
DENİZ VE GEMİ MÜHENDİSLİĞİ DEĞERLENDİRMELERİ

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Ali Umut ÜNAL

yaz
yayınları

Deniz ve Gemi Mühendisliği Değerlendirmeleri

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Ali Umut ÜNAL

yaz
yayınları

2025

Deniz ve Gemi Mühendisliği
Değerlendirmeleri

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Ali Umut ÜNAL

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5838-80-3

Ekim 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

- Scrubber Sistemleri ile Kükürt Emisyonlarının
Azaltılması ve Denizcilik Sektörüne Etkileri.....1**
Yeliz ÇELİK, Turgay BATTAL
- Denizcilik Örgütlerinde Duygusal Zekânın ve Empatinin
Rolü.....20**
Yeliz ÇELİK
- Economic Impacts, Compliance and Future
Perspectives of the EU ETS in Maritime Shipping33**
Yusuf Tarık MUTLU
- The Impact of High Stress on Memory and Cognitive
Functions in Seafarers55**
Yusuf Tarık MUTLU

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

SCRUBBER SİSTEMLERİ İLE KÜKÜRT EMİSYONLARININ AZALTIKMASI VE DENİZCİLİK SEKTÖRÜNE ETKİLERİ

Yeliz ÇELİK¹

Turgay BATTAL²

1. GİRİŞ

Deniz taşımacılığı, malların uzun mesafelerde verimli bir şekilde taşınmasını garanti ederek küresel ticaret alanında çok önemli bir rol oynamakta; böylece çeşitli pazarlara erişilebilirliği artırmakta ve lojistik harcamaları en aza indirmektedir. Bu yönüyle, uluslararası tedarik zincirlerinin işlevselliği için gerekli olan ihracat-ithalat faaliyetlerinin temelini oluşturmaktadır. Özellikle malların farklı noktalara etkin bir şekilde ulaştırılmasını sağlayarak pazarlara erişimi teşvik etmekte ve lojistik maliyetlerin azaltılmasına katkı sunmaktadır. Bu da uluslararası tedarik zincirlerinin bütünlüğünü korumada kritik bir işlev üstlenmesini sağlamaktadır (Мельник, 2023). Nitekim, uluslararası pazarda taşınan malların yaklaşık %90'ının deniz taşımacılığı yoluyla gerçekleştiriliyor olması, küresel denizcilik sektörünün önemini açıkça ortaya koymaktadır (Yagci ve Noordali, 2024). Bu taşımacılık türü malların uluslararası sularda serbestçe hareket etmesini sağlayarak ticaretin gelişmesine ve ekonomik kalkınmanın desteklenmesine olanak tanımaktadır

¹ Öğr. Gör, Kocaeli Üniversitesi, Karamürsel Denizcilik Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri, Deniz Ulaştırma ve İşletme, yeliz.celik@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4766-8249.

² Dr. Öğr. Üyesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Barbaros Hayrettin Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği, turgaybattal@iste.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0710-4692.

(Oğuz, 2024). Bu bağlamda, gemi, liman, altyapı ve lojistik sũreçlerini de kapsayan deniz taşımacılığının sũrekli olarak gelişmesi, sadece ticaret verimliliğini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda kũresel ekonominin sũrdũrũlebilirliđine katkı sağlamakta ve ũlkelerin uluslararası deniz taşımacılığı alanında daha etkin bir aktũr olmalarına olanak tanımaktadır. (Мельник, 2023).

Ancak tũm bu ekonomik ve lojistik katkılarına rağmen, deniz taşımacılığı çevresel aııdan birtakım olumsuz etkiler de barındırmaktadır. Deniz taşımacılığı ekolojik sistemler ũzerinde ũnemli bir etkiye sahiptir ve hava kalitesinin bozulmasına, sera gazlarının emisyonuna yol aıımaktadır (Walker ve arkadaşları, 2019). Ayrıca, gemilerinin seyir faaliyetleri, iklim değişikliği ũzerinde belirgin bir etkiye sahip olan karbondioksit emisyonlarının oluşumunda ũnemli bir rol oynamaktadır (Kosowska-Stamirowska, 2020). Deniz ve liman faaliyetleri bũlgesel atmosferik ve su kalitesini bozma potansiyeline sahipken, balast suyunun değiştirilmesi gibi sũreçlerde istilacı tũrlerin yayılmasını da kolaylaştırabilmektedir. Ayrıca, rekabet dinamiklerinin tırmanması liman faaliyetlerini artırmakta ve savunmasız ekosistemlere mũdahale eden daha bũyũk yolcu gemilerinin ekolojik olarak hassas Arktik rotalara yũnelmesine sebep olmaktadır (Kruse ve arkadaşları, 2018). Bu zorlukların ũstesinden gelmek, yenilikçi teknolojik çũzũmlerin geliştirilmesini ve çevresel yansımaları hafifletmeyi amaıılayan dũzenleyici çerçevelerin oluşturulmasını gerektirmektedir.

2. DENİZCİLİKTE ÇEVRESEL STANDARTLAR: MARPOL EK-VI'NIN GETİRDİĐİ YŪKŪMLŪLŪKLER

1990'ların ikinci yarısında Corbett ve Fischbeck (1997), uluslararası deniz taşımacılığının hem kũresel hem de yerel

ölçekte kükürt ve azot oksit emisyonlarında kayda değer bir artışa neden olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) gemilerden kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesine yönelik MARPOL Sözleşmesi'ne Ek VI'nın eklenmesini zorunlu kılmıştır. Söz konusu ek, deniz yakıtlarındaki kükürt içeriğinin sınırlandırılması yoluyla atmosfere salınan asit oluşumuna neden olan kükürt oksit emisyonlarının azaltılmasını hedeflemektedir (International Maritime Organization [IMO], 1997). Çevre, 21. yüzyılda alınan tüm kararlarda etkili olmuş ve çok sayıda hükümet, karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitrojen oksit (N₂O) dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlayan yasal çerçeveler yürürlüğe koymuştur (Gössling et al., 2021).

MARPOL Ek-VI, 1997 Protokolü ile kabul edilmiş olup, 19 Mayıs 2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Böylece deniz yakıtlarında izin verilen emisyonlara ilişkin giderek daha katı düzenlemeler kademeli olarak uygulanmaya başlanmıştır ve atmosfere salınan asit oluşturucu kükürt oksitler (SO_x), azot oksitler (NO_x) ve partikül maddeler (PM) emisyonlarının azaltılması amaçlanmıştır. 2008 yılında, Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC), ilgili NO_x Teknik Kodu 2008 (MEPC.176 Kararı) ile birlikte revize edilmiş MARPOL Ek-VI'yı yürürlüğe koymuştur. Söz konusu değişiklik, yakıtların içerdiği kükürt miktarının küresel ölçekte %3,50'den %0,50'ye düşürülmesini kapsamaktadır (IMO, 2016). Ayrıca, ekolojik olarak hassas bir bölge olan Baltık Denizi, ilk Kükürt Emisyon Kontrol Alanı (SECA) olarak belirlenmiş ve bu bölgede faaliyet gösteren gemiler için deniz yakıtlarında izin verilen maksimum kükürt içeriğine ek sınırlamalar getirilmiştir. Bu kapsamda, Baltık Denizi'nde kullanılan yakıtlarda kükürt içeriği, küresel düzeyde geçerli olan %4,5'lik sınıra kıyasla %1,5

olarak belirlenmiş ve 2015 yılı itibari ile sınırlandırılmıştır (IMO, 2016).

Her ne kadar denizyolu taşımacılığı, ton-mil başına görece düşük emisyon üretmesi nedeniyle çevresel açıdan diğer ulaşım türlerine göre daha avantajlı kabul edilse de, bu durumun gelecekte değişmemesi ve emisyonların artmaması amacıyla Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik GHG Azaltım Stratejisi'ni (Greenhouse Gas Reduction Strategy) başlatmış ve uygulamaya koymuştur (IMO, 2009; IMO, 2018). Bu çerçevede denizcilik sektörü, sürdürülebilir uygulamaları hayata geçirmek ve IMO tarafından belirlenen düzenleyici çerçevelere uyum sağlamak konusunda ciddi bir baskı ile karşı karşıyadır (Rauca ve Nicolae, 2022). Bu baskının somut bir yansıması olarak, Ocak 2020'de yürürlüğe giren IMO 2020 düzenlemesi, kükürt oksit emisyonlarını azaltmak amacıyla deniz yakıtındaki kükürt içeriğine küresel bir sınır getirmiştir (Pereira, 2025; Sigalas, 2022). Ticari deniz gemilerinden kaynaklanan emisyonlarda izin verilen kükürt miktarı %3,5 m/m'den %0,50 m/m'ye düşürülmüştür. Tablo 1.'de yıllar bazında değerler görülebilmektedir. Bu düzenleme, denizcilik sektöründe çok düşük kükürtlü yakıt yağı (VLSFO) ve ultra düşük kükürtlü akaryakıt karışımları (ULSFO) dahil olmak üzere uyumlu yakıtların kullanımını veya egzoz gazı temizleme sistemlerinin (EGCS) uygulanmasına geçiş yapılmasını gerekli kılmıştır (Singh ve Shanthakumar, 2023). Bu doğrultuda, yönetmelik ulaşım faaliyetlerinden kaynaklanan atmosferik kirlenmeyi azaltmak ve yenilenebilir yakıtlar, düşük kükürtlü yakıtlar ile emisyon kontrol cihazları gibi alternatif çözümlere yönelimi teşvik ederek sektör üzerinde önemli bir etki yaratmayı amaçlamaktadır (Wijayanto ve Antara, 2022).

Tablo 1. MARPOL Ek-VI Kapsamında Yıllara Göre Yakıt Kükürt İçeriği Limitleri

Yıl	SECA Alanlarında İzin Verilen Kükürt Oranı (% m/m)	Küresel Olarak İzin Verilen Kükürt Oranı (% m/m)
2000	1.5%	4.5%
2010 Temmuz	1.0%	–
2012	–	3.5%
2015	0.1%	–
2020	–	0.5%

Kaynak: (International Maritime Organization [IMO], 2022)

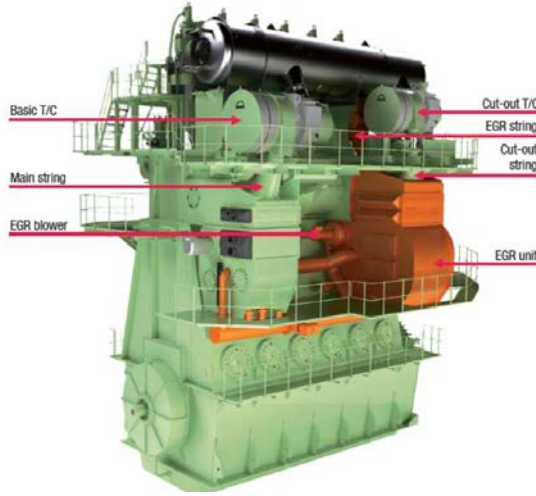
3. DENİZCİLİKTE NO_x VE SO_x EMİSYONLARININ AZALTILMASINA YÖNELİK SİSTEMLER

Denizcilikte NO_x ve SO_x emisyonlarının azaltılmasında yaygın kullanılan sistemlere Egzoz Gazı Resirkülasyon Sistemi (EGR), Seçici Katalitik Azaltma (SCR), Scrubber Sistemi, Silindir İçine Su Püskürtme, Skavenç Havası Nemlendirme (SAM) yöntemi, LNG Çift Yakıt Sistemi, Atık Isı Kazanım Sistemi ve Miller Çevrimi gibi teknolojiler etkin örnekler olarak gösterilebilir (Zincir, 2014). Aşağıda Egzoz Gazı Resirkülasyon Sistemi (EGR), Seçici Katalitik Azaltma (SCR) sistemleri kısaca açıklanmış, Scrubber Sistemi hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

3.1. Egzoz Gazı Resirkülasyon Sistemi (EGR)

Gemi Egzoz Gazı Devridaim (EGR) sistemi, içten yanmalı motorlardan kaynaklanan nitrojen oksit (NO_x) emisyonlarını azaltmayı amaçlayan gelişmiş bir teknolojik yaklaşım sunmaktadır. Bu mekanizma, motorun egzoz gazlarının bir kısmını yanma odasına geri döndürerek çalışmakta, böylece yanma sıcaklığını düşürmekte ve nitrojen oksit (NO_x) üretimini azaltmaktadır (Zhivljuk ve Петров, 2023).

Yüksek egzoz gazı basıncına dayanıklı olacak şekilde tasarlanan EGR yıkayıcı, geleneksel yıkayıcılara kıyasla daha kompakt boyutlara sahip olmakta, partikül maddeleri etkili biçimde tutmakta ve atık su deşarjında su kalitesine ilişkin Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) düzenlemelerine tam uyum sağlamaktadır. Ayrıca, diğer egzoz gazı arıtma metodolojileri ile entegre şekilde çalışmaktadır (Zannis et al., 2022). Gemi dizel motoruna entegre edilen EGR (Egzoz Gazı Resirkülasyon) sisteminin yapısal düzeni Şekil 1’de gösterilmiştir.



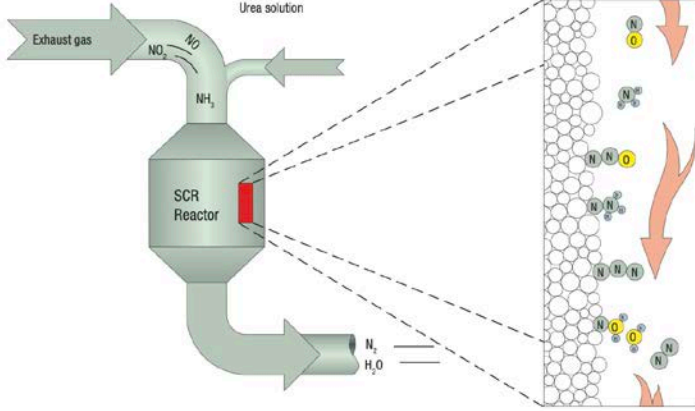
Şekil 1. Gemi dizel motoruna entegre edilen EGR (Egzoz Gazı Resirkülasyon) sisteminin yapısal düzeni (Turbo, 2017; Andreasen et al., 2014).

