



Editor
SEZAI KÜTÜK

NEW HORIZONS IN MARITIME ENGINEERING

MATERIALS, INNOVATIVE SYSTEMS,
AND PSYCHOLOGICAL RESILIENCE



BİDGE Yayınları

**NEW HORIZONS IN MARITIME ENGINEERING:
MATERIALS, INNOVATIVE SYSTEMS, AND
PSYCHOLOGICAL RESILIENCE**

Editör: SEZAI KÜTÜK

ISBN: 978-625-372-681-2

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-06-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



Preface

Maritime and naval engineering have long stood at the intersection of technological innovation, confrontation with the forces of nature, and the testing of human endurance. Today, these fields are being reshaped not only through conventional engineering practices, but also through advancements in material science, autonomous systems, numerical computation, and emotional intelligence-based approaches to human performance. This book was prepared to examine and articulate this multifaceted transformation within a rigorous academic framework.

"New Horizons in Maritime Engineering: Materials, Innovative Systems, and Psychological Resilience" presents four core topics that illuminate the future of maritime technology through an interdisciplinary perspective. The first chapter explores the potential applications of boron-based minerals in ship engine systems, emphasizing their strategic value as domestic resources and their role in promoting energy efficiency and sustainability.

The second and third chapters focus on the design of modular and scalable autonomous underwater vehicles (AUVs). These sections delve into the numerical modeling of geometry using the Python programming language, offering a detailed examination of the analytical and computational strategies essential to the hydrodynamic optimization of next-generation maritime systems.

The final chapter investigates how Stoic philosophy, when viewed through the perspective of emotional intelligence, can offer valuable psychological competencies for seafarers operating in high-pressure, stress, and unpredictable environments. This philosophical framework highlights the necessity of integrating human-centered thinking into the core of maritime engineering education and practice.

This book is intended not only for scholars working within naval architecture and ocean engineering, but also for all researchers who seek to bridge disciplines, integrating technology and human factors into cohesive and forward-thinking maritime solutions. By aligning frontier technologies with the inner dimensions of human resilience, it proposes a new course for contemporary maritime thought.

I would like to express my sincere appreciation to BİDGE Publishing for their valuable contributions to academic publishing and their support in bringing this work to the scholarly community.

Editor Assoc. Prof. Dr. Sezai KUTUK

Recep Tayyip Erdogan University

Turgut Kiran Maritime Faculty

June 2025

İÇİNDEKİLER

THE FUTURE OF BORON MINERALS IN SHIP ENGINES	1
<i>SEZAİ KÜTÜK</i>	

DESIGN OF A MODULAR AND SCALABLE AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE FOR MULTI-MISSON APPLICATION	19
<i>AHMET GÜLTEKİN AVCI, SAİT SELİM DANIŞ</i>	

MODÜLER VE ÖLÇEKLENEBİLİR OTONOM SUALTI ARAÇLARI İÇİN GÖVDE GEOMETRİSİNİN MATEMATİKSEL MODELLEMESİ VE HİDRODİNAMİK OPTİMİZASYONU	39
<i>AHMET GÜLTEKİN AVCI, SAİT SELİM DANIŞ</i>	

TİCARİ GEMİ PERSONELİNİN KARŞILAŞTIĞI PSİKOLOJİK GÜÇLÜKLERLE BAŞA ÇIKMADA STOACI FELSEFENİN PRATİK UYGULAMALARI	61
<i>YUSUF TARIK MUTLU</i>	

BÖLÜM 1

THE FUTURE OF BORON MINERALS IN SHIP ENGINES

SEZAI KÜTÜK¹

Introduction

The majority of global trade is carried out via maritime transport. Ship engines are the main component of the ship, but during transportation, they emit harmful gas emissions into the environment. In order to reduce these emissions and furthermore for better technical properties, alternative innovative fuels, oils, components, systems, and others are needed. One of these is boron minerals, which are classified as a critical raw mineral category with abundant reserves. These minerals attract attention because they are cheap per ton and can be used in many applications.

Although there are many studies in the literature about boron minerals or engines or ships, few studies have been found about both boron minerals and ship engines. This chapter aims to investigate and compile the potential usage of boron materials in ship engines for the contribution of sustainable ships to the clean environment and global development.

¹ Assoc. Prof., Recep Tayyip Erdogan University, Turgut Kıran Maritime Faculty, Department of Marine Engineering, Orcid: 0000-0002-0159-5953

Boron Element

Boron is an element with the symbol B, atomic number 5, atomic weight of 10.81, density of 2.84 g/cm³, melting point of 2200 °C, and boiling point of 2250 °C. It is a semiconductor that is between metals and nonmetals in terms of electrical conductivity. It is the lightest member of group 3A in the periodic table and its most stable isotopes are 10B and 11B. The 10B isotope has high thermal neutron absorption properties, so it attracts attention in nuclear materials and power plants.

Crystalline boron has a hardness similar to diamond (Mohs; 9.3, Vickers: 49000 MN/m²). There are different allotropic forms of boron, amorphous and crystalline forms give different reactions. While crystalline boron has low reactivity, amorphous boron reacts more easily. While boron forms boric acid and other derivatives at high temperatures, its reactions with mineral acids vary depending on temperature and concentration (BOREN, 2025).

Boron Mineral

The element boron is not found free in nature; it is usually found in different compounds in the form of salt. There are approximately 230 types of boron minerals in nature and tend to form compounds with oxygen. Such compounds are generally called borates. Boron, a mineral of strategic importance in the world, reserves are distributed as 73.2% in Türkiye/Turkey, 7.8% in Russia, 6.2% in the USA, and 13% in other countries. Turkey draws attention with its high reserve ratio and also the boron mineral types most extracted from the mine are colemanite, tincal, and ulexite, respectively. These reserves are concentrated in the Balıkesir-Bigadiç, Kütahya-Emet, Bursa-Kestelek and Eskişehir-Kırka regions. Approximately 10 of the boron mines are industrial. After being extracted, they are subjected to various processes and made suitable for use. Colemanite extracted from the Emet mine

has 40% of the world's reserves. The Kırka mine produces 3 million tons of tincal annually and is then converted into refined products such as borax pentahydrate, borax decahydrate, and anhydrous borax. The Bigadiç mine produces refined products such as boric acid, borax, zinc borate, Etibor-48, and Etidot-67. These minerals are valued by the percentage of B_2O_3 (boron oxide/boron trioxide) they contain. In addition, there are ore deposits with a high 10B isotope ratio in Türkiye, which are important against leaks in nuclear power plants.

Türkiye's boron reserves stand out not only in terms of quantity but also in terms of ore quality. This situation has made Türkiye the leader in boron production with a 48% share and in boron exports with a 60% market share. While the sectoral distribution of final boron product use in Türkiye is 34% glass, 25% ceramics, 11% cleaning, 9% agriculture, 5% glue, and 16% in other areas, its sectoral distribution worldwide is 50% glass, 17% agriculture, 15% ceramics-frit, 2% detergent-cleaning, and the remaining 16% in other areas (ETiMINE, 2019; ETKB, 2024).

Boron is a critical mineral used as a raw material in many sectors. Hence, boron is called "white gold". In the glass sector, it increases the fluidity of glass and improves its durability and surface hardness. It is utilized in glazes and frits in the ceramic industry, and in the form of colemanite in cement production. It is evaluated as a protective slag-forming and melting accelerator in the non-ferrous metal industry. In the defense and energy sectors, boron carbide (B_4C) is used as an armor material and wear-resistant machine/engine parts. Studies are ongoing on boron in steel production, magnet production, ferroboron in the production of amorphous metals, and lithium carbonate used in electric car batteries. Projects have been started for the production and feasibility of sodium borohydride ($NaBH_4$) for solid-state storage

of hydrogen. The utilization of boron is becoming widespread in the shale gas sector (ETiMINE, 2024).

Boron is a nonmetallic mineral ore that is extensively utilized in promoting innovative disciplines, defense, and military industry sectors. Recently, the demand for boron resources has gone up greatly in the world owing to the fast growth of new energy batteries, strong rare earth magnets, and medicinal glass. Japan pioneered the definition of boron as a 10 key minerals in 2009, and the European Union has recognized borate as Critical Raw Minerals since 2014. China has described boron minerals as a valuable nonmetallic resource and had a foreign trade dependency of 80% in 2017. Currently, China is the largest consumer of boron and has been gathering 20,000 tons per year for about 10 years. Türkiye, the single core of worldwide boron deposits, is of critical importance for global supply security. In former times, Türkiye and the USA exported huge amounts of boron minerals and basic manufacturing products to meet global demand. Yet, in recent times, because of the rise of resource protectionism and geopolitical disputes, countries have gradually restricted boron ore exports. Under the influence of prevalent concerns such as geographical distribution inequality, supply-demand mismatches, geopolitics, and mineral deposit protectionism, international trade competition for boron ore has become growingly fierce. Therefore, it is also essential to decide the international policies of boron deposits (Zhu, Zhou, Zhang, Wang, & Sun, 2023).

Nano Technology of Boron Mineral

Boron is intensively studied in nanoscience and technology. There are Research & Development as well as Product & Development studies on nano-boron in many sectors. Nano boron mineral has a critical place in the development of new-generation lithium batteries (De Souza, Pham, & Gupta, 2025). Boron-based

materials, e.g. borophene and boron nitride (BN), give positive results in electrodes and capacitors, and moreover, they strengthen the durability of the material, reduce the unit cost, and are successful in energy storage. In order to improve the electrical and electronic properties of the material, attention should be paid to the crystal structure, particle size, particle shape, homogeneity, 2D/3D, and nano-properties of the preferred boron. When polymer nanocomposite materials contain boron nitride, technical properties such as chemical stability, mechanical strength, resistance to oxidation, thermal conductivity, heat, and electrical insulation are better (Gonzalez-Ortiz, Salameh, Bechelany, & Miele, 2020). Thus, the focus is on the potential applications of such BN-based nanomaterials in the fields of energy, environment and health. When lignin-containing cellulose nanocrystals (L-CNC) with nano-zinc oxide (ZnO), and nano-B₂O₃ additives are added to high-density polyethylene (HDPE) polymer, there is a significant increment in mechanical properties and a decrement in flammability, but inorganic oxides are somewhat clustered and exhibit irregular distribution (Bajwa et al., 2023). Nano-sized colemanite (Kutuk, 2024) and nano-sized ulexite (Kutuk & Kutuk-Sert, 2017) powders are obtained by high-energy ball milling of raw colemanite and ulexite minerals. It is subsequently added/substituted as an admixture to cement concrete (Guner, Kutuk, & Kutuk-Sert, 2025; Kara, Kütük-Sert, & Kütük, 2020; Kara, Kutuk, & Kutuk-Sert, 2023; Kütük-Sert, Kara, & Kütük, 2020) and asphalt concrete (Kutuk-Sert, Ozturk, & Kutuk, 2023; Kutuk & Kutuk-Sert, 2020) to enhance mechanical properties and durability. When the potential of nano-borophene (BOR) as a drug carrier system for resveratrol (RVT) was investigated, the electronic structure of the molecules was simulated with DFT (density functional theory); eventually, the nano-carrier borophene showed promise for cancer treatment (Khan et al., 2024). Synthetic nano-calcium borate (Nano-B) is as effective as other boron

sources (colemanite and disodium octaborate tetrahydrate) in the role of sunflower plant growth and can be utilized as an alternative boron fertilizer (Aydogan, Taskin, & Gunes, 2023). All boron sources improve boron concentrations in young and old leaves of plants. However, the Nano-B application distinguishes in terms of boron concentrations in old leaves in alkaline soil and also in stems in acidic soil. In the production of FAST (field assisted sintering technology)-sintered micro/nano B_4C , one of the hardest materials (~ 29.1 GPa), composites, nano B_4C -C (including free carbon content: ~ 45 wt.%) enhances fracture toughness without changing the hardness (Dai, Singh, & Yamamoto, 2020). In boron-rich B-C-Mg amorphous thin films, the hardness, elastic modulus, and toughness of amorphous/nanocrystalline thin films increase with increasing boron content. Accordingly, nano boron thin films are good protective coating materials (X. Zhou et al., 2014). When bulk hexagonal boron nitride (h-BN) nanosheet is coated with mussel-inspired polydopamine (PDA) [polydopamine-functionalized hexagonal boron nitride (h-BN@PDA)] in terms of human health and the environment, the composite coating exhibits an easy manufacturing process, good thermal stability, anti-corrosion, and anti-friction properties (Bai et al., 2021). In addition to all these, boron mineral contributes to the Sustainable Development Goals of the United Nations in various fields as an environmentally friendly material.

Engine Performance of Boron-Based Materials

Borates are an important component that increases engine efficiency by reducing friction. In today's world, creating a sustainable environment and ensuring food production has become a critical issue. Scientists and countries continue to seek solutions to diminish energy consumption and emissions from transportation (cars, buses, trucks, ships, airplanes, etc.). There are two main paths to achieving these goals. The first is to switch to lower-

emission energy sources and increase the efficiency of existing transportation systems. Borates, used in engine oils, gearbox fluids, and fuel additives, drop fuel consumption and harmful emissions. Borates are widely preferred in the production of additives for lubricating oils by virtue of the fact that they provide advantages such as low friction, stable thermal oxidation, low sludge formation at low temperatures, good pumpability, corrosion prevention at high temperatures, good elastomer compatibility, stability during storage, and elimination of sulfur emissions. Besides, when borates are applied to iron and other metal surfaces, they increase the effectiveness of the lubrication by forming a flexible film layer that protects the surface from corrosion while also making it more slippery. Another benefit of borates in engine coolants (antifreeze) is that they lower the freezing point of liquids and raise the boiling point, thereby improving engine performance. In gasoline and diesel engines, the piston assembly causes 40% energy loss, whereas with boric acid additive, it is possible to decrease the friction loss of fuel by 76%. Borate esters in fuel additives help prevent pre-ignition and keep carburetors clean. In the aviation sector, borates yield cleaner combustion by preventing microbial contamination of the fuel. It also helps protect internal engine parts and enhance performance. Borates play an important role in energy efficiency and emission reduction, contributing to efforts to create a cleaner planet (Maryam Moravej, 2019).

Boriding, also called boronizing, is a surface hardening process that occurs through the diffusion of boron atoms onto the surface of a metal or alloy. As a result of this process, iron, nickel, and cobalt borides are formed and the material gains high resistance to wear. Borided parts can have a lifespan of 2–5 times longer than parts hardened by conventional heat treatments. Boriding is usually performed by heating the metal at 900 °C with a mixture containing B_4C . Iron transforms into FeB and Fe_2B

boride phases on the surface. Borid layer thickness varies between 25 and 381 μm . Boriding can be applied on steel, alloys, and ceramic-metal mixtures (cermets). Carbon steels, alloy steels, tool steels, nickel, and cobalt-based superalloys are especially suitable for boriding. Borided surfaces can reach a hardness of 1300–2000 HV, ascend wear resistance, resist heat and acid corrosion, descend friction, and improve cold welding resistance. It can even be combined with heat treatments such as carburization and hardening. In a study (Cakir & Akcay, 2015), the gray cast iron cylinder liners were borided with a powder box-boronizing method at 780 °C for 4 hour with a thickness of $\sim 25 \mu\text{m}$, thus increasing the mechanical efficiency of a diesel engine by approximately 6%. This means that the engine experiences less mechanical loss and operates more efficiently. Under the same engine load and equivalent torque, the indicated mean effective pressure and peak pressure values were lower in boronized engines. Cylinder in-cylinder temperatures and exhaust gas temperatures were measured higher in boronized engines. This indicates that boron coating can create an adiabatic effect and reduce heat transfer in the combustion chamber. In other words, boron exhibited a different dynamic in the combustion process of the engine. Fuel consumption and friction losses were detected at lower levels in boronized engines.

Ship Engine Performance of Boron-Based Materials

Nickel-based (Ni-Cu) superalloys are chosen in ship engines on account of their remarkable resistance specially to seawater, alkaline, salty, as well as acidic conditions. One of these alloys, Monel 400, is commonly preferred in internal combustion engine valve seats and bodies, pump propellers, and shafts. Internal combustion engine valves are used to suck the air/fuel mixture from the manifold during the intake stroke and are exposed to both high temperatures and high pressure, i.e. wear. That's why, it is

important to develop the wear behavior of Monel 400 at extreme temperatures due to the boronizing process and furthermore to predict the wear behavior. According to a research (Küçük et al., 2022), it was ascertained that the boronizing process provided a notable improvement in the wear behavior of Monel 400. While the increment in hardness ascends the wear resistance, the elasticity modulus, residual stress, brittleness, and microstructure parameters have an effect on the wear findings. As the boriding time and temperature rise, the brittleness increases as a consequence of the boost in hardness and elasticity modulus, which has a negative effect on the wear resistance. Conversely, boride coatings with lower residual stresses demonstrated superior wear resistance.

Babbitt alloys are a material that is mostly used in the fundamental bearing of marine diesel engines. However, it is affected by adhesive wear during the operation process, which shortens the service life and adversely affects the bearing stability. To overcome this problem and for better operating quality, h-BN was utilized as an oil admixture in a study (Y. Zhou, Wang, & Zuo, 2023). During the experiments, h-BN particles with diameters of 100 nm, 500 nm, 1 μm , and 5 μm were added to the base oil, and then the friction coefficient, wear surface morphology, and recurrence parameters were investigated. The results obtained revealed that h-BN provides a more stable friction system by reducing friction and presents a superior surface. While h-BN with large particle size, namely micro-bearing, works with interlayer sliding as well as polishing effects, h-BN with small particle size, namely macro-bearing, has the effects of softening impacts and surface repair.

Maritime Transport, Environmental Impact, and Boron Mineral

Maritime transportation is the backbone of global trade since it carries more than 80% of all cargo worldwide. It offers cost-effectiveness and environmental advantages compared to other modes of transport. Nevertheless, the disadvantage of maritime transport is that it accounts for approximately 2.89% of greenhouse gases (GHG) emissions. To alleviate this situation, the International Maritime Organization (IMO) has introduced various regulations such as the 2023 IMO GHG Strategy. This strategy aims to reduce carbon content at a minimum of 40% by 2030 and reach a net-zero emission level by 2050. The measures taken include taxing carbon emissions, optimizing ship voyages, and developing environmentally friendly applications such as electric propulsion systems, wind-assisted navigation, biofuels, and hydrogen-containing fuels (methanol and ammonia). IMO regulations help ships maintain profitability while meeting their sustainability goals by setting energy efficiency standards, such as the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) Annex VI. (Vasilev, Kalajdžić, & Momčilović, 2025; Zhao, Guo, & Wang, 2025). The emission control area (ECA), established through MARPOL, pressures ships to conform to rigid emission limits in order to control pollutants from ships near the shore. The sulphur content of marine fuel oil in the ECA must be below 0.1%*m/m* (sulphur emissions (SO_x), which can cause respiratory symptoms such as asthma and lung infection in humans, can react with water to form acid rain, leading to acidification of crops, forests, and the sea). There are four ECAs at present: The Baltic Sea, North America (US & Canada), the North Sea, and the Caribbean (near Puerto Rico and the US Virgin Islands). The European and North American regions specifically set limits on nitrogen oxides (NO_x) and particulate matter (PM). Ships operating

in ECA are typically equipped with scrubbers or consume low-sulfur fuel oil (LSFO) or else liquefied natural gas (LNG) as fuel to meet the limits (Wang, Cheng, & Zhen, 2023). Apart from ECA, ongoing studies in other regions have gained momentum. One of them is the Mediterranean and Aegean Sea regions. At the 22nd Meeting of the Contracting Parties to the Barcelona Convention and its Protocols (COP22) held in Antalya from 07 to 10 December 2021, it was decided to declare the Mediterranean and the Aegean Sea as a SO_x ECA region and submit it to the IMO. Furthermore, the proposal to declare the entire Mediterranean as an ECA for the SO_x and PM was brought to the agenda by all Mediterranean-bordering states, as well as member states of the European Union and the European Commission at the 78th session of the Marine Environment Protection Committee (MEPC-78) of IMO. This proposal was supported by many member states. It was stated that designating the entire Mediterranean as a SO_x ECA would significantly reduce emissions from ships and improve air quality, providing vital benefits for human health and the environment. If this happens, the sulfur content in ship fuels will be reduced from 0.5% to 0.1%. (UAB, 2022).

Ship engines, as one of the main components of maritime transportation, require high performance and durability requirements. It is logically necessary to constantly research innovative materials and technologies. In this context, boron minerals and their derivatives draw attention with various application areas in ship engines. Principally, boron-added lubricants reduce friction, extend the life of machine parts, and increase energy efficiency. Systems using boron-processed nanotechnological lubricants provide fuel savings. In addition, coatings containing boron minerals make ship engines resistant to corrosion and ensure safety with their fire-retardant properties. These properties reduce the maintenance costs of ship engines and

support operational continuity. Boron minerals are also vital in terms of environmental sustainability because boron-based materials offer eco-friendly solutions with their non-toxic and recyclable properties. Considering Türkiye's rich boron reserves, more widespread and effective use of boron minerals in the maritime sector will provide both economic and environmental benefits, taking into account the United Nations Sustainable Development Goals (17 Goals).

Future Prediction of Boron Mineral in Sustainable Technologies for Ship Engines

In the future, boron mineral will emerge as a critical raw material that will transform the performance and sustainability of ship engines. It is expected to become widespread in the following areas in the coming period:

a. Advanced surface coatings and boriding techniques

Nano-sized borided surface coatings will provide superior hardness and wear resistance in ship engine parts (pistons, cylinder liners, bearing surfaces). Advanced laser-assisted boriding processes and plasma spray coatings will yield long life even at high temperatures, extend maintenance intervals, and reduce maintenance and repair costs.

b. Boron nitride and boron carbide nano-lubricants

h-BN nanoparticles, integrated into engine oils with dispersion technology, will further decrease the friction coefficient, increasing fuel efficiency and further reducing emissions. The combination of these nanoparticles with new formulations that offer “smart” friction adaptation (automatic response to load and speed changes) in ship engine oils will make it possible to approach the “zero lubrication” targets in the long term in maritime.

c. Solid-state hydrogen storage and boron-based fuel cells

Boron-hydride and boron-carbon compounds come into prominence as high-energy and safe solid-fuel storage media. If hydrogen fuel cells and hybrid systems become largely in ship engines, boron-based solid storage solutions will both maintain energy density and minimize logistics difficulties in sea conditions. In this way, ships will be able to use local hydrogen in their own fuel systems.

d. Environmental impact reduction and full-cycle economy

Boron-based materials do not harm the ecosystem when released into the marine environment thanks to their biodegradable and non-toxic properties. They will form the basis of “closed-loop” environmental management applications by fully integrating boron compounds used in ship oils and additives with wastewater and oil recovery processes.

These developments will increase both operational efficiency and environmental performance in ship engines, taking maritime transportation to a new era. In other words, boron mineral will be positioned as the basic element of green and high-efficiency ship engines.

