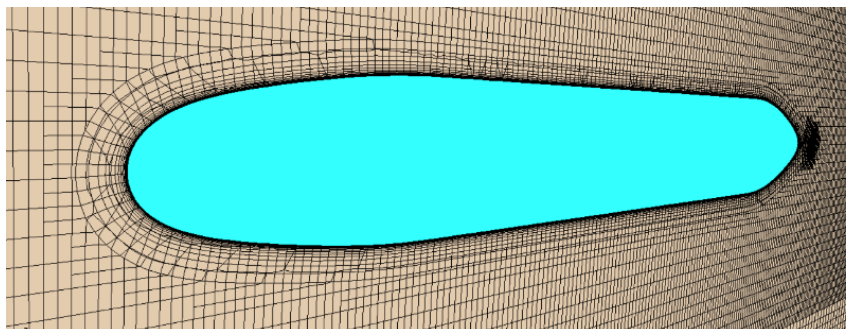
**Figure 7.** Wall  $y^+$  distribution on the surface of submarine for  $V= 9.255$  m/s.

In the numerical analysis, the other main parameter ensuring the stability is time step. Time step ( $\Delta t$ ) defines the time of each iterative solution and it is determined as 0.01 s for all of the cases which are carried out in the study.

Mesh over the computational domain and near the submarine model, especially in boundary layer region are presented by Figure 8 and Figure 9, respectively.



**Figure 8.** Grid structure over the computational domain.



**Figure 9.** Grid structure in boundary layer region.

In conclusion, the total number of elements i.e. the mesh number is approximately 1.26 million for the whole computational domain. This grid is called in the paper as "Medium Grid".

#### 2.4 Numerical Models and Flow Conditions

3-D turbulent flow is modeled with the models of segregated flow and constant density. Implicit unsteady is accepted for the physical time in the simulations. Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) model with k- $\epsilon$  turbulence model was utilized to solve the governing equations. The analyzes were made in a single phase, so the free surface effect and wave resistance was neglected. Since the water temperature in the experiments is unknown, the temperature is accepted as 20 C $^{\circ}$  and the water properties is generated for this temperature.

In this study, the experimental cases of DARPA Submarine is used as a benchmark case and the simulations are carried out for the flow velocities of  $V_1= 3.046$  m/s,  $V_2= 5.144$  m/s,  $V_3= 6.091$  m/s,  $V_4= 7.161$  m/s,  $V_5= 8.231$  m/s and  $V_6= 9.255$  m/s. All of the other parameters such as mesh, turbulence model, flow properties etc. are kept as constant in the simulations.

### 3. Resistance Predictions and Numerical Uncertainty Analysis

#### 3.1 Validation of the Resistance Predictions

The total resistance ( $R_T$ ) values of the submarine model for 6 different velocities ( $V_1= 3.046$  m/s,  $V_2= 5.144$  m/s,  $V_3= 6.091$  m/s,  $V_4= 7.161$  m/s,  $V_5= 8.231$  m/s and  $V_6= 9.255$  m/s) have been obtained numerically and compared with the experimental results. Table 2 shows the comparison of the experimental results and CFD predictions of the resistance values.

**Table 2.** Comparison of the experimental results and CFD predictions of total resistance values.

V (m/s)	R <sub>T</sub> [N] Experiment	R <sub>T</sub> [N] CFD (Medium Grid)	Difference (%)
3.046	87.40	86.60	0.91
5.144	242.20	234.96	2.98
6.091	332.90	322.31	3.18
7.161	451.50	437.90	3.01
8.231	576.90	562.03	2.57
9.255	697.00	678.80	2.61

According to the comparison of the experimental results and CFD predictions of resistance values, the difference between the experimental and CFD values are in the range of 0.9 % and 3.2 %. When the total resistance of the experimental and numerical values are compared, it can be said that the total resistance values obtained by CFD are similar to those of the experimental results.

The following sections of the study is performed using the same CFD approaches and models which are used for the flow simulations around the DARPA Submarine.

### 3.2 Numerical Uncertainty Analysis

In this part of the study, uncertainty analysis are conducted for the assessment of Grid Convergence Index (GCI), which is based on the grid intensity in the computational domain, recommended by the ITTC (ITTC, 2011). All of the theoretical background of the grid uncertainty analysis performed in this paper is based on the studies from the literature Stern et al. (2006), Celik et al. (2008).