3.2. Seçici Katalitik Azaltma (SCR)

Gemi Seçici Katalitik Azaltma (SCR) sistemi, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından belirlenen katı standartlara uymak için nitrojen oksit (NO_x) emisyonunu azaltmayı amaçlayan deniz dizel tahrik sistemlerinde kullanılan gelişmiş bir teknolojidir (Zhu et al., 2022).

İşlem, yüksek sıcaklıktaki egzozun içine bir üre çözeltisinin enjekte edilmesini ve nitrojen oksitlerin ayrışmasını

içerir. Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) sistemleri, 260 ila 450 °C sıcaklık aralığında tutulup optimum çalışma koşulları sağlanırsa %90'a varan bir nitrojen oksit (NO_x) azaltma verimliliği elde edecek şekilde tasarlanmıştır (Österman ve Magnusson, 2013). Şekil 2'de Selective Catalytic Reduction (SCR) sisteminin çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2. Selective Catalytic Reduction (SCR) Sisteminin Çalışma Prensibi (MAN Diesel ve Turbo, 2017)

SCR sistemi uygulanmasında karşılaşılan en büyük zorluk, sistemin hacminin büyük olması sebebiyle yer kaplamasıyla beraber amonyak ve sulu üre çözeltilisinin kullanımı için bir depolama yerinin olma zorunluluğudur (Kristensen, 2012).

3.3. Scrubber Sistemi

Scrubber olarak adlandırılan sistemler, yanma gibi çeşitli işlemlerin sonunda üretilen gazları, istenmeyen kirleticileri ve NO_x ile SO_x dâhil zararlı maddeleri temizlemek için kullanılmaktadır. Bu sistemler, endüstriyel operasyonlardan kaynaklanan zararlı emisyonları önemli ölçüde azaltmakta, böylece hem insan sağlığını hem de çevreyi korumaktadır (Türkoğlu ve Bayraktar, 2024). Kükürt içeriği ile ilgili

uluslararası standartlara uyacak şekilde tasarlanmıştır (Glick, 2022). Egzoz emisyonlarında bulunan kükürt oksitleri (SO_x) etkili bir şekilde yakalamak ve nötralize etmek için deniz suyu veya sodyum hidroksit gibi sulu çözeltiler kullanılmaktadır (Zannis et al., 2022).

Gaz temizleme cihazları, enerji üretim, kimyasal üretim, çimento üretim ve yakma tesisleri gibi karasal sektörlerde, çelik endüstrilerinde ve ayrıca gemi egzoz gazı arıtımı için denizcilik alanında kullanılmaktadır. Bu sistemin çeşitli endüstriyel bağlamlarda yaygın olarak kullanımı dikkat çekicidir (Türkoğlu ve Bayraktar, 2024).

3.3.1. Scrubber Sistem Türleri

Scrubber sistemleri kuru ve ıslak olmak üzere iki ana tipe ayrılır.

3.3.1.1. Kuru Scrubber Sistemleri

Kükürt oksitler (SO_x), karbondioksit (CO₂) ve partikül maddeler (PM), Kuru scrubber sisteminde kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂) gibi kimyasal maddeler kullanılarak sistem içinde tutulmaktadır. Bu yöntemde emisyonlar, kimyasal bir reaksiyonla bertaraf edilmektedir (ABS, 2018).

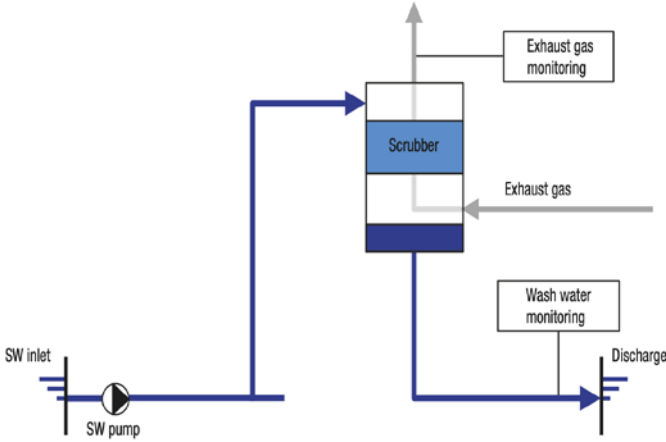
3.3.1.2. Islak Scrubber Sistemleri

Islak tip scrubber sistemleri ise deniz suyu kullanan açık devre yıkayıcılar ve tatlı çözeltiler kullanan kapalı devre sistemlerden oluşmaktadır (ABS, 2018). Bu sistemler de kendi içinde üç farklı tipe ayrılmaktadır; açık çevrim, kapalı çevrim ve hibrit sistemler.

3.3.1.2.1. Açık Çevrim Gaz Temizleyici Sistemleri

Açık devre tip scrubber, egzoz emisyonlarını saflaştırmak (temizlemek) için deniz suyunu (ortam sıvısı) kullanmaktadır. Genel olarak, gerekli deniz suyunu sağlamak için özel bir pompa

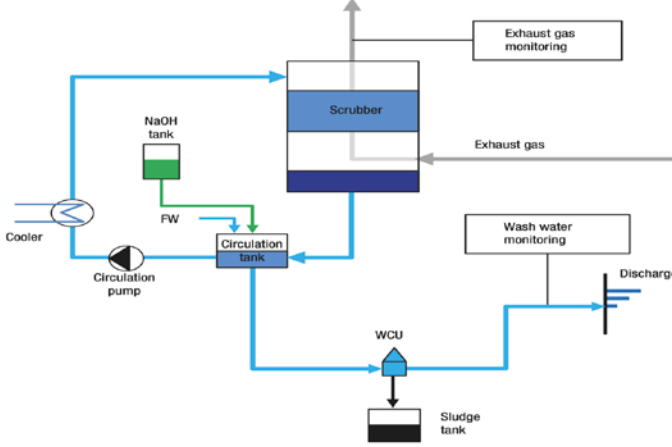
kullanılmaktadır. Mekanizmanın çalışması sırasında üretilen sulu karışım, sistemin tabanında bulunan ıslak kartere (wet sump) taşınmaktadır. Bazı sistemlerde, bu yıkama suyu bir gaz giderici (deaerator) tarafından süzülürken, diğerlerinde bir hidrosyklona tabi tutulmakta ve daha sonra yerçekimi kuvvetleri veya bir pompalama mekanizması yoluyla temizleyici karterinden boşaltılmaktadır. Yıkama suyu arıtma işleminden kaynaklanan kalıntılar, gemi üzerinde bulunan özel olarak tasarlanmış atık tanklarına taşınmaktadır. Bu kalıntılar, çözünmeyen kalsiyum sülfat (CaSO_4) ve yıkama suyundan kaynaklanan silt ile birlikte yakıtın ayrışmasıyla oluşan partikül madde (PM), kül, ağır metaller ve diğer çeşitli bileşenleri içermektedir (Balaji ve Giriya, 2024). Bununla birlikte, bu sistem içinde operasyonun etkinliği, geminin seyir ettiği deniz suyunun alkali (pH) oranına bağlı bulunmaktadır. Eğer suyun alkali oranı yeterince yükselmemişse, SOX gazı temizleme işleminin etkinliğinde belirgin bir azalma olmaktadır. (ABS, 2018). Şekil 3'te açık çevrim gaz temizleyici sisteminin çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 3. Açık Çevrim Gaz Temizleyici Sisteminin Çalışma Prensibi (MAN Diesel ve Turbo, 2017)

3.3.1.2.2. Kapalı Çevrim Gaz Temizleyici Sistemleri

Kapalı devre tip scrubber, temizleme solüsyonu dolaşımı yoluyla çalışmakta, böylece kirleticilerin dış ortama salınmasını önlemektedir. Temizleme solüsyonu önceden belirlenmiş aralıklarla değiştirilmekte ve kirletici maddelerin uygun bir şekilde sistemden atılması sağlanmaktadır. Bu sistemler içindeki egzoz gazları, kimyasal çözeltiler kullanılarak saflaştırılmaktadır. Gazlar ayrıştırıldıktan sonra, bu çözeltiler sistem içerisinde kalmakta ve kesinlikle çevreye tahliyesi yapılmamaktadır böylece zararlı maddelerin doğrudan emisyonu önlenmektedir. Kapalı devre tip scrubber sistemlerinin kurulum ve bakım maliyetleri, açık devre tip scrubber sistemlerine kıyasla daha yüksek olmakta ve karmaşık tasarımları nedeniyle daha fazla teknik bakım gerektirmektedir (Türkoğlu ve Bayraktar, 2024). Şekil 4’te kapalı çevrim gaz temizleyici sisteminin çalışma prensibi gösterilmektedir.

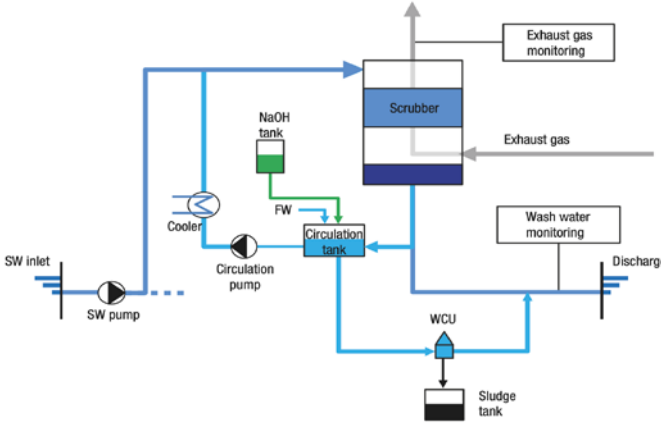


Şekil 4. Kapalı Çevrim Gaz Temizleyici Sisteminin Çalışma Prensibi (MAN Diesel ve Turbo, 2017)

3.3.1.2.3. Hibrit Gaz Temizleyici Sistemleri

Açık deniz ortamlarında bu sistemler açık devre mekanizması olarak çalışırken, Emisyon Kontrol Alanlarında

(ECA) kapalı devre mekanizması olarak kullanılmaktadır. Bu sistem, geminin bulunduğu coğrafi bölgeye ve ekolojik koşullara bağlı olarak uygun bir şekilde işlev görme yeteneğine sahiptir. Açık devre sistemleri, çeşitli temizleme solüsyonu satın alma ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve yıkama suyunu arıtma gerekliliği de barındırmamaktadır. Kapalı devre sistemleri ise su akışının sınırlı ya da hiç olmaması sebebiyle iç su, liman ve kıyı suları için uygun bir yapı sunmaktadır. Hibrit yıkama sistemleri ise hem açık hem kapalı sistemin avantajlarını bünyesinde barındırmak üzere entegre edilmiş bir sistem olarak kullanılmaktadır (Türkoğlu ve Bayraktar, 2024; Balaji ve Giriya, 2024). Şekil-5'te hibrit gaz temizleyici sisteminin çalışma prensibi gösterilmektedir.



**Şekil 5. Hibrit Gaz Temizleyici Sisteminin Çalışma Prensibi
(MAN Diesel ve Turbo, 2017)**

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu araştırmada incelenen scrubber sistemleri, deniz taşımacılığı sektöründe emisyonları azaltmak ve çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmek için önemli bir sistem olarak öne çıkmaktadır. Sistemin pek çok avantajı bulunmaktadır. Yüksek

kükürtlü akaryakıt (HSFO), düşük kükürtlü akaryakıt (LSFO) veya deniz gaz yağına (MGO) kıyasla daha ekonomik olması yıkayıcı sistemlerinde HSFO kullanmaya devam etmesine ve böylece işletme giderlerinde önemli ölçüde azalma sağlamasına olanak tanımaktadır. Bu durum, uzun vadede yakıt harcamalarında kayda değer bir düşüşe imkân vermektedir. Sistemle beraber atmosfere salınan kükürt oksitlerin (SOx) hacmi önemli ölçüde azalmakta, bu da hava kalitesinin artmasına ve asit yağmuru riskinin düşmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, bu sistemin kullanımıyla gemilerin MARPOL Ek-VI'da belirtilen kükürt emisyon sınırlarına uyumu garanti altına alınmakta ve denetimlerde mevzuata uygunluk teşvik edilmektedir. Bunun yanı sıra, gemilere yakıt kullanımında esneklik sunarak LSFO, MGO veya HSFO gibi seçeneklerin kullanılabilmesine imkân tanımaktadır. Uzun bir süre boyunca, yakıt fiyatlarındaki eşitsizliklerin yüksek seviyelerde devam etmesi koşuluyla, sistem yatırım maliyetlerini telafi edebilmektedir.

Sitemin getirdiği avantajların yanı sıra dikkate alınması gereken bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Scrubber sisteminin gemiye entegrasyonu, geminin türüne, tersane süresine ve kurulum zamanına bağlı olarak belirgin ve önemli finansal yatırım gerektirmekte ve bu da sonuç olarak gemilerin uzun süreler boyunca seyir için kullanılamamasına ve sefer dışı kalmasına yol açmaktadır. Sistemlerin gemilere monte edilmesi zaman zaman geminin yapısal çerçevesinde değişiklikleri ve ek alanların tahsisini gerektirebilmektedir. Yapısında bulunan pompalar, sensörler, filtreler gibi karmaşık sistemler korozyon, tıkanma gibi bazı sorunlar yaratması sebebiyle düzenli bakım ve onarım gerektirmektedir. Bunun yanı sıra, söz konusu bakım ve kontrollerin yapılabilmesi, gemi veya şirket bünyesinde kalifiye personel istihdamını zorunlu kılmaktadır.