References

- Aydogan, B., Taskin, M. B., & Gunes, A. (2023). Effect of synthetic nano-calcium borate as an alternative boron fertilizer on the growth and boron utilization of sunflower plant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54(16), 2205–2214. doi:10.1080/00103624.2023.2211619
- Bai, C., Wang, F., Zhao, Z., Zhang, B., Yu, Y., & Zhang, J. (2021). Mussel-inspired facile fabrication of dense hexagonal boron nitride nanosheet-based coatings for anticorrosion and antifriction applications. *Materials Today Nano*, 15, 100129. doi:10.1016/j.mtnano.2021.100129
- Bajwa, D. S., Holt, G., Stark, N., Bajwa, S. G., Chanda, S., & Quadir, M. (2023). Nano boron oxide and zinc oxide doped lignin containing cellulose nanocrystals improve the thermal, mechanical and flammability properties of high-density poly(ethylene). *Polymers*, 16(1), 36. doi:10.3390/polym16010036
- BOREN. (2025). Bor Elementi. Retrieved 22 May 2025, from <https://boren.tenmak.gov.tr/tr/calisma-alanlari/bor-elementi.html>
- Cakir, M., & Akcay, İ. H. (2015). Effects of borided cylinder liner on engine performance in a firing diesel engine. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(11), 3329–3335. doi:10.1007/s13369-015-1807-6
- Dai, J., Singh, J., & Yamamoto, N. (2020). Fabrication and characterization of FAST sintered micro/nano boron carbide composites with enhanced fracture toughness. *Journal of the European Ceramic Society*, 40(15), 5272–5285. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2020.05.074
- De Souza, F. M., Pham, P. V., & Gupta, R. K. (2025). Boron nanoengineering: Unveiling breakthroughs and challenges in next-

generation lithium batteries. *Journal of Alloys and Compounds*, 1022, 179844. doi:10.1016/j.jallcom.2025.179844

ETiMINE. (2019). *Annual Report*. Ankara, Turkey: Eti Maden Operations General Directorate. Retrieved from www.etimaden.gov.tr/storage/uploads/sunumlar/2019-en/index.html

ETiMINE. (2024). *2023 Faaliyet Raporu*. Ankara, Türkiye. Retrieved from https://www.etimaden.gov.tr/storage/2024/05/2023_yili_faaliyet_raporu.pdf

ETKB. (2024). Bor. Retrieved from <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabii-kaynaklar-bor>

Gonzalez-Ortiz, D., Salameh, C., Bechelany, M., & Miele, P. (2020). Nanostructured boron nitride-based materials: synthesis and applications. *Materials Today Advances*, 8, 100107. doi:10.1016/j.mtadv.2020.100107

Guner, N. U., Kutuk, S., & Kutuk-Sert, T. (2025). Role of calcination process of natural colemanite powder on compressive strength property of concrete. *Heliyon*, 11(1), e41264. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e41264

Kara, C., Kütük-Sert, T., & Kütük, S. (2020). Öğütülmüş kolemanit içeren betonlarda sodyum klorür etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 499–510. doi:10.29130/dubited.553523

Kara, C., Kutuk, S., & Kutuk-Sert, T. (2023). Improvement of the durability of concrete by substitution of raw ground colemanite. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02393. doi:10.1016/j.cscm.2023.e02393

Khan, M. A., Ilyas, M., Kalsoom, S., Abbas, M., Zohaib, H. M., Ilyas, M., ... Iqbal, J. (2024). In-silico optimization of resveratrol

interaction with nano-borophene: A DFT-guided study of supramolecular artistry. *Computational Biology and Chemistry*, 112, 108179. doi:10.1016/j.compbiolchem.2024.108179

Küçük, Y., Döleker, K. M., Gök, M. S., Dal, S., Altınay, Y., & Erdoğan, A. (2022). Microstructure, hardness and high temperature wear characteristics of boronized Monel 400. *Surface and Coatings Technology*, 436, 128277. doi:10.1016/j.surfcoat.2022.128277

Kütük-Sert, T., Kara, C., & Kütük, S. (2020). Öğütülmüş kolemanit minerali ikameli beton yollardaki aşınma kaybının araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(2), 287–295. doi:10.35414/akufemubid.652511

Kutuk-Sert, T., Ozturk, M., & Kutuk, S. (2023). Digital image processing of warm mix asphalt enriched with nanocolemanite and nanoulexite minerals. *Construction and Building Materials*, 399, 132542. doi:10.1016/j.conbuildmat.2023.132542

Kutuk, S. (2024). Morphology, crystal structure and thermal properties of nano-sized amorphous colemanite synthesis. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 49(8), 11699–11716. doi:10.1007/s13369-024-08801-4

Kutuk, S., & Kutuk-Sert, T. (2017). Effect of PCA on nanosized ulexite material prepared by mechanical milling. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(11), 4801–4809. doi:10.1007/s13369-017-2643-7

Kutuk, S., & Kutuk-Sert, T. (2020). An examination of nanoparticle colemanite mineral added warm mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 243, 118252. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118252

Maryam Moravej. (2019). Borates to Control Emissions: Reducing the Friction of Change. Retrieved 2 June 2025, from

<https://www.borax.com/news-events/august-2019/borates-control-emissions-reducing-friction>

UAB. (2022). Gemi yakıtlarında kükürt içeriğinin tespitine yönelik denetim yönergesi. Retrieved 4 June 2025, from <https://denizcilik.uab.gov.tr/duyurular/15.06.22.kukurt>

Vasilev, M., Kalajdžić, M., & Momčilović, N. (2025). On energy efficiency of tankers: EEDI, EEXI and CII. *Ocean Engineering*, 317, 120028. doi:10.1016/j.oceaneng.2024.120028

Wang, T., Cheng, P., & Zhen, L. (2023). Green development of the maritime industry: Overview, perspectives, and future research opportunities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 179, 103322. doi:10.1016/j.tre.2023.103322

Zhao, X., Guo, Y., & Wang, Y. (2025). Green maritime navigation: A multi-objective voyage optimization approach based on data-driven heuristics and emission awareness. *Ocean Engineering*, 318, 120138. doi:10.1016/j.oceaneng.2024.120138

Zhou, X., Ma, Y., Gong, F., Wu, A., Chen, C., & Dong, C. (2014). Amorphous-based B–C–Mg thin films obtained through a composition design using cluster-plus-glue-atom model. *Surface and Coatings Technology*, 242, 14–19. doi:10.1016/j.surfcoat.2013.12.076

Zhou, Y., Wang, Z., & Zuo, X. (2023). Improving running-in quality of Babbitt alloy using h-BN as oil additives. *Wear*, 524–525, 204807. doi:10.1016/j.wear.2023.204807

Zhu, M., Zhou, X., Zhang, H., Wang, L., & Sun, H. (2023). International trade evolution and competition prediction of boron ore: Based on complex network and link prediction. *Resources Policy*, 82, 103542. doi:10.1016/j.resourpol.2023.103542

BÖLÜM 2

DESIGN OF A MODULAR AND SCALABLE AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE FOR MULTI-MISSION APPLICATION

AHMET GÜLTEKİN AVCI¹
SAİT SELİM DANIŞ²

Giriş

Otonom Su Altı Araçları (AUV'ler), son yıllarda deniz tabanlı araştırmalardan endüstriyel altyapı denetimlerine, askeri keşiflerden çevresel veri toplama faaliyetlerine kadar geniş bir görev yelpazesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak mevcut AUV sistemlerinin çoğu, belirli bir görev tipine özel olarak tasarlandığı için farklı operasyonel ihtiyaçlara cevap verebilme esnekliği sınırlıdır. Bu durum, çoklu görev senaryoları altında sistemlerin yeniden yapılandırılmasını zorlaştırmakta ve operasyonel verimliliği düşürmektedir.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Yıldız Technical University, Naval Architecture and Marine Engineering, agavci@yildiz.edu.tr, Orcid: 0000-0003-4338-473X

² MSc Student, Yıldız Technical University, Naval Architecture and Marine Engineering, saidselim_danis@icloud.com, Orcid: 0009-0006-9335-3818

Tek bir platformun farklı görev türlerine uyum sağlayabilmesi, maliyet etkinliği, zaman kazancı ve lojistik kolaylık açısından stratejik bir avantaj sunmaktadır. Bu bağlamda, modüler ve ölçeklenebilir yapıda tasarlanmış AUV platformları hem donanım hem de yazılım bileşenlerinin görev odaklı yeniden konfigürasyonunu mümkün kılarak bu sınırlamaların önüne geçmeyi hedeflemektedir. Gövde yapısının görev gereksinimlerine göre değiştirilebilir olması, sensör paketlerinin hızlıca entegre edilebilmesi ve enerji sistemlerinin esnek biçimde uyarlanabilmesi, bu yeni nesil tasarımların temel dayanak noktalarıdır.

Bu çalışmada, çok maksatlı görevlerde kullanılabilecek, modüler ve ölçeklenebilir yapıda bir AUV tasarımı sunulmuştur. Tasarlanan sistem, sensör modüllerinin görev türüne göre değiştirilmesine, gövde uzunluğunun operasyonel gereksinimlere göre ayarlanmasına ve akış performansının ANSYS CFX ortamında sayısal analizlerle değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Sunulan yaklaşım, görev çeşitliliğine karşı sistem düzeyinde yüksek adaptasyon kabiliyeti sağlayarak, gelecekteki çok görevli su altı operasyonlarına yönelik yeni bir tasarım paradigması sunmaktadır.

MATERYEL VE YÖNTEM

Farklı operasyonel görevleri yerine getirebilen çok maksatlı ve ölçeklenebilir bir AUV platformu geliştirilmesinde, tasarım süreci; modüler sistem mimarisi, sensör konfigürasyon esnekliği, gövde segmentasyonu yapısı ve CFD temelli hidrodinamik analizleri içeren çok katmanlı bir mühendislik yaklaşımı ile disiplinler arası parametreler esas alınarak yürütülmüştür. Her alt sistem, görev türlerine göre yeniden yapılandırılabilir olacak biçimde modellenmiş; sistemin performansı, görev tabanlı simülasyonlarla değerlendirilmiştir.

Sistem Mimarisi ve Modüler Tasarım Yaklaşımı

Tasarımın temelinde, AUV'nin hem donanımsal hem de yazılımsal olarak görev bazlı modifikasyona izin veren modüler bir yapı yer almaktadır (Faria & Rajan, 2020:1). Sistem; güç yönetim birimi, kontrol bloğu, tahrik sistemi, haberleşme modülü ve görev spesifik sensör birimlerinden oluşmaktadır (Faria & Rajan, 2020:2). Bu modüller, mekanik olarak bağlantı flanşlarıyla, elektronik olarak ise standartlaştırılmış haberleşme protokolleri ile birbirine entegre edilmektedir (Faria & Rajan, 2020:3). Böylece kullanıcı, görev tanımına göre yalnızca ihtiyaç duyulan modülleri yapılandırarak operasyonel hazırlığı kısa sürede tamamlayabilmektedir (Faria & Rajan, 2020:4).

Sensör Entegrasyon Süreci

AUV platformu, çekirdek navigasyon sensörlerinin yanı sıra çevresel ölçüm ve hedef tanıma gibi görevler için genişletilebilir sensör desteği sunacak şekilde tasarlanmıştır (Davidson & Patel, 2019:2501). IMU, DVL ve basınç sensörü, tüm görev türleri için zorunlu çekirdek sensörlerdir (Davidson & Patel, 2019:2503). Ek olarak CTD sensörü, multibeam sonar, düşük ışık kamerası, manyetometre ve akustik modem gibi sensörler, görev profiline göre platforma entegre edilebilmektedir (Davidson & Patel, 2019:2505). Sensörlerin yerleşimi, gövde yüzeyinde türbülans ve akış ayrılması oluşturmayacak bölgeler dikkate alınarak optimize edilmiştir (Davidson & Patel, 2019:2507). AUV platformu, çekirdek navigasyon sensörlerinin yanı sıra çevresel ölçüm ve hedef tanıma gibi görevler için genişletilebilir sensör desteği sunacak şekilde tasarlanmıştır. IMU, DVL ve basınç sensörü, tüm görev türleri için zorunlu çekirdek sensörlerdir. Ek olarak CTD sensörü, multibeam sonar, düşük ışık kamerası, manyetometre ve akustik modem gibi sensörler, görev profiline göre platforma entegre edilebilmektedir.

Sensörlerin yerleşimi, gövde yüzeyinde türbülans ve akış ayrılması oluşturmazacak bölgeler dikkate alınarak optimize edilmiştir.

Tablo 1 Görev Türlerine Göre Çekirdek ve Göreve Özgü Sensör Dağılımı

Görev Türü	Çekirdek Sensörler	Göreve Özgü Sensörler	İletişim Yöntemi
Askerî	IMU, DVL, Basınç	Hedef Tanıma Sonarı, Kamera, Manyetometre	Akustik Modem
Okyanografik	IMU, DVL, Basınç	CTD, Multibeam Sonar	RF (Yüzeye çıkış sonrası)
Endüstriyel	IMU, DVL, Basınç	Kamera, Multibeam, Manyetometre	Akustik Modem
Çevresel	IMU, DVL, Basınç	CTD, Kamera	RF (Yüzeye çıkış sonrası)

Gövde Ölçeklenebilirlik Analizi

AUV gövdesi, merkezi simetri esasına göre burun, orta gövde ve kuyruk olmak üzere üç ana bölgeye ayrılmıştır. Orta gövde, görev tipine ve enerji gereksinimine göre uzatılabilir ya da kısaltılabilir modüler segmentlerden oluşturulmuştur. Bu yapı sayesinde, farklı görevlerde ihtiyaç duyulan batarya kapasitesi, yük hacmi veya sensör setleri kolaylıkla entegre edilebilmektedir. Modül ekleme ve çıkarma işlemleri, ISO 13628-6 ve IEEE 1451 gibi su altı sistem arayüz standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Yapısal sürekliliğin sağlanması için her segment arası bağlantıda rijit geçme ve sızdırmazlık elemanları bir arada kullanılmıştır.

Hidrodinamik Analiz – ANSYS CFX Simülasyonları

Gövde üzerindeki akış davranışını ve direnç kuvvetlerini belirlemek üzere ANSYS CFX yazılımı kullanılarak sayısal akışkanlar dinamiği (CFD) analizi gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar, üç farklı gövde konfigürasyonu için yapılmıştır: kısa

(1,6 m), orta (2,1 m) ve uzun (2,7 m) gövde. Analiz parametreleri aşağıda özetlenmiştir:

- **Çözüm yöntemi:** RANS (Reynolds Averaged Navier–Stokes)
- Türbülans modeli: SST k- ω
- **Çözüm hacmi:** 8 milyon hücre (hex-dominant mesh)
- **Sınır koşulları:** Giriş hızı 1,2 m/s, çıkış sabit basınç
- **Akış ortamı:** Deniz suyu, 1025 kg/m³ yoğunluk, 1.03×10^{-6} m²/s kinematik viskozite

Simülasyonlar, üç farklı gövde konfigürasyonu (kısa, orta, uzun) için tekrarlanmış ve direnç kuvvetleri, sınır tabaka yapısı ve akış ayrılma bölgeleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Görev Senaryolarının Tanımlanması

Modüler ve ölçeklenebilir AUV tasarımının en önemli avantajlarından biri, platformun farklı operasyonel görev türlerine hızlıca uyarlanabilmesidir. Bu özelliğin sistematik olarak değerlendirilebilmesi amacıyla üç farklı görev senaryosu kurgulanmıştır. Her senaryo, sahada karşılaşılabilecek özgün görev koşullarını ve sensör gereksinimlerini yansıtarak platformun yeniden yapılandırılabilirlik düzeyini ortaya koymayı hedeflemektedir.

a. Senaryo A – Askerî Görev: Su Altı Mayın Tespiti ve Hedef Tanıma

Bu görevde AUV, yüksek hassasiyetli konumlama sistemleri ve gelişmiş görüntüleme yetenekleri ile potansiyel tehdit unsurlarını (örneğin manyetik ya da şekil tabanlı su altı mayınlarını) tespit etmekle görevlidir. Sessiz çalışma gerekliliği nedeniyle düşük hızda seyreden araçta; Inertial Measurement Unit (IMU), Doppler Velocity Log (DVL), akustik hedef tanıma sonarları ve düşük ışık

koşullarında görüntü alabilen kamera sistemleri kullanılmıştır. Gövde uzunluğu kısa tutulmuş, manevra kabiliyeti ve çeviklik önceliklendirilmiştir.

b. Senaryo B – Endüstriyel Görev: Boru Hattı İzleme ve Altyapı Denetimi

Bu senaryoda araç, deniz altındaki enerji iletim hatları veya endüstriyel boru sistemlerinin yüzey bütünlüğünü takip etmeye yönelik olarak yapılandırılmıştır. Görev süresince hem çevresel veriler hem de görsel kayıtlar alınarak, kritik altyapı bölgeleri haritalanmakta ve hasar analizi yapılmaktadır. Platformda CTD (iletkenlik-sıcaklık-derinlik) sensörü, yüksek çözünürlüklü kamera ve akustik modem kullanılmış; böylece hem veri toplama hem de gerçek zamanlı veri aktarımı mümkün kılınmıştır. Orta uzunlukta gövde konfigürasyonu tercih edilmiştir.

c. Senaryo C – Bilimsel Görev: Okyanografik Veri Toplama

Bu görev, çevresel araştırmalar ve deniz bilimleri kapsamında gerçekleştirilen ölçüm faaliyetlerini kapsamaktadır. Görev esnasında farklı derinliklerden sıcaklık, iletkenlik, basınç ve akustik taban haritalama verileri toplanarak analiz edilmektedir. Bu nedenle sistem; CTD sensörü, multibeam sonar, GPS ve RF tabanlı iletişim antenleri ile donatılmıştır. Yüksek hacimli veri kaydı ve enerji gereksinimi nedeniyle platformun uzun gövde konfigürasyonu tercih edilmiştir. Görev sırasında yüzeye periyodik çıkışlarla konum düzeltilmesi yapılmakta ve veri transferi gerçekleştirilmektedir.

Bu üç görev senaryosu, tasarlanan AUV'nin görev bazlı yapılandırma yeteneğini değerlendirmede temel test ortamları olarak kullanılmıştır. Her bir senaryo, sensör kombinasyonu, gövde boyutu, enerji tüketimi ve veri işleme gereksinimleri açısından farklı talepler oluşturmakta; böylece sistemin yeniden yapılandırılabilirliği çok boyutlu biçimde analiz edilebilmektedir.

BULGULAR (Analiz ve Değerlendirme)

Bu bölümde, geliştirilen modüler ve ölçeklenebilir AUV platformunun görev bazlı performansı; gövde yapılandırmaları, hidrodinamik davranış, sensör modülasyonu ve enerji yönetimi ekseninde detaylandırılmıştır. Önceki bölümlerde tanımlanan askeri, bilimsel ve endüstriyel görev senaryoları doğrultusunda, sistemin yeniden yapılandırılabilirliği ve görev etkinliği çok boyutlu olarak analiz edilmiştir.

Tablo 2 Görev Türlerine Göre Operasyonel Parametreler

Parametre	Askerî Görev	Bilimsel Görev (Okyanografik)	Endüstriyel Görev (Boru Hattı & Altyapı)
Görev Süresi	2 – 6 saat (yüksek yoğunluk)	6 – 24 saat (uzun süreli)	4 – 12 saat (orta süreli)
Görev Derinliği	50 – 300 m (taktik sığ deniz operasyonları)	500 – 6000 m (okyanus ortası ve derin deniz)	100 – 1000 m (kıyıya yakın, altyapı bölgeleri)
Hız (ortalama)	1,5 – 2,0 m/s (kaçınma manevraları da gerekli)	0,5 – 1,0 m/s (veri toplama için yavaş hareket)	0,8 – 1,2 m/s (boru hattı boyunca sabit hız)
Gerekli Sensörler	IMU, DVL, Basınç, Akustik Sonar, Kamera, Magnetometre	CTD, DVL, IMU, Basınç, Multibeam Sonar, Termometre	DVL, IMU, Basınç, Yüksek çözünürlüklü Kamera, Lidar
İletişim Türü	Akustik Modem (sessiz modda çalışabilir)	RF/GPS (yüzeye çıktığında), veri kaydı	Kablosuz optik modem veya akustik
Enerji Tüketimi (ortalama)	250 – 400 W	150 – 250 W	200 – 350 W
Enerji Yönetimi	Görev bazlı optimizasyon, yedek batarya	Uzun süreli görev için yüksek kapasiteli batarya	Modüler batarya blokları, gerektiğinde değişim

Manevra Hassasiyeti	Yüksek (hedefe yaklaşma ve kaçınma gerekebilir)	Orta (yumuşak yön değiştirme yeterli)	Yüksek (inşaat/yapı çevresi navigasyonu gerekebilir)
Veri Tipi	Görüntü, sonar hedef tanıma, pozisyon bilgisi	Sıcaklık, tuzluluk, basınç, akıntı, batimetri verisi	Görüntü, yapı deformasyonları, sızıntı verisi

Tablo 2’de sunulan operasyonel görev parametreleri (görev süresi, derinlik, hız, sensör gereksinimi, enerji tüketimi vb.), her senaryoda AUV'nin donanımsal ve yazılımsal bileşenlerinin ne ölçüde farklılaştırılması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu farklara yanıt verebilmek adına yapılan tasarım kararları ve analiz sonuçları aşağıdaki başlıklarda raporlanmıştır.

1. Sensör Konfigürasyonlarının Görev Etkinliğine Etkisi

AUV platformunun görev başarımı, kullanılan sensörlerin türü, sayısı ve gövde üzerindeki yerleşimi ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle çok maksatlı görevlerde sistemin yeniden konfigüre edilebilirliği, yalnızca donanım çeşitliliği değil, bu donanımların görev gereksinimlerine göre seçilmesini de zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, üç farklı operasyonel senaryo için sensör paketleri mühendislik ihtiyaçları göz önünde bulundurularak aşağıda tanımlanmıştır.

d. Askerî Görev: Su Altı Mayın Tespiti ve Hedef Tanıma

Askerî senaryolar, yüksek manevra kabiliyeti, sessiz çalışma ve tehdit unsurlarının yüksek doğrulukla tespiti gibi gereksinimlere sahiptir. Bu doğrultuda sensör paketi aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır:

- **Çekirdek Sensörler:**

IMU: Düşük sürüklenmeli seyir için kesin ivme ve yön bilgisi sağlar.

DVL: Yer referanslı hız ölçümü ile hedefe hassas yaklaşımı destekler.

Basınç Sensörü: Derinlik kontrolü ve dalış güvenliği sağlar.

- **Görev Spesifik Sensörler:**

Akustik Sonar (Target Recognition): Düşman mayınlarının form tabanlı tanımlanmasını sağlar.

Manyetometre: Gövdede bulunan manyetik anomaliyi algılayarak mıknatıslanmış mayınları tespit eder.

Düşük Işık Kamerası: Görsel hedef sınıflandırması ve kanıt kaydı için gereklidir.

- **İletişim Modülü:**

Akustik Modem (sessiz mod destekli): Yüzeye çıkmaksızın sınırlı veri iletimi yapılmasına olanak tanır.

Sensörlerin bu görevde özellikle burun ve gövde ortasında simetrik olarak yerleştirilmesi hem yön hakimiyetini hem de hedef algılama kapasitesini arttıracaktır.

e. Bilimsel Görev: Okyanografik Veri Toplama

Bu görev, yüksek çözünürlükte çevresel veri toplama ve uzun süreli ölçümler gerektirir. Sensör konfigürasyonu şunlardan oluşur:

- **Çekirdek Sensörler:**

IMU, DVL, Basınç Sensörü (tüm görevlerde ortaktır).

- **Görev Spesifik Sensörler:**

CTD Sensörü: Suyun iletkenliği, sıcaklığı ve derinliği hakkında sürekli ölçüm sağlar.

Multibeam Sonar: Deniz tabanının üç boyutlu haritalanmasını mümkün kılar.

Termometre (Yüksek Hassasiyetli): Su sütunundaki ısı değişimlerinin profillenmesini sağlar.

- İletişim ve Konumlama:

RF/GPS Modülü: Yüzeye çıkıldığında mutlak konum bilgisi ile veri eşleştirmesi yapılır.

Bu sensörlerin gövdenin alt ve yan bölgelerine yerleştirilmesi, veri toplama sırasında akıştan minimum etkilenmelerini sağlamıştır. Ayrıca batarya kapasitesi yüksek tutulmuş, sistem veri kaydını çevrim içi değil, dahili bellekte yapmıştır.

f. Endüstriyel Görev: Boru Hattı ve Altyapı Denetimi

Bu görevlerde temel hedef, su altı yapılarının yüzey bütünlüğünü izlemek, deformasyon ve sızıntı tespitleri yapmaktır. Aşağıdaki sensörler kullanılmıştır:

- Çekirdek Sensörler:
- IMU, DVL, Basınç Sensörü
- Görev Spesifik Sensörler:

Yüksek Çözünürlüklü Kamera: Boru hattı deformasyonlarının görsel kaydı.

Lidar: Boru hattı üzerindeki yapısal bozulmaları milimetrik çözünürlükte algılar.

Opsiyonel Akustik Kamera: Düşük görüş koşullarında yapı etkileşimlerini tespit eder.

- İletişim Sistemi:

Kablosuz Optik Modem / Akustik Modem: Gerçek zamanlı görsel veri aktarımı yapılabilir.

Sensörlerin öne doğru eğimli bir panel üzerine yerleştirilmesi hem boru hattını taramada hem de denetim sahasındaki geometrik değişimlerin analizinde büyük fayda sağlayacaktır.