In the study, only the grid dependent uncertainty is calculated. Time dependent uncertainty is neglected since the time step is kept constant ( $\Delta t = 0.01$  s).

The grid convergence study is conducted using the results of the three simulations in which the grid size was systematically coarsened in all directions while keeping all other input parameters (such as time-step) constant. Number of the mesh cells for coarse, medium and fine grids are tabulated in Table 3.

**Table 3.** Number of cells for the numerical uncertainty analysis of the DARPA Suboff model submarine.

Grid density	Coarse Grid	Medium Grid	Fine Grid
Number of cells	590263	1260443	2812624

Uncertainty assessments are carried out for the total resistance predictions for 3 different cases of  $V=3.046$  m/s, which has the lowest velocity,  $V=6.091$  m/s, which has the medium high velocity and  $V=9.255$  m/s, which has the highest velocity value. One of the reasons for choosing the case of  $V=6.091$  m/s is that the highest difference between experimental and numerical results (3.12 %) is obtained at this speed value, as it is shown in Table 2.

The results of the resistance values with the experiment and the numerical results for coarse, medium and fine grids are presented in Table 4.

**Table 4.** Comparison of the experimental results and CFD predictions of total resistance values.

V (m/s)	R <sub>T</sub> [N] CFD (Coarse Grid)	R <sub>T</sub> [N] CFD (Medium Grid)	R <sub>T</sub> [N] CFD (Fine Grid)
3.046	84.64	86.60	87.78
6.091	318.36	322.31	324.90
9.255	673.26	678.80	700.20

The uncertainty analysis is performed by using the total resistance values given in Table 4. The total numerical uncertainty values obtained by grid convergence study are presented in Table 5.

**Table 5.** Total numerical uncertainty values obtained by grid convergence study.

V (m/s)	U <sub>T</sub> (%)
3.046	1.025
6.091	1.89
9.255	1.33

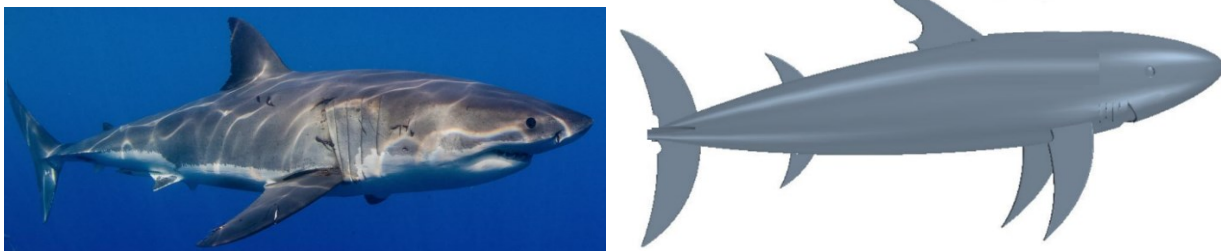
The total uncertainty is calculated in the range of 1-2 %, hence it can be said that the numerical stability is ensured in the simulations. The approaches and models utilized in the study, especially RANS with K-ε turbulence model gave fairly similar predictions comparing with the experimental results.

#### 4. Flow Simulations around Shark Inspired Submarine Model

##### 4.1 Geometry

In this section, the generated nature-submarine model is introduced. The submarine form is generated using a great white shark geometry. The great white shark is known for its size that can exceed 6 m in length and 2240 kg in weight. A mature great white shark can swim as fast as 40km/h (Url-6). This is one of the reasons to be selected as the inspired model. Its body is perfectly adapted to a life of predation.

A real great shark and a 3-D model of the great shark generated used in this study are presented in Figure 10.



**Figure 10.** A real great shark (Url-5) and a 3-D model of the great shark.

## 4.2 CFD Simulations

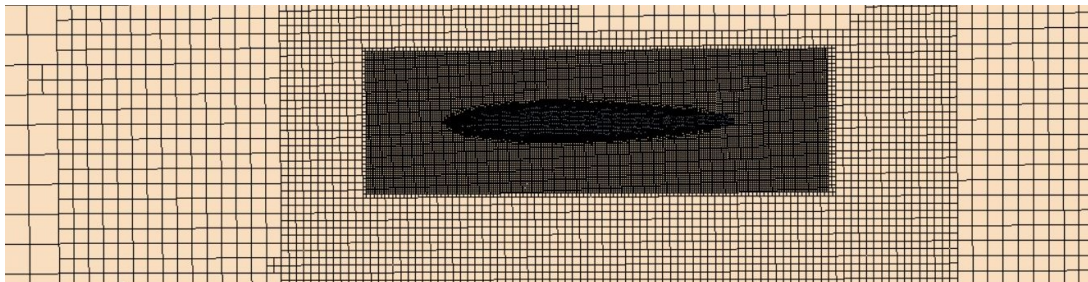
In this section, CFD study for the newly generated submarine model for the investigated cases and total resistance results for the same conditions are presented. The same meshing techniques and computational models are used to perform the simulations of the shark inspired submarine with the DARPA Submarine simulations.