Sistem, atık yönetimiyle de alakalı bazı sorunları beraberinde getirmektedir. Açık tip scrubber sistemleri, bazı

liman otoritelerince yıkama suyunun denize boşaltılması nedeniyle yasaklanmaktadır. Bu suyun asidik olma olasılığı ve ağır metaller içerebilme riski, deniz ekosistemi üzerinde zararlı etkilerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu durum, söz konusu bölgelerde kapalı tip scrubber sistemlerinin kullanımını zorunlu kılmakta, ancak bu sistemlerde ortaya çıkan çamurun karada bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Bununla birlikte, gelecekteki regülasyon belirsizlikleri nedeniyle açık tip scrubber sistemlerinin tamamen yasaklanma ihtimali bulunmakta ve bu durum, gemilere yapılan yatırımların geçerliliğini azaltma riski taşımaktadır.

Sistem ekonomik olarak değerlendirildiğinde, başlangıçta satın alma, kurulum ve geminin hizmet dışı kalma süresi gibi maliyetleri bünyesinde barındırmaktadır. Ayrıca sistemin, enerji tüketimi, bakım ve onarım, kapalı tip scrubber sistemi için kimyasal tüketimi ve atık yönetimi gibi işletme giderleri de bulunmaktadır. Yakıt fiyat farkı açıldıkça, uzun vadede yatırımın geri dönüş süresi kısalmaktadır. Ancak, yüksek kükürtlü yakıt yağı (HSFO) ile düşük kükürtlü yakıt yağı (LSFO) arasındaki fiyat farkının azalma riski de, yatırımın telafi süresini uzatmakta veya finansal kayıplara yol açabilmektedir. Bununla birlikte, ekonomik ömrü sınırlı olan gemilere yapılan scrubber yatırımları riskli olabilmektedir.

Sistem çevresel olarak değerlendirildiğinde, scrubber kullanımı, kükürt emisyonlarını azaltarak çevresel avantajlar sağlamaktadır; ancak, aynı zamanda su kirliliği, yüksek karbondioksit seviyeleri ve atık yönetimindeki zorunluluklar nedeniyle bazı problemleri beraber getirmektedir. Sistem atmosferik kaliteyi artırmak için çalışırken, aynı zamanda deniz ekosistemini kirletme potansiyeline sahiptir. LNG, metanol, amonyak gibi alternatif yakıtların gelişimiyle beraber scrubbera olan ihtiyaç gün geçtikçe azalacaktır ve bu sistemler, alternatif

yakıtların yaygınlaşmasına kadar kısa vadede bir çözüml sunmaktadır. Bununla beraber kapsamlı arıtma sağlayan ve atık suyunu tamamen zararlı bileşenlerden arındıran sistemlerin geliştirilip gemilere entegre edilmesi scrubberların çevresel olumsuz etkileri minimize edecek ve sistemin uzun süreli kullanımını destekleyecektir.

KAYNAKÇA

- American Bureau of Shipping (ABS). (t.y). Exhaust Gas Scrubber Systems, Status and Guidance, TX02/13 5000 12319.
- Andreasen, M. H., Marissal, M., Srensen, K., Condra, T. J. (2014). Implementation of Exhaust Gas Recirculation for Double Stage Waste Heat Recovery System on Large Container Vessel. 108, 39-48.
<https://www.ep.liu.se/ecp/108/004/ecp14108004.pdf>
- Balaji, C. P., Girija, V. (2024). Examining Shipboard Scrubber Systems Performance in Reducing SO_x & PM from Marine Diesel Engines Exhaust Gases-A Short Review. Industrial Engineering Journal, 53(3), 125-133.
- Corbett, J. J., Fischbeck, P. (1997). Emissions from ships. Science, 278(5339), 823-824.
<https://doi.org/10.1126/science.278.5339.823>
- Glick, Y. (2022). Scrubber Technology: Bad News for the Marine Environment (pp. 353–368). Brill | Nijhoff eBooks.
https://doi.org/10.1163/9789004518681_012
- Gössling, S., Meyer-Habighorst, C., Humpe, A. (2021). A global review of marine air pollution policies, their scope and effectiveness. Ocean & Coastal Management, 212, 105824.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105824>
- IMO. (1997). Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (MARPOL Prot. 1997): Article 2. Addition of Annex VI, entitled Regulations for the prevention of air pollution from ships, to the Convention.
- IMO. (2009). Second IMO GHG Study 2009.
<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>

- IMO. (2016). MEPC 70/INF.6: Assessment of fuel oil availability – Final report.
<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/MEPC%2070-INF.6%20-%20Assessment%20of%20fuel%20oil%20availability.pdf>
- IMO. (2016). Resolution MEPC.280(70): Effective date of the implementation of the fuel oil standard in regulation 14.1.13 of MARPOL Annex VI. Report of the MEPC on its seventieth session (MEPC 70/18/Add.1, Annex 6). London: International Maritime Organization.
- IMO. (2018). Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships.
[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.304\(72\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.304(72).pdf)
- IMO. (2022, April 2). Sulfur oxides (SO_x) and particulate matter (PM)-Regulation 14.
[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulfur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulfur-oxides-(SOx)-%E2%80%93Regulation-14.aspx)
- Kruse, C. J., DeSantis, L. M., Eaton, S. J., Billings, R. (2018). Marine Transportation and the Environment: Trends and Issues. 313. <https://trid.trb.org/view/1503579>
- Kristensen, H. O. (2012). Energy Demand and Exhaust Gas Emissions of Marine Engines. Clean Shipping Currents, 1, 18-26.
- Kosowska-Stamirowska, Z. (2020). Network effects govern the evolution of maritime trade. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 117(23), 12719-12728.
<https://doi.org/10.1073/PNAS.1906670117>

- Мельник, О. (2023). Strategies for the development of maritime transportation and methods for efficient operation. *Nauka i Tehnika S'ogodni*, 8(22), 324-335. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-8\(22\)-324-335](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-8(22)-324-335)
- Oğuz, S. (2024). Studies on maritime transport: a bibliometric analysis (2010-2023). *Mersin Üniversitesi Denizcilik ve Lojistik Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 17-29. <https://doi.org/10.54410/denlojad.1450638>
- Österman, C., Magnusson, M. (2013). A systemic review of shipboard SCR installations in practice. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 12(1), 63-85. <https://doi.org/10.1007/S13437-012-0034-1>
- Pereira, E. G. (2025). The implications and challenges of the IMO 2020 regulation: Exploring options for compliance. *Review of European, Comparative and International Environmental Law*. <https://doi.org/10.1111/reel.12593>
- Rauca, L., Nicolae, F. (2022). Assessment of the environmental impact by merchant vessels' voyage monitoring. *Scientific Bulletin of Naval Academy*, XXV(2), 21-36. <https://doi.org/10.21279/1454-864x-22-i2-002>
- Sigalas, C. (2022). Financial impact of the IMO 2020 regulation on dry bulk shipping. *Maritime Transport Research*, 3, 100064. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2022.100064>
- Singh, A., Shanthakumar, S. (2023). Green Shipping and Trade: Allocating Costs of the IMO Sulphur Regulation 2020. *Global Trade and Customs Journal*, 18(3), 110-119. <https://doi.org/10.54648/gtcj2023012>
- Turbo, M. D. (2013). Emission Project Guide MAN B&W Two-stroke Marine Engines. MAN B&W.
- Turbo, M. D. (2017, June 6). Emission Project Guide: MAN B&W Two-stroke Marine Engines for MARPOL

- Annex VI regulations (Emission Project Guide 7020-0145-07, 7th ed.). MAN Diesel & Turbo.
- Turkoglu, S., Bayraktar, S. (2024). Kara ve Denizcilik Sektöründe Kullanılan Gaz Temizleyiciler (Scrubbers) Hakkında Literatür İncelenmesi. The 3rd International Congress on Ship and Marine Technology (GMO-SHIPMAR 2024) Trabzon, Turkey.
- Walker, T. R., Adebambo, O., Del Aguila Feijoo, M. C., Elhaimer, E., Hossain, T., Edwards, S. J., Morrison, C. E., Romo, J., Sharma, N., Taylor, S., Zomorodi, S. (2019). Environmental Effects of Marine Transportation (pp. 505–530). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00030-9>
- Wijayanto, D., Antara, G. B. D. S. (2022). Comparison Analysis of Options to Comply with IMO 2020 Sulphur Cap Regarding Environmental and Economic Aspect. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1081(1), 012051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1081/1/012051>
- Yagci, M., Noordali, M. (2024). Maritime Trade: Riding the Waves of Commerce and Weathering the Storms of Disruption. <https://doi.org/10.55780/re24043>
- Zannis, T. C., Katsanis, J. S., Christopoulos, G. P., Yfantis, E. A., Papagiannakis, R. G., Pariotis, E. G., Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D., Vallis, A. G. (2022). Marine Exhaust Gas Treatment Systems for Compliance with the IMO 2020 Global Sulfur Cap and Tier III NO_x Limits: A Review. Energies, 15(10), 3638. <https://doi.org/10.3390/en15103638>
- Zhivljuk, G. E., Петров, А. П. (2023). Efficiency of limiting nitrogen oxides emissions by exhaust gas recirculation

systems of marine internal combustion engines. Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo i Rečnogo Flota Imeni Admirala S.O. Makarova, 15(5), 845-857. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2023-15-5-845-857>

Zincir, B. (2014). Hidrojen karışımı yakıtların gemilere uygulanabilirliğinin ve emisyon salınımlarına etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 363514.

Zhu, Y., Zhou, W., Xia, C., Hou, Q. (2022). Application and Development of Selective Catalytic Reduction Technology for Marine Low-Speed Diesel Engine: Trade-Off among High Sulfur Fuel, High Thermal Efficiency, and Low Pollution Emission. Atmosphere, 13(5), 731. <https://doi.org/10.3390/atmos13050731>

DENİZCİLİK ÖRGÜTLERİNDE DUYGUSAL ZEKÂNIN VE EMPATİNİN ROLÜ

Yeliz ÇELİK¹

1. GİRİŞ

Denizcilik sektörü; yüksek risk, yoğun stres, kültürel çeşitlilik ve zorlu çalışma koşullarıyla karakterize edilen bir alandır. Bu nedenle, teknik bilgi ve yetkinliklerin yanı sıra, duygusal zekâ ve empati gibi sosyo-duygusal beceriler de örgütsel başarının sağlanmasında temel bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Empati ve duygusal zekâ (EI), denizcilik alanında yalnızca bireysel performansı değil, aynı zamanda deniz operasyonlarının kapsamlı çalışmasını da etkileyen önemli faktörleri oluşturur.

Duygusal zekâ, bireyin hem kendi duygusal durumunu değerlendirme hem de başkalarının duygularını gözleme ve anlama ve bu bilgileri kişinin bilişsel süreçlerini ve davranışsal tepkilerini yönlendirme amacıyla kullanma kapasitesi olarak empati ise bu içsel yeteneğin en somut dışavurumu olarak kabul edilir (Goleman, 1995; Mayer ve diğ., 2004).

Denizcilik örgütlerinde ister kara da ister deniz de çalışıyor olsun farklı milletlerden gemiadamlarının bir arada çalışması mesleğin uluslararası bir yapıda olması, uzun seyir sürelerinin bulunması, psikolojik stres ve denizcilik operasyonlarındaki öngörülemeslik, sosyal hayattan izolasyon gibi zorlu ve olumsuz koşullar için duygusal zekâ ve empati

¹ Öğr. Gör, Kocaeli Üniversitesi, Karamürsel Denizcilik Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri, Deniz Ulaştırma ve İşletme, yeliz.celik@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4766-8249.

kavramı ön plana çıkmaktadır (Notteboom, 2016; Haralambides, 2019). Liderler ve ekip üyeleri tarafından sergilenen duygusal zekâ, yalnızca operasyonel süreçlerin güvenliğini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda işyeri refahını destekleyen elverişli bir ortamın oluşmasına da önemli katkı sağlar.

Bu çalışmada, duygusal zekâ ve empati kavramlarının tanımı yapılmakta, denizcilik örgütleri içindeki duygusal zekâ ve empatinin önemi ve etkileri incelenmektedir.

2. DUYGUSAL ZEKÂ

Goleman, başlangıçta Thorndike tarafından önerilen sosyal zekâ yapısını detaylandırarak daha sonra duygusal zekâ kavramını geliştirmiştir. Duygusal zekâ incelendiğinde, bireyin olumsuz koşullar karşısında ilerleme gösterebilme, dürtülerini düzenleyebilme, psikolojik durumunu dönüştürerek yeniden dengeleyebilme, yaşanan olumsuzluklardan kaynaklanabilecek mantık çarpıtmalarını önleyebilme ve bu süreçte kendini rehabilite edebilme kapasitesini içerdiği görülmektedir (Şimşek ve Eroğlu,2013). Bu kavram bireysel ve mesleki başarıyı, empatik katılımı ve kişilerarası ilişkileri derinden şekillendiren insan deneyiminin temel bir boyutunu oluşturmaktadır (Shafik, 2024).

Oluşan bir durum, mantıksal akıl yürütmenin uygulanmasından önce duygusal zekâ tarafından ele alınmaktadır. Bu durum, duygusal zekânın iletişimin temel bir bileşenini oluşturduğunu ve iletişim çalışmaları alanındaki en kritik yapılardan birini temsil ettiğini ortaya koymaktadır. Bireyler ve kuruluşlarla optimal ve etkili iletişimi teşvik edebilmek için, öncelikle muhatabın duygusal durumlarını anlamak zorunludur. Bu noktada duygusal zekâ, empati kurma ve karşımızdakinin duygularını doğru şekilde yorumlama kapasitesi olarak önemli bir rol oynamaktadır (Şimşek ve Eroğlu,2013).