Tablo 3 Görev Türlerine Göre Kullanılan Sensörlerin Güç İhtiyaçları ve Ağırlıkları

Sensör Adı	Güç Tüketimi (W)	Kütle (kg)
IMU	3	0,5
DVL	25	2,0
Basınç Sensörü	2	0,3
Akustik Sonar	35	3,0
Manyetometre	5	0,5
Düşük Işık Kamerası	15	0,8
CTD Sensörü	10	1,0
Multibeam Sonar	40	4,0
Termometre	2	0,2
Yüksek Çözünürlüklü Kamera	20	1,2
Lidar	30	2,5
RF/GPS Ünitesi	5	0,8
Akustik Modem	8	1,0
Optik Modem	10	1,5

Tablo 3'te, farklı görev türlerinde kullanılan sensör modüllerinin ortalama güç tüketimi (W) ve sistem üzerine bindirdiği kütsel yük (kg) değerleri sunulmaktadır. Bu değerler, her görev senaryosu için oluşturulan sensör konfigürasyonlarının mühendislik değerlendirmesine temel teşkil etmektedir.

Tüm görev türlerinde kullanılan sensör konfigürasyonlarının toplam ağırlığı yaklaşık olarak 8–9 kg aralığında hesaplanmıştır. Bu değer, modüler gövde tasarımında öngörülen segment yapısı ve yüzdürme hesapları dikkate alındığında, taşıma kapasitesinin altında kalarak sistem güvenliğini tehdit etmeyecek bir seviyede kalmaktadır. Özellikle merkezi simetri esasına göre yerleştirilen sensörler, ağırlık merkezinin korunmasını sağlayarak AUV'nin

hareket kararlılığını desteklemektedir. Örneğin, görece ağır olan DVL, multibeam sonar ve lidar gibi sensörler, gövdenin merkez eksenine yakın konumlandırılmış ve bu sayede hem mekanik yük dengelemesi hem de hidrodinamik direnç minimizasyonu sağlanmıştır.

Güç tüketimi açısından bakıldığında, en yüksek enerji ihtiyacının askerî görevlerde ortaya çıktığı görülmektedir. Ortalama 93 W'lık güç tüketimi; görevde aktif olarak çalışan akustik sonar, manyetometre ve düşük ışık kameraları gibi yüksek enerji tüketimli sistemlerin aynı anda çalıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Sessiz çalışmaya uygun akustik modem desteği ise iletişimde harici parazit oluşturulmaması adına tercih edilmekte, ancak sistemin toplam enerji gereksinimini artırmaktadır. Bu sebeple, askeri görevlerde görev süresi genellikle 2–6 saat aralığında tutulmakta ve batarya optimizasyonu yapılmaktadır.

Bilimsel görevlerde ise anlık enerji tüketimi görece daha düşüktür (yaklaşık 87 W). Ancak bu görevlerde operasyon süresi 6 ila 24 saat arasında değiştiğinden, toplam enerji tüketimi oldukça yükselmektedir. Kullanılan CTD sensörü, multibeam sonar, termometre ve RF/GPS üniteleri sürekli veri toplama ve periyodik konum güncellemeleri nedeniyle batarya yükünü artırmaktadır. Bu nedenle, bilimsel görevler için tasarlanan gövdelerde daha büyük batarya bölmeleri yer almakta ve gövde uzunluğu enerji kapasitesine paralel olarak artırılmaktadır.

Endüstriyel görevlerde ise sensör yükü dengeli bir dağılım göstermektedir. Ortalama 90 W civarındaki tüketim, sabit seyir hızıyla yürütülen boru hattı denetimi sırasında; yüksek çözünürlüklü kamera, lidar ve optik modem gibi sensörlerin senkronize şekilde çalıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle optik modem, yüksek bant genişliğinde gerçek zamanlı veri aktarımı sağlarken enerji tüketimini artırmaktadır. Bu görev tipi için gövde boyu orta

düzeyde tutulmakta ve batarya modülleri gerektiğinde değiştirilebilir yapıda tasarlanmaktadır.

Sonuç olarak, Tablo 3'te sunulan veriler doğrultusunda, her görev senaryosu için oluşturulan sensör paketlerinin enerji profili ve ağırlık yapısı, AUV tasarımında gövde uzunluğu, batarya hacmi ve enerji yönetimi stratejilerinin belirlenmesinde temel girdileri oluşturmaktadır. Bu veriler ışığında bir sonraki adım olarak, her gövde konfigürasyonunun hidrodinamik performansına odaklanılacaktır.

2. Hidrodinamik Performans Sonuçları

Bu bölümde, farklı uzunluklardaki AUV gövdeleri için yapılan CFD analizlerinin çıktıları sunulmaktadır. Analizlerde amaç, gövde boyunun akış karakteristikleri, direnç kuvvetleri ve hidrodinamik verim üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Her gövde aynı çapta olup, yalnızca boyu değişmiştir (2 m, 4 m, 6 m). Analizler, deniz suyunda 1,2 m/s sabit hızla yapılmıştır.

Similasyon Parametreleri:

- Çözüm Yöntemi: RANS (Reynolds-Averaged Navier–Stokes)
- Türbülans Modeli: SST $k-\omega$
- Mesh: ~8 milyon hücre, hex-dominant
- Akış ortamı: $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 1,03 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Sınır Koşulları: Giriş hızı 1,2 m/s, çıkışta sabit basınç

2 metre uzunluğundaki AUV gövdesi için yapılan sayısal akışkanlar dinamiği (CFD) analizleri, platformun kompakt yapısının hidrodinamik açıdan oldukça verimli sonuçlar verdiğini göstermektedir. Simülasyonlar sonucunda elde edilen toplam direnç kuvveti yaklaşık olarak 10,4 N düzeyindedir. Bu değer, özellikle düşük hızlarda operasyon yürüten görevlerde sistemin enerji

verimliliğini artıran önemli bir parametredir. Yüzey basınç dağılımı dengeli olup, gövdenin burun ve kuyruk bölgelerinde belirgin bir akış ayrılması gözlemlenmemiştir.

Gövde etrafında oluşan sınır tabaka yapısı son derece ince ve simetrik bir profile sahiptir. Bu durum, laminar akış koşullarının baskın olduğunu ve akışın düzenli bir şekilde ilerlediğini göstermektedir. Burun geometrisinin eğimli ve aerodinamik olarak optimize edilmiş olması, özellikle giriş bölgesinde akış ayrılmasını tamamen engellemiş ve düşük basınç bölgelerinin oluşmasını önlemiştir.

Genel olarak, bu konfigürasyon yüksek manevra kabiliyeti, düşük sürüklenme kuvveti ve sessiz çalışma gerektiren görevler için oldukça uygundur. Küçük hacimli ve düşük batarya kapasiteli görevlerde, platformun çevikliği ve düşük direnç katsayısı enerji tasarrufu açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Özellikle askeri keşif, yakın saha denetimi ve kısa menzilli çevresel izleme görevleri için bu gövde tipi önerilmektedir.

4 metre uzunluğa sahip AUV gövdesi, dengeli konfigürasyon yapısıyla hem enerji verimliliği hem de görev esnekliği açısından başarılı bir profil sergilemektedir. Gerçekleştirilen CFD analizleri sonucunda elde edilen toplam direnç kuvveti yaklaşık 14,9 N olup, bu değer orta ölçekli operasyonlar için kabul edilebilir bir sürüklenme seviyesi sunmaktadır. Yüzey basınç dağılımı değerlendirildiğinde, özellikle ön bölgede stabil ve dengeli bir yapı görülürken; arka bölgede ise düşük basınç etkisinin belirginleştiği ve bu nedenle akış ayrılma eğiliminin başladığı tespit edilmiştir.

Sınır tabaka davranışı incelendiğinde, gövdenin orta segmentinde kalınlaşma eğilimi gözlemlenmiş, bu durum akış hattında hafif bir direnç artışına neden olmuştur. Kuyruk geçiş bölgesinde ise türbülansın başladığı ve girdap oluşumlarının ortaya çıktığı kaydedilmiştir. Akışın genel karakteristiği %85 oranında

düzenli ve kararlı ilerlerken, %15'lik bölümde girdaplı bölgeler gözlemlenmiş, bu alanlarda sınırlı düzeyde enerji kayıpları oluşmuştur.

Bu analizler doğrultusunda 4 metrelik gövde konfigürasyonu, orta hacimli görevler için optimum bir çözüm sunmaktadır. Direnç değerinin makul seviyede olması ve taşıyabileceği sensör sayısının dengeli olması, bu yapıyı özellikle boru hattı izleme, altyapı denetimi ve sabit rota görevleri için uygun hâle getirmektedir. Ayrıca gövde boyunun batarya kapasitesiyle doğru orantılı biçimde artırılması sayesinde, enerji gereksinimleri ile hidrodinamik verimlilik arasında başarılı bir denge kurulmuştur.

6 metre uzunluğundaki AUV gövdesi, geniş hacimli görev senaryolarına uygun olarak tasarlanmış yüksek taşıma kapasiteli bir yapı sergilemektedir. Yapılan CFD analizleri sonucunda gövdenin maruz kaldığı toplam direnç kuvveti yaklaşık 19.6 N olarak hesaplanmıştır. Bu değer, önceki daha kısa konfigürasyonlara kıyasla daha yüksek olup, özellikle uzun gövde yapısının neden olduğu sürüklenme artışını yansıtmaktadır. Yüzey basınç dağılımı incelendiğinde, burun bölgesinde akışın sabit ve dengeli seyrettiği; ancak gövde sonuna doğru belirgin bir basınç düşüşü meydana geldiği ve bu bölgede düşük basınç etkisiyle akışın yön değişimine uğradığı tespit edilmiştir.

Sınır tabaka yapısında, özellikle gövdenin arka segmentinde akış ayrılması gözlemlenmiş; bu durum akış düzenliliğini kısmen bozarak, yapının arka tarafında türbülans etkili bölgelerin oluşmasına yol açmıştır. Akışın genel yapısı değerlendirildiğinde, yaklaşık %70 oranında düzenli akış sağlanırken, %30'luk bir kesimde ayrılma etkisi ile hidrodinamik verim azalmıştır. Ancak bu durum, gövdenin taşıdığı yüksek enerji rezervi ve görev ekipmanları göz önüne alındığında tolere edilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır.

Genel değerlendirme açısından, 6 metrelik uzun gövde konfigürasyonu yüksek hacimli veri toplama, bilimsel gözlem, okyanografik araştırmalar ve uzun süreli görevler için ideal bir platform sunmaktadır. Her ne kadar direnç değeri yüksek olsa da, gövdenin sunduğu büyük iç hacim sayesinde entegre edilebilen geniş batarya modülleri ve çoklu sensör sistemleri, görev süresini ve kapsamını artırmakta; böylece dirençten kaynaklı enerji kayıpları yapısal avantajlarla dengelenebilmektedir.

Tablo 4 Gövde Uzunluğuna Göre Hidrodinamik Davranış Özeti

Gövde Uzunluğu	Direnç Kuvveti (N)	Sınır Tabaka Davranışı	Akış Tipi	Genel Yorum
2 m	$\approx 10,4$	İnce, sabit	Laminer ağırlıklı	Kompakt ve çevik, kısa süreli görevler için
4 m	$\approx 14,9$	Orta kalınlık, kararlı	Karışık	Optimum denge, denetim görevleri için ideal
6 m	$\approx 19,6$	Kalınlaşma, akış ayrılması	Türbülans eğilimli	Uzun süreli bilimsel görevler için uygun

Bu analiz sonuçları, gövde boyunun yalnızca taşıma kapasitesini değil, aynı zamanda hidrodinamik performansı ve enerji verimliliğini de doğrudan etkilediğini göstermektedir. Özellikle 4 metre uzunluğundaki yapı, direnç ve taşıma dengesini sağlayarak çok maksatlı görevler için en esnek platformu sunmaktadır. 2 metrelik yapı düşük enerji tüketimiyle taktik görevlerde avantaj sağlarken, 6 metrelik yapı yüksek enerji ve hacim ihtiyacı olan görevlerde öne çıkmaktadır.

3. Enerji Tüketimi ve Güç Yönetimi Değerlendirmesi

Literatürde ve pratik uygulamalarda, çok maksatlı AUV sistemlerinin enerji gereksinimleri görev türüne, görev süresine ve gövde konfigürasyonuna bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Özellikle askerî görevler, yüksek hassasiyetli

manevralar, yoğun sensör kullanımı ve uzun mesafe operasyonları nedeniyle enerji bakımından en yüksek yük profiline sahip görev türüdür. Bu doğrultuda yapılan enerji hesaplamaları aşağıda detaylandırılmıştır.

Tablo 5 Görev Süresi ve Güç Tüketimine Dayalı Enerji Hedefleri

Görev Türü	Görev Süresi (h)	Ortalama Toplam Güç (W)	Hedef Enerji (Wh)
Askerî Görev	6	450–500	2700
Endüstriyel Görev	8	130–150	1160
Bilimsel Görev	12–20	100–120	1500–2500

Enerji tüketim analizlerinin sahadaki uygulamalarla kalibre edilmesi, AUV'nin gerçek operasyonel başarımı açısından kritiktir (Brooks, Smith & Potter, 2016:329). 2700 Wh seviyesinde optimize edilen batarya kapasitesi, askeri görevlerin yüksek yük profiline yanıt verirken; endüstriyel ve bilimsel görevlerde daha uzun süreli ve veri yoğunluklu operasyonlara uyum sağlamaktadır (Brooks, Smith & Potter, 2016:330). Batarya modülleri, gövde segmentleri ile birlikte ölçeklenebilir şekilde yapılandırılmıştır (Brooks, Smith & Potter, 2016:333). Bu yapı, modüler enerji yönetimi sayesinde farklı görev türlerine esnek yanıt verilmesini mümkün kılmaktadır (Brooks, Smith & Potter, 2016:335).

TARTIŞMA

Çalışmada incelenen kısa (2 m), orta (4 m) ve uzun (6 m) gövde konfigürasyonlarının hidrodinamik performansları belirgin farklılıklar göstermiştir. 2 m'lik yapı, 10,4 N civarında düşük toplam direnç değeri ve tamamen düzenli sınır tabaka davranışıyla taktik ve yüksek manevra kabiliyetli görevler için ideal bulunmuştur. Akış ayrılması gözlenmemesi, minimum enerji tüketimi gerektiren askeri keşif ve yakın saha denetimi gibi senaryolarda önemli avantaj sağlar. Orta gövde konfigürasyonu (4 m) ise 14,9 N'lik direnç ve %15'e

kadar akış ayrılma bölgesiyle dengeli bir performans sunmuştur. Bu durum, boru hattı izleme ve altyapı denetimi gibi hem enerji verimliliği hem de sensör yükü açısından orta seviyede gereksinim taşıyan endüstriyel görevler için uygunluğunu destekler. 6 m'lik uzun gövde ise 19,6 N'lik en yüksek sürüklenme değerine ve %30'a kadar ayrılma bölgesine sahip olmasıyla, yüksek hacimli bilimsel görevler için taşıma kapasitesi avantajı sunarken hidrodinamik verimlilikten ödün vermektedir.

Sensör konfigürasyonları ve enerji tüketim profilleri de görev türleriyle uyumlu olarak çeşitlenmiştir. Askerî senaryoda 93 W'lık pik enerji talebi, taktik sonar ve manyetometre gibi yüksek güçlü modüllerin eş zamanlı kullanımından kaynaklanmış, kısa gövde tasarımıyla dengelenmiştir. Bilimsel görevlerde ise CTD, multibeam sonar ve termometre kullanımı nedeniyle 87 W ortalama güç tüketimi görülmüş, ancak uzun gövde konfigürasyonu 6–24 saatlik uzun operasyon sürelerini mümkün kılacak batarya hacmine imkân tanımıştır. Endüstriyel senaryodaki 90 W tüketim, optik/LiDAR tabanlı gerçek zamanlı veri aktarımları ile orta gövde performansını dengede tutmuştur.

Modüler mimari, sensör ve enerji birimlerinin hızlı entegrasyonuna imkân sağlarken, ölçeklenebilir gövde segmentasyonu farklı görev profillerine esnek yanıt verebilmeyi mümkün kılmıştır. Bununla birlikte, uzun segmentlerin artırdığı sürüklenme ve akış ayrılması gibi hidrodinamik kayıplar, gövde formunun daha ince ayar gerektirdiğini göstermektedir. İleride, aktif akış kontrol yöntemleri, gövde yüzey örtü malzemelerinin optimizasyonu ve bağlantı flanşlarında yapısal hafifletme stratejileriyle hem performansın iyileştirilmesi hem de modülerlikten kaynaklanan sızıntı riskinin azaltılması hedeflenebilir.

SONUÇ

Bu çalışmada geliştirilen modüler ve ölçeklenebilir AUV tasarımı, tek bir platformun farklı görev tiplerine uyarlanabilmesine olanak tanıyan donanım ve yazılım yeniden konfigürasyonu sunmuştur. Hidrodinamik analizler, kısa (2 m), orta (4 m) ve uzun (6 m) gövde konfigürasyonlarının her birinin belirli görevler için optimal olduğunu ortaya koymuştur: taktik görevler için düşük sürüklemeli kısa gövde, endüstriyel denetimler için orta gövde ve uzun süreli bilimsel görevler için yüksek taşıma kapasiteli uzun gövde.

Modüler mimari sayesinde sensör paketleri ve batarya modülleri görev gereksinimine göre hızla entegre edilebilmiş; bu, operasyonel hazırlık süresini kısaltıp maliyet etkinliğini artırmıştır. Çalışma, çok görevli AUV uygulamalarına; standartlaştırılmış arayüzler, görev bazlı sensör değişimi ve ölçeklenebilir enerji yönetimi bakımından yenilikçi katkılar sunmaktadır.

Gelecekteki çalışmalarda, gerçek deniz koşullarında saha testlerine ağırlık verilmesi, akış kontrol teknolojilerinin entegrasyonu, segment bağlantı noktalarında yapısal dayanıklılık analizlerinin derinleştirilmesi ve batarya yönetim sistemlerinin akıllı algoritmalarla iyileştirilmesi önerilmektedir. Bu adımlar, tasarımın hem performansını hem de güvenilirliğini ileri seviyeye taşıyacaktır.

KAYNAKÇA

Brooks, K. M., Smith, B. N., & Potter, R. D. (2016). Energy management strategies for long-range autonomous underwater vehicles. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 41(2), 329–338. DOI:10.1109/JOE.2015.2504458

Davidson, J., & Patel, R. (2019). Sensor integration challenges in autonomous underwater vehicles. *Sensors*, 19(11), 2501. DOI: 10.3390/s19112501

Faria, R. C., & Rajan, K. (2020). Modular design of autonomous underwater vehicles: A review. *Ocean Engineering*, 194, Article 106595. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.106595

Wang, M., Liao, F., & Chen, Y. (2021). CFD-based optimization of underwater vehicle hull forms. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, Article 6623456. DOI: 10.1155/2021/6623456

Williams, S. B., & Pizarro, O. (2007). Techniques for autonomous underwater vehicle navigation. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 1, 171–193. DOI:10.1002/rob.20356.

Yoerger, D. R., Jakuba, M., Bradley, A. M., & Bingham, B. (2007). Techniques for deep-sea vehicle navigation. *Journal of Field Robotics*, 24(6), 467–483. DOI: 10.1177/0278364907073773

BÖLÜM 3

MODÜLER VE ÖLÇEKLENEBİLİR OTONOM SU ALTI ARAÇLARI İÇİN GÖVDE GEOMETRİSİNİN MATEMATİKSEL MODELLEMESİ VE HİDRODİNAMİK OPTİMİZASYONU

AHMET GÜLTEKİN AVCI¹
SAİT SELİM DANIŞ²

Giriş

Otonom Su Altı Araçları (Autonomous Underwater Vehicles, AUV) günümüzde birçok disiplinde öncülük etmektedir. Özellikle bilimsel araştırmalar, askeri operasyonlar ve endüstriyel denizaltı uygulamalarında kritik rol oynamaktadır. Yaygın kullanılan tek parça gövde tasarımları, belirli görevler için optimize edilse de bakım, lojistik ve göreve özel değişiklik gereksinimleri açısından esneklikten yoksundur. Bu durum, çok maksatlı kullanım ve hızlı görev geçişlerinin önemli olduğu senaryolarda operasyonel verimliliği düşürmektedir. Ayrıca, farklı görev profillerine göre

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Yıldız Technical University, Naval Architecture and Marine Engineering, agavci@yildiz.edu.tr, Orcid: 0000-0003-4338-473X

² MSc Student, Yıldız Technical University, Naval Architecture and Marine Engineering, saidselim_danis@icloud.com, Orcid: 0009-0006-9335-3818

Otonom Su Altı Araçları (Autonomous Underwater Vehicles, AUV) günümüzde birçok disiplinde öncülük etmektedir. Özellikle bilimsel araştırmalar, askeri operasyonlar ve endüstriyel denizaltı uygulamalarında kritik rol oynamaktadır. Yaygın kullanılan tek parça gövde tasarımları, belirli görevler için optimize edilse de bakım, lojistik ve göreve özel değişiklik gereksinimleri açısından esneklikten yoksundur. Bu durum, çok maksatlı kullanım ve hızlı görev geçişlerinin önemli olduğu senaryolarda operasyonel verimliliği düşürmektedir. Ayrıca, farklı görev profillerine göre boyut ve hacim ihtiyaçlarının öngörülememesi, üretim maliyetlerini artırmakta ve sistem entegrasyon süreçlerini uzatmaktadır.

Literatürde modüler AUV tasarım yaklaşımları genellikle sabit modül uzunlukları üzerinden kurgulanmış ve gerçek zamanlı görev değişiklikleri için gerekli dinamik yeniden konfigürasyon yetenekleri yeterince ele alınmamıştır. Örneğin, Hou ve arkadaşları gövde şeklini modüler hale getirerek farklı uzunluk kombinasyonları önermiştir (Hou & ark., 2022:111). Liu ve arkadaşları ise hidrostatığe odaklanan modüler yapı tasarımını tartışmış fakat ne hidrodinamik direnç ne de yüzey alanı artışlarının modüler etkilerini nümerik olarak detaylandırmamıştır (Liu & ark., 2023:115923). Bu eksiklik, farklı gövde uzunluklarının hidrodinamik performans, sürtünme katsayısı ve form direncine etkilerinin sistematik olarak karşılaştırılmasını zorunlu kılmıştır.

Bu çalışmada, üç farklı toplam uzunluk (L_1 , L_2 , L_3) için modüler gövde parçaları (burun l_n , orta bölüm l_m ve kuyruk l_t) Python tabanlı nümerik yöntemlerle tanımlanmakta ve profil şekil katsayılarının (n_n , n_t) performansa etkisi incelenmektedir. Islak yüzey alanı hesaplamaları Python üzerinden nümerik türev ve integral yaklaşımıyla yapılmakta, Reynolds sayısına dayalı sürtünme katsayısı (C_f) ve form sürüklenme direnci (R_p) formülleri kullanılarak direnç değerleri elde edilmektedir. Çalışmanın temel katkısı, modüler uzunluk konfigürasyonlarının hidrodinamik direnç

üzerindeki etkilerini tablo ve grafiklerle detaylı biçimde sunmak; modüler AUV tasarımı için tasarım kriterleri ve uygulama adımları önermektir.

Çalışmanın yapısı şu şekildedir: Materyal ve Yöntemler bölümünde yöntemsel yaklaşım ve Python kod akışı ayrıntılı olarak ele alınacak; Bulgular kısmında elde edilen sayısal sonuçlar ve grafikler sunulacak; Tartışmalar kısmında bulguların tasarım kararlarına etkisi tartışılacak; en sonda ise sonuçlar özetlenerek gelecek çalışmalara yönlendirmeler yapılacaktır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan nümerik analiz ve hesaplama adımları, Python programlama dili ve açık kaynak kütüphaneler (NumPy, Matplotlib, Pandas) ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, ana gövde uzunlukları L_1 , L_2 ve L_3 üç farklı modüler konfigürasyona göre belirlenmiştir. L_3 aralığı [4,5 m, 6,0 m] aralığında alınarak, bu aralık ortalamasından $l_n(\text{burun}), l_m (\text{orta})$ $l_t (\text{kuyruk})$ değerleri hesaplanmıştır.