Geometry of the shark inspired submarine form is created reducing the tail and flipper parts of the 3-D model of the great shark shown in Figure 10. Dimensions of the form are set same as possible with DARPA Submarine model. The length of the submarine inspired model is 4.36 m, which is as the same as the length of the DARPA submarine model. The average breadth of the submarine form is also equals to the breadth of the DARPA Submarine. 3-D geometry and mesh around the shark inspired submarine model are presented in Figure 11 and Figure 12, respectively.



**Figure 11.** 3-D CAD model of the Shark inspired submarine model.

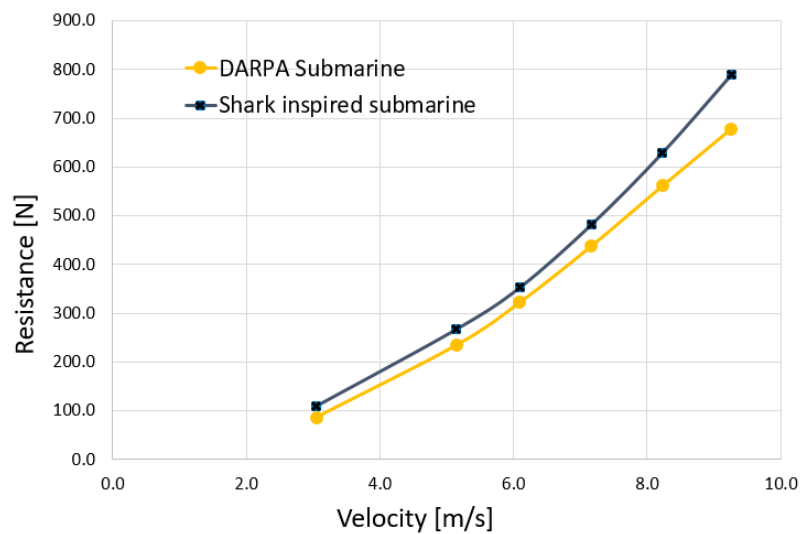
The number of cells of the generated grid is approximately 1.15 million, using the mesh models and approaches applied generating the “Medium Grid” in the simulations of DARPA submarine.



**Figure 12.** Mesh around the shark inspired submarine model.

## 4.3 Comparison of the Total Resistance Values

Resistance analyses are performed for the velocity range of 3.046 m/s and 9.255 m/s which is the same as with the DARPA submarine. Total resistance values of DARPA Submarine for “Medium grid” conditions and Shark inspired submarine are presented by Figure 13.



**Figure 13.** CFD results of the total resistance values for DARPA Submarine and Shark inspired submarine models at the velocity range of 3.046 m/s and 9.255 m/s.

When the results are compared, it is seen that the total resistance values of the Shark inspired submarine are higher than the DARPA submarine, for all of the investigated cases.

Looking at the results in more detail, for the case of  $V=3.046$  m/s, the difference is about 20.5%. For the other cases investigated in the study ( $V= 5.144$  m/s,  $V=6.091$  m/s,  $V=7.161$  m/s,  $V=8.231$  m/s and  $V=9.255$  m/s), the differences are in the range of 10-15%, which means that the shark inspired form has produced 10-15 % higher total resistance.

## 5. Conclusions

This study firstly focuses on the numerical prediction of resistance characteristics of a benchmark submarine model, DARPA Suboff, for different velocity conditions. The total resistance characteristics of the submarine model is numerically obtained utilizing RANS with k- $\epsilon$  turbulence model. The numerical results are validated with available experimental data and verified by GCI method, which is based on grid convergence. After that, a new submarine form is developed by inspiring from the nature, a 3-D model of the great shark. The resistance characteristics of the shark inspired submarine and DARPA Submarine model were compared in terms of total resistance. For the same hydrodynamic conditions and investigated velocity range, total resistance values of the shark inspired submarine are higher than the DARPA Suboff model.