Kavram, bireylerin yaşamın birçok alanındaki başarılarında belirleyici rol oynayan ve mesleki çabalarını da içine alan sosyal ve duygusal yetkinlikleri kapsamaktadır (Chen, 2025). Kavram beş temel bileşeni kapsamaktadır: öz farkındalık, öz düzenleme, motivasyon, empati ve sosyal yetkinlikler. Bu bileşenlerde yeterlilik elde etmek, kişilerarası iletişimi, ilişkisel dinamikleri ve karar verme süreçlerini geliştirmektedir (Singh, 2025).

Duygusal zekâ kavramı, 1990 yılında psikologlar Peter Salovey ve Mayer tarafından ilk kez ortaya atılmıştır. Duygusal zekâyı daha iyi tanımlayabilmek amacıyla, kavramın içerdiği unsurlar açıklanmaya çalışılmıştır. Genel anlamda duygusal zekâ ile ilişkilendirilen nitelikler şunları kapsamaktadır:

- Empati
- Duyguları ifade etme ve anlatım
- Mizacını kontrol etme
- Bağımsızlık
- Uyum sağlayabilme
- Beğenilme
- Kişilerarası sorunları çözme
- Sebat
- Sevecenlik

Bu bağlamda, duygusal zekâ bireyin hem kişisel hem de sosyal yaşamındaki başarılarının temelinde yer alan çok boyutlu bir yetkinlik alanı olarak değerlendirilmektedir (Shapiro, 1977).

Duygusal zekâ, 20. yüzyılın başlarından bu yana var olan ve sürekli gelişim gösteren bir kavramdır. Eğitim, iş yaşamı ve sağlık hizmetleri gibi çeşitli alanlarda kritik bir öneme sahiptir. Kişilerarası ilişkileri geliştirmede, bilinçli karar vermeyi kolaylaştırmada ve duygusal refahı teşvik etmede etkili olması,

duygusal zekâyı hem bireysel hem de mesleki başarı için temel bir unsur haline getirmektedir (Khan ve Khan, 2025).

3. EMPATİ

3.1. Empati Nedir?

Goleman'a (2008) göre empati, başkalarının duygularını, bilişsel süreçlerini ve endişelerini fark etmeye yönelik önemli bir kavramdır. Bu sayede bireylerin kendilerini geliştirmeleri kolaylaşmakta, başkalarının ihtiyaçlarına karşı daha duyarlı olunmakta ve kişilerarası iletişim önemli ölçüde güçlenmektedir.

Başka bir deyişle, liderlerin empatiyi başarının temel bir bileşeni olarak görmeleri ve başkalarının bakış açılarını mesleki çabalarında öncelikli bir hedef olarak benimsemeleri gerekmektedir. Çalışan motivasyonunu artırabilmek için liderlerin, çalışma süreci boyunca oluşan tüm durumları çalışanlarının bakış açısından değerlendirme yeteneğine sahip olmaları önem arz etmektedir (Eygü, 2008).

Etkili ve yapıcı bir iletişimin gerçekleşebilmesi için, göndericinin alıcının bakış açısını benimsemesi ve ileteceği mesajı buna göre uyarlaması gerekmektedir. Bu uyarlama sağlandığında, mesajın daha yüksek bir hassasiyet ve netlikle anlaşılması mümkün olabilmektedir. İletişim sürecinde konuşma ile işitme, dinleme ile anlama ve anlamı doğru algılama birbirinden farklı eylemler olarak değerlendirilmektedir. Muhatabın mesajı doğru bir şekilde algılaması, onun mutlaka kabul edildiği anlamına gelmemektedir. İletişimde karşılaşılan çeşitli zorluklar, empati ilkesinin benimsenmesiyle yani bireysel düzeyde ve örgütsel bağlamda “benmerkezci” iletişimden “biz merkezli” iletişime geçilmesiyle daha hızlı aşılabilmektedir (Şimşek ve diğ., 2014)

Etkili dinlemenin temel koşullarına bakıldığında, empati kurma ve işitsel farkındalık unsurları ön plana çıkmaktadır. Karşıdaki bireye soru sorma, anlamaya çalışma ve geri bildirim sağlama, etkili dinlemenin kolaylaştırılmasında hayati bir rol oynamaktadır. Başka bir bireyin duygusal durumlarını anlama süreci ise, öfke ve kaygı gibi olumsuz duygusal belirtileri fark edebilme becerisiyle yakından ilişkilidir ve bu süreç empati yoluyla gerçekleşmektedir. Etkili dinleme, karşı tarafa yönelik soruların doğru şekilde formüle edilmesini, alınan ifadelerin kişinin kendi cümleleriyle yeniden ifade edilmesini ve yapıcı geri bildirim sunulmasını gerektirmektedir (McKay ve diğ., 2006)

Bireylerin bir başkasının bakış açısını benimsemelerini ve onların duygu ile düşüncelerini kendi merceğinden anlamalarını sağlayan empati kavramı, farklı popülasyonlar ve gruplar arasındaki iletişimi güçlendirmektedir. Örneğin, bazı kadın çalışanlar mesleki ortamlarda cinsiyet kimliklerine atfedilebilecek zorluklarla karşılaşabilmektedirler. Sonuç olarak, bu tür sorunlar cinsel ayrımcılık gibi daha ciddi boyutlara ulaşarak yargı sistemine taşınabilmektedir. Oysa empatik bir yaklaşım, bu tür problemlerin büyümeden önlenmesinde ve çözülmesinde en etkili yöntemlerden birini oluşturmaktadır. Empati, duygusal zekâ alanında en kapsamlı biçimde incelenen yapılardan birini temsil etmektedir. Goleman tarafından da vurgulandığı üzere, empatinin temeli öz farkındalıktır. Bir birey, kendi duygusal durumlarının farkında olduğu ölçüde başkalarının duygusal deneyimlerini anlama eğilimini geliştirmekte ve çevresindekilerin duygularını kavrama çabasına girmektedir (Can ve diğ., 2015). Empati kavramı örgütsel liderlik bağlamında ele alındığında ise, dikkatini başkalarının ihtiyaçlarına yoğunlaştırabilen yöneticilerle etkileşim kurmak daha anlaşılır hale gelmektedir. Bireylerle ortak bir temel üzerinden bağlantı kurmayı hedefleyen, başkalarının bakış açılarını dikkate alan ve

işbirlikçi katılımı teşvik eden yöneticiler, yüksek derecede empati ile karakterize edilmektedir.

3.2. Empati Çeşitleri Nelerdir?

Empati, farklı boyutlarıyla incelendiğinde çeşitli yetkinlikleri kapsayan çok yönlü bir kavram olarak ortaya çıkmaktadır;

- Bilişsel empati; başka bir bireyin bakış açısını anlama kapasitesini ifade etmektedir.
- Duygusal empati; başka bir bireyin yaşadığı duyguları deneyimleme yeteneğini belirtmektedir.
- Empatik ilgi; bir bireyin başka bir kişinin kendileriyle ilgili sahip olduğu istek ve ihtiyaçları ayırt etme yeteneğini ifade etmektedir (Harvard Business Review Press, 2018).

3.3. Örgütsel Alanda Empatinin Önemi

Örgüt, çeşitli işlevleri yerine getirmek ve bu çabaları uyumlu bir şekilde birbirine entegre etmek amacıyla kurulmuş, belirli sayıda kişiden oluşan bir yapıdır. Bu terim, belirli bir hedefe ulaşmak için bir araya gelen bireylerin oluşturduğu yapıyı ifade etmektedir (Çakır, 2019). Kurumdaki ortak kimlik, iş birliğinin temel anahtarıdır.

Örgütlerde, hem işe alım sürecinde hem de organizasyonel tasarımda, duygusal zekâ sergileyen ve etkili yönetim yeteneklerine sahip bireylerin seçilmesine vurgu yapılmakta veya alternatif olarak, bu yetkinlikleri geliştirmeyi amaçlayan kuruluş içi gelişimsel çerçeveler uygulanmaktadır. Empati kapasitesi, özgüven ve üstün iletişim becerileri, işe alım bağlamında en önemli özellikler olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda duygusal zekânın önemi giderek daha belirgin hale

gelmiş ve örgütsel gelişim arayışındaki bilişsel boyut bu kavram ile tamamlanmıştır (Yaylacı, 2006).

Psikoloji alanındaki araştırmalar, duygusal durumların ve duygusal eğilimlerin performans sonuçları üzerinde önemli etkiler yarattığını açıkça ortaya koymaktadır. Çalışanların duygusal durumunun işyerinde kritik bir rol oynadığı da çalışmalarda sıkça vurgulanmaktadır (Snaebjornsson ve Vaiciukynaite, 2016).

Kuruluş içindeki tüm personelin belirlenen sorumluluklarını hem verimli hem de etkili bir şekilde yerine getirmesinde en kritik faktör, empati geliştirmektir. Empati, yaşam boyunca geliştirilebilen; bireylerin karşısındaki kişilerin ihtiyaç ve arzularını daha iyi anlamalarını sağlayan ve onlara daha nazik, yapıcı bir yaklaşımı teşvik eden bir olgudur (Hughes, 2000, s. 6).

Milton ve Westphal'e göre, karşılıklı empati uyumlu işbirliği yoluyla görevlerin en iyi şekilde yerine getirilmesine katkıda bulunur. Sonuç olarak, empati, kurum içindeki farklı gruplar arasında sürekli ve yüksek düzeyde iletişim ile etkileşimi kolaylaştıran ve böylece etkinlik ile verimliliğin artmasına olanak tanıyan örgütün en önemli unsurlarından biridir (Ensari ve Miller, 2006).

Empati, çalışanlar arasında gelişmiş iletişimi kolaylaştırarak farklı bakış açılarını anlamalarını, doğru değerlendirmeler yapmalarını, mesleki yetkinliklerini olumlu yönde geliştirmelerini ve karşılıklı takdir ile anlayışa dayalı bir ortamın oluşmasını sağlamaktadır (Aksoy, 2019).

Yukarıda bahsedilen faktörlerin bir sonucu olarak, duygusal zekâ istihdam fırsatlarında önemli bir belirleyici haline gelmektedir. Günümüzde, işe alım sürecinde bir bireyin yalnızca pozisyonla ilgili sahip olduğu eğitim niteliklerine değil, aynı zamanda kişisel gelişimi ve sosyal etkileşimlere katkılarına da

giderek daha fazla önem verilmektedir. Bu süreçte, kişiye çeşitli kişilik testleri uygulanmakta ve profesyonel kariyeri boyunca yürütülecek iç iletişim ile organizasyonel eğitim programları birlikte yürütülmektedir. Stres yönetimini etkili bir şekilde gerçekleştirmenin en önemli nedeni, hem bireylerde hem de örgüt içinde güçlü bir empati duygusunun oluşturulmasıdır. Bu özelliklere sahip bireyler, zorluklar karşısında dayanıklılık gösterebilmekte ve hızlı çözümler üretebilmektedir. Bir örgütün gelişimi için yöneticilerin, bu kültürel anlayışı teşvik etmeleri, ekip içinde dengeyi sağlamaları ve duygusal zekâyı rasyonel düşünce ile uyumlu hale getirmeleri gerekmektedir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Denizcilik örgütlerinde teknik bilgi kadar, insan ilişkilerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Uzun süreli çalışma ortamları, stres, kültürel farklılıklar ve yoğun sorumluluk duygusu içinde çalışan insanların birbirini anlaması, dinlemesi ve desteklemesi büyük bir ihtiyaçtır. Bu noktada empati ve duygusal farkındalık hem kişisel huzurun hem de işin kalitesinin temelini oluşturmaktadır.

Adalet, güven ve saygı gibi değerlerin iş ortamında yaşatılması, empatinin gelişmesi için güçlü bir temel oluşturmaktadır. Çalışanların gösterdiği performansları ödüllendirmek, karar süreçlerine katılımını sağlamak, eleştirileri saygıyla dinlemek ve onlara samimi geri bildirimler vermek, kurumda empatik bir kültürün oluşmasına katkı sağlamaktadır. İnsanların duygu ve düşüncelerini özgürce ifade edebilmeleri, ihtiyaçlarının görülmesi ve empatiyi bir kurumsal değer olarak benimsemek, çalışanlar arasında karşılıklı anlayış ve güvenin yerleşmesini desteklemektedir.

Kişilerin örgüt içindeki konumlarından bağımsız olarak pozitif bir tutum sergilemeleri, gülümsemeleri ve anlayışlı bir

iletişim dili kullanmaları, iş ortamını daha insani hale getirmektedir. Kuralların önemli olduğu kadar duygular ve insani değerler de olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Başarılı çalışmaların bireysel olarak değil, ekip halinde kutlanması, “biz” duygusunun güçlenmesine yardımcı olmaktadır.

İletişimin açık olması, samimiyetin ve güvenin ön planda tutulması, empatiyi kurumsal kültürün bir parçası haline getirmektedir. Kurum içinde insan faktörünü merkeze almak hem üretkenliği hem de mutluluğu artırmaktadır. Bu nedenle, işlemenin bütçe planlamalarında çalışanın eğitimine ve gelişimine mutlaka öncelik verilmelidir. İşe alım süreçlerinde yalnızca deneyim ve eğitim değil, adayların duygusal zekâsı ve empati kapasitesi de dikkate alınmalıdır.

Kurumlarda yer alan bireylerin kişisel gelişim fırsatları elde etmesi, onların alçakgönüllü ve anlayışlı davranışlar sergilemelerine yardımcı olmaktadır. Empatiyi güçlendirmek için beden diline, ses tonuna ve hitap tarzına özen göstermek; eleştiriye açık olmak ve önyargılardan uzak durmak büyük önem taşımaktadır. Farklılıklardan çok ortak değerlerin bir araya getirilmesi, güçlü ve uyumlu bir örgüt yapısı oluşturmaktadır. Emretme, suçlama, aşağılama ve tehdit gibi olumsuz iletişim biçimlerinin ortadan kaldırılması ise, kurum içindeki güveni kalıcı hale getirmektedir.

Bir kurumun başarısı sadece kurallar ve teknik süreçlerle değil, çalışanlarının birbirine duyduğu saygı ve anlayışla mümkündür. Eğer bir örgüt ilerlemek, çalışanlarının mutlu ve üretken olmasını sağlamak istiyorsa, geleneksel “emir-komuta” anlayışını geride bırakmalı; yerine empatiye, anlayışa ve güvene dayalı bir yönetim anlayışını benimsemelidir. Kapalı ve anlayışsız yönetim biçimleri uzun vadede olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Empatik yönetim kültürünün yerleştiği

kurumlarda hem iletişim kalitesi hem de rekabet g¼c¼ artmaktadır.

Sonuç olarak, empati ve duygusal farkındalık, denizcilik ¼rg¼tlerinde sadece birer kişisel ¼zellik değil, aynı zamanda kurumsal s¼rd¼r¼lebilirliđin temel unsurlarıdır. Bu değerleri iş yaşamına yansıtabilen kurumlar, hem insan odaklı bir çalışma k¼lt¼r¼ geliştirmekte hem de uzun vadede g¼l¼, g¼venilir ve saygı duyulan ¼rg¼tler haline gelmektedir.

KAYNAKÇA

- Aksoy, Y. (2019). Kolektif empati, duygusal bulaşıcılık ve iş becerikliliği arasındaki ilişkiler üzerine bir uygulama. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21, 511-534.
- Can, H., Azizoğlu, A., Aydın, Ö., Miski, E. (2015). Örgütsel davranış, Ankara: Siyasal Kitabevi, 32-98.
- Chen, C. P. (2025). Emotional intelligence and career wellbeing. *Canadian Journal of Career Development*, 24(1), 73-82. <https://doi.org/10.53379/cjcd.2025.421>
- Çakır, H. (2019). Duygusal zekânın örgütsel yapılara etkileri İstanbul: Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 25-35.
- Ensari, N., Miller, N. (2006). The application of the personalization model in diversity management. *Group Processes & Intergroup Relations*, 9(4), 592. <https://doi.org/10.1177/1368430206069628>
- Eygü, H. (2008). Üniversite öğrencilerinin liderlik davranışı üzerine bir araştırma. Bursa: Ekin Basım Yayın Dağıtım, 43.
- Goleman, D. (1995). Emotional intelligence: Why it can matter more than IQ. Bantam Books.
- Haralambides, H. E. (2019). Gigantism in container shipping, ports and global logistics: A time-lapse into the future. *Maritime Economics & Logistics*, 21(1), 1-60. <https://doi.org/10.1057/s41278-018-0076-2>
- Harvard Business Review Press. (2018). Empathy İstanbul: Optimum Basım, 9-10.
- Hughes, D. J. (2000). Emotional intelligence: A review and evaluation. *Journal of Managerial Psychology*, 15(5), 341-355. <https://doi.org/10.1108/02683940010337135>

- Khan, S. B., Khan, S. B. (2025). The evolution of emotional intelligence: History, models and measures. *Asian Journal of Education and Social Studies*, 51(5), 378-394. <https://doi.org/10.9734/ajess/2025/v51i51926>
- McKay, M., Davis, M., Fanning, P. (2006). İletişim becerileri. İstanbul: HYB Yayınları.
- Mayer, J. D., Salovey, P., Caruso, D. R. (2004). Emotional intelligence: Theory, findings, and implications. *Psychological Inquiry*, 15(3), 197-215. https://doi.org/10.1207/s15327965pli1503_02
- Notteboom, T. E. (2016). Port management and governance in a post-COVID-19 era: Quo vadis? *Maritime Economics & Logistics*, 22(3), 329-352. <https://doi.org/10.1057/s41278-020-00160-0>
- Shafik, W. (2024). Science of emotional intelligence. In *Advances in Marketing, Customer Relationship Management, and e-Services Book Series*, 284-310. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4453-8.ch015>
- Shapiro, R. D. (1977). *Foundations for sociology*. Chicago, IL: Rand McNally, 16.
- Singh, M. (2025). Emotional intelligence: The secret to knowing yourself and others. *Indian Scientific Journal of Research in Engineering and Management*, 09(05), 1-9. <https://doi.org/10.55041/ijsrem48023>
- Snaebjornsson, I. M., Vaiciukynaite, E. (2016). Emotion contagion in leadership: Follower-centric approach. *Business & Economic Horizons*, 12(1), 56. <https://doi.org/10.15208/beh.2016.05>
- Şimşek, A., Eroğlu, Ö. (2013). *Davranış bilimleri*. Konya: Eğitim Yayınevi, 506-512.

ŖimŖek, Ŗ., elik, A., Akgemci, T. (2014). DavranıŖ bilimlerine giriŖ ve örgütlerde davranıŖ, Konya: Eğitim Yayınevi, 145.

Yaylacı Özdemir, G. (2006). Kariyer yaŖamında duygusal zekâ ve iletiŖim yeteneği. İstanbul: Hayat Yayınları, 45.

ECONOMIC IMPACTS, COMPLIANCE AND FUTURE PERSPECTIVES OF THE EU ETS IN MARITIME SHIPPING

Yusuf Tarık MUTLU¹

1. INTRODUCTION

Maritime shipping is the dominant channel for global commerce, moving more than 80% of goods, and it is vital to the EU economy (Lynce de Faria, 2024). Although it is among the most energy-efficient transport modes, the sector is also a significant and growing source of greenhouse gas emissions (European Commission, n.d.-c). In 2018, shipping accounted for about 2.9% of human-caused global emissions, and without policy action these emissions are expected to rise markedly by 2050. Within the EU, maritime transport contributes roughly 3 to 4% of total CO₂ emissions (European Commission, n.d.-c; Lynce de Faria, 2024).

To tackle this environmental challenge and align with the Paris Agreement, the European Union has rolled out a set of ambitious measures under the European Green Deal to reach climate neutrality by 2050 (Christodoulou et al., 2021; Lynce de Faria, 2024; Vaca-Cabrero et al., 2024). A central element of this plan is expanding the EU's Emissions Trading System (ETS) to include the maritime sector (European Commission, n.d.-c). Effective from 1 January 2024, this measure integrates shipping emissions into a regulated carbon market for the first

¹ Research Assistant, Istanbul Technical University, Faculty of Maritime, Department of Marine Engineering, ymutlu@itu.edu.tr, ORCID: 0009-0003-0400-8659.

time, creating a powerful economic incentive for the industry to decarbonise its operations (European Commission, n.d.-b; Vaca-Cabrero et al., 2024).

1.1. The "Cap and Trade" Principle

The EU ETS is a key instrument at the heart of the EU's climate strategy. Created in 2005, it was the first large-scale carbon market and remains among the largest worldwide. It operates under a cap-and-trade model, a market-based tool designed to cut GHG emissions at the lowest possible cost (European Commission, n.d.-a; Lynce de Faria, 2024).

The cap sets the maximum total volume of certain greenhouse gases that covered installations and operators may emit. It declines each year in line with EU climate objectives, ensuring a steady reduction in overall emissions. By 2023, emissions from EU power and industrial plants had fallen by roughly 47% compared with 2005, partly due to the EU ETS. The cap is denominated in EU Allowances (EUAs), with each allowance permitting the emission of one tonne of CO₂ equivalent (CO₂eq) (DNV, n.d.-c; European Commission, n.d.-b, n.d.-a).

The trading component lets firms buy and sell allowances on the market. Firms that can reduce emissions at low cost can sell their extra allowances to others with higher mitigation costs. This market flexibility drives reductions where they are most economical. Each year, firms must measure and report their emissions and surrender an equivalent number of allowances. If they fail to comply, they face substantial penalties and still have to submit the missing allowances (DNV, n.d.-a; European Commission, n.d.-b, n.d.-a).

As the number of allowances falls, scarcity arises and, together with demand, determines the carbon price. This price signal gives firms a clear financial motive to adopt low-carbon

technologies and improve energy efficiency, since cutting emissions can become cheaper than buying permits. Proceeds from allowance auctions largely go to EU Member States, who are required to use them to advance the green transition, for example, by funding renewables, energy efficiency, and low-carbon innovation through instruments such as the Innovation Fund and the Modernisation Fund (Christodoulou & Cullinane, 2024; European Commission, n.d.-a; Vaca-Cabrero et al., 2024).

1.2. Legislative Context

The EU ETS rests on Directive 2003/87/EC, which has been amended multiple times to keep the system aligned with the EU's evolving climate goals (European Commission, n.d.-a). The choice to include maritime transport was driven by the European Green Deal, a broad strategy unveiled in late 2019 to make the EU a climate-neutral continent by 2050. The EGD raised overall ambition and requires all sectors, including shipping, to contribute to the emission-reduction targets (Christodoulou et al., 2021; Lynce de Faria, 2024; Vaca-Cabrero et al., 2024).

To give legal force to this ambition, the European Commission presented the Fit for 55 package on 14 July 2021. This set of proposals aims to update EU legislation to achieve at least a 55% cut in net GHG emissions by 2030 compared with 1990 levels. A key element was the plan to bring shipping emissions into the EU ETS (European Commission, n.d.-a; Lynce de Faria, 2024; Vaca-Cabrero et al., 2024). The EU proceeded unilaterally in part because progress toward a global market-based measure at the International Maritime Organization had been slow (Christodoulou et al., 2021; Christodoulou & Cullinane, 2024).

After the legislative process concluded, the amended ETS Directive was formally adopted in May 2023 and entered

into force on 5 June 2023, with the maritime rules applying from 1 January 2024. The system is flag-agnostic and route-based, covering CO₂ emissions from any vessel of 5,000 gross tonnage (GT) or more that calls at EU ports (European Commission, n.d.-c, n.d.-b). The scope includes (European Commission, n.d.-c; Vaca-Cabrero et al., 2024):

- 100% of emissions from voyages between two EU ports and from time spent at berth in an EU port.
- 50% of emissions from voyages that start or end at a non-EU port.

2. ECONOMIC IMPACTS ON THE MARITIME SECTOR

Expanding the EU ETS to shipping generates wide-ranging economic effects, influencing everything from individual vessels' operating costs to the competitive landscape of global trade routes. As a market-based instrument, the EU ETS internalizes GHG externalities by imposing a mandatory carbon price on shipping companies (Vaca-Cabrero et al., 2024). This new financial reality is poised to influence investment decisions, reshape port competition, create differentiated effects across various shipping segments, and necessitate fundamental changes in the contractual relationships between maritime stakeholders (Christodoulou et al., 2021; Lynce de Faria, 2024). Figure 1 summarizes the multifaceted nature of the EU ETS and its far-reaching consequences for the port ecosystem, in terms of the Social, Environmental and Governance dimensions, as well as the Economic dimensions.

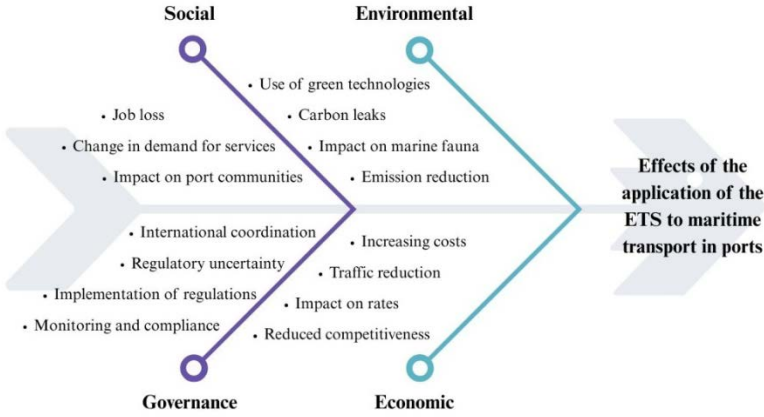


Figure 1. The impact of the EU ETS on ports (adopted from (Vaca-Cabrero et al., 2024)).

2.1. Direct Financial Costs

The EU ETS's most immediate economic effect on maritime transport is a direct cost for shipping firms, which must buy and surrender EU Allowances (EUAs) to cover their verified greenhouse gas emissions (Vaca-Cabrero et al., 2024). Operating under a "cap and trade" principle, the EU ETS establishes a carbon market where the price of EUAs fluctuates based on supply and demand, introducing a new and potentially volatile operational cost for ship operators. Shipping companies will not be granted free allowances and must acquire EUAs through auctions or secondary markets (DNV, n.d.-b, n.d.-c).

This new cost burden is significant. Early estimates using 2019 emissions data from the EU's MRV system indicate the maritime sector could incur an additional €1.7–€10.1 billion per year, depending on the system's geographic scope and allowance prices (Christodoulou et al., 2021). At the voyage scale, costs can be substantial: based on 2022 trading patterns and an EUA price of USD 90 per ton, a VLCC on the Ras Tanura–Rotterdam route would need roughly USD 200,000 in allowances in 2024, about 4% of current freight costs, rising to

around 10% by 2026 when the EU ETS is fully phased in (Lynce de Faria, 2024).

These direct costs are amplified by external geopolitical developments. Recent attacks by Houthi rebels in the Red Sea have compelled many Asia–Europe routes to divert via the Cape of Good Hope. This diversion adds approximately 9 to 14 days and up to 9,000 nautical miles to a voyage, significantly increasing fuel consumption and, consequently, the number of EUAs a company must purchase to cover its emissions. This confluence of regulatory and geopolitical pressures creates a challenging financial environment for operators serving European trade routes (Lynce de Faria, 2024).

2.2. Port Competitiveness and Carbon Leakage

A key concern with the EU ETS being applied unilaterally is that it could erode the competitiveness of European ports and trigger carbon leakage. Carbon leakage arises when emission cuts in one area lead to increases elsewhere, weakening the policy's global environmental impact. As a result, the higher costs of calling at EU ports may prompt carriers to reconfigure routes and shift calls to nearby non-EU ports in North Africa or Turkey to avoid or reduce their ETS liabilities (Christodoulou & Cullinane, 2024; Vaca-Cabrero et al., 2024).

Shipping companies can employ several evasive strategies. One method is to add a stop at a non-EU port before calling in the EU, thereby shortening the voyage length subject to the 50% emissions calculation. Another strategy is to use a "hub-and-spoke" model, where large mother ships unload cargo at a non-EU transshipment port, and smaller feeder vessels (potentially below the 5,000 GT threshold) transport the goods to their final destination in the EU (Lynce de Faria, 2024; Vaca-Cabrero et al., 2024). The financial incentive for such behaviour

is significant. One study demonstrated that a route from Montreal to Le Havre could save over €2,000 per stopover by including an intermediate call at Liverpool (a non-EU port). Another scenario showed a potential saving of over €11,000 on a voyage by stopping at Tangier instead of the EU port of Algeciras. Another clear example of changing routes is the route of the Maersk Chicago vessel (Figure 2), which illustrates how, the route changed from the logical Suez Canal passage (until December 2023) to circumnavigating Africa via the Cape of Good Hope (from January 2024) (Vaca-Cabrero et al., 2024).

Such a shift in traffic could lead to a reduction in cargo volumes and transshipment activities at EU hub ports, resulting in significant business and economic losses, including job losses in port communities (Vaca-Cabrero et al., 2024). This diversion could also undermine the environmental objective of the directive, as longer, rerouted voyages may ultimately increase overall GHG emissions (Lynce de Faria, 2024). To reduce this risk, the EU now classifies certain high-transshipment non-EU ports located within 300 nautical miles of an EU port as “neighbouring container transshipment ports” (DNV, n.d.-c; Vaca-Cabrero et al., 2024). Calls at these designated ports (currently Tanger Med in Morocco and East Port Said in Egypt) do not count as a non-EU port call for the purpose of avoiding ETS obligations on the subsequent voyage to the EU. However, this rule does not cover all potential non-EU ports, and loopholes for evasion remain (European Commission, n.d.-b; Lynce de Faria, 2024).

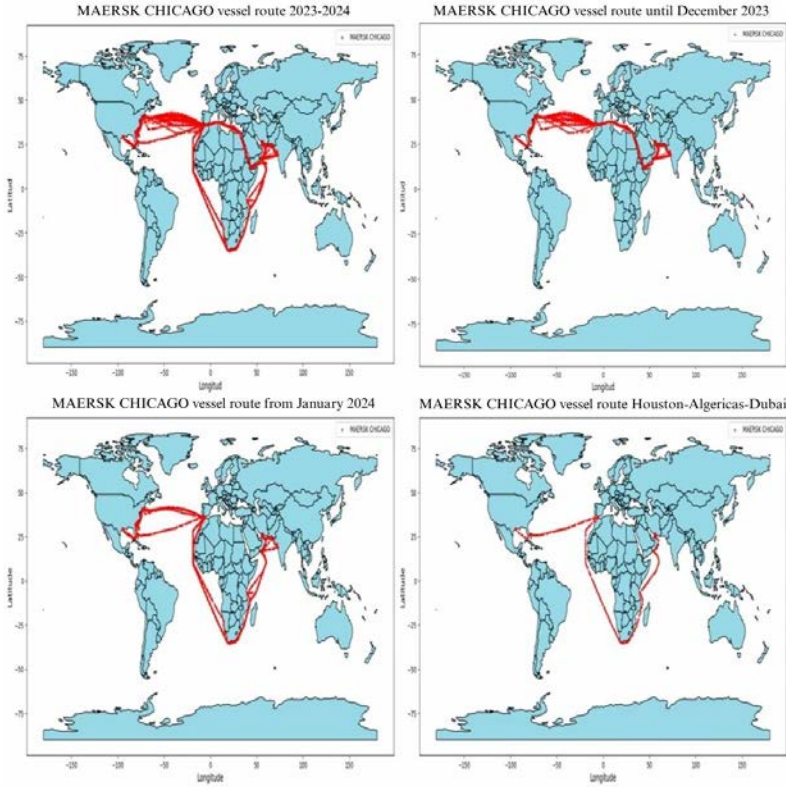


Figure 2. Maersk Chicago vessel GPS position (adopted from (Vaca-Cabrero et al., 2024)).

2.3. Differentiated Impact on Shipping Segments

Because the maritime sector is diverse, the EU ETS's economic effects will vary across the industry. The cost burden will vary significantly between different shipping segments, largely because of fundamental differences in their operational profiles and energy efficiency, typically measured in CO₂ emissions per unit of transport work (e.g., tonne-nautical mile) (Christodoulou et al., 2021).

MRV data analysis indicates that Ro-Ro and Ro-Pax ships (roll-on/roll-off and roll-on/roll-off passenger) have notably high CO₂ emissions per unit of transport work, partly

due to their operating characteristics and relatively low load factors. In contrast, segments such as bulk carriers and oil tankers are generally more energy-efficient. This disparity means that an undifferentiated application of the ETS would disproportionately penalize less energy-efficient segments (Christodoulou et al., 2021).

This issue is particularly acute when considering the methodology for allocating any potential free allowances in the future. If a uniform benchmark based on average fleet efficiency were used, it would heavily favour the most efficient segments like bulkers, which could even receive a surplus of allowances. Conversely, it would impose severe financial penalties on Ro-Ro and Ro-Pax vessels. This could create significant competition distortion within the maritime industry, rewarding certain business models over others based on inherent operational differences rather than efforts to improve efficiency (Christodoulou et al., 2021).

Furthermore, for short-sea shipping (SSS), which faces strong competition from land-based transport modes like trucking, the increased operational costs from the ETS could be critical (Christodoulou et al., 2021; Christodoulou & Cullinane, 2024). Given the high price sensitivity of demand for these services, higher freight rates could push traffic from sea to road—a modal shift that would undermine the EU’s broader transport and environmental objectives by potentially increasing overall emissions, congestion, and other negative externalities.

2.4. Contractual Implications

The substantial costs introduced by the EU ETS are expected to be passed down through the maritime value chain, meaning shipping companies will seek to include the cost of allowances in the terms of commercial contracts with charterers and cargo owners. This requires the development of new

contractual clauses to manage the financial liabilities and operational data-sharing required for compliance (DNV, n.d.-c, n.d.-b; European Commission, n.d.-b).

Industry bodies like BIMCO have already proposed standard clauses designed to protect shipowners from the costs incurred by emissions generated under a charterer's operational control. Such clauses typically establish a framework for the owner and charterer to cooperate and exchange verified data on emissions in a timely manner. In the case of a time charter, for example, the owner would notify the charterer of the emissions generated, and the charterer would then transfer funds or EUAs to the owner to cover the corresponding compliance cost. This necessitates a common and trusted basis of verified emissions data to facilitate these commercial settlements (DNV, n.d.-c, n.d.-b).

The ETS Directive itself provides a legal basis for this cost pass-through. It stipulates that a shipping company can recover the costs of surrendered allowances from the party responsible for operating the vessel, such as a charterer who sets the cargo, route, and speed. EU Member States are required to provide access to justice to enforce this entitlement. Despite these contractual arrangements allowing for the transfer of costs, it is crucial to note that the ultimate legal responsibility for monitoring emissions and surrendering the required allowances remains with the designated "shipping company" (i.e., the shipowner or the mandated ISM company) (European Commission, n.d.-b).

3. COMPLIANCE OBLIGATIONS FOR SHIPPING COMPANIES

Including maritime transport in the EU ETS creates a binding legal regime that obliges shipping companies to assume

direct financial liability for their GHG emissions (DNV, n.d.-c; European Commission, n.d.-a). Unlike voluntary schemes, participation is compulsory for all companies operating ships within the regulation's scope (European Commission, n.d.-d). Successful adherence to the EU ETS depends on a company's ability to navigate a structured set of obligations, which are enforced through a clear annual compliance cycle, rigorous monitoring and reporting protocols, the active management of emission allowances, and significant penalties for non-compliance. This section details these core compliance pillars that shipping companies must understand and implement to operate legally within the European Economic Area (EEA).

3.1. Monitoring, Reporting, and Verification (MRV)

The EU's Monitoring, Reporting and Verification (MRV) regulation underpins ETS compliance by supplying the data framework for emissions accounting. In force since 2018, the MRV rules were updated in 2023 to align with the ETS's expansion (European Commission, n.d.-c). Companies must adhere to a three-step process (European Commission, n.d.-b, n.d.-c):

- **Monitoring:** Each company must develop and maintain an approved Monitoring Plan for every ship under its responsibility. The plan sets out methods for measuring fuel use and other voyage-level metrics such as distance, time at sea, and cargo carried. As of 1 January 2024, monitoring has expanded beyond CO₂ to also include methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O).

- **Reporting:** Annually, companies must compile the monitored data into an emissions report for each ship. These individual ship reports are then aggregated into a company-level emissions report, which forms the basis for the company's ETS obligations. All reports must be filed via THETIS-MRV, the

centralized online platform managed by the European Maritime Safety Agency (EMSA).

- **Verification:** Before submission, both ship- and company-level emissions reports must be reviewed by an accredited verifier to confirm the data is sufficient and complies with regulatory requirements. These verifiers are independent entities accredited by the National Accreditation Bodies of EU Member States. This third-party verification ensures the accuracy and credibility of the emissions data that underpins the entire system.

3.2. Acquiring and Surrendering Allowances

Under the EU ETS, shipping firms must manage their carbon exposure by purchasing and surrendering EU Allowances (EUAs), with each allowance authorizing the emission of one tonne of CO₂ equivalent (DNV, n.d.-c; European Commission, n.d.-a). Unlike some other sectors, the maritime industry is not granted free allowances and must purchase 100% of the allowances it needs. Shipping companies can obtain the general EUAs, which are the same type used by the power, industrial, and aviation sectors, through two main channels (DNV, n.d.-b; European Commission, n.d.-b):

- **Primary Market:** Allowances can be purchased at auctions organized by the European Energy Exchange (EEX) on behalf of the EU.

- **Secondary Market:** Allowances can be traded through brokers, online trading platforms, or bilateral agreements with other companies.

To carry out these transactions, each shipping firm must set up a Maritime Operator Holding Account (MOHA) in the Union Registry with its assigned administering authority. The account is used to hold and surrender allowances. Companies

not included on the initial attribution list must apply to open a MOHA within 65 working days of their first voyage that falls under the ETS. It is important to note that carbon credits or certificates from outside the EU ETS cannot be used for compliance (European Commission, n.d.-b). By the annual deadline of 30 September, companies must surrender a quantity of EUAs in their MOHA that is equivalent to their total verified emissions from the previous reporting year. This process is executed electronically through the Union Registry.

The circular annual journey of shipping companies within the EU ETS, from emissions monitoring to permit submission, is shown in Figure 3.

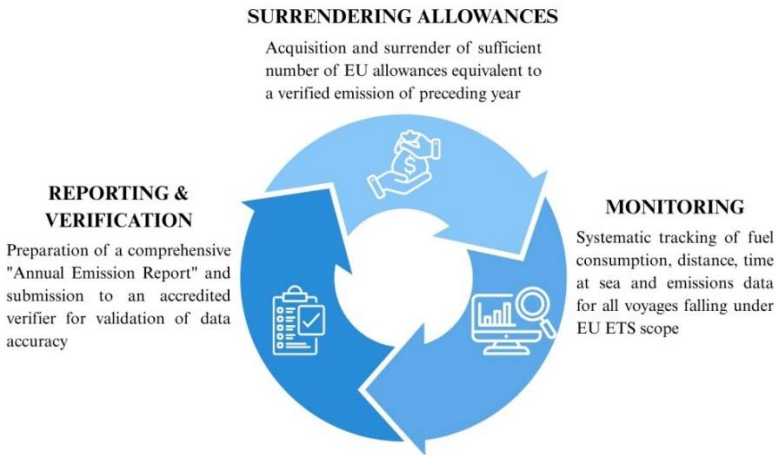


Figure 3. Annual EU ETS maritime cycle.

3.3. Penalties for Non-Compliance

The EU ETS framework includes stringent enforcement measures to ensure compliance, with severe penalties for companies that fail to meet their obligations (European Commission, n.d.-b; Lynce de Faria, 2024). The consequences of non-compliance are multi-layered and can have significant financial and operational repercussions.

- **Excess Emissions Penalty:** A company that fails to surrender sufficient allowances by the deadline is liable for an excess emissions penalty of €100 for each tonne of CO₂ equivalent not covered (DNV, n.d.-a; European Commission, n.d.-b). This figure is also subject to adjustments for inflation. Crucially, payment of this penalty does not absolve the company of its original obligation; it is still required to surrender the missing allowances (European Commission, n.d.-b).

- **Expulsion Order:** If a company fails to surrender allowances for two or more consecutive reporting periods, the competent authority in the EU Member State of port entry can issue an expulsion order. This stringent measure obliges all EU Member States to refuse port entry to any vessel under the non-compliant company's responsibility until the surrender obligations are met (DNV, n.d.-a; European Commission, n.d.-b).

- **Detention of Vessels:** If a vessel subject to an expulsion order is flagged by an EU Member State, that state is empowered to detain the ship in one of its ports until the company fulfills its obligations (European Commission, n.d.-b).

These penalties are designed to be effective, proportionate, and dissuasive, underscoring the mandatory nature of the system. A single ship's failure to comply can jeopardise the standing of an entire fleet, making comprehensive compliance management essential for all operators in the EU (DNV, n.d.-a).

4. FUTURE PERSPECTIVES AND CHALLENGES

The extension of the EU ETS to maritime transport is a landmark policy that introduces new complexities and long-term

considerations for the industry. While the system is designed to accelerate decarbonisation, its future success and impact will be shaped by its implementation schedule, its interaction with international law, the strategic use of its generated revenues, and its relationship with global regulatory bodies. The following sections explore the key future perspectives and challenges that will define the EU ETS's role in shipping's green transition.