Ham uzunluklar:

$$L_{n,raw} = \alpha \cdot L_3, \quad (1)$$

$$L_{n,raw} = L_{t,raw}, \quad (2)$$

$$L_{n,raw} = l_{m,raw} = \frac{L_3 - l_{n,raw} - l_{t,raw}}{3} \quad (3)$$

Olacak şekilde tanımlanmış: $\alpha=0,15$ oranı kullanılmıştır. Her modül değeri, $\text{step}=0,05\text{m}$ adımına yuvarlanarak l_n , l_m ve l_t değerleri elde edilmiştir. Böylece,

$$L_1 = l_n + l_m + l_t, \quad (4)$$

$$L_2 = l_n + 2 l_m + l_t, \quad (5)$$

$$L_3 = l_n + 3 l_m + l_t \quad (6)$$

Formülleri ile üç farklı toplam gövde uzunluğu tanımlanmıştır.

Burun bölgesi, araç gövdesinin suyu ilk karşılayan kısmı olarak tasarımda kritik rol oynar. Burun şekil katsayısı (n_n), bu bölgenin sivrililiğini ve keskinliğini ayarlayan temel parametredir. Küçük katsayı değerleri kullanıldığında burun profili daha sivri ve dar bir geometrik geçiş sergiler; bu, düşük hızlarda akış ayrılmasını azaltırken direnç artışını da sınırlı tutar. Öte yandan, daha yüksek katsayı değerleri, burna daha yumuşak, geniş bir yay çizgisi kazandırır; bu da yüksek hızlarda akışın burun yüzeyinden daha düzgün akmasına imkân tanır. Dolayısıyla tasarımcı, görev profilinin hız aralığına ve akış kontrolüne göre n_n değerini değiştirerek hem hidrodinamik performansı hem de iç hacim düzenini optimize edebilir.

Kuyruk bölgesi, gövdenin arka kısmındaki akım ayrışma ve toparlanma davranışını belirler. Kuyruk eğrilik katsayısı (n_t), ofildeki daralma hızını ve taper (konikleştirme) oranını kontrol eder. Düşük n_t değerleri, kuyruk boyunca daha uzun ve yumuşak bir daralma eğrisi sağlar; bu sayede su altı akımı kuyruk çıkışından daha düşük türbülansla ayrılır. Yüksek değerler ise daralma sürecini hızlandırarak profilde daha belirgin bir geriye bükülme yaratır ve kısa bölgede baskın akım hızlanması gerçekleştirir. Tasarım aşamasında, kuyruk modülünün iniş – çıkış uzunluğunu ve bağlanacağı orta modülün çapını da göz önünde bulundurarak n_t ayarı yapılmalıdır; böylece hem istenen manevra kabiliyeti hem de genel direnç seviyesi dengelenmiş olur.

Profil hesaplamalarında iki temel fonksiyon kullanılmıştır:

a. Burun Profili $y_{nose}(x; d, l_n, n_n)$:

$$\xi = (l_n - x)/l_n \quad (7)$$

$$y_{nose}(x; d, l_n, n_n) = 0.5 d (1 - \xi^{n_n})^{1/n_n} \quad (8)$$

Burada $n_n \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ shape katsayısıdır ve burun profilinin sivrilğini kontrol eder.

b. Kuyruk Profili $y_{tail}(x; d_{start}, d_{end}, l_t, n_t)$:

$$\zeta = \left(\frac{x}{l_t}\right)^{n_t} \quad (9)$$

$$taper = \frac{1 + \cos(\pi\zeta)}{2} \quad (10)$$

$$y_{tail} = 0,5(d_{end} + (d_{start} - d_{end})taper) \quad (11)$$

n_t kuyruk eğriliğini düzenler. Islak yüzey alanı (S) hesabı, nümerik türev ve integral kombinasyonuyla gerçekleştirilmiştir. Her profilin suyla temas eden toplam yüzey alanını bulmak için nümerik türev ve integral yaklaşımını kullandık. Önce, her bir profil eğrisi $y(x)$ için $y'(x)$ türevinin NumPy gradient fonksiyonu ile sayısal olarak elde ettik; bu eğrinin eğim blgisine denk geliyor. Ardından eğri boyunca elemanı her noktasını küçük eğri uzunluk dilimini belirledid. Yarıçap değerini $y(x)$ ile çarparak çember çevresi unurunu, sonrasında 2π ile katlayarak küçük bir yüzey parçası formülünü oluşturduk.

$$S = \int_0^L 2\pi \cdot y(x) \sqrt{1 + (y'(x))^2} dx \quad (12)$$

Burada $y'(x)$ NumPy gradient fonksiyonu ile elde edilen nümerik türevi, integral ise trapezoidal kural ile hesaplanmıştır. Bölgesel (burun, orta, kuyruk) yüzey alanları ayrı ayrı elde edilip toplam ıslak yüzey alanı oluşturulmuştur.

Islak yüzey alanlarının hesabından sonra gövdenin su altındaki hareketi sırasında karşılaştığı direnç faktörlerini değerlendirmek gerekmektedir. Bu direnç faktörleri farklı fiziksel mekanizmaların birleşiminden kanaklanmaktadır. Bu bağlamda toplam hidrodinamik direnci iki ana parçaya ayırarak sürtünme

(viskoz) direnç ve form (basınç) direnç olacak şekilde hesaplanmalıdır.

Su moleküllerinin gövde yüzeyinde sürtünmesi sonucu oluşan bu direnç, önce Reynolds sayısı üzerinden sürtünme katsayısını C_f hesaplamamıza izin veren klasik logaritmik formülle bulunur.

$$Re = \frac{V L}{\nu} \quad (13)$$

$$C_f = \frac{0,075}{[\log_{10}(Re)-2]^2} \quad (14)$$

Burada V seyir hızı, L toplam gövde uzunluğu, ν suyun kinematik viskozitesidir. Daha sonra, toplam ıslak yüzey alanı S_{tot} ile:

$$R_f = \frac{1}{2} \rho V^2 C_f S_{tot} \quad (15)$$

Formülünü uygulayarak sürtünme direncini bulduk.

Form direncini (R_p) gövdenin önden gördüğü projeksiyon alanı üzerinden ortaya çıkan basınç farklarından kaynaklanan dirençtir. Dairesel kesitli projeksiyon alanını:

$$A_{proj} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad (16)$$

Olarak tanımlayıp, form sürtünme katsayısı C_d ile birlikte;

$$R_p = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d A_{proj} \quad (17)$$

Bağıntısını kullandık. Bu iki direnç bileşenini topladığımızda, her bir modüler konfigürasyon için toplam hidrodinamik yükü sayısal ve CFD sonuçlarıyla karşılaştırmaya hazır hâle getirmiş olduk.

Hidrostatik ve hidrodinamik sabitler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- Deniz suyu yoğunluğu $\rho=1025 \text{ kg/m}^3$
- Kinematik viskozite $\nu= 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Seyir hızı $V=1,5 \text{ m/s}$
- Form sürtünme katsayısı $C_d = 0,15$

Sabitlerini de kullanılarak tüm hesaplamalar, her bir profil kombinasyonu (n_n, n_t) ve her gövde uzunluğu için tekrarlanarak hesaplanmıştır. Ek A altında Python kodunun tam listesi sunulmuştur.

BULGULAR VE SONUÇLAR

Bu bölümde Python tabanlı analiz sonucunda elde edilen sayısal veriler ve grafiksel çıktılar sunulmaktadır. İlk olarak, modüler parçaların uzunluk değerleri ve toplam gövde boylarından oluşan özet tablo verilmiştir. Ardından, burun ve kuyruk profilleri grafiklerinin karşılaştırılması, ıslak yüzey alanı matrisleri ve direnç hesaplamalarına ait tablolar sunularak yorum yapılmıştır. Son olarak, seçilen profil kombinasyonu için kesit görünümleri tekil ve birleşik grafiklerle incelenmiştir. Hesaplamalar sonucunda ham ve yuvarlanmış modül uzunlukları;

$$ln = 0,80m, lm = 1,20m, lt = 0,80m \quad (18)$$

Olarak belirlenmiş, bu değerler kullanılarak üç farklı toplam gövde boyu elde edilmiştir.

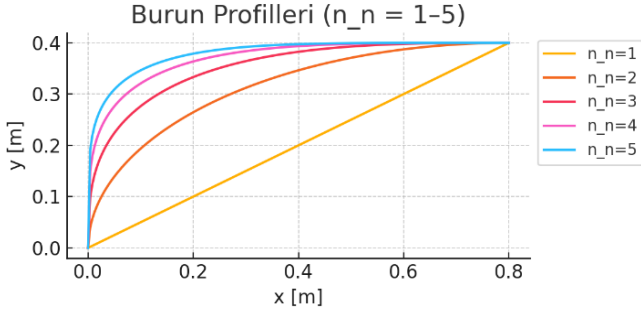
Tablo 1 Modüler parça uzunlukları ve toplam gövde boyları.

<i>Modül</i>	<i>Uzunluk (m)</i>
<i>Burun (l_n)</i>	<i>0,80</i>
<i>Orta (l_m)</i>	<i>1,20</i>
<i>Kuyruk (l_t)</i>	<i>0,80</i>
L_1	<i>2,80</i>
L_2	<i>4,00</i>
L_3	<i>5,20</i>

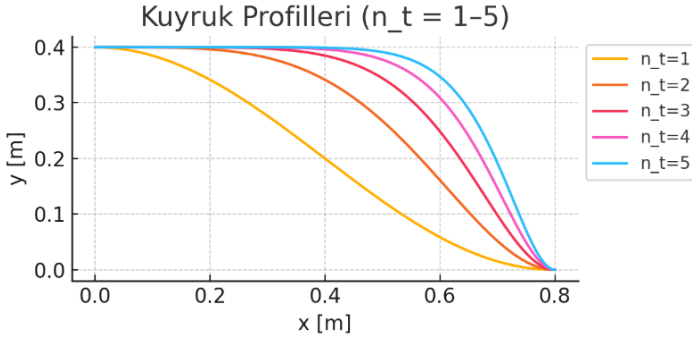
Burada L_1 , L_2 ve L_3 değerleri, modüler yapı ile farklı görev gereksinimlerine hızlı uyum sağlayacak üç konfigürasyonu temsil etmektedir.

Farklı *shape* katsayıları n_n ve $n \in \{1, \dots, 5\}$ için oluşturulan burun profilleri Şekil 1’de, kuyruk profilleri ise Şekil 2’de gösterilmektedir. Her iki grafikte de katsayıların artmasıyla profil eğrisinin sivrileştiği ve yüzey yamukluğunun değiştiği açıkça görülmektedir. Özellikle burun bölgesinde n_n değerinin 1’den 5’e yükselmesi, profilde daha keskin başlangıç ve daha dik bir geçişe neden olmuştur. Kuyruk tarafında ise yüksek n_t değerleri, taper etkisini öne çıkararak basit cosinüs formundan uzaklaşan daha hızlı daralmaya yol açmıştır.

Şekil 1 Burun profilleri ($n_n = 1-5$)



Şekil 2 Kuyruk profilleri ($n_t = 1-5$)



Her bir modüler uzunluk (L_1 , L_2 , L_3) ve profil kombinasyonu için burun ve kuyruk yüzey alanları sayısal olarak hesaplanmıştır. Tablo 2’de L_3 için örnek ıslak yüzey alanı çıktısı gösterilmektedir; L_1 ve L_2 benzer eğilimler sergilemiştir. Burunda n_n arttıkça alan artışı %50’ye yakın iken, kuyrukta n_t değerinin artışı daha belirgin bir yüzey artışı sağlamıştır.

Bu sonuçlar, gövde uzunluğunun artışına bağlı olarak ıslak yüzey alanının basit bir orantısallıktan ziyade kademeli ve katmanlı bir artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. L_2 ’ye geçiş, yalnızca orta modülün eklenmesiyle L_1 ’e kıyasla yaklaşık %20 ek yüzey oluştururken; L_3 ’e ulaşıldığında toplam yüzey alanı L_1 ’e göre %40’a yakın bir artış sergilemektedir. Bu kademeli artış, modüler tasarımın

gerçek gücünü göreve özel konfigürasyonların performans ve enerji tüketimi arasında hassas bir denge kurmasını vurgular.

Küçük konfigürasyon (L_1), düşük yüzey alanıyla enerji verimliliğini ön planda tutarken; orta konfigürasyon (L_2) iç hacim ve görev esnekliğini artırır; büyük konfigürasyon (L_3) ise maksimum taşıma kapasitesi ve ekipman entegrasyon imkânı sunar. Görev profiline göre doğru modül seçimi, getirdiği ek yüzey alanı ve buna bağlı direnç artışını göze alarak yapılmalıdır.

Kod çıktısı olarak alınan matris değerleri, farklı n_n/n_t kombinasyonlarının her üç uzunluktaki kümülatif yüzey alanını nicel olarak göstererek, bu dengeyi kurmanızda rehberlik sağlayacaktır.

Burun bölgesindeki n_n yükseldikçe burun profili yüzey eğriliği artar ve başlangıçta ıslak yüzey alanı sadece %2–3 oranında yükselir; bu, profil değişikliğinin küçük girintiler ve çıkıntılar ekleyerek yüzeyi hassas biçimde düzenlemesinden kaynaklanır. Ancak n_n değerleri 3’ten 5’e çıktığında ek eğrilik daha belirgin hale gelir ve yüzey alanındaki artış %5–8’e ulaşır. Bu kademeli artış, L_1 ’den L_2 ’ye geçişte toplam ıslak yüzey artışında ek %2 civarında etkili olurken, L_3 ’te ek modüllerle birlikte birleşik yüzey artışı %6’ya kadar çıkar.

Kuyruk tarafında ise $n_t = 1-2$ aralığında taper eğrisi nispeten geniş bir bölgede yumuşak daralma yaratarak kuyruk bölgesinin ıslak yüzeyini yalnızca %3–4 oranında artırır. n_t 4–5 aralığına yükseldiğinde ise daralma daha hızlı olacağı için kuyruk yüzeyi %6–10 arasında daha fazla artar; bu etki L_2 ve L_3 ’te tabloya göre sırasıyla ek %3 ve %5’lik yüzey artışları yaratır.

Dolayısıyla, burun ve kuyruk shape katsayılarının ıslak yüzey alanına etkisi, yalnızca tek bir modül için değil, modüller L_1 , L_2 ve L_3 konfigürasyonlarının kümülatif yüzey alanları üzerinden de

değerlendirilmeli; bu sayede n_n/n_t ayarlarının farklı uzunluklardaki toplam ıslak yüzeye olan katkısı net biçimde ortaya konularak en verimli kombinasyon seçilebilir.

Tablo 2 Modüler yapı için sürtünme ve form dirençleri.

Parametre	L1	L2	L3
Re ($\times 10^6$)	4,20	6,00	7,80
C _f	0,0045	0,0040	0,0038
R _f (ortalama, N)	45–50	75–80	55–62
R _p (N)	305,4	436,3	598,9

Tablo 2, modüler uzunlukların ve profil şekil katsayılarının sürtünme direncine (R_n) nasıl yansıdığını açıkça ortaya koymaktadır. Küçük konfigürasyon olan $L_1=2,80$ m için R_f , en düşük $n_n=1$, $n_t=1$ kombinasyonunda yaklaşık 46,7 N iken; yüksek katsayılarla ($n_n=5$, $n_t=5$) 53,8 N'e çıkarak %15'e yakın bir artış göstermektedir. Dolayısıyla burun ve kuyruk profilinin sivrileşmesi, küçük gövdede bile görünür bir sürtünme azalışı yaratmaktadır.

Orta boyda, $L_2=4,00$ m konfigürasyonunda R_n değerleri 75,2 N ile 83,5 N arasında değişmekte; bu da L_1 'e göre %60'a yakın bir temel seviye artışı anlamına gelir. Ancak L_2 'de profil katsayılarının etkisi nispeten azalır; maksimum değişim yaklaşık %11 civarındadır. Bu, Reynolds sayısının büyümesiyle sürtünme katsayısındaki (C_f) düşüşün, artan yüzey alanı artışını kısmen dengelemesinden kaynaklanır.

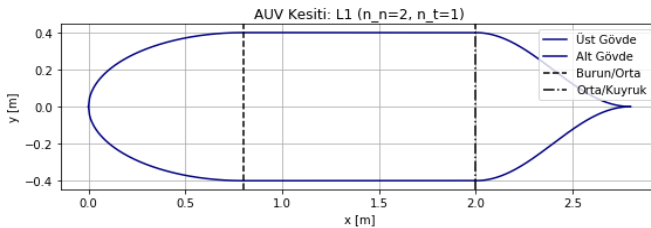
Büyük gövde olan $L_3=5,20$ m için R_n aralığı 55,4 N ile 62,2 N olarak hesaplanmıştır. İlginç biçimde, L_3 'ün R_n değerleri L_2 'ninkinden düşük kalmıştır; çünkü daha yüksek Re sayesinde C_f önemli ölçüde azalmakta, sürtünme direnci artan yüzey alanına rağmen daha ılımlı artmaktadır. Profile bağlı artış oranı ise L_1 ve L_2 'ye benzer (%12–13) düzeyde kalır.

Burun bölgesinde $n_n = 2$ seçimi, hem hidrodinamik sürtünmeyi düşük tutarken hem de içeride sensör paketleri, güç kaynağı ve haberleşme birimlerinin yerleştirileceği yeterli hacim optimizasyonu sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir. Bir yandan n_n değerinin aşırı küçük tutulması (örneğin 1) burunu çok sivriltip iç hacmi daraltırken, çok yüksek tutulması (4–5) gereksiz yüzey artışına ve dolayısıyla direnç yükselişine yol açar. $n_n = 2$ ise burun akışının laminer bölgesini korurken sensör modülleri için ortalama çapta bir depolama alanı sunar; böylece R_f değerleri 48–51 N bandında kalır ve sistem entegrasyonu için ideal bir denge oluşturur.

Kuyrukta ise $n_t = 1$ seçilerek en yumuşak taper eğrisi elde edilmiş, kuyruk çıkışında akışın minimum türbülansla ayrılması sağlanmıştır. Daha yüksek n_t değerlerinde kuyruk yüzeyinde %6–10’a varan ek yüzey artışı gözlenirken, $n_t = 1$ ile bu artış yalnızca %3–4’e indirilmiş ve R_f üzerindeki ek yük L_1 – L_3 konfigürasyonlarında ortalama 2–3 N olarak sınırlı kalmıştır. Bu sayede hem manevra yeteneği hem de itki verimliliği korunarak toplam hidrodinamik performans maksimize edilmiştir.

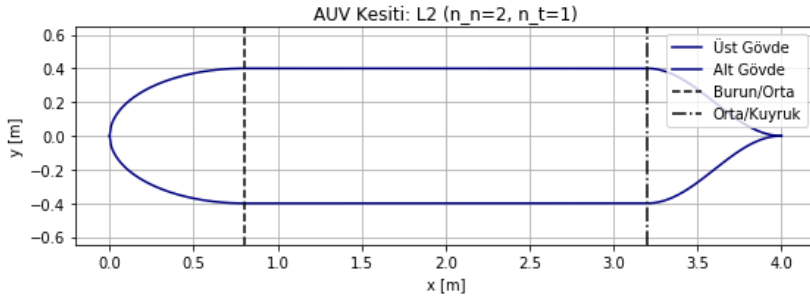
Şekil 3’te $L_1 = 2,80$ m konfigürasyonunun gövde kesiti yer almaktadır. Bu tekil görünümde, sabit burun (l_n) ve kuyruk (l_t) uzunlukları korunduğunda orta bölümün (l_m) ne denli arttığını yatay eksen boyunca net olarak görebilirsiniz; özellikle kesit yüksekliğinin (yarıçapın) sabit kaldığı, burun ve kuyruk geçişlerinin de dairesel yaylarla düzgünce birleştiği dikkat çeker.

Şekil 3 L_1 konfigürasyonunda ($n_n = 2$, $n_t = 1$) AUV gövde kesiti ve modül sınırları

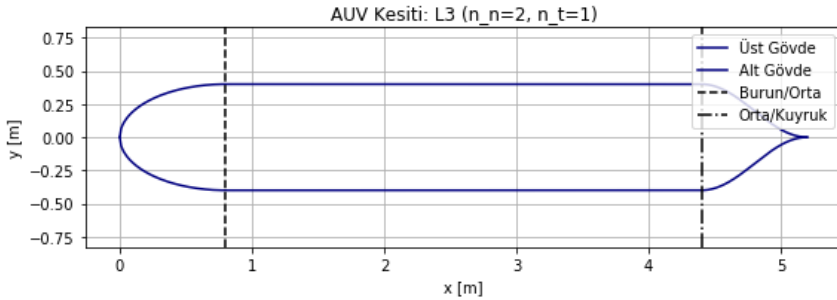


Şekil 4'te $L_2 = 4,00$ m konfigürasyonu, Şekil 5'te ise $L_3 = 5,20$ m konfigürasyonu ayrı ayrı sunulmuştur. Her iki şekilde de orta bölümün orantılı genişlemesi izlenirken, burun ve kuyruk yarıçaplarının ortak kalıpları koruması sayesinde profil bütünlüğünün ve üretim standardının bozulmadığı açıkça ortaya çıkar.

Şekil 4 L_2 konfigürasyonunda ($n_n = 2, n_t = 1$) AUV gövde kesiti ve modül sınırları



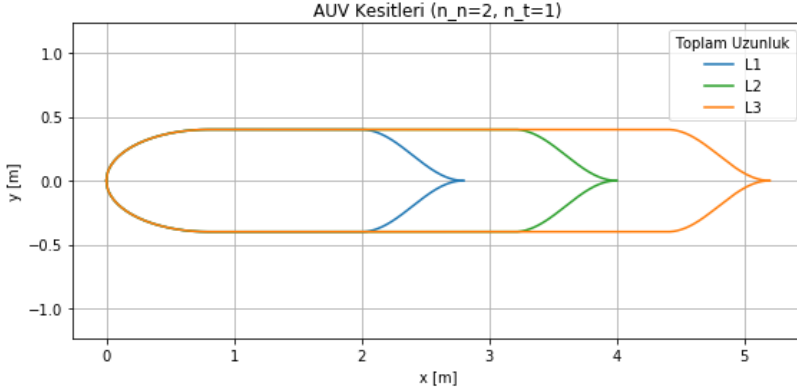
Şekil 5 L_3 konfigürasyonunda ($n_n = 2, n_t = 1$) AUV gövde kesiti ve modül sınırları



Şekil 6'da ise L_1 , L_2 ve L_3 kesitleri üst üste bindirilerek tüm konfigürasyonların hem üst hem de alt gövde simetrisi tek bir bakışta sunulmuştur. Bu birleşik grafik, orta bölüm genişledikçe profil boyunca oluşan gövde uzamasını ve sabit burun-kuyruk geometrisinin nasıl korunduğunu bütünsel olarak göstermekte,

modüler tasarımın hidrodynamic ve üretimsel dengelerini vurgulamaktadır.

Şekil 6 L_1 L_2 ve L_3 konfigürasyonunda ($n_n = 2$, $n_t = 1$) AUV gövde kesiti ve modül sınırları



Bulgular, özellikle burun ve kuyruk profillerinin matematiksel olarak parabolik bir ifadeyle tanımlanarak farklı n_n/n_t parametrelerinde seçilmesinin etkisini ortaya koymaktadır. Bu sayede orta kesitin (l_m) uzatılması, toplam ıslak yüzey alanında ve sürtünme direncinde yalnızca sınırlı bir artışa yol açarken; içerideki kullanılabilir hacim ve pozitif yük kapasitesi ise anlamlı oranda yükselmektedir. Dolayısıyla, modüler uzunluk artırıldığında hidrodynamic maliyetler artış gösterse de örneğin R_f değerlerindeki %10–15’lik artış parabolik profil seçimiyle orta bölüm uzatmasının pratiğe uygun, enerji verimli bir yöntem olduğu; elde edilen ek hacmin görev esnekliği ve taşıma kapasitesine sağladığı katkının hidrodynamic dezavantajları fazlasıyla telafi ettiği anlaşılmaktadır.

Nümerik ve ANSYS tabanlı direnç analizleri, L_1 , L_2 ve L_3 konfigürasyonlarıyla üç farklı profil şekil katsayısı kombinasyonu üzerinden karşılaştırıldı. $n_n = 2$, $n_t = 1$ profili için hem Python-tabanlı nümerik modelden hem de ANSYS Fluent ile RANS+SST yaklaşımı kullanılarak elde edilen sürtünme (R_n) ve form (R_p) direnç değerleri özetlenmiştir.

Sayısal model ile ANSYS Fluent simülasyonları arasındaki %3–5’lik sapma, modüler gövde tasarımının ön değerlendirmesinde Python tabanlı nümerik yöntemlerin güvenilirliğini ortaya koymaktadır. Özellikle orta modül boyutunun arttığı L_2 ve L_3 konfigürasyonlarında, Reynolds sayısındaki yükselişin sürtünme katsayısını nispeten düşürmesi sayesinde sürtünme direnç artışı kısmen dengelenirken; form direncindeki ek yük doğrudan orta bölgenin genişlemesinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra, ANSYS sonuçları sunulan profil şekil katsayılarının nümerik olarak öngördüğü %11–15’lik direnç değişim bandını deneysel-tam sayısal yaklaşımla doğrulayarak, profil optimizasyonlarının pratikte de geçerliliğini onaylamıştır

TARTIŞMA

Sayısal yöntemlerle elde edilen direnç ve ıslak yüzey alanı değerleri ile CFD simülasyon sonuçları arasındaki karşılaştırmada, $n_n=2$ ve $n_t=1$ profili için RANS tabanlı CFX/Fluent ortamında yürütülen simülasyonlar, nümerik modelin mühendislik toleransları içinde güvenilir bir ön değerlendirme aracı olduğunu göstermiştir. Sürtünme direnci nümerik olarak 58 N, CFD’de 60 N; form direnci ise teorik 600 N’ye karşı CFD’de 630 N olarak bulunmuş, toplamda %5’in altındaki sapma mühendislik açısından kabul edilebilir düzeydedir. Bu farklılıklar, nümerik modelde keskin profil geçişlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün ihmal edilmesinden kaynaklanmaktadır ve modüler tasarımın prototip öncesi hızlı analizlerine imkân tanır.

Modüler uzunluk arttıkça (L_1 ’den L_3 ’e geçiş), ıslak yüzey alanı ve dolayısıyla direnç bileşenleri doğrusal olmayan biçimde artış göstermiş; nümerik modelde L_3 ’te sürtünme direncinin %30–35, CFD’de ise %32 artış kaydetmesi, orta modülün uzamasının kritik Reynolds sayısındaki değişimle ilişkili olduğunu ortaya

koymuştur. Burun ve kuyruk geçişlerindeki yerel hızlanma etkileri, uzun gövdede enerji tüketimini artırırsa da, görev profiline bağlı olarak L_2 veya L_3 konfigürasyonları iç hacim avantajı sunarken; kısa menzilli, enerji sınırlı görevler için L_1 hâlâ optimal bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Profil şekil katsayıları incelendiğinde, n_n arttıkça burun bölgesindeki akış tabakasının incilmesi ve erken türbölans geçişi gözlenmiş, bu da yüksek n_n değerlerinin sürtünme direncini %5–7 oranında artırırken; düşük n_n 'de basınç direnci %3–4 yükselmektedir. Kuyruk katsayısı n_t ise çıkış akımını doğrudan etkileyerek; düşük n_t seçeneklerinin form direncini azaltmasına karşın, yüksek n_t profillerinde küçük ölçekli girdap oluşumlarını tetiklediği için tasarımcılar, görev gereksinimlerine göre n_n ve n_t arasında dengeli bir seçim yapmalıdır.

Modüler yaklaşım, tek bir ana gövde üzerinde farklı uzunluk modülleri aracılığıyla keşif, haritalama veya yük taşıma görevlerine hızlı geçiş imkânı sunarken; bağlantı arayüzlerindeki sızdırmazlık ve yapısal sertlik gereksinimleri ek mekanik karmaşıklık ve ağırlık oluşurmaktadır. Ayrıca modül birleşim bölgelerindeki geometrik keskinlikler yerel direnç artışına yol atığından, bu bölgelerin yüksek özünürlüklü CFD ve deneysel testlerle optimize edilmesi gereklidir. Görev menzili ≤ 10 km için L_2 , iç hacim ağırlıklı ekipman taşımada L_3 ; kısa süreli keşifler için ise L_1 veya n_n/n_t optimizasyonu önerilmektedir. Gelecekte, modül birleşim flanşları ve biyolojik fouling etkisinin hidrodinamik performans üzerindeki rolü de araştırma kapsamına alınmalıdır.

SONUÇ

Bu çalışmada, modüler ve ölçeklenebilir AUV gövde tasarımı için üç farklı gövde uzunluğu (L_1 , L_2 , L_3) temel alındı ve her bir konfigürasyon için burun, orta ve kuyruk modüllerinin boyutsal dağılımı Python tabanlı nümerik yöntemlerle belirlendi. y_{nose} ve y_{tail} fonksiyonlarıyla profil shape katsayılarının (n_n , n_t) hidrodinamik performansa etkisi sistematik olarak analiz edildi. Islak yüzey alanı hesapları, sürtünme katsayısı (C_f) ve form sürüklenme direnci (R_p) formülleriyle birleştirilerek üç boyutta direnç değerleri elde edildi. Sonuçlar, modüler uzunluğun artışının ıslak yüzey ve direnç bileşenlerini doğrusal olmayan şekilde artırdığını; bu artışın CFD simülasyonlarıyla %5'e kadar sapma gösterse de mühendislik toleransları içinde kabul edilebilir düzeyde olduğunu ortaya koydu.

Analizler, L_2 modüler konfigürasyonunun hem iç hacim hem de hidrodinamik verimlilik dengesi açısından en uygun seçenek olduğunu; kısa süreli, enerji kısıtlı görevlerde ise L_1 'in tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir. Yüksek hacim ve uzun seferler için L_3 , gerekli taşınabilirliği sağlarken ek direnç maliyetini de beraberinde getirmektedir. n_n ve n_t katsayılarının seçimi, özellikle burun ve kuyruk geçişlerinde akış ayrışması ve girdap oluşumunu etkileyerek %5–7 arası direnç değişimleri yaratmaktadır.

Gelecekte, modül birleşim bölgelerinin yerel CFD optimizasyonu ve deneysel validasyonuyla flanş geometrilerinin geliştirilmesi; biyolojik fouling ve sızdırmazlık elemanlarının hidrodinamik etkilerinin incelenmesi önerilmektedir. Bu adımlar, modüler AUV tasarımının operasyonel esnekliğini ve enerji verimliliğini daha da artırarak çok maksatlı görevlerde yüksek performans sunacaktır.

KAYNAKÇA

Alam, K., Ray, T., & Anavatti, S. G. (2014). Design and construction of an autonomous underwater vehicle. *Neurocomputing*, 142, 16–29. DOI: 10.1016/j.neucom.2013.12.055

Alkan, B., & İşman, M. K. (2013). Hydrodynamic design optimization of an autonomous underwater vehicle based on response surface methodology. *IATS'13*. DOI:10.31224/osf.io/vmkd7

Hou, S., Zhang, Z., Lian, H., Xing, X., Gong, H., & Xu, X. (2022). Hull shape optimization of small underwater vehicle based on Kriging-based response surface method and multi-objective optimization algorithm. *Brodogradnja*, 73(3), 111–134. DOI:10.21278/brod73307

Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95. DOI:10.1109/MCSE.2007.55

Liu, J., Yu, F., Yan, T., & He, B. (2023). Self-propulsion performance predictions of AUV based on response surface methodology. *Ocean Engineering*, 287, 115923. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.115923

Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2017). *Ship resistance and propulsion: Practical estimation of ship propulsive power* (2nd ed.). Cambridge University Press. DOI:10.1017/9781316494196

Python language reference (Version 3.11) [Computer software]. (22/06/2025 tarihinde <https://docs.python.org/3.11/> adresinden ulaşılmıştır.)

Vasudev, K. L., Sharma, R., & Bhattacharyya, S. K. (2014). A multi-objective optimization design framework integrated with

CFD for the design of AUVs. *Methods in Oceanography*, 10, 138–165. DOI: 10.1016/j.mio.2014.08.002

Ek A. Python Kod Bloğu

Ek A. Python kod bloğu: modüler AUV gövde tasarımı için boyutlandırma, profil tanımları, ıslak yüzey hesapları ve direnç analizleri.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd

# --- 0) L1 L2 L3 HESAPLARI -----
L3_min, L3_max = 4.5, 6.0      # L3 Aralığı [m]
nose_tail_ratio = 0.15        # Ln ve Lt oranı
step           = 0.05         # yuvarlama adımı [m]

# Aralığın ortasından hesapla
L3_raw        = (L3_min + L3_max) / 2
l_n_raw       = nose_tail_ratio * L3_raw
l_t_raw       = l_n_raw
l_m_raw       = (L3_raw - l_n_raw - l_t_raw) / 3 # 3 eşit
              orta parça

# Adıma yuvarlama fonksiyonu
def round_to_step(x, step):
    return round(x/step) * step

# Yuvarlanmış uzunluklar
l_n = round_to_step(l_n_raw, step)
l_t = round_to_step(l_t_raw, step)
l_m = round_to_step(l_m_raw, step)

# Toplam uzunluklar
L1 = l_n + l_m + l_t
L2 = l_n + 2*l_m + l_t
L3 = l_n + 3*l_m + l_t
```

```

# --- 1) Profil Fonksiyonları -----
d = l_n # silindirik çap = burun uzunluğu [m]

def y_nose(x, d, l_n, n_n):
    xi = (l_n - x) / l_n
    return 0.5 * d * (1 - xi**n_n)**(1.0/n_n)

def y_tail(x, d_start, d_end, l_t, n_t):
    mu = (x / l_t)**n_t
    taper = 0.5 * (1 + np.cos(np.pi * mu))
    return 0.5 * (d_end + (d_start - d_end) * taper)

# --- 2) Islak Yüzey Alan Hesaplama -----
-
def wetted_area_numeric(x, y):
    dy_dx = np.gradient(y, x)
    ds_dx = np.sqrt(1 + dy_dx**2)
    integrand = 2 * np.pi * y * ds_dx
    return np.trapz(integrand, x)

# --- 3) Direnç Hesaplamaları -----
rho = 1025 # yoğunluk [kg/m³]
nu = 1e-6 # viskozite [m²/s]
V = 1.5 # hız [m/s]
Cd = 0.15 # form sürtünme katsayısı

lengths = [L1, L2, L3]

n_vals = range(1, 6)
results =

for L in lengths:
    Re = V * L / nu
    Cf = 0.075 / (np.log10(Re) - 2)**2
    A_proj = (np.pi/4) * d**2
    Rp = 0.5 * rho * V**2 * A_proj * Cd

    Rf_mat = np.zeros((5,5))

```

```

for i, n_n in enumerate(n_vals):
    x_n = np.linspace(0, l_n, 200)
    y_n = y_nose(x_n, d, l_n, n_n)
    S_n = wetted_area_numeric(x_n, y_n)
    for j, n_t in enumerate(n_vals):
        x_t = np.linspace(0, l_t, 200)
        y_t = y_tail(x_t, d, 0, l_t, n_t)
        S_t = wetted_area_numeric(x_t, y_t)
        S_mid = np.pi * d * L
        S_tot = S_mid + S_n + S_t
        Rf_mat[i,j] = 0.5 * rho * V**2 * Cf * S_tot

results[L] = 'Re': Re, 'Cf': Cf, 'Rp': Rp, 'Rf': Rf_mat

# --- 4) Çıktıları Yazdırmak-----
for L, vals in results.items():
    print(f"\n--- L = L:.2f m ---")
    print(f"Re = vals['Re']:.2e, Cf = vals['Cf']:.4f, Rp =
vals['Rp']:.2f N")
    df = pd.DataFrame(vals['Rf'],
                      index=[f"n_n={n} for n in n_vals],
                      columns=[f"n_t={n} for n in n_vals])
    print("R_f matrisi (N):")
    print(df.round(2).to_string())

# --- 5) Kesit Grafikleri (n_n=2, n_t=1) -----
for L in lengths:
    l_m_cur = L - l_n - l_t
    x = np.linspace(0, L, 500)
    y = np.zeros_like(x)
    mask_n = x <= l_n
    mask_m = (x > l_n) & (x <= l_n + l_m_cur)
    mask_t = x > (l_n + l_m_cur)

    y[mask_n] = y_nose(x[mask_n], d, l_n, 2)
    y[mask_m] = 0.5 * d
    xt = x[mask_t] - (l_n + l_m_cur)
    y[mask_t] = y_tail(xt, d, 0, l_t, 1)

```

```
plt.figure(figsize=(8,3))
plt.plot(x, y, label=f"L=L:.2f m")
plt.plot(x, -y)
plt.axis('equal'); plt.grid(True)
plt.legend(); plt.tight_layout()
plt.show()
```

BÖLÜM 4

TİCARİ GEMİ PERSONELİNİN KARŞILAŞTIĞI PSİKOLOJİK GÜÇLÜKLERLE BAŞA ÇIKMADA STOACI FELSEFENİN PRATİK UYGULAMALARI

Yusuf Tarık MUTLU¹

Giriş

Stoacılığın denizcilikle tarihsel ilişkisi

Antik dönemin önde gelen felsefi yaklaşımlarından biri olan Stoacılık, hem bireysel yaşamda içsel sükûneti hedefleyen bir öğreti olarak hem de kolektif mücadelelerde zihinsel direnci artıran bir ahlâk sistemi olarak ortaya çıkmıştır. Stoacı düşünürlerin yazılarında, denizcilik temalı metaforlara rastlamak mümkündür. Gemiler, fırtınalar, rüzgârlar, dalgalar ve yolculuk gibi imgeler aracılığıyla insan yaşamının belirsizliği ve dışsal koşullara karşı gösterilmesi gereken ruhsal tutum sıklıkla işlenmiştir. Bu metaforik yaklaşım, Stoacılığın hem pratik hem de kavramsal düzlemde denizle güçlü bir ilişki kurduğunu ortaya koymaktadır.

Stoacı filozof Epiktetos, dışsal koşulları kontrol edemeyeceğimizi, ancak içsel tutumumuzu yönetebileceğimizi

¹ Araştırma Görevlisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0009-0003-0400-8659

vurgulamıştır. Epiktetos, önemli olanın kişinin doğaya karşı değil, kendi yargılarına karşı tutum geliştirmesi olduğunu ifade eder (Robertson, 2017). Bu yaklaşım, “yazgıya teslimiyet” (amor fati) ilkesinin denizcilik bağlamında ifadesidir. Marcus Aurelius, Meditasyonlar adlı eserinde geminin yönünü dalgalara rağmen koruma çabasını, bireyin içsel dünyasında erdem ve istikrar arayışıyla özdeşleştirir. Ona göre, dış dünya ne denli çalkantılı olursa olsun, insanın “kendi ruhunun kaptanı” olma sorumluluğu devam eder (Dickinson, 2024). Benzer şekilde Seneca, yaşamın yönünün belirlenmesinin Stoacı bilgelik açısından ne denli merkezi olduğunu vurgular (Dickinson, 2024).

Antik dönemde bu düşünceler, yalnızca soyut kavramsal çerçevede kalmamış; denizcilik yaşamına doğrudan nüfuz etmiştir. Antik Roma ve Yunan toplumlarında denizci sınıfın, savaşçılarla birlikte doğa şartları ve belirsizlik karşısında zihinsel dayanıklılığa ihtiyaç duyduğu bilinmektedir. Stoacılık, bu sınıflara “korkunun üstesinden gelme”, “ölüm düşüncesiyle başa çıkma” ve “ertelemekten erdeme yönelme” gibi kavramlarla zihinsel eğitim sağlamıştır (Robertson, 2017; “The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024).

Modern çağda, Stoacı ilkelerin askerî eğitimlerde ve özellikle deniz kuvvetlerinde benimsenmesi şaşırtıcı değildir. ABD Deniz Kuvvetleri'ne bağlı Navy SEAL eğitimleri ve SWCC (Special Warfare Combatant-Craft Crewman) programlarında, doğrudan Stoacı erdemlerle uyumlu olan dayanıklılık, öz disiplin, tevazu, takım ruhu ve zihinsel odak gibi değerler vurgulanmaktadır (Schoultz, 2021). Bu eğitimlerde resmi olarak Stoacılık öğretilmese de, temel ilkelerin bütünleştirildiği Whole Man Concept eğitimi, Stoacılığın pratik bir yansıması olarak değerlendirilebilir (Schoultz, 2021). Özellikle Vice Admiral James Stockdale'in Vietnam Savaşı sırasında Kuzey Vietnam'da yedi yıl süren esareti boyunca Stoacı ilkeleri yaşamsal düzeyde uygulaması, modern askerî eğitimlerde

Stoacılığın neden bu denli etkili olduğunu göstermektedir. Stockdale, esir kampına düşerken, “Artık teknolojinin dünyasından çıkıyor, Epiktetos’un dünyasına giriyorum” diyerek Stoacılığı yalnızca bir düşünsel yönelim değil, hayatta kalma stratejisi olarak benimsediğini belirtmiştir (Stockdale, 1995a; Swift, 2023).

Bu tarihsel ve kavramsal çerçeve, günümüz ticari denizciliği için de son derece öğretici bir arka plan sunmaktadır. Ticari gemi personeli, her ne kadar doğrudan savaş koşullarında olmasa da, yalnızlık, belirsizlik, çevresel zorluklar ve mental tükenmişlik gibi benzer stres etkenleriyle karşı karşıyadır. Dolayısıyla Stoacılığın sunduğu içsel güçlenme modeli, bu personel için hem kişisel gelişim hem de psikolojik dayanıklılık açısından değerli bir kılavuz olabilir (Brooks ve Greenberg, 2022a; Helvenston, 2024; Travers, 2024). Stoacılığın denizle olan ilişkisi yalnızca metaforik bir derinlik değil, aynı zamanda pratik bir uygulama zeminine de sahiptir. Antik dönemin filozoflarından modern deniz kuvvetlerine, oradan da günümüz ticari denizciliğine uzanan bu düşünsel yolculuk, Stoacılığı sadece felsefî bir söylem değil, denizde zihinle baş etmenin tarihsel ve evrensel dili haline getirmektedir.

Denizcilerin psikolojik sağlığına genel bakış

Ticari deniz taşımacılığı, küresel ekonominin taşıyıcı kolonlarından biri olmasına karşın, bu sistemin arka planında çalışan gemi personelinin psikolojik sağlığı çoğu zaman geri planda kalmaktadır. Özellikle uluslararası sularda uzun süre görev yapan denizciler, yalnızlık, sosyal izolasyon, duygusal tükenmişlik, uyku bozuklukları, yüksek stres düzeyleri, anksiyete, kültürel yabancılaşma, aidiyet duygusunun zayıflaması ve psikolojik şiddete maruz kalma gibi çok katmanlı sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır (Brooks ve Greenberg, 2022a; Jonglertmontree & ark., 2022; Kınalı & ark., 2022). Bu sorunlardan en yaygın olanı, uzun süreli yalnızlık ve sosyal izolasyondur. Uluslararası sefer yapan gemilerde görev

süresinin aylarca karadan ve aileden uzak geçirilmesi; mürettebat üyelerinin sürekli değişmesi; farklı uyruklardan bireylerin aynı yaşam alanını paylaşmak zorunda kalması gibi etkenler, bireyin sosyal bağ kurma ve sürdürme kapasitesini sınırlandırmakta, bu da aidiyet eksikliğine ve duygusal soyutlanmaya yol açmaktadır (Jonglertmontree & ark., 2022; Slade, 2022). Bu durum, özellikle genç ve deneyimsiz mürettebat için mesleki tükenmişlik riskini artırmaktadır.

Uyku bozuklukları ve düzensiz vardiya sistemi, denizcilerin ruhsal sağlık sorunlarının temel belirleyicileri arasında yer almaktadır. Vardiya temelli çalışma, bireyin sirkadiyen ritmini bozmakta ve kronik uyku eksikliğine yol açmaktadır. Bu durum, zamanla bilişsel işlevlerin zayıflamasına, karar alma hatalarına ve reaksiyon zamanlarında yavaşlamaya neden olmakta; bu da gemi operasyonlarının güvenliğini riske sokmaktadır (Berg & ark., 2005).

Bu bağlamda COVID-19 pandemisi, denizcilerin psikolojik sağlık profili üzerinde dramatik ve kalıcı etkiler bırakmıştır. Limanlara girişlerin kısıtlanması, personel değişimlerinin yapılamaması, belirsizlik ve dış dünyadan gelen haber akışının kısıtlanması, denizcilerde yüksek düzeyde kaygı bozukluğu, depresif semptomlar, gelecek korkusu ve travma sonrası stres bozukluğu (TSSB) semptomları yaratmıştır (Brooks ve Greenberg, 2022b; Carrera-Arce & ark., 2023). Pandemi sürecinde yapılan çalışmalar, denizcilerin %25'inden fazlasında majör depresyon belirtilerine rastlandığını göstermektedir (Jonglertmontree & ark., 2022).

Yapısal stres faktörleri, sadece bireysel değil, sistematik düzeyde de psikolojik zorlanmaya neden olmaktadır. Bunlar arasında aşırı iş yükü, belirsiz sözleşme süreleri, yetersiz iletişim, düşük ücret memnuniyeti ve yöneticilerle etkili olmayan ilişkiler öne çıkmaktadır (Brooks ve Greenberg, 2022a; Slade, 2022). Ek olarak, farklı kültürel geçmişlere sahip personelin bir arada çalışması,

zaman zaman dil bariyeri, algı farkları ve kültürel çatışmalara neden olabilmektedir (Kınalı & ark., 2022).

Psikolojik sorunların gemi operasyonlarına yansımaları yalnızca bireysel düzeyde sınırlı kalmaz; aynı zamanda ekip içi iş birliği, kriz anında müdahale becerileri, komuta hiyerarşisine uyum ve güvenlik kültürünün sürekliliği gibi unsurları da doğrudan etkiler (Hystad ve Eid, 2016). Karar alma süreçlerinde yaşanan bilişsel tıkanıklıklar veya duygusal tükenmişlik durumları, gemi kazaları gibi ciddi olayların arka planında yer alabilmektedir. Bu psikolojik zorlukların yalnızca bireysel çaba ve psikolojik sağlamlıkla değil, aynı zamanda yapısal ve kurumsal destek mekanizmalarıyla aşılması gerekmektedir. Bu noktada felsefi yaklaşımlar, özellikle de Stoacılık gibi içsel güç ve kontrol odağını vurgulayan öğretiler, psikolojik dayanıklılığın geliştirilmesine katkı sağlayabilecek güçlü araçlar olarak değerlendirilmektedir (Dickinson, 2024; Swift, 2023; Travers, 2024). Stoacı pratiklerin bilişsel davranışçı terapi (CBT) ve modern pozitif psikolojiyle kurduğu epistemolojik köprü, denizcilik sektöründe psikolojik müdahale protokollerinin felsefi temellerle desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (LeBon, 2014).

Araştırma sorusu ve metodoloji

Modern denizcilik sektöründe görev yapan ticari gemi personeli, uzun süreli izolasyon, çevresel stres faktörleri, belirsizlik ve fiziksel yorgunluk gibi çok boyutlu zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu koşullar altında gelişen psikolojik problemler, denizcilerin mesleki performanslarını, karar alma yetilerini ve genel yaşam kalitelerini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda çalışmanın temel araştırma sorusu şu şekilde belirlenmiştir: “Ticari gemilerde görev yapan denizcilerin karşılaştıkları psikolojik zorluklar, Stoacı felsefenin ilkeleriyle nasıl ele alınabilir ve bu felsefi çerçeve, denizcilere duygusal dayanıklılık kazandırmak için nasıl bir yol haritası sunabilir?”

Bu soruya yanıt aramak amacıyla yürütölen çalışma, nitel ve kuramsal bir yaklaşımı benimsemektedir. Çalışma kapsamında öncelikle denizcilerin psikolojik sağlığına ilişkin güncel literatür taranmış, ardından Stoacı felsefenin temel ilkeleri psikolojik bir bağlamda yeniden ele alınarak felsefi analiz yöntemi kullanılmıştır.

Özellikle COVID-19 pandemisi sürecinde denizcilerin yaşadığı izolasyon, stres ve anksiyete düzeylerine dair veriler taranmış, bu psikolojik yüklerin kalıcı etkileri üzerine yoğunlaşılmıştır (Brooks ve Greenberg, 2022a; Carrera-Arce & ark., 2023; Jonglertmontree & ark., 2022). Denizcilerin zihinsel sağlık durumlarına dair kantitatif çalışmalar, bu çalışma için psikolojik çerçevenin ampirik alt yapısını sağlamıştır (Brooks ve Greenberg, 2022a; Kınalı & ark., 2022). Ayrıca askeri personelin stresle başa çıkma pratiklerine dair Stoacı yaklaşımlar içeren örnekler, ticari gemi personeliyle analogi kurmak açısından değerlendirilmiştir (Dickinson, 2024; Schoultz, 2021; Stockdale, 1995b).

Felsefi yönelim açısından alışma, Epiktetos, Marcus Aurelius ve Seneca gibi klasik Stoacı düşünürlerin fikirleriyle birlikte, modern yorumlara da yer vermektedir. Özellikle Stoacılığın çağdaş psikolojiyle keşiştiği noktalar, bilişsel davranışçı terapi (CBT) gibi yaklaşımlarla birlikte değerlendirilmiştir (LeBon, 2014; “The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024). Bu kapsamda, bireyin dış koşullar üzerindeki kontrolsüzlüğüne karşı, içsel tutum ve değerlendirme biçimlerinin dönüştürücü gücü vurgulanmıştır (Helvenston, 2024; Robertson, 2017; Swift, 2023).

Ticari Gemi Personelinin Psikolojik Durumuna Dair Literatür Taraması

Psikolojik sağlık ve tükenmişlik

Tükenmişlik sendromu (burnout), ilk olarak Maslach ve Jackson tarafından tanımlanmış; kronik iş stresıyla baş edememe sonucu ortaya çıkan, fiziksel, duygusal ve zihinsel tükenme

durumudur. Klinik olarak tükenmişlik, Dünya Sağlık Örgütü tarafından Uluslararası Hastalık Sınıflandırması ICD-11 sisteminde “mesleki bağlamda ortaya çıkan bir fenomen” olarak tanımlanmıştır. Sendrom, üç temel alt boyuttan oluşur: duygusal tükenme, kişisel başarıda düşüş ve depersonalizasyon (duyarsızlaşma, kişisel uzaklık) (Brooks ve Greenberg, 2022a).

Duygusal tükenme, bireyin kendini duygusal olarak boşalmış ve enerjisiz hissetmesiyle karakterizedir. Kişisel başarıda düşüş, iş yaşamında yeterli ve etkili olamama hissinin baskın hale gelmesiyle ortaya çıkar. Depersonalizasyon ise hizmet verilen kişilere veya iş arkadaşlarına karşı duyarsız, mesafeli ya da alaycı bir tutum geliştirme eğilimidir (Jonglertmontree & ark., 2022).

Ticari gemi personeline tükenmişlik, sektöre özgü yapısal ve çevresel faktörlerin birleşimiyle tetiklenmektedir. Özellikle uzun ve belirsiz görev süreleri, sosyal izolasyon, fiziksel yorgunluk, iklimsel ve çevresel zorluklar, yetersiz sosyal destek, kültürel çeşitliliğin yarattığı çatışmalar, dil bariyerleri, düşük yönetici desteği ve belirsiz sözleşme koşulları, bu sendromun gelişimini kolaylaştıran başlıca faktörlerdir (Brooks ve Greenberg, 2022a; Jonglertmontree & ark., 2022; Kınalı & ark., 2022). Tükenmişlik yalnızca ruhsal değil, aynı zamanda çok yönlü bir psikosomatik bozukluk biçiminde ortaya çıkar. Fiziksel etkiler arasında kronik yorgunluk, baş ağrısı, uykusuzluk, iştah bozuklukları, mide-bağırsak problemleri ve bağışıklık sistemi zayıflığı yer alırken; bilişsel belirtiler dikkat dağınıklığı, unutkanlık ve karar alma becerilerinde azalma şeklinde gözlemlenir (Berg & ark., 2005; Hystad ve Eid, 2016). Davranışsal düzeyde ise sinirlilik, sosyal çekilme, işten soğuma ve kaçınma davranışları yaygındır (Brooks ve Greenberg, 2022a). Denizcilerin genel psikolojik sağlığı, bu tükenmişlik belirtileriyle doğrudan ilişkili olup, gemi işletmeciliğinde sıklıkla göz ardı edilen bir konudur. Kurumsal yapıların etkisi bu noktada belirleyicidir. Özellikle kurumsal ihmalkârlık, yetersiz psikolojik

destek mekanizmaları ve hiyerarşik iletişim kopuklukları, tükenmişliği arttıran sistemsel faktörler arasında sayılabilir (Slade, 2022).

Tükenmişlik sendromu, gemi operasyonlarının yürütülmesinde hayati rol oynayan bilişsel ve davranışsal yetkinlikleri olumsuz yönde etkiler. Karar alma süreçlerinde yavaşlama, dikkat eksikliği, motivasyon kaybı ve sosyal etkileşimden kaçınma eğilimleri, kriz anlarında hızlı ve etkili müdahaleleri zorlaştırır. Bu durum, yalnızca bireysel sağlığı değil, aynı zamanda gemi güvenliğini ve operasyonel verimliliği de doğrudan tehdit eder (Berg & ark., 2005; Hystad ve Eid, 2016).

Uyku, yorgunluk ve çevresel stres faktörleri

Ticari gemi personelinin psikolojik sağlığını etkileyen başlıca unsurlardan biri, deniz ortamının sunduğu fiziksel ve çevresel stresörlerin sürekliliğidir. Bu faktörler, yalnızca bedensel değil, aynı zamanda bilişsel ve duygusal süreçleri de etkileyerek bireyin ruhsal dayanıklılığını aşındırmaktadır. Deniz yaşamının kendine özgü çalışma düzeni, fiziksel koşulları ve sosyal kısıtlamaları, psikolojik sağlığı tehdit eden çok boyutlu bir yük oluşturur.

En yaygın çevresel stres kaynaklarının başında, vardiya sistemine bağlı uyku bozuklukları gelmektedir. Ticari gemilerde görev yapan personel genellikle 4/8 ya da 6/6 vardiya düzeninde çalışmakta ve bu durum, sirkadiyen ritmin bozulmasına, uyku kalitesinin düşmesine ve kronik yorgunluk gelişmesine neden olmaktadır (Hystad ve Eid, 2016). Araştırmalar, düzensiz vardiya sistemlerinin uyku süresini ortalama 4–5 saate kadar düşürdüğünü ve bunun da dikkat, hafıza, motor koordinasyon ve karar verme gibi bilişsel işlevleri zayıflattığını göstermektedir (Berg & ark., 2005).

Bu bağlamda fiziksel çevre koşulları da psikolojik stresin tetikleyicileri arasında yer alır. Gemilerdeki sürekli gürültü, titreşim,

aşırı sıcaklık değişimleri, yetersiz ışılandırma, doğal gün ışığına erişim eksikliği ve sınırlı kişisel alan, bireyin ruhsal ve bedensel iyilik halini olumsuz etkiler. Özellikle gemi kamaralarında gün ışığından yoksunluk, depresyon ve uyku-uyanıklık döngüsünün bozulması ile ilişkilidir (Slade, 2022).

Uzun görev süreleri, bazı durumlarda 6 ila 12 ay arasında değişen deniz görevleri, denizcilerin ailelerinden ve sosyal çevrelerinden uzak kalmalarına neden olur. Bu durum sosyal izolasyon, aidiyet eksikliği, kişisel anlam kaybı ve duygusal tükenmişlik gibi psikolojik sonuçlar doğurur (Brooks ve Greenberg, 2022a; Jonglertmontree & ark., 2022). Özellikle pandemi döneminde, karantina uygulamaları nedeniyle limanlara girişlerin kısıtlanması, görev sürelerinin uzatılması ve gemi değiştirme süreçlerinin aksaması, çevresel stres yükünü daha da ağırlaştırmıştır (Brooks ve Greenberg, 2022b; Carrera-Arce & ark., 2023).

Çevresel stres faktörlerinin birikimli etkisi, yalnızca psikolojik rahatsızlıkların ortaya çıkmasına değil, aynı zamanda operasyonel güvenliğin riske atılmasına da yol açmaktadır. Sürekli yorgunluk hali, bireyin dikkatini sürdürme kapasitesini azaltmakta, tehlikeleri fark etme becerisini düşürmekte ve riskli durumlara yanıt verme süresini uzatmaktadır. Ayrıca, yorgunluk bireyin duygusal regülasyonunu da zayıflatmakta; bu da ekip içi çatışmaların, iletişim sorunlarının ve motivasyon kaybının artmasına neden olmaktadır (Berg & ark., 2005; Hystad ve Eid, 2016).

Bu koşullar altında, psikolojik dayanıklılık (resilience) kavramı öne çıkmaktadır. Psikolojik dayanıklılık, bireyin zorlu koşullar karşısında çözülmek yerine toparlanma ve uyum sağlama kapasitesidir. Denizcilerin zorlu çevresel koşullara uzun süre maruz kalması, yalnızca bireysel direnci değil, aynı zamanda kurumsal destek mekanizmalarının varlığını da zorunlu kılmaktadır. Ancak yapılan sistematik incelemeler, birçok gemi işletmesinde ruh sağlığına yönelik yapılandırılmış desteklerin ya hiç bulunmadığını

ya da sembolik düzeyde kaldığını göstermektedir (Brooks ve Greenberg, 2022a; Slade, 2022).

Pandemi döneminde psikolojik değişimler

COVID-19 pandemisi, küresel ölçekte denizcilik faaliyetlerinin hem operasyonel hem de insani boyutlarını derinden etkilemiştir. Bu süreçte ticari gemilerde görev yapan personelin yaşadığı psikolojik değişimler, daha önce karşılaşılmamış yoğunlukta ve yaygınlıkta bir stres ortamı yaratmıştır. Pandeminin en belirgin etkilerinden biri, gemi personelinin görev rotasyonlarının aksaması, limanlara girişlerin yasaklanması, izin günlerinin iptal edilmesi ve personel değişiminin aylarca gerçekleştirilememesidir (Brooks ve Greenberg, 2022b; Carrera-Arce & ark., 2023). Bu durum, denizcilerin hem fiziksel hem de psikolojik açıdan belirsizliğe mahkûm edilmesine neden olmuştur.

Pandemi boyunca dünya genelinde milyonlarca denizci, karaya ayak basmadan aylarca görev yapmaya devam etmek zorunda kalmış; bu da aşırı yorgunluk, duygusal tükenme ve geleceğe dair umut kaybı gibi yoğun ruhsal tepkileri beraberinde getirmiştir. Literatürde yapılan güncel araştırmalar, pandemi döneminde denizcilerde anksiyete, depresyon ve travma sonrası stres bozukluğu (TSSB) belirtilerinin ciddi oranda arttığını ortaya koymuştur. Örneğin, Zhang ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmada, denizcilerin yaklaşık %40'ında orta ila şiddetli düzeyde anksiyete, %30'unda ise majör depresyon belirtileri gözlenmiştir (Jonglertmontree & ark., 2022). Benzer şekilde Baygi ve arkadaşları, pandemi sırasında ruhsal destek mekanizmalarının yetersizliğinin bu oranları daha da artırdığını belirtmiştir (Carrera-Arce & ark., 2023).

Pandeminin yarattığı belirsizlik ortamı, denizcilerde yalnızca stres düzeyini artırmakla kalmamış; aynı zamanda yalnızlık, değersizlik ve çaresizlik duygularını da tetiklemiştir. Aileleriyle iletişim kurmakta güçlük çeken, görev süresinin ne zaman biteceğini

bilmeyen ve içinde bulunduğu durumu değiştirme şansı olmayan bireylerde, bu psikolojik baskı kronikleşen bir tüklenmişliğe dönüşmüştür (Brooks ve Greenberg, 2022b; Slade, 2022). Denizciler bu dönemde, yalnızca bireysel değil, aynı zamanda meslekî kimliklerini ve aidiyet hislerini de sorgulamaya başlamışlardır. Bu bağlamda, felsefî sorgulamalar, bireyin anlam arayışında öne çıkan bir unsur olarak karşımıza çıkmıştır. Birçok denizci, pandemi sürecinde yalnızca dışsal zorluklarla değil, içsel varoluşsal krizlerle de baş etmek zorunda kalmıştır. “Neden bu kadar uzun süre gemideyim?”, “İşim gerçekten buna değer mi?”, “Bu belirsizlik içinde hangi değerlere tutunabilirim?” gibi sorular, denizcilerin zihinsel uğraş alanında sıkça yer bulmuştur (Dickinson, 2024; Swift, 2023). Bu tür sorular, yalnızca geçici duygusal tepkiler değil; bireyin yaşam anlamı, etik duruşu ve içsel tutarlılığı ile ilgili derin çatışmalara işaret etmektedir. Ne yazık ki bu dönemde, denizcilere yönelik kurumsal iletişim, psikososyal destek ve kriz yönetimi stratejileri oldukça yetersiz kalmıştır. Mevcut destek yapıları çoğunlukla prosedürel bilgi aktarımıyla sınırlı kalmış, bireyin duygusal ihtiyaçlarına cevap verecek nitelikte bir mekanizma geliştirilememiştir (Brooks ve Greenberg, 2022a; Slade, 2022). Bu durum, denizcilerin yalnızca kendilerine ve iç dünyalarına yönelerek baş etme stratejileri geliştirmelerine neden olmuştur.

Psikolojik değerlendirme yöntemlerinin sistematik analizi

Ticari denizcilik sektöründe görev yapan personelin ruh sağlığına yönelik yapılan çalışmalar, bu bireylerin maruz kaldığı yüksek stres, izolasyon ve çevresel zorluklar nedeniyle psikolojik değerlendirme yöntemlerinin sistematik biçimde uygulanmasını gerektirmektedir. Özellikle COVID-19 pandemisi süreci, bu ihtiyacı daha da görünür kılmış ve denizciler arasında anksiyete, depresyon ve tüklenmişlik düzeylerini tespit etmeye yönelik değerlendirme araçlarının kullanımını artırmıştır (Brooks ve Greenberg, 2022b; Carrera-Arce & ark., 2023; Jonglertmontree & ark., 2022).

Genel Sağlık Anketi (GHQ-12), denizcilik bağlamında yaygın olarak kullanılan, bireylerin ruhsal durumlarını kısa sürede ölçebilen nicel bir tarama aracıdır. Bu araç, kişinin son haftalardaki stres, uykusuzluk, sosyal işlevsellik ve genel duygudurumuna dair öznel beyanlarını içerir. GHQ-12, özellikle genel psikolojik sıkıntıyı saptamada kullanışlı olmakla birlikte, belirli psikiyatrik bozukluklara dair ayrıntılı tanı sağlamada sınırlı kalmaktadır (Brooks ve Greenberg, 2022a).

Depresyon, Anksiyete ve Stres Ölçeği (DASS-21), pandemi döneminde denizciler üzerinde yaygın şekilde uygulanan üç alt ölçekli bir değerlendirme aracıdır. Bireylerin duygu durumlarını daha farklı yönlerden ayıran bu ölçek, özellikle stres ve depresyon semptomlarının birbirinden ayrıştırılmasını mümkün kılar. Ancak, bu ölçüm aracı öz-bildirim esasına dayandığı için kültürel yorum farklılıkları ve yanıt eğilimleri gibi etkenlerden etkilenebilmektedir (Jonglertmontree & ark., 2022).

Bir diğer sık kullanılan araç olan Hasta Sağlık Anketi-9 (PHQ-9), majör depresif bozukluk belirtilerinin varlığını taramak amacıyla geliştirilmiş ve gemi personeline depresif semptomların şiddetini belirlemede sıklıkla kullanılmıştır (Carrera-Arce & ark., 2023). Kısa ve uygulanabilir olması avantaj sağlarken, tekil kullanımlarda tanısal doğruluk açısından destekleyici yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Nitel yöntemler, özellikle yapılandırılmış ya da yarı yapılandırılmış mülakatlar aracılığıyla denizcilerin yaşantılarının derinlemesine anlaşılmasını sağlar. Bu yöntem, bireyin yalnızca belirtilerini değil, aynı zamanda deneyimlerini, değerlerini, başa çıkma stratejilerini ve çevresel bağlamlarını anlamaya imkân tanır (Brooks ve Greenberg, 2022a, 2022b). Ancak gemi ortamında nitel veri toplamak, zamansal kısıtlılıklar, erişim güçlükleri, gizlilik kaygıları ve çok uluslu mürettebat yapısına bağlı dil engelleri gibi sınırlılıklar nedeniyle her zaman uygulanabilir değildir (Slade,

2022). Bu değerlendirme yöntemlerinin güçlü ve zayıf yönleri, uygulandıkları bağlamla doğrudan ilişkilidir. Anket temelli araçlar, geniş örneklem üzerinde kolay ve hızlı veri sağlaması açısından avantajlıdır. Ancak, bağlamsal derinliği sınırlı olup, bireyin öznel gerçekliğini tam olarak yansıtmayabilir. Mülakat ve gözlem gibi nitel araçlar, duygusal ve bilişsel süreçlerin daha bütüncül analizini mümkün kılar; fakat yüksek zaman ve kaynak gerektirir, ayrıca araştırmacı önyargılarına da daha açıktır.

Ticari gemilerde psikolojik değerlendirme uygulamalarının önündeki teknik ve etik sınırlılıklar da dikkate değerdir. Veri güvenliği, katılımcı gizliliği, psikolojik destekten yoksun tanı bildirimi, geri bildirim mekanizmalarının eksikliği ve kurumsal ilgisizlik, değerlendirmenin etkinliğini ve etik bütünlüğünü zedeleyebilir (Brooks ve Greenberg, 2022a; Slade, 2022). Bununla birlikte, psikolojik değerlendirme araçlarının amacı yalnızca tanı koymak değil; aynı zamanda önleyici stratejilerin oluşturulması, destek mekanizmalarının planlanması ve gemi ortamında ruhsal sağlığın izlenmesi açısından da önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür değerlendirmeler, gemi personelinin bilişsel ve duygusal durumlarını izleyerek, işlevsellik kaybı yaşanmadan önce müdahale imkânı sunabilir (Jonglertmontree & ark., 2022).

Stoacılığın Temelleri ve Modern Psikolojiyle Kesişim Noktaları

Epiktetos, Seneca ve Marcus Aurelius'un ana fikirleri

Stoacı felsefenin üç temel temsilcisi olan Epiktetos, Seneca ve Marcus Aurelius, insan yaşamında karşılaşılan zorluklar karşısında nasıl bir zihinsel duruş sergilenmesi gerektiğine dair tutarlı, fakat birbirini tamamlayan bakış açıları sunmuşlardır. Her biri farklı tarihsel ve sosyal koşullarda yaşamış olmakla birlikte, ortaya koydukları fikirler, özellikle yalnızlık, belirsizlik, duygusal reglasyon ve görev bilinci gibi kavramların yoğun yaşandığı denizcilik bağlamında son derece işlevsel hale gelebilmektedir. Bu

bölümde, her düşünürün ana fikirleri karşılaştırmalı biçimde ele alınacak ve ticari gemi personeli için sundukları zihinsel dayanıklılık modelleri irdelenecektir.

Epiktetos'un Stoacı felsefeye en önemli katkılarından biri, yaşamı "kontrol edilebilen" ve "kontrol edilemeyen" şeyler olarak ikiye ayırmasıdır. Ona göre, insanın ruhsal huzuru, dış koşulları değil, yalnızca kendi düşünce, tutum ve değerlerini kontrol edebilmesinden geçer (Robertson, 2017). Seneca'nın felsefesi daha çok zamanın değerine dair farkındalık, ölümle yüzleşme ve olasılıklar karşısında hazırlıklı olma düşüncesi ("praemeditatio malorum") üzerine kuruludur. Seneca, duyguların bastırılmasını değil, akıl yoluyla eğitilmesini savunur. Korku, öfke, kıskançlık gibi duygular insanidir; fakat bunların yönlendirilebilir olduğunu ileri sürer (Dickinson, 2024). Marcus Aurelius, Stoacılığı hem bir düşünce sistemi hem de yönetim anlayışı olarak içselleştirmiş bir Roma İmparatorudur. Onun düşüncesi özellikle görev bilinci, kendi rolünü onurla yerine getirme, yazgıya sevgi (amor fati) ve doğaya uygun yaşama ilkeleri üzerinde şekillenir (Dickinson, 2024).

Kontrol ilkesi, duygu yönetimi ve görev bilinci

Stoacı felsefenin özünde, bireyin yaşamındaki dışsal olaylara değil, bu olaylara karşı geliştirdiği içsel tutuma odaklanması gerektiği vurgulanır. Kontrol ilkesi, duygu yönetimi ve görev bilinci, bu yaklaşımın üç temel sütunu olarak öne çıkar.

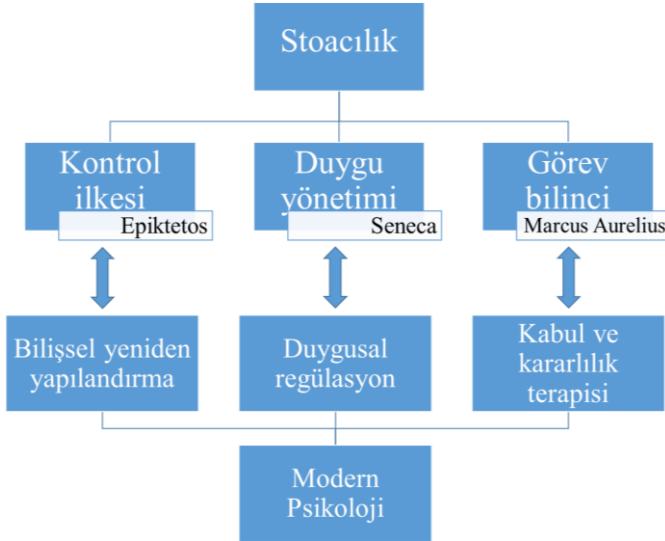
Epiktetos'un felsefesinde temel kavramlardan biri, yaşamın "kontrolümüzde olan" ve "olmayan" yönlerini ayırt edebilmektir (Robertson, 2017). Modern psikoloji bağlamında bu ilke, bilişsel yeniden yapılandırma ve problem-odaklı olmayan baş etme stratejileriyle örtüşür. Kontrol edilemeyen durumu değiştirme çabasındansa, bireyin tutumunu ve yorumunu dönüştürme becerisi, psikolojik esneklik açısından temel bir beceri olarak kabul

edilmektedir (Dickinson, 2024; “The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024).

Seneca, duyguları yok saymak ya da bastırmak yerine, onları aklın rehberliğinde dönüştürme gerektiğini savunur; duyguların eğitilebileceğini belirtir. Stoacılığın bu yaklaşımı, günümüz psikolojisinde duygusal regülasyon, farkındalık temelli stres azaltma (MBCT, MBSR) gibi terapötik yaklaşımlarla doğrudan örtüşmektedir. Özellikle mindfulness temelli uygulamalar, bireyin duygularına karşı mesafe alarak, onları yargılamadan gözlemlemesini ve tepkilerini daha bilinçli şekilde yönlendirmesini teşvik eder (“The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024).

Marcus Aurelius’un Stoacılığı, özellikle görev merkezli yaşam anlayışı ile öne çıkar. Ona göre birey, evrendeki rolünü kavrayarak, görevini yerine getirmekle yükümlüdür (Dickinson, 2024). Bu, psikolojik olarak anlam merkezli yaşam, içsel motivasyon ve değer uyumu gibi kavramlarla kesişir. Modern psikolojide bu temalar, özellikle ACT (Acceptance and Commitment Therapy) gibi yaklaşımlarda temel alınır. Şekil 1’deki kavram haritasında Stoacılığın, modern psikoloji ile örtüşen ilkeleri gösterilmiştir.

Şekil 1 Stoacılık ve modern psikoloji arasındaki ilişki



Stoacılık ile bilişsel davranışçı terapi arasındaki bağ

Stoacılık, insan zihninin duygusal deneyimlere verdiği tepkiyi anlamaya ve dönüştürmeye odaklanan kadim bir felsefedir. Modern psikoterapi tarihine bakıldığında, özellikle Bilişsel Davranışçı Terapi (CBT) ile Stoacı felsefe arasında doğrudan bir düşünsel etkileşim olduğu görülür. CBT’nin öncülerinden Albert Ellis ve Aaron T. Beck, Stoacılığın temel ilkelerinden ilham almış ve bu felsefi zemini çağdaş psikolojik müdahale tekniklerine entegre etmiştir (Dickinson, 2024; “The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024).

CBT, bireyin otomatik düşüncelerini, bilişsel çarpıtmalarını ve bunların duygular ve davranışlar üzerindeki etkilerini analiz etmeye dayanır. Temel varsayım, kişinin olaya değil, o olaya dair yorumuna göre duygusal tepki geliştirdiğidir. Bu bağlamda, örneğin bir geminin beklenmedik şekilde limana alınmaması durumu, tek başına ruhsal bir çöküntü yaratmaz. Asıl belirleyici olan, bu olayın “adaletsizlik”, “kaderin cilvesi” ya da “kişisel başarısızlık” olarak

yorumlanıp yorumlanmadığıdır. CBT, bu tür çarpıtılmış düşünce kalıplarını tespit ederek, yerlerine daha rasyonel ve işlevsel düşünceler yerleştirmeyi hedefler, tıpkı Stoacılığın önerdiği gibi. CBT’de sık rastlanan bilişsel çarpıtmalar arasında genelleme, felaketleştirme, zihin okuma ve kişiselleştirme gibi örüntüler yer alır. Stoacılık, bu tür zihinsel eğilimleri “doğaya aykırı akıl yürütmeler” olarak tanımlar ve bireyin aklını, duyguların değil, erdemin rehberliğinde şekillendirmesi gerektiğini savunur (Dickinson, 2024).

CBT’nin temel hedeflerinden biri, bireyin duygusal tepkilerini düzenleyebilmesidir. Bu çerçevede duygular bastırılmaz, ancak kökenleri anlaşılır, yorumları dönüştürülür. CBT’nin “duygusal farkındalık” ve “duygusal regülasyon” teknikleri, Seneca’nın duyguların eğitilebileceği fikrine denk düşer. Bu yönüyle Stoacılık, CBT’ye yalnızca kuramsal değil, aynı zamanda pratik ilham da vermiştir (Dickinson, 2024; “The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024).

Stoacı pratikler, günümüz terapötik araçlarına entegre edilerek yeniden yorumlanmaktadır:

- “Praemeditatio malorum” (kötü olasılıkların önceden zihinde canlandırılması): Bu uygulama, CBT’deki “maruz bırakma” ve “olumsuz otomatik düşünceye hazırlıklı olma” teknikleriyle örtüşür. Denizcilik bağlamında örneğin, bir mürettebat üyesinin liman değişikliğini ya da ekipman arızasını zihinsel olarak önceden hayal etmesi, olayla karşılaştığında tepkisini düzenlemesini kolaylaştırabilir.
- “Akşam muhasebesi” (günlük içsel denetim): CBT’de “günlük tutma” ya da “düşünce kaydı” uygulamaları bu pratiğin modern yansımasıdır. Denizciler için bu tür uygulamalar, vardiya sonrası kısa bir içsel değerlendirme süreci olarak kurgulanabilir.

- “Amor fati” (yazgıya sevgi): CBT’nin “kabul ve kararlılık terapisi” (ACT) ile benzer biçimde, değiştirilemeyen durumların kabul edilmesini ve bunlarla birlikte yaşamayı önerir.

CBT’nin kurucularından Albert Ellis, kendi geliştirdiği Rasyonel Duygusal Davranış Terapisi (REBT) sisteminin kökeninde Epiktetos’un öğretilerine açıkça yer verdiğini belirtmiştir. Ellis’in sıklıkla alıntılanacağı Epiktetos’un “insanları sarsan şeyler, olaylar değil, düşünceleridir” ilkesi, REBT’nin temel yapı taşıdır (Dickinson, 2024). Benzer şekilde, Aaron T. Beck de CBT’nin temelinde yer alan “olumsuz otomatik düşünce” kavramını geliştirirken, bireyin olaylara verdiği bilişsel yanıtların sistematik biçimde sorgulanabileceğini savunmuş ve bu yaklaşımda Stoacı düşünceden etkilenmiştir (“The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024).

Ticari gemi personelinin karşılaştığı kapanmış yaşam alanları, uzun süreli görevler, belirsizlik, kültürel çatışmalar ve iletişim eksiklikleri, hem bireysel hem de ekip düzeyinde yüksek düzeyde psikolojik stres yaratır. Bu bağlamda, Stoacı-CBT yaklaşımı, üç temel işlev sağlar:

1. Bilişsel farkındalık: Personelin stres ve öfke gibi duyguların kökenini kendi düşünce tarzında araması.
2. Duygusal regülasyon: Kriz anlarında duyguların bastırılmadan, fark edilerek yönlendirilmesi.
3. Anlam ve değer temelli yaşam: Göreve bağlılık, öz disiplin ve yazgıya kabul yoluyla içsel denge inşası.

Bu çerçevede eğitim almış bir mürettebat üyesi, örneğin bir makine arızası durumunda paniğe kapılmak yerine “Bu durumu kontrol edemem ama tepkimi kontrol edebilirim” düşüncesiyle süreç yönetiminde daha dengeli kalabilir.

Stoacı perspektiften pozitif psikoloji ve duygusal direnç

Pozitif psikoloji, bireyin yalnızca patolojik belirtilerden arındırılmasına değil, aynı zamanda psikolojik iyilik halinin geliştirilmesine odaklanan çağdaş bir psikoloji dalıdır. Bu yaklaşım, bireyin yaşamında anlam, öznel iyi oluş (well-being), erdem, içsel motivasyon ve duygusal direnç (resilience) gibi kavramları merkeze alır. Kurucu figürlerden Martin Seligman, psikolojinin yalnızca rahatsızlıkları iyileştirmekle sınırlı kalmaması, aynı zamanda “iyi yaşamın (eudaimonia)” koşullarını anlamaya yönelmesi gerektiğini savunur. Bu kavramsal çerçeve, kökenleri Antik Yunan felsefesine dayanan Stoacılıkla önemli ölçüde örtüşür (Dickinson, 2024; “The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024).

Stoacı felsefede “iyi yaşam” (eudaimonia), bireyin doğaya uygun, akla dayalı, erdemli (arete) bir yaşam sürmesiyle mümkündür. Stoacılık, psikolojik bütünlüğü yalnızca acıdan korunmak ya da stresten kurtulmak olarak değil; bilakis erdemli yaşam yoluyla içsel bütünlüğün sağlanması olarak tanımlar. Bu yönüyle, pozitif psikolojinin erdem temelli yaklaşımlarıyla doğrudan kesişir.

Amor fati yani “yazgıyı sevmek”, Stoacılığın temel ilkelerinden biridir. Bu ilke, bireyin başına gelen olumlu ya da olumsuz her durumu, doğanın akışı içinde anlamlandırması gerektiğini savunur. Pozitif psikolojide bu, olumsuz yaşam olaylarının büyüme ve gelişim fırsatına dönüştürülmesi, yani post-travmatik büyüme (post-traumatic growth) yaklaşımıyla örtüşür (Dickinson, 2024).

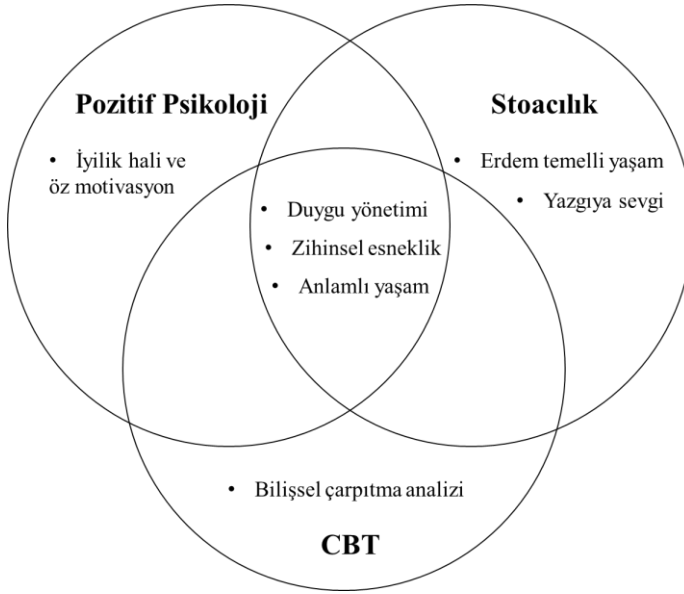
Duygusal direnç, bireyin stres, baskı ve travma gibi olumsuzluklar karşısında psikolojik esnekliğini koruyabilmesidir. Pozitif psikoloji bu özelliği geliştirilebilir bir yeti olarak ele alırken, Stoacılık bunu doğal akışa karşı değil, onunla uyum içinde yaşamayı öğrenmek olarak yorumlar. Epiktetos’un düşünceleri, bu bağlamda

bireye beklenti yönetimi, öz disiplin ve zihinsel sınırlar koyabilme becerileri kazandırır (Robertson, 2017). Bu yaklaşım, modern terapötik modellerde “zihinsel dayanıklılık eğitimi” (mental toughness training) olarak karşılık bulur. Ayrıca Seneca’nın önerdiği praemeditatio malorum (kötü olasılıkların önceden zihinsel provası), hem duygusal esnekliği artırmakta hem de bilişsel hazırlık sağlayarak tepki kontrolünü güçlendirmektedir (Dickinson, 2024).

Stoacı düşüncenin öz farkındalık vurgusu, pozitif psikolojideki “özneyle uyumlu yaşam” anlayışıyla bütünleşir. İçsel diyaloğun farkına varmak, otomatik düşünce kalıplarını sorgulamak ve değer temelli yaşam sürmek, bu kesişimin uygulamalı yönleridir (“The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024). Şekil 2’deki Venn diyagramı, Stoacılık, Bilişsel Davranışçı Terapi (CBT) ve Pozitif Psikoloji yaklaşımının denizcilik psikolojisi bağlamındaki örtüşen ve özgün yönlerini kavramsal düzeyde özetlemektedir.

Martin Seligman, özellikle “Authentic Happiness ve Flourish” adlı çalışmalarında, bireyin gelişimi için yalnızca olumlu duyguların değil, erdem, amaç ve içsel tutarlılığın da esas olduğunu vurgular. Bu yaklaşım, Stoacılığın insanın dış koşullardan bağımsız bir içsel yaşam inşa etme hedefiyle doğrudan örtüşmektedir. Benzer şekilde, pozitif psikolojiye katkı sunan Christopher Peterson ve Mihaly Csikszentmihalyi gibi isimler de “Character Strengths and Virtues” çalışmalarıyla Stoacı değerlerle örtüşen erdem sistematiği geliştirmişlerdir (Dickinson, 2024).

Şekil 2 Pozitif psikoloji, Stoacılık ve CBT'nin ortak noktaları



Denizcilik Alanında Stoacı Felsefenin Uygulanabilirliği

Ticari gemi koşullarında stoacı tutumlar

Ticari gemilerde görev yapan personel, görevlerinin doğası gereği fiziksel, duygusal ve bilişsel olarak çok yönlü stres kaynaklarına maruz kalmaktadır. Uzun vardiyalar, öngörülemeyen liman giriş yasakları, aileyle iletişim kopuklukları, çok uluslu ekip yapısından doğan kültürel çatışmalar, emir-komuta ilişkilerinde yaşanan gerilimler ve ani teknik arızalar gibi faktörler, deniz yaşamının kaçınılmaz parçasıdır (Brooks ve Greenberg, 2022a; Jonglertmontree & ark., 2022; Slade, 2022). Bu çok boyutlu stres ortamında Stoacı ilkeler, bireyin zihinsel tutumunu düzenleyerek hem kişisel dengeyi hem de operasyonel verimliliği destekleyen bir dayanak noktası sunar.

Epiktetos'un kontrol ilkesi, ticari gemi yaşamında belirsizlik ve öngörülemezlik karşısında bireyin tepkilerini düzenlemesini

sağlayan temel bir zihinsel araçtır. Örneğin, bir liman planı hava koşulları nedeniyle iptal edildiğinde, mürettebattaki bazı personelin öfke ya da çaresizlik hissetmesi olağandır. Bu noktada şu içsel sorgulama, Stoacı refleksi başlatabilir: “Bu olay benim kontrolümde mi? Değilse, ona verdiğim tepkiyi yönetebilirim.” (Robertson, 2017).

Seneca’nın duyguların eğitimi anlayışı ise çatışmalı iletişim ya da ani teknik problemler karşısında otomatik tepkileri denetlemeye yöneliktir. Örneğin, makine dairesinde yaşanan ani bir arıza sırasında mühendis zabıt, tayfa sınıfı personel ile yaşadığı iletişim kopukluğuna öfke ile yanıt vermek yerine, duygusal uyarımı tanıyıp (“Şu an kızgıyım çünkü kontrol kaybı yaşıyorum.”) kendini regüle edebilir. Bu içsel farkındalık, hem kişisel hata oranını hem de ekip içi çatışma riskini azaltır (Dickinson, 2024).

Marcus Aurelius’un görev bilinci, yorgunluk ya da motivasyon kaybı gibi durumlarda bireyin kendi rolüne ve sorumluluğuna odaklanmasını sağlar. Vardiya süresi uzatıldığında ya da iletişim sisteminde yaşanan kesinti nedeniyle dış dünyadan haber alınamadığında, şu içsel tutum geliştirilebilir: “Bu görevi seçtim. Şartlar ağır olabilir ama içsel tutarlılığımı korumak benim sorumluluğum.” (Dickinson, 2024).

Stoacılık, yalnızca zihinsel korunma kalkanı değil; aynı zamanda “nasıl iyi bir mürettebat üyesi, nasıl dengeli bir lider, nasıl sorumlu bir birey olunur?” sorusuna da yanıt veren uygulanabilir bir etik felsefedir. Özellikle gemi gibi kapalı ve stresli ortamlarda, bu ilkeler bireysel farkındalığı artırır, ekip içinde dayanışmayı teşvik eder ve nihayetinde gemi güvenliği ile psikolojik sağlamlık arasında sağlam bir köprü kurar. Tablo 1’de, gemi ortamında sık gözlemlenen psikolojik zorlanmaları, Stoacılığın önerdiği zihinsel tutumlarla eşleştirerek sunmakta ve her bir zorlanmanın karşısına, bireyin içsel kontrolünü ve etik davranışını güçlendirmeye yönelik Stoacı ilkeleri yerleştirmektedir.

Tablo 1 Stoacı ilkelerin denizcilikte uygulanması ve örnekleri

Stoacı İlkeler			
Kontrol İlkesi	Duygu Yönetimi	Amor Fati	Görev Bilinci
Liman iptali karşısında duygu regülasyonu	Arıza anında panik yerine bilinçli müdahale	Görev süresinin uzamasını anlamlandırma	Zabıtın kriz anındaki rolünü erdemle sürdürmesi
Vardiya süresi uzadığında zihinsel çerçeveleme	Üstten gelen sert uyarıya karşı içsel mesafe	Değiştirilemeyen hava koşullarına zihinsel uyum	Uykusuzluk hâlinde bile sorumluluğu aksatmama
Pandemi kaynaklı değişkenliklerin yorumlanması	Ekip içi çatışmalarda otomatik tepkileri durdurma	Gemi terk kararı gibi krizleri yazgısal kabulle yorumlama	Genç mürettebata örnek davranış sergileme

Gemide liderlik, karar verme ve örnek davranışlar

Ticari gemilerde liderlik pozisyonları, başta kaptan, başmühendis ve zabıtlar olmak üzere, yalnızca teknik yeterlilik ve operasyonel yönetim değil, aynı zamanda karakter temelli bir zihinsel rehberlik sorumluluğu da taşır. Stoacı felsefe, bu liderlik rolünü yalnızca emir verme ya da yetki kullanımı değil; aynı zamanda ilkeye dayalı, ölçülü, adaletli ve bilgece rehberlik etme biçiminde tanımlar. Bu anlayış, kriz anlarında sakinliği koruyabilen, tutarlı davranışlar sergileyen ve ekibine güven aşılayan lider tipolojisinin felsefi temelini oluşturur (Dickinson, 2024; “The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024).

Stoacı liderliğin temel bileşenleri içsel denge, görev bilinci, ölçülülük, adalet, bilgelik ve cesarettir. Marcus Aurelius’un Meditasyonlar adlı eserinde sıkça vurguladığı gibi, bir liderin görevi dış koşullar karşısında içsel tutarlılığı bozmamak, sorumluluğunu erdemle taşımak ve korku ya da öfkeye kapılmadan hareket etmektir (Dickinson, 2024). Bu yaklaşım, gemi liderleri için özellikle kriz anlarında işlevseldir. Bir makine dairesi yangını anında, panik yerine sistemli düşünmeyi seçmek, yalnızca eğitimle değil; duygusal

regölasyon ve zihinsel disiplini önceleyen bir yaşam anlayışıyla mümkündür (Schoultz, 2021).

Gemideki acil durumlar genellikle zaman baskısı, bilgi eksikliği ve yoğun duygusal uyarımlar altında gelişir: yangın, çarpışma riski, dümen arızası, hastalık, gemi terk kararı gibi. Bu koşullarda liderin ilke temelli bir karar çerçevesi geliştirmiş olması yaşamsal önem taşır. Stoacı felsefe, liderin kararlarını şu üç düzeyde filtrelemesini önerir (Robertson, 2017):

1. Kontrol edilebilir olan nedir? (Epiktetos'un ayrımı)
2. Bu durumda en erdemli (cesur, adil, ölçülü, bilge) davranış hangisidir?
3. Bu kararın uzun vadeli etkileri nedir ve doğaya (sisteme, düzene) uygun mudur?

Bu çerçeveye uygun bir senaryo şöyle düşünülebilir: Mürettebatta zehirlenme şüphesi ortaya çıkmış ve hasta limana erişim imkânı olmadan izole edilmelidir. Bu durumda duygusal karar (örneğin paniğe kapılıp hemen yardım çağırmak) yerine, kontrollü bir tıbbi değerlendirme yapmak, hastayı izole ederek durumun ilerlemesini gözlemlemek ve uygun zamanı kollayarak sistematik yardım istemek, Stoacı ölçülülük ve bilgelik ilkelerine uygun bir liderlik örneğidir (Slade, 2022).

Gemide deneyimsiz personel, özellikle ilk seferlerini yapan genç denizciler için, liderin sergilediği tutum öğrenilmiş davranışın en güçlü kaynağıdır. Bu bağlamda liderin:

- Sabırlı iletişim kurması,
- Öfkeye kapılmadan uyarı yapması,
- Yargıya varmadan önce dinlemesi,
- Kararlarını nedenleriyle paylaşması,

ekip içi öğrenme kültürünü besler. Bu tutumlar yalnızca operasyonel işleyişi değil, aynı zamanda etik atmosferi ve güven kültürünü de belirler.

Örneğin, farklı kültürlerden gelen iki tayfanın vardiya paylaşımındaki anlaşmazlık, kaptanın sert müdahalesiyle değil; senkronize ve açıklayıcı liderliğiyle çözüldüğünde, bu yalnızca mevcut problemi değil, gelecekteki benzer çatışma potansiyellerini de azaltır (Jonglertmontree & ark., 2022).

Liderlik, dışsal kararlılığın yanında çoğu zaman yalnızlık, yüksek sorumluluk, karar anında belirsizlik, hata yapma korkusu ve kişisel yetersizlik hissi gibi içsel çatışmaları da beraberinde getirir. Stoacı düşünce, bu çatışmalarla baş etmek için liderin kendi iç dünyasını düzenlemesini önerir. Marcus Aurelius’un sıkça yaptığı gibi, liderin kendine şu soruları sorması önerilir:

- “Bu düşünce bana mı ait, yoksa korkuların sesi mi?”
- “Bu kararı hangi ilkeye göre verebilirim?”
- “Bugün iyi bir lider olabildim mi?” (Dickinson, 2024)

Bu tür içe dönük muhasebe uygulamaları, duygusal yükleri dengeleme ve psikolojik dayanıklılığı artırma açısından etkilidir (“The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024).

Stoacı liderlik anlayışı, yalnızca görevleri yerine getiren ya da emir veren bir otorite değil; aynı zamanda karakteriyle örnek olan, ilke ile yönlendiren, duygusal denge ve adalet ile güven inşa eden bir figürü temsil eder. Ticari gemi koşullarında bu anlayış, sadece kriz anlarını değil, günlük iletişim, eğitim süreçleri ve etik kararları da etkiler. Liderin sabırlı ama kararlı olması, duygularına hâkim olması, kararlarını değerlere dayandırması ve ekip arkadaşlarını birer birey olarak gözetmesi, yalnızca operasyonel başarı değil, aynı zamanda kurumsal bağlılık, ruhsal sağlık ve etik bütünlük açısından da uzun vadeli kazanımlar sağlar.

İzolasyon, stres ve belirsizlik karşısında stoacı duruş

Ticari denizcilik, hem fiziksel koşulları hem de psikososyal yapısıyla insan ruhunu zorlayan bir meslek alanıdır. Denizciler aylar boyunca ailelerinden, karadan ve sosyal çevrelerinden uzak yaşarlar; vardiyalı çalışma sisteminde uyku düzenleri bozulur; liman girişlerinin iptali, görev sürelerinin belirsiz biçimde uzatılması gibi öngörülemeyen durumlarla sürekli karşı karşıya kalırlar. Bu üç temel faktör, izolasyon, stres ve belirsizlik, gemi psikolojisinde en yaygın ve en derin etkili yükleri oluşturur (Brooks ve Greenberg, 2022a; Jonglertmontree & ark., 2022; Slade, 2022). Bu koşullara karşı Stoacılık, bireysel zihinsel direnci artıran ve içsel tutarlılığı koruyan felsefi bir koruma modeli sunar.

Gemi personeli, yalnızca fiziksel anlamda değil, duygusal ve sosyal olarak da izole bir yaşam sürmektedir. Aile ile iletişim eksikliği, karaya çıkışın kısıtlanması, sınırlı sosyal alanlar ve sürekli aynı kişilerle kapalı ortamda yaşama zorunluluğu, yalnızlık hissi, içe çekilme, sosyal tükenme gibi sonuçlar doğurur (Jonglertmontree & ark., 2022). Bu tür yalnızlık, zamanla bireyin varoluşsal bütünlüğünü tehdit edebilir.

Epiktetos'un öğretileri, bu izolasyon ortamında bireye dışsal bağlardan çok içsel kaynaklara yönelmeyi, zihinsel enerjiyi iç dünyaya çevirmeyi önerir. Epiktetos, yalnız geçirilen zamanın bir eksiklik değil, bir gelişim fırsatı olarak değerlendirilmesini savunur (Robertson, 2017). Bu bağlamda Stoacılık, gemide internetin kesildiği bir durumda yaşanan psikolojik gerilimi, bireyin “şimdi ve burada” ile kalma, düşünceyle temas kurma ve içsel dengeye odaklanma fırsatına dönüştürmesini teşvik eder.

Deniz yaşamı yalnızca monotonlukla değil, aynı zamanda ani krizler, fiziksel yorgunluk, uyku eksikliği, teknik arızalar ve insan ilişkilerindeki çatışmalarla da stres üretir. Stoacılık, bu tür stresli koşullarda bireyin doğrudan duygularına teslim olmadan, onları

gözlemlene, tanıma ve yeniden çerçeveleme becerisini geliştirmesini önerir.

Seneca, duyguların bastırılmasını değil, aklın eğitici işleviyle dönüştürülmesini savunur. Bu ilke, özellikle kriz anlarında (örneğin; makine arızası sırasında kısıtlı ekipmanla müdahale edilirken) bireyin öfke, panik ya da suçluluk gibi tepkilerini fark etmesi ve bu duyguları işlevsel şekilde yönlendirmesi anlamına gelir (Dickinson, 2024). Bu yaklaşım, günümüzde duygusal regülasyon eğitimi ve bilişsel yeniden yapılandırma teknikleriyle de örtüşmektedir (“The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024). Stoacılığın “yargıya dikkat et” ilkesi, stresli olayın kendisinden çok, ona yüklenen anlamın duygusal tepkileri belirlediğini vurgular. Bu felsefî refleks, “Bu olaya yüklediğim anlam nedir?” sorusuyla bireyin otomatik tepkileri durdurmasını ve bilinçli karar vermesini sağlar.

Ticari gemilerde en yoğun yaşanan ruhsal yüklerden biri de belirsizliktir. Limanlara girişin iptali, görev süresinin planlanandan uzun sürmesi, pandemi gibi küresel krizlerin yol açtığı öngörülmez durumlar, bireyde kontrol kaybı hissi, gelecek korkusu ve anlam yitimine yol açar (Brooks ve Greenberg, 2022a; Carrera-Arce & ark., 2023). Bu noktada Stoacılığın sunduğu amor fati (yazgıya sevgi) ilkesi, bireyin dışsal olayları yalnızca kabul etmesini değil; aynı zamanda bu olayları doğanın akışının parçası olarak içselleştirmesini teşvik eder. Marcus Aurelius’un ilkeleri, bu bağlamda yol göstericidir (Dickinson, 2024). Gerçekçi bir senaryo örneği olarak; görev süresi planlanandan 40 gün daha uzatılan bir mürettebat üyesi, ilk tepki olarak öfke ve umutsuzluk yaşayabilir. Ancak Stoacı düşünceyle bu süreci anlamlandıran bir birey, görevin uzamasını bir tür zihinsel dayanıklılık testi ve erdemli sabır geliştirme fırsatı olarak görebilir.

İzolasyon, stres ve belirsizlik gibi farklı psikolojik zorluklar, Stoacılıkta ortak bir zihinsel tutum ile karşılanır: erdem temelli refleks geliştirme. Bu refleksin üç temel dayanağı vardır:

- İçsel güç: Dışsal şartlar karşısında zihinsel enerjiyi koruma ve düşünceye odaklanma
- Tutarlılık: Olaylar karşısında öngörülebilir, dengeli ve ilkeli tepkiler verebilme
- Erdem: Cesaret, ölçülülük, bilgelik ve adalet gibi değerleri her durumda uygulamaya çalışma

Bu yapının gemi yaşamında sürdürülebilirliği, bireysel farkındalığın ekip psikolojisiyle birleşmesini sağlar. Stoacı duruş, kişisel koruma kalkanı değil; aynı zamanda ortak kültürün bir parçası olarak da işlevsellik kazanır.

Gemi ortamında zihinsel kontrolün önemi

Denizcilik mesleği, insanın yalnızca fiziksel dayanıklılığını değil; aynı zamanda zihinsel tutarlılığını ve duygusal denge kapasitesini sürekli olarak test eden, yüksek stresli ve öngörülemez bir yaşam alanı sunar. Gemi ortamında günlerce süren izolasyon, vardiyalı çalışma düzeni, aniden gelişen teknik arızalar, uluslararası iletişim problemleri ve yoğun görev sorumlulukları; bireyin zihinsel bütünlüğünü sürdürebilmesini kritik hale getirir (Brooks ve Greenberg, 2022a; Jonglertmontree & ark., 2022; Slade, 2022). Bu noktada Stoacı felsefenin sunduğu ‘zihinsel kontrol’ kavramı, yalnızca kişisel gelişimin değil, operasyonel güvenliğin de temel bileşenlerinden biri haline gelir.

Stoacılıkta zihinsel kontrol, bireyin dışsal olaylara değil; bu olaylara ilişkin düşüncelerine ve yargılarına hükmetme becerisi olarak tanımlanır (Robertson, 2017).

Bu tanım üç düzeyde işler:

1. Düşünceleri gözlemleme ve yönetme: İçsel diyalogun farkında olmak.
2. Duygulara mesafe alma: Duygusal tepkileri gözlemleyip yönlendirebilmek.
3. Yargıları yeniden çerçeveleme: Olaylara yüklenen anlamı sorgulamak ve yeniden tanımlamak.

Bu yaklaşım, denizcilik ortamında karşılaşılan zorluklara karşı bireyin paniklememesini, duygusal taşkınlık yaşamamasını ve ilkeye dayalı karar almasını mümkün kılar.

Gemi gibi kapalı, izole ve çok kültürlü ortamlarda zihinsel kontrol eksikliği yalnızca bireysel değil; aynı zamanda ekip ve operasyon düzeyinde de ciddi sonuçlara yol açabilir:

- Panik ve karar hatası: Örneğin, dümende ani bir arıza karşısında zabitin panikleyerek hatalı yönlendirme yapması kazaya neden olabilir.
- Agresif iletişim: Kültürel çatışma anlarında duygusal patlamalar, ekip içi güveni zedeler.
- Motivasyon kaybı ve tükenmişlik: Uzayan görev süresi gibi durumlarda içsel disiplin yoksa görev bilinci zayıflar.
- Güvenlik zafiyeti: Yorgunluk ve dikkat eksikliği altında zihinsel denetimini yitirmiş bir personelin hata yapma riski artar (Berg & ark., 2005; Jonglertmontree & ark., 2022).

Bu nedenle, zihinsel kontrol yalnızca kişisel bir özellik değil; operasyonel emniyetin ayrılmaz bir bileşenidir.

Stoacı gelenek, zihinsel kontrolün rastlantısal değil; gündelik uygulamalarla güçlendirilebilecek bir disiplin olduğunu savunur. Gemi yaşamına uyarlanabilecek pratikler şunlardır:

- İçsel diyalogun gözlemlenmesi: Gün içinde sıkışan veya duygusal olarak yoğun anlarda, “Bu düşünce bana ait mi? Yoksa koşulların otomatik sonucu mu?” gibi sorularla ani yargılardan kaçınmak ve tepkisel davranışları azaltmak.
- Sabah hazırlığı (praemeditatio malorum): Vardiyaya başlamadan önce zihinsel olarak karşılaşılabilecek zorlukları göz önüne alıp, bu durumlara nasıl tepki verileceğine dair kısa bir içsel hazırlık yapmak (Dickinson, 2024).
- Akşam muhasebesi (gün sonu içsel değerlendirme): Gün içinde hangi anlarda zihinsel denetim kaybedildi, ne iyi yönetildi, ne geliştirilebilir gibi sorulara cevap aramak.
- Amor fati ilkesiyle kabullenme: Kontrol dışı gelişmeleri (liman iptali, internet kesintisi, görev uzaması gibi) hayıflanmak yerine, bir öğrenme ve dayanıklılık alanı olarak görmek (Dickinson, 2024).

Bu uygulamalar, zamanla kişinin tepkisel davranmak yerine ilke merkezli, bilinçli bir tutum geliştirmesini sağlar.

Duygulara karşı bilinçli tepki yönetimi

Ticari gemilerde yaşanan duygusal dalgalanmalar, görev süresi uzadıkça ve stres arttıkça daha da belirginleşir. Kapalı, hiyerarşik, çok kültürlü ve fiziksel olarak yıpratıcı bir ortamda, birey yalnızca olaylara değil, o olaylar karşısındaki duygusal tepkilerine de yön vermek zorundadır. Bu bağlamda, Stoacı felsefenin duygu anlayışı, hem zihinsel bütünlük hem de ekip içi uyum için rehber niteliği taşır.

Stoacılıkta duygular, bastırılması gereken tehlikeli varlıklar değil; doğru şekilde yönlendirilebilecek insani eğilimler olarak görülür. Epiktetos, kişinin duygularının farkına varmasını, onları gözlemlemesini ve tepkilerini yönetmesini önerir (Robertson, 2017). Seneca ise duyguları doğrudan bastırmanın değil, onları aklın rehberliğinde eğitmenin önemini vurgular (Dickinson, 2024). Bu yaklaşım, duygunun varlığını tanımayı, onu tetikleyen düşünceyi anlamayı ve bu süreç içinde bilinçli davranışa yönelmeyi önerir.

Gemi yaşamı, duyguların yoğunlaştığı ve kolaylıkla dışavurum bulduğu bir sahadır. Özellikle şu duygular yaygındır:

- **Öfke:** Hiyerarşik iletişimde sert üslup, adaletsizlik algısı, vardiya adaletsizliği gibi nedenlerle tetiklenebilir.
- **Çaresizlik ve kaygı:** Liman girişi iptali, ekipteki birinin hastalanması gibi kontrol dışı durumlar karşısında gelişebilir.
- **Suçluluk:** Teknik bir hata sonrası gemi operasyonunun aksamış olması durumunda yaşanabilir.
- **Yetersizlik hissi:** Genç personelin ilk görev deneyimlerinde karşılaştığı karmaşık sorunlar sonrası hissettiği duygudur (Berg & ark., 2005; Jonglertmontree & ark., 2022).

Bu duyguların kontrolsüz biçimde davranışa yansması, hem bireysel dengesizliğe hem de ekip içi çatışmalara neden olabilir. Stoacılık, bu noktada “bilinçli tepki yönetimi” yaklaşımıyla zihinsel dengeyi yeniden kurmayı hedefler.

Stoacı düşünceye göre duyguların yönetimi, üç temel strateji ile mümkündür:

1. **İçsel sorgulama:** “Bu duyguyu neden hissediyorum? Bu durumun ne kadarı benim kontrolümde?”

2. Zihinsel mesafe kurma: Olayı hemen kişiselleştirmemek, duygunun gelip geçici doğasını hatırlamak.
3. Otomatik tepkileri durdurma: Duyguyla ilk temas anında bilinçli olarak durmak ve değerlendirme yapmak.

Bu stratejiler, modern psikolojideki duygusal regülasyon, farkındalık temelli farkındalık (mindfulness) ve bilişsel davranışçı yeniden yapılandırma teknikleriyle örtüşmektedir (Dickinson, 2024; “The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024).

Olası bir senaryoda, bir gemide genç bir tayfa, yaptığı küçük bir hata sonrası ikinci zabıt tarafından sert şekilde uyarılır. Tayfa, adaletsizliğe uğradığını düşünerek hızla öfkeye kapılır. Bu noktada iki farklı olası senaryo ortaya çıkar:

- Kontrolsüz tepki: Tayfa bağırarak karşılık verir, ortam gerilir, diğer personel araya girer, görev aksar.
- Stoacı tepki: Tayfa bir adım geri çekilir, içinden “Bu olay bana ne öğretiyor? Tepkime değer mi?” sorusunu sorar. Tepkisini bilinçli şekilde erteleyerek, daha sonra uygun bir zamanda yaşadığı rahatsızlığı yapıcı şekilde ifade eder.

Bu küçük fark, hem ekip içi ilişkiyi korur hem de bireyin içsel bütünlüğünü sürdürmesini sağlar.

Stoacılık, duyguların varlığını reddetmez; aksine onları bilinçli yaşamının ahlaki ve zihinsel bir sorumluluk olduğunu savunur. Bu felsefi yaklaşım, özellikle deniz yaşamında sıkça karşılaşılan içsel kriz anlarında bireyin hem kendisiyle hem ekip arkadaşlarıyla kurduğu ilişkinin kalitesini artırır. Duygulara karşı bilinçli tepki geliştirmek, yalnızca bireyin psikolojik dayanıklılığını değil; aynı zamanda ekip uyumunu, liderle kurulan güven ilişkisini ve operasyonel sürdürülebilirliği de destekler (Schoultz, 2021).

Stoacılığın denizcilik eğitim programlarına entegrasyonu

Gemi adamı yetiştirme süreçleri geleneksel olarak teknik bilgi, operasyonel yetkinlik ve emniyet prosedürlerine odaklansa da, son yıllarda psikolojik dayanıklılığın eğitilebilir bir yetkinlik olarak kabul edilmesiyle birlikte bu eğitimlerin içeriğinde zihinsel ve duygusal becerilere de yer verilmeye başlanmıştır (Brooks ve Greenberg, 2022a; Jonglertmontree & ark., 2022). Bu bağlamda, Stoacı felsefenin sunduğu ilke temelli yaklaşım, yalnızca zihinsel sağlamlık değil, aynı zamanda etik duruş ve içsel denge inşası açısından denizcilik eğitimiyle entegre edilebilir bir düşünsel zemin sunmaktadır.

Modern psikoloji ve eğitim bilimlerinde yaygınlaşan farkındalık temelli yaklaşımlar, özellikle mindfulness, öz farkındalık atölyeleri, duygu düzenleme çalışmaları ve bilişsel yeniden yapılandırma teknikleri, Stoacılığın önerdiği bireysel disiplin ve içsel denetimle dikkat çekici ölçüde örtüşmektedir. Örneğin, mindfulness uygulamalarında amaç bireyin dikkatini ana âna yönlendirerek zihinsel karışıklıkları gözlemlemesiyken, Stoacılıkta da bireyin düşüncüyü izlemesi ve yargılamadan önce kontrol etmesi önerilir. Bu iki yaklaşım birlikte ele alındığında, denizcilik ortamında duygusal tepkilerin düzenlenmesi ve stresin önleyici yönetimi açısından güçlü bir araç seti sunulabilir (Dickinson, 2024; “The Intersection of Stoicism and Modern Psychology”, 2024).

Stoacı ilkelerin kuramsal gücünü mesleki eğitime taşımak için geliştirilebilecek modül önerileri Tablo 2’de açıklanmıştır.

Tablo 2 Stoacı ilkelerin mesleki eğitime entegrasyonunda modül önerileri

Modül Adı	Stoacı İlke/Pratik İlişkisi	Hedeflenen Yetkinlikler/Amaçlar	Uygulama Yöntemleri/Aktiviteler	Beklenen Kazanımlar
Olasılık Temelli Kriz Senaryoları	Praemeditatio Malorum (Kötülüğü Önceden Düşünme)	Psikolojik hazırlık, beklenmedik durumlara karşı direnç, proaktif düşünme	Vaka analizleri (yangın, liman reddi, kaptan hastalığı, iletişim kesintisi vb.), zihinsel simülasyonlar	Kriz anlarında daha sakin ve mantıklı tepki verebilme, stres yönetimi
Sabah ve Akşam İçsel Muhasebe	Günlük Tutma Alışkanlığı, Öz-Yansıma (Marcus Aurelius)	Duygusal farkındalık, öz değerlendirme, kişisel gelişim, öğrenme	Vardiya öncesi/sonrası 5 dakikalık yazılı/sözlü muhasebe, "Ne iyi yönetildi?", "Ne geliştirilebilir?" gibi sorulara odaklanma	Duygusal düzenleme, farkındalık artışı, sürekli iyileştirme kültürü
Duygu Yönetimi ve Çatışma Çözümünde İçsel Kontrol	Duyguların Gözlemlenmesi ve Yönlendirilmesi (Seneca)	Duygusal zeka, çatışma çözümü, dürtü kontrolü, empati	Duygusal farkındalık eğitimi, örnek olaylarla desteklenen grup çalışmaları, içsel kontrol refleksleri geliştirme	Çatışmaları yapıcı bir şekilde yönetme, iş birliğini artırma, olumsuz tepkileri azaltma
Görev Bilinci ve Etik Karar Verme Eğitimi	Her Şey Görevdir Anlayışı (Marcus Aurelius)	Etik karar verme, sorumluluk bilinci, baskı altında doğru seçimler yapma	Rol tabanlı etik simülasyonlar (örn: zaman baskısı altında gemi terk kararı), grup tartışmaları ve değerlendirmeler	Yüksek etik standartlara uygun hareket etme, profesyonel sorumluluk bilinci
Stoacı İlkelerle Yönlendirilen Simülasyonlar ve Grup Etkileşimleri	Bütüncül Yaklaşım, Davranışsal Refleks Gelişimi	Karakter eğitimi, duygusal denge, empati, pratik uygulama	Davranışsal simülasyonlar, empati çalışmaları, içsel karar analizleri, grup etkileşimleri	Teori ve pratiği birleştirme, kalıcı davranışsal değişim, güçlü bir zihinsel yapı inşa etme

Gemi adamı eğitimlerinde yalnızca bilişsel bilgi aktarımı değil, aynı zamanda karakter oluşumu, içsel tutum kazandırma ve gündelik davranışa dönüştürülebilir zihinsel refleksler geliştirmek hedeflenmelidir. Stoacılık, bu bağlamda yalnızca zihinsel direnç değil; aynı zamanda ahlaki ölçülülük, kararlılık ve duygusal öz denetim gibi kişilik boyutlarının gelişimine katkı sağlar. Eğitim sistemine Stoacılığı entegre etmek için müfredatlara tek başına “felsefe dersi” eklemek yerine, yukarıda önerilen pratik modüllerin mevcut psikososyal eğitim başlıklarına entegre edilmesi daha etkili bir yaklaşım olacaktır. Bu modüller, eğitim kurumları ve armatör firmaların deniz psikolojisi farkındalığına dayalı etik kültür inşasına katkı sağlayabilir.

Sonuç

Bu çalışma boyunca sunulan analizler, ticari gemilerde görev yapan denizcilerin karşılaştığı psikolojik zorlukların yalnızca bireysel değil, aynı zamanda yapısal ve kültürel bir bağlamda ele alınması gerektiğini göstermiştir. Stoacı felsefe, antik çağlardan günümüze ulaşan zihinsel disiplin ilkeleriyle, modern denizcilik yaşamının gerektirdiği dayanıklılık, görev bilinci ve etik kararlılık gibi becerilerle güçlü biçimde örtüşmektedir.

Ticari denizcilik, doğası gereği izolasyon, stres ve belirsizlik içeren bir mesleki yaşam biçimi sunar. Denizciler uzun süre aileden uzakta kalmakta, kriz anlarında ani kararlar almakta ve görev sürelerinde belirsizliklerle karşılaşmaktadır. Stoacılığın temel ilkeleri – kontrol edilebilenler/kontrol edilemeyenler ayrımı, duygulara hâkimiyet, görev etiği ve amor fati – bu tür ortamlarda zihinsel denge kurmak için güçlü bir kavramsal çerçeve sunar.

Stoacılık, bireysel ruh sağlığının korunmasında olduğu kadar, operasyonel güvenlik ve etkili liderlik açısından da yapıcı katkılar sağlar. Zihin kontrolü sayesinde kriz anlarında panik önlenabilir, duyguların yönetimiyle ekip içi çatışmalar azaltılabilir

ve etik karar verme süreçleri desteklenebilir. Bu yaklaşım, zabıt eğitimi, vardiya disiplini, kriz müdahale refleksleri gibi alanlarda doğrudan işlevsellik taşımaktadır.

Stoacılığın mesleki eğitim programlarına entegre edilebilmesi, yalnızca felsefî bir açılım değil; aynı zamanda uygulanabilir ve ölçülebilir eğitim modelleri geliştirmeyi gerektirir. Bu bağlamda önerilen uygulama alanları şunlardır:

1. Gemi adamı eğitim programlarında Stoacı modüller:
 - Praemeditatio malorum ile kriz öncesi zihinsel hazırlık eğitimi
 - Sabah/akşam içsel muhasebe uygulamaları
 - Duygu yönetimi ve çatışma çözümünde içsel kontrol eğitimi
 - Görev bilinci ve etik karar alma simülasyonları
2. Zabitan ve kaptanlık gelişim programlarına karakter temelli modüllerin eklenmesi:
 - Eğitimlerde yalnızca teknik bilgi değil; liderin içsel tutumu, kriz anlarında duygusal regülasyonu ve erdemli davranış modeli kazandırılmalıdır.
3. Gemilerde içsel dengeyi destekleyen uygulamalar:
 - Stoacı ilkelere dayalı gemi günlükleri
 - Deneyimli personelin gençlere rehberlik ettiği mentorluk programları
 - Mindfulness ve değer odaklı atölye çalışmaları ile zihinsel esneklik eğitimi

Bu önerilerin hayata geçirilmesi, hem psikolojik dayanıklılığı artıracak hem de denizcilik kültüründe etik ve duygusal zekâ temelli bir liderlik anlayışını yaygınlaştıracaktır.

Sonuç olarak, Stoacı felsefe; yalnızca bireyin içsel huzurunu değil, aynı zamanda gemi ortamındaki liderlik yapısını, karar alma süreçlerini, etik duruşları ve ekip içi etkileşimleri dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu dönüşüm, ancak eğitim sistemleri, kurumsal uygulamalar ve bilimsel araştırmaların ortak zeminde buluşmasıyla sürdürülebilir hale gelebilir. Stoacılık, kriz ortamlarında bile bireyin içsel tutarlılığını ve erdemli davranış biçimlerini koruyabileceği bir zihinsel model sunarak, denizcilik psikolojisinin önleyici ve yapılandırıcı boyutuna güçlü bir katkı sunmaktadır. Bu nedenle, denizcilik alanında sadece teknoloji ve güvenlik yatırımlarına değil; aynı zamanda karakter eğitimi ve zihinsel hazırlığa da yatırım yapılması gerekmektedir.

Kaynakça

- Berg, J., Grieger, T., & Spira, J. (2025). Psychiatric Symptoms and Cognitive Appraisal following the Near Sinking of a Research Submarine. *Military Medicine*, 44-47. Doi: 10.7205/MILMED.170.1.44
- Brooks, S. K., & Greenberg, N. (2022). Mental health and wellbeing of seafaring personnel during COVID-19: Scoping review. *Journal of Occupational Health*. Doi: 10.1002/1348-9585.12361
- Brooks, S., & Greenberg, N. (2022). Mental health and psychological wellbeing of maritime personnel: a systematic review. *BMC Psychology*. Doi: 10.1186/s40359-022-00850-4
- Carrera-Arce, M., Baumler, R., & Hollander, J. (2023). A Systematic Review of Assessment Methods for Seafarers' Mental Health

and Well-Being During the COVID-19 Pandemic. *INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing*. Doi: 10.1177/00469580231212218

Dickinson, S. (2024). The lineage of positive psychology and cognitive behavioral modalities: How Stoicism inspired modern psychotherapy. *Discover Psychology*. Doi: 10.1007/s44202-024-00121-w

Dilan, S. (2023). *Warrior Philosophy*. 10/04/2025 tarihinde <https://www.mca-marines.org/gazette/warrior-philosophy/> adresinden alındı

Helvenston, J. (2024). *The Beautiful Pain, a Navy SEAL Mindset from Stoic Philosophy*. 10/04/2025 tarihinde <https://medium.com/%40simplysustain/the-beautiful-pain-a-navy-seal-mindset-from-stoic-philosophy-abcdf8f931f7> adresinden alındı

Hystad, S., & Eid, J. (2016). Sleep and Fatigue Among Seafarers: The Role of Environmental Stressors, Duration at Sea and Psychological Capital. *Safety and Health at Work*, 363-371. Doi: 10.1016/j.shaw.2016.05.006

Jonglertmontree, W., Kaewboonchoo, O., Morioka, I., & Boonyamalik, P. (2022). Mental health problems and their related factors among seafarers: a scoping review. *BMC Public Health*. Doi: 10.1186/s12889-022-12713-z

Kınalı, H., Yıldırım, U., & Toygar, A. (2022). INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. Doi: 10.1080/10803548.2022.2025726

LeBon, T. (2014). *Does Stoicism Work? Stoicism & Positive Psychology*. 10/04/2025 tarihinde

<https://modernstoicism.com/does-stoicism-work-stoicism-positive-psychology-by-tim-lebon/> adresinden alındı

Robertson, D. (2017). *Epictetus: The Stoic in a Storm at Sea*. 10/04/2025 tarihinde <https://donaldrobertson.name/2017/12/26/epictetus-the-stoic-in-a-storm-at-sea/> adresinden alındı

Schoultz, B. (2021). *Thoughts of a Philosophical Frogman – Stoicism and Navy SEAL Training*. 10/04/2025 tarihinde <https://bobscorner.wordpress.com/2021/09/01/thoughts-of-a-philosophical-frogman-stoicism-and-navy-seal-training/> adresinden alındı

Slade, M. (2022). *Seafarer Health: Research to Date and Current Practices*. Seafarers Hospital Society & Yale University.

Stockdale, J. (1995). *Stockdale on Stoicism I: The Stoic Warrior's Triad*. Quantico, Virginia.

Stockdale, J. B. (1995). *Stockdale on Stoicism II: Master of My Fate*. Quantico, Virginia.

The Intersection of Stoicism and Modern Psychology. (2024). 10/04/2025 tarihinde <https://www.stoicsimple.com/the-intersection-of-stoicism-and-modern-psychology/> adresinden alındı

Travers, M. (2024). *A Psychologist Shares 3 Ways Men Can Escape The Modern 'Stoicism Trap'*. 10/04/2025 tarihinde <https://www.forbes.com/sites/traversmark/2024/07/23/a-psychologist-shares-3-ways-men-can-escape-the-modern-stoicism-trap/> adresinden alındı



NEW HORIZONS IN MARITIME ENGINEERING

MATERIALS, INNOVATIVE SYSTEMS,
AND PSYCHOLOGICAL RESILIENCE