Consequently, this study shows that CFD can be used as a practicable and feasible tool in gaining insight into the various hydrodynamics problems and generating new designs inspired from the nature. Although the total resistance values of the newly generated shark inspired submarine model are higher than a real submarine model, this study may bring a new perspective for new submarine forms to be developed inspiring from the nature. Much more feasible submarine designs can be generated inspired by the forms of different marine animals such as sharks or various fish species in the future.

## 11. References

- Budak, G., Beji, S. (2016). Computational Resistance Analyses of a Generic Submarine Hull Form and its Geometric Variants, *The Journal of Ocean Technology*, Vol. 11, No. 2, pp. 77-86.
- Celik, I.B., Ghia, U., Roache, P.J. (2008). Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications. *J. Fluids Eng., ASME*, Vol. 130. <https://doi.org/10.1115/1.2960953>.
- Chase, N. (2012). Simulations of the DARPA- SUBOFF submarine including selfpropulsion with the E1619 propeller. University of Iowa City, Iowa.
- Doğrul, A. (2019). Hydrodynamic Investigation of a Submarine Moving Under Free Surface, *Journal of ETA Maritime Science*, Vol. 7(3), pp. 212-226. <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2019.42204>
- Feld, K., Kolborg, A. N., Kolborg, Nyborg, C. M., Salewski, M., Steffensen, J. F., Berg-Sørensen, K. (2019). Dermal Denticles of Three Slowly Swimming Shark Species: Microscopy and Flow Visualization, *Biomimetics (Basel)*, Vol. 4(2), No. 38. <https://doi.org/10.3390/biomimetics4020038>
- Gross, A.; Kremheller, A.; and Fasel, H.F. [2011]. Simulation of flow over Suboff bare hull model. 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting, January. Orlando, Florida.
- Groves, N. C., Huang, T. T., Chang, M. S. (1989). Geometric Characteristics of DARPA SUBOFF Models (DTRC Model Nos. 5470 and 5471), David Taylor Research Center, Ship Hydromechanics Department, Maryland, USA. Report No. DTRC/SHD-1298-01
- Huang, T., Liu, H. L. (1994). Measurements of flows over an axisymmetric body with various appendages in a wind tunnel: the DARPA SUBOFF experimental program, 19th Symposium on Naval Hydrodynamics, Seoul, South Korea.
- Hunley, H. L. (2016). Recovery Operations, Naval History and Heritage Command, Washington, D.C., Section 2, Historical Background.
- ITTC, Report No: 7.5-03 02-03, (2011). ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, Practical Guidelines for Ship CFD Applications, 26th ITTC Specialist Committee on CFD in Marine Hydrodynamics.
- Liang, Y., Shi, W., Tao, L. (2019). Hydrodynamics Around a Deep-Draft Semi-Submersible with Biomimetic Tubercle Corner Design, *Proceedings of the ASME 2019, 38th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2019*, June 9-14, 2019, Glasgow, Scotland.
- Liu, H. L., Huang, T.T. (1998). Summary of DARPA Suboff Experimental Program Data (No. CRDKNSWC/HD-1298-11). Naval Surface Warfare Center Carderock Division (NSWCDD), West Bethesda, MD, USA.
- Manstan, Roy R. and Frederic J. Frese. (2010) *Turtle: David Bushnell's Revolutionary Vessel*. Westholme, Yardley, PA.
- Moonesun, M.; Javadi, M.; Charmdooz, P.; and Mikhailovich, K.U. [2013]. Evaluation of submarine model test in towing tank and comparison with CFD and experimental formulas for fully submerged resistance. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, Vol. 42, No. 8
- Ranjith, A. K., Janardhanan, S., Chandran, V. and Gomez, N. J. (2019). Controllability studies on fish-shaped unmanned under water vehicle undergoing maneuvering motions, *Proceedings of the 18th International Congress of the Maritime Association of the Mediterranean (IMAM 2019)*, September 9-11, 2019, Varna, Bulgaria.

Stern, F., Wilson, R., Shao, J. (2006). Quantitative V&V of CFD simulations and certification of CFD codes. *Int. J. Numer. Methods Fluids*, Vol. 50, pp. 1335–1355. <https://doi.org/10.1002/flid.1090>.

Toxopeus, S. (2008). Viscous-flow calculations for bare hull DARPA SUBOFF submarine at incidence, *International Shipbuilding Progress*, Vol. 55, No. 3, pp. 227-251, 2008.