4.1. Phased Implementation

To ensure a smooth transition for the shipping sector, the EU has adopted a phased implementation of ETS obligations. This gradual approach allows shipping companies time to adapt their operations, financial planning, and compliance strategies to the new regulatory landscape. The phase-in period involves a progressive increase in the share of emissions for which companies must surrender EU Allowances (EUAs) (DNV, n.d.-c; European Commission, n.d.-c, n.d.-b).

The timeline for surrendering obligations is structured as follows (DNV, n.d.-c; European Commission, n.d.-c, n.d.-b):

- In 2025, companies will be required to surrender allowances for 40% of their verified emissions from the 2024 reporting period.
- In 2026, this requirement will increase to 70% of emissions from the 2025 reporting period.
- From 2027 onwards, companies must cover 100% of their reported emissions with allowances.

The regulation's coverage will broaden over time. Initially, the ETS applies to CO₂ emissions from cargo and passenger vessels of 5,000 GT and above, but from 2026 it will also include methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). In 2027, large offshore ships (5,000 GT and over) will be brought into the ETS. General cargo and offshore vessels between 400 and

5,000 GT will enter the MRV system in 2025, followed by a review to assess their potential inclusion in the ETS (DNV, n.d.-c; European Commission, n.d.-b, n.d.-c; Vaca-Cabrero et al., 2024). The strategic phase-in plan, detailing the progressive increase in compliance obligations and the expansion of covered emissions and vessel types, is presented in Figure 4. This step-by-step expansion ensures that the system progressively covers a larger portion of the sector's climate impact while giving operators time to prepare for future compliance requirements.

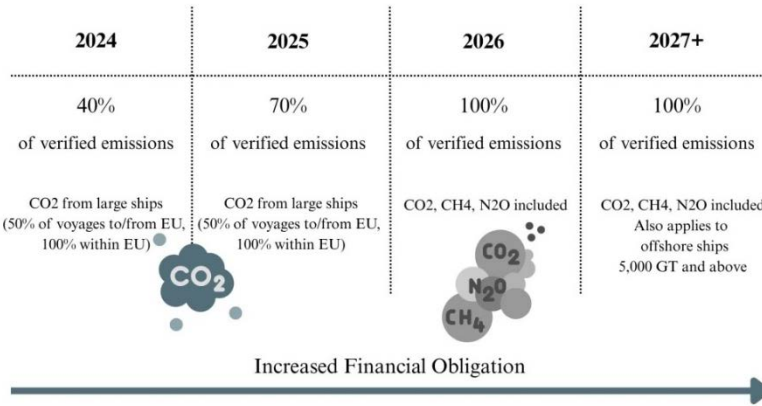


Figure 4. EU ETS phase-in timeline.

4.2. Risk of International Investment Disputes

The unilateral implementation of the EU ETS creates a potential conflict between the EU's climate objectives and its obligations to protect foreign investors under International Investment Agreements (IIAs). The new directive may lead to investor-state disputes, as foreign shipping companies could argue that the financial burdens imposed by the ETS violate core investor protections, leading to claims of significant financial losses (Wang et al., 2024).

Two key legal principles are at the center of this challenge (Wang et al., 2024):

- Fair and Equitable Treatment (FET): This is a core protection in most IIAs, designed to safeguard an investor's "legitimate expectations" against arbitrary or non-transparent government actions. Foreign investors might argue that when they made their investments, they had a legitimate expectation of a stable regulatory environment and that the imposition of the ETS frustrates these expectations, especially if it significantly alters the economic viability of their operations.

- Indirect Expropriation: It arises when government regulations, though not amounting to an outright asset seizure, materially deprive an investor of the use, value, or returns of their investment. Investors could claim that the costs associated with EU ETS compliance constitute a measure "tantamount to expropriation" by eroding the value of their fleets and business operations in the EU.

The threat of investor-state arbitration, which can result in large compensation awards, creates a risk of "regulatory chill", a situation where governments may become hesitant to enact or enforce ambitious environmental policies for fear of triggering costly legal disputes. This is compounded by the lack of a uniform international dispute resolution mechanism for climate-related cases and inconsistency in how arbitral tribunals have ruled in the past. The ambiguity in the scope of what constitutes a protected "investment" and the broad discretion of tribunals in interpreting IIA terms create significant uncertainty for both states and investors in the maritime industry (Wang et al., 2024).

4.3. Use of Revenues for Decarbonisation

A significant opportunity presented by the EU ETS is the generation of substantial revenues from the auctioning of allowances, which can be channelled back into the economy to support the green transition (Christodoulou & Cullinane, 2024;

European Commission, n.d.-a; Vaca-Cabrero et al., 2024). The ETS Directive requires Member States to direct proceeds from allowance auctions to climate-related uses. The eligible uses have been explicitly broadened to include measures to decarbonise maritime transport, such as investments in ports (European Commission, n.d.-b).

The Innovation Fund is a key EU-level instrument for deploying these revenues. It is among the world's largest funding schemes for cutting-edge low-carbon technologies and has been bolstered with a bigger budget under the updated ETS framework (European Commission, n.d.-a). A dedicated portion of the Innovation Fund, sourced from the auctioning of 20 million EUAs (estimated at around €1.6 billion), will be used to support decarbonisation projects specifically within the maritime sector (DNV, n.d.-b; European Commission, n.d.-b). These funds can finance a broad array of initiatives, including developing and deploying renewable and low-carbon fuels, upgrading ships with energy-efficiency technologies, and building green infrastructure in ports (Christodoulou & Cullinane, 2024; European Commission, n.d.-b). By reinvesting the proceeds from the carbon market back into the industry, the EU aims to create a virtuous cycle that lowers the cost of green technologies, bridges the price gap between conventional and alternative fuels, and accelerates the sector's overall transition to climate neutrality (Christodoulou & Cullinane, 2024; European Commission, n.d.-c).

4.4. EU Unilateralism vs. Global IMO Action

A fundamental challenge for the future of maritime climate policy is the tension between the EU's unilateral, regional approach and the slower, consensus-driven global framework of the IMO. The EU's decision to extend the ETS to shipping was partly motivated by what it perceived as slow

progress at the IMO in adopting a global market-based measure (Christodoulou & Cullinane, 2024; Vaca-Cabrero et al., 2024). As a global institution, the IMO requires lengthy negotiations to reach consensus among its many member states, which have differing economic interests and follow the principle of “common but differentiated responsibilities.” Hence, market-based measures (MBMs) at the IMO are viewed as medium- to long-term steps, unlikely to be agreed or implemented before 2030 (Christodoulou et al., 2021; Christodoulou & Cullinane, 2024).

While the EU's proactive stance drives decarbonisation efforts within Europe, its unilateral nature creates several risks. It can lead to a fragmented global regulatory landscape, creating complexity for an industry that is inherently international (Lynce de Faria, 2024; Vaca-Cabrero et al., 2024). It also sparks worries about carbon and business leakage, as carriers may divert calls to non-EU ports to sidestep ETS costs, thereby weakening the policy's environmental impact and eroding the competitiveness of EU ports. This regional approach contrasts with the IMO's long-standing goal of ensuring a "level playing field" for international competition by applying regulations uniformly to all ships, regardless of flag (Christodoulou & Cullinane, 2024; Lynce de Faria, 2024; Vaca-Cabrero et al., 2024).

The EU has acknowledged this tension within its legislation. The ETS Directive includes a reporting and review clause that mandates the Commission to monitor developments at the IMO. This provision allows the EU to assess the impact of its rules and, if appropriate, propose measures to align with a comparable global system should one be established by the IMO in the future (Christodoulou & Cullinane, 2024; European Commission, n.d.-c; Vaca-Cabrero et al., 2024).

5. CONCLUSION

The inclusion of the maritime sector in the EU ETS from January 1, 2024, is a significant regulation that introduces mandatory carbon pricing for the sector and fundamentally changes the economic and operational paradigms for companies in the European Economic Area (EEA). This policy creates a new direct and variable operational cost by requiring companies to purchase EU Emissions Allowances (EUAs). A major risk is carbon leakage, with vessels potentially rerouting to non-EU ports to evade ETS charges, which could undermine the competitiveness of EU ports.

Companies are required to adhere to an annual monitoring, reporting, and permit submission cycle, backed by heavy penalties such as fines and the banning of fleets from EU ports. The unilateral nature of the policy creates tensions with the global nature of shipping and the slower processes of the IMO. However, there is also an opportunity to accelerate decarbonization by redirecting revenues from permit sales back into the sector through tools such as the Innovation Fund.

In the end, the policy's success hinges on cutting emissions without eroding the EU maritime sector's competitiveness, strategically reinvesting revenues, and advancing a global solution through the IMO.

REFERENCES

- Christodoulou, A., & Cullinane, K. (2024). The prospects for, and implications of, emissions trading in shipping. *Maritime Economics & Logistics*, 26(1), 168–184. <https://doi.org/10.1057/s41278-023-00261-1>
- Christodoulou, A., Dalaklis, D., Ölçer, A. I., & Ghaforian Masodzadeh, P. (2021). Inclusion of Shipping in the EU-ETS: Assessing the Direct Costs for the Maritime Sector Using the MRV Data. *Energies*, 14(13), 3915. <https://doi.org/10.3390/en14133915>
- DNV. (n.d.-a). *EU ETS – Compliance*. Retrieved September 24, 2025, from <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/eu-emissions-trading-system/eu-ets-compliance/>
- DNV. (n.d.-b). *EU ETS – EU Allowances*. Retrieved September 24, 2025, from <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/eu-emissions-trading-system/eu-allowances/>
- DNV. (n.d.-c). *EU ETS – Overview*. Retrieved September 24, 2025, from <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/eu-emissions-trading-system/>
- European Commission. (n.d.-a). *About the EU ETS*. Retrieved September 24, 2025, from https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-markets/eu-emissions-trading-system-eu-ets/about-eu-ets_en
- European Commission. (n.d.-b). *Maritime transport in EU Emissions Trading System*. Retrieved September 24, 2025, from <https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-decarbonisation/reducing-emissions->

shipping-sector/faq-maritime-transport-eu-emissions-trading-system-ets_en

European Commission. (n.d.-c). *Reducing emissions from the shipping sector*. Retrieved September 24, 2025, from https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-decarbonisation/reducing-emissions-shipping-sector_en

European Commission. (n.d.-d). *Scope of the EU ETS*. Retrieved September 24, 2025, from https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-markets/eu-emissions-trading-system-eu-ets/scope-eu-ets_en

Lynce de Faria, D. (2024). The EU Emission Trading System Tax Regime and the Issue of Unfair Maritime Competition. *Sustainability*, 16(21), 9474. <https://doi.org/10.3390/su16219474>

Vaca-Cabrero, J., González-Cancelas, N., Camarero-Orive, A., Corral, M. M. E.-I., & Ricci, S. (2024). Economic Impact of the Application of the ETS to European Ports: Analysis of Different Scenarios. *Sustainability*, 16(23), 10433. <https://doi.org/10.3390/su162310433>

Wang, W., Zou, Y., Cheng, Y., & Liu, Y. (2024). The impact of EU-ETS on the global marine industry and the relevant investment dispute resolutions. *Frontiers in Marine Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1333809>

THE IMPACT OF HIGH STRESS ON MEMORY AND COGNITIVE FUNCTIONS IN SEAFARERS

Yusuf Tarık MUTLU¹

1. INTRODUCTION

Facilitating more than 90% of world trade, maritime transport is a cornerstone of the global economy, enabling the transport of billions of tonnes of goods each year (Ma et al., 2023; Othman et al., 2023). In 2021, the industry relied on approximately 1.9 million seafarers worldwide, whose competence and professionalism are crucial for shipping safety and the sustainability of the global supply chain (Ma et al., 2023). However, the maritime profession is inherently unique, characterized by challenging and often isolated working and living conditions that differ significantly from those of land-based jobs (Brooks & Greenberg, 2022; Othman et al., 2023). Seafarers operate within a confined social system, spending prolonged periods at sea, where both work and leisure time often occur in the same restricted environment, leading to constant exposure to ship-related stressors (Brooks & Greenberg, 2022; Hystad & Eid, 2016).

1.1. Problem Statement

The seafaring profession, while indispensable to global trade, is inherently fraught with unique stressors that significantly compromise the mental health and cognitive functions of its workforce (Othman et al., 2023). Human factors

¹ Research Assistant, Istanbul Technical University, Faculty of Maritime, Department of Marine Engineering, ymutlu@itu.edu.tr, ORCID: 0009-0003-0400-8659.

are consistently identified as the predominant cause of maritime accidents, accounting for over 80% of all incidents (Yoshida et al., 2021). These errors are intimately linked to the mental states of seafarers, including excessive mental workload (MWL), stress, and fatigue, which directly lead to cognitive errors and safety risks (Yang et al., 2023; Yoshida et al., 2021).

Seafarers experience higher stress levels compared to onshore populations (Othman et al., 2023; Tam et al., 2021). This heightened stress manifests in a concerning prevalence of mental health issues, making seafaring one of the occupations with the highest risk for suicide, which accounted for 15% of seafarer deaths in 2017 (Othman et al., 2023). Conditions such as depression, anxiety, and mental burnout are common consequences of the demanding onboard environment (Brooks & Greenberg, 2022; Girotti et al., 2024). Factors contributing to poor mental health include social isolation, poor physical conditions, long and irregular shifts, poor sleep quality, poor team cohesion and lack of social support (Brooks & Greenberg, 2022). The recent COVID-19 pandemic has further exacerbated these issues, leading to extended contracts, prolonged time at sea, and increased fatigue and stress (Ma et al., 2023; Othman et al., 2023; Yang et al., 2023).

Beyond general mental health, the chronic exposure to these stressors leads to significant cognitive impairments. Stress and fatigue can directly impair attention, learning ability, memory, perception, and decision-making capabilities (Ma et al., 2023; Yang et al., 2023; Yoshida et al., 2021). Research indicates that elevated glucocorticoid levels, often associated with chronic stress, can lead to impairments in memory and shortened attention spans (Girotti et al., 2024). Vigilance demands, prevalent in watch-keeping duties, are particularly strong predictors of chronic fatigue and poor sleep quality, despite sometimes being perceived as restorative (Andrei et al.,

2020). These cognitive failures can have disastrous consequences on a ship underway, directly impacting navigational safety.

Therefore, there is an urgent and critical need to systematically examine the complex interplay between the unique stressors of the maritime environment and their profound impact on seafarers' mental health and cognitive functions, especially memory loss. Understanding these mechanisms is essential not only to mitigate the human error contributing to maritime accidents and economic losses but also to safeguard the well-being of the seafarer, ensuring a healthy and sustainable global maritime industry.

1.2. Purpose

This chapter aims to comprehensively explore the profound impact of high stress on the cognitive functions of seafarers, with a particular focus on memory loss, integrating both psychological and physiological perspectives. As previously established, the unique and demanding nature of the seafaring profession exposes individuals to chronic and acute stressors that significantly elevate the risk of mental health issues and cognitive impairments (Brooks & Greenberg, 2022; Girotti et al., 2024; Ma et al., 2023; Othman et al., 2023; Yoshida et al., 2021). Human errors, often stemming from excessive cognitive load, stress, and fatigue, are the primary cause of maritime accidents, underscoring the critical need to understand how these factors compromise mental capabilities essential for safe navigation (Ma et al., 2023; Yoshida et al., 2021).

Understanding the neurobiological mechanisms underlying these effects is crucial for developing effective reduction strategies and interventions. Research has shown that persistent elevation of stress hormones, such as glucocorticoids

(e.g., cortisol), is associated with cognitive impairments, including memory deficits and shortened attention spans (Girotti et al., 2024; McEwen & Sapolsky, 1995). Moreover, fatigue, a prevalent issue among seafarers, directly impacts attention, learning, memory, perception, and decision-making abilities (Ma et al., 2023; Thomas et al., 2021; Yang et al., 2023). This chapter will delve into these intricate relationships to provide a holistic view of how the challenging maritime environment affects the seafarer's brain and mind.

2. SEAFARER'S STRESSORS AT SEA

2.1. Psychosocial Stressors

Seafarers operate within a unique, confined social system that exposes them to a distinct array of psychosocial stressors, significantly impacting their mental health and cognitive functions. These stressors are often interconnected and prolonged, making seafaring a high-risk occupation for mental health issues (Brooks & Greenberg, 2022; Othman et al., 2023; Tam et al., 2021). Key psychosocial stressors are explained under the following subheadings.

Workload and Demands

The nature of seafaring often entails long and irregular working hours, arbitrary shift systems and insufficient rest, leading to high work-related tension and fatigue (Ma et al., 2023; Othman et al., 2023). Seafarers frequently face high job demands, role overload, and time pressure (Andrei et al., 2020). Tasks can be complex, require constant multitasking and vigilance, or involve low stimulation combined with high attentional demands, which can lead to boredom and mental strain. Quantitative overload, insufficient crewing levels, and

excessive administrative burdens further exacerbate this (Andrei et al., 2020; Oldenburg et al., 2021; Tam et al., 2021).

Social Isolation and Interpersonal Environment

One of the most significant stressors is prolonged separation from family and social networks, leading to loneliness, homesickness, and emotional tension due to insufficient family care (Oldenburg et al., 2021; Othman et al., 2023). The inability to go ashore, exacerbated by events like the COVID-19 pandemic, intensifies this isolation. Additionally, the confined social system on board, often with multinational crews from diverse backgrounds, can lead to poor team cohesion, interpersonal conflicts between ranks and departments, and communication issues (Brooks & Greenberg, 2022; Ma et al., 2023; Othman et al., 2023).

Organizational and Management Factors

The work environment often presents challenges related to organizational support and leadership. Seafarers frequently report a lack of social support from colleagues and supervisors, and a poor perception of management. This includes a perceived lack of care, management prioritizing productivity over safety, and a feeling of being undervalued or facing undue criticism. Management visits may be perceived as inspections rather than support, disrupting normal work rhythms. Furthermore, lack of job autonomy and control, due to hierarchical structures and highly procedurized work, contributes to stress. Other stressors include scheduling uncertainties, unstable employment opportunities, and a lack of adequate training and knowledge (Andrei et al., 2020; Brooks & Greenberg, 2022; Christodoulou et al., 2019).

Mental Health Consequences and Contributing Psychological Factors

These psychosocial stressors culminate in a high prevalence of mental burnout, depression, anxiety, and emotional exhaustion (Othman et al., 2023). Seafarers experience high levels of perceived stress, which significantly impacts their fatigue levels and safety behavior (Yang et al., 2023). Individual factors such as a "defective mount guard emotion" (poor mood) and certain personality traits can also contribute to cognitive load and stress vulnerability (Ma et al., 2023). Financial stress and over-commitment to work are also identified as significant concerns (Brooks & Greenberg, 2022). Moreover, the high responsibility associated with carrying passengers further increases psychological pressure and vigilance demands, influencing fatigue levels (Yang et al., 2023).

External Shocks and Security Threats

Global events, such as the COVID-19 pandemic, have introduced unprecedented challenges, including extended contracts, difficulties in crew changes, prolonged time at sea, reduced shore leave, and a lack of support from shipping companies, all of which amplify existing stressors and contribute to mental and physical fatigue. Additionally, seafarers face safety and security threats such as piracy, stowaways, and the psychological burden of search and rescue operations for refugees, which can lead to significant psychological stress. Worrying about sudden accidents is also a source of anxiety (Brooks & Greenberg, 2022; Jensen & Oldenburg, 2019; Ma et al., 2023; Yang et al., 2023).

These pervasive psychosocial stressors collectively contribute to a demanding and often detrimental environment

for seafarers, significantly increasing their susceptibility to mental health issues and cognitive impairments.

2.2. Physical and Environmental Stressors

Seafarers are exposed to a distinct range of physical and environmental stressors that are inherent to their unique living and working environment, significantly impacting their health, safety, and cognitive functions. These conditions are often chronic due to the prolonged periods spent at sea within a confined social system (Brooks & Greenberg, 2022; Hystad & Eid, 2016; Othman et al., 2023; Yang et al., 2023). Key physical and environmental stressors are explained under the following subheadings.

Shipboard Conditions

Seafarers consistently report being negatively affected by high noise levels, often emanating from the engine room, and constant vibration throughout the vessel. Exposure to extreme temperatures (both heat and severe cold), poor ventilation, and inadequate lighting conditions, particularly in sleep quarters, are also prevalent stressors. These factors can impair attention, multiple reaction abilities, and perception. Prolonged exposure to such physical influences can also disrupt normal sleep patterns and increase fatigue (Brooks & Greenberg, 2022; Hystad & Eid, 2016; Ma et al., 2023; Yang et al., 2023).

Ship Motion and Adverse Weather

The motion of the ship, particularly during rough sea conditions and harsh weather, is a significant stressor. This motion may provoke a condition termed seasickness, distinguished by tiredness, lethargy, apathy, indifference in tasks, diminished engagement in group activities, sleep difficulties, and mild depression. Furthermore, adverse weather conditions like wind disasters, rain, or fog can severely block

visibility, increase ship shaking, and exacerbate physiological and psychological stress, contributing to higher fatigue levels (Hystad & Eid, 2016; Ma et al., 2023; Oldenburg et al., 2021; Yang et al., 2023).

Confined Living and Working Space

The nature of seafaring imposes restricted living space and limited activity areas on board. For seafarers on ocean-going ships, the monotonous sea landscape, coupled with a fixed team and poor bedding conditions, can lead to boredom and depression, negatively affecting perception abilities like speed, distance, and depth perception. Lack of exercise and recreational activities due to limited space is also a concern (Brooks & Greenberg, 2022; Christodoulou et al., 2019; Ma et al., 2023; Othman et al., 2023).

Dietary Conditions and Hygiene

Seafarers often face inadequate and irregular nutrition, with meals typically consisting mostly of meat and sugary foods and less of dairy products and vegetables. The difficulty of preserving fresh food during long voyages further limits healthy options. These conditions can lead to malnutrition, obesity, and other diseases, which seriously affect memory, cognition, and performance stability. Poor food hygiene and the risk of infectious or digestive diseases from consuming raw seafood due to working conditions also contribute to health problems (Brooks & Greenberg, 2022; Ma et al., 2023; Oldenburg et al., 2021; Othman et al., 2023).

Physical Work Demands and Ergonomics

The maritime work environment may entail significant physical demands, arduous postures, and suboptimal workplace design. For instance, individuals working in the engine room are exposed to inherently difficult and confined working conditions.

These factors directly contribute to physical fatigue (Brooks & Greenberg, 2022; Christodoulou et al., 2019; Yang et al., 2023).

Collectively, these physical and environmental stressors contribute to a decline in seafarers' physical and mental health, compromise their sleep quality, increase fatigue, and ultimately lead to cognitive impairments, thereby elevating the risk of human error and maritime accidents. A summary of these stressors, categorized by type, is provided in Table 1.

Table 1. Stressors faced by seafarers.

Stressors	
Psychosocial	Physical and Environmental
Workload and demands	Shipboard conditions
Social isolation	Ship motion and weather
Management factors	Confined living space
Security threats	Nutritional conditions

3. NEUROBIOLOGICAL MECHANISM OF STRESS AND MEMORY

3.1. The Stress Response and Hormones

The human body possesses adaptive mechanisms to cope with physiological or psychological stress (Girotti et al., 2024). When an individual perceives that the demands of a situation exceed their adaptive abilities, a stress response is triggered (Cantelon et al., 2024). This physiological reaction involves the release of numerous neurotransmitters, hormones, and peptides that sequentially affect brain cells (Schwabe et al., 2022). The most important of these stress mediators are catecholamines (such as adrenaline and noradrenaline or norepinephrine) and corticosteroid hormones (cortisol in humans). Other important mediators include neuropeptides like corticotropin-releasing factor (CRF) and endocannabinoids (McEwen & Sapolsky, 1995; Schwabe et al., 2022).

The stress response unfolds in a time-dependent manner, with distinct phases driven by these mediators:

- **Rapid Actions:** During and immediately after a stressful event, fast-acting catecholamines and rapid corticosteroid effects become dominant, supporting the initial "fight or flight" response (Schwabe et al., 2022). Catecholamines, secreted by the sympathetic nervous system, can enhance memory formation at low or moderate concentrations but disrupt it at excessively high levels. They are particularly linked to emotionally charged memories (McEwen & Sapolsky, 1995; Mendl, 1999).

- **Delayed Actions:** Corticosteroids also exert slower, gene-mediated actions that develop at later stages. These glucocorticoids affect synaptic plasticity in a biphasic manner over hours and can produce persistent changes in dendritic structure lasting for weeks (McEwen & Sapolsky, 1995; Schwabe et al., 2022).

The effect of these stress hormones on cognitive functions, particularly memory, is beneficial at moderate levels, but extremely high or prolonged elevations become detrimental and are often expressed in an inverted U-shaped relationship (Yerkes-Dodson law) (McEwen & Sapolsky, 1995; Mendl, 1999). For instance, low to moderate concentrations of both glucocorticoids and catecholamines can enhance memory formation (Mendl, 1999). Nevertheless, chronic increases in cortisol (CORT) or CRF have consistently been linked to difficulties in cognitive function, particularly in memory tasks reliant on the hippocampus (Girotti et al., 2024). The effect of stress level on memory performance is shown in Figure 1. Studies in healthy humans show that elevated glucocorticoids can produce reversible impairments in verbal declarative memory and shortened attention spans (Girotti et al., 2024). In clinical cases like Cushing Syndrome, characterized by

hypercortisolemia, impaired memory (83%) and shortened attention span (66%) are frequently reported cognitive symptoms (Girotti et al., 2024; McEwen & Sapolsky, 1995).

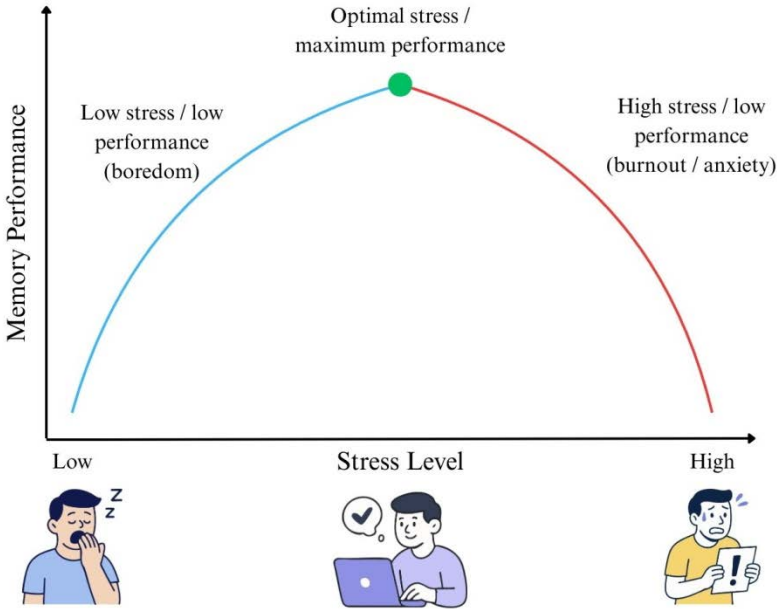


Figure 1. The effect of stress level on memory performance.

Chronic exposure to glucocorticoids can lead to more severe neurobiological changes, including hippocampal and cortical