Url-1 <<https://www.lowtechmagazine.com/2008/08/submarines-1.html>> [Online] [Accessed 20.11.2020]

Url-2 <[https://en.wikipedia.org/wiki/Ictineo\\_II](https://en.wikipedia.org/wiki/Ictineo_II)> [Online] [Accessed 10.11.2020]

Url-3 <<http://stevecotler.com/tales/2008/02/28/the-turtle>> [Online] [Accessed 15.11.2020]

Url-4 <<https://www.amazon.com/Submarine-Bushnell-September-Unsuccessful-Contemporary/dp/B07D6599JP>> [Online] [Accessed 15.11.2020]

Url-5 <<https://oceana.org/marine-life/sharks-rays/great-white-shark>> [Online] [Accessed 10.11.2020]

Url-6 <[https://www.speedofanimals.com/animals/great\\_white\\_shark](https://www.speedofanimals.com/animals/great_white_shark)> [Online] [Accessed 10.11.2020]

Url-7 <<https://www.biosphereonline.com/2019/02/06/efficient-wind-turbine-blades-inspired-humpback-whale-fins/>> [Online] [Accessed 07.11.2020]



**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** MART 2020

#COVID-19  
**Kendin İçin**  
**SOSYAL MESAFENİ KORU**  
**Ailen İçin**  
**TEDBİR AL**  
**Ülken İçin**  
**EVDE KAL**  
**Sağlıkla Kalın!**

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 Tuza-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/gemimuhendislerodasi LinkedIn/gemimuhendislerodasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** NISAN 2020

**23 Nisan Ulusal Egemenlik ve Çocuk Bayramı'nın 100. Yılı 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 Tuza-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/gemimuhendislerodasi LinkedIn/gemimuhendislerodasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** MAYIS 2020

**19 MAYIS 1919**  
**Atatürk'ü**  
**Anma**  
**Gençlik ve**  
**Spor Bayramı**  
**Kutlu Olsun.**

**Bütün ümidim**  
**gençliktedir.**

*K. 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 Tuza-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/gemimuhendislerodasi LinkedIn/gemimuhendislerodasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** HAZİRAN 2020

#seafarersarekeyworkers

**DÜNYA**  
**DENİZCİLİK**  
**GÜNÜ'MÜZ**  
**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 Tuza-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/gemimuhendislerodasi LinkedIn/gemimuhendislerodasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** TEMMUZ 2020

**1 TEMMUZ**  
**DENİZCİLİK VE**  
**KABOTAJ**  
**BAYRAMI**  
**KUTLU OLSUN!**

**Happy 94th Anniversary of Turkish Maritime and Cabotage Day, 01 July 2020!**



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 Tuza-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/gemimuhendislerodasi LinkedIn/gemimuhendislerodasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** AĞUSTOS 2020

**30 AĞUSTOS 1922**  
**Zafer Bayramı'mız**  
**Kutlu Olsun!**

**"Zafer, zafer benimdir**  
**diyebilenindir"**

*K. 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 Tuza-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/gemimuhendislerodasi LinkedIn/gemimuhendislerodasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** EYLÜL 2020

**27 EYLÜL 1538**  
**PREVEZE DENİZ ZAFERİ VE**  
**DENİZ KUVVETLERİ 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 Tuza-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/gemimuhendislerodasi LinkedIn/gemimuhendislerodasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** EKİM 2020

**29 EKİM**  
**CUMHURİYET BAYRAMI**  
**Kutlu olsun!**

**Türkiye Cumhuriyeti**  
**ilelebet payidar kalacaktır.**

*K. 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 Tuza-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/gemimuhendislerodasi LinkedIn/gemimuhendislerodasi

**TMMOB**  
Gemi Mühendisleri Odası

**Endaze Bülteni** KASIM 2020

**1881 - 1938**

**"Benim nazır vücudum elbet bir gün toprak**  
**elacaktır, ancak Türkiye Cumhuriyeti**  
**ilelebet payidar kalacaktır.**

*K. Atatürk*

**Saygı ve Olanakla Anıyoruz.**

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 Tuza-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/gemimuhendislerodasi LinkedIn/gemimuhendislerodasi



# TÜRK LOYDU



**TÜRKİYE'NİN  
TEKNOLOJİK  
KLASLAMA VE  
UYGUNLUK  
DEĞERLENDİRME  
KURULUŞU**

[www.turkloydu.org](http://www.turkloydu.org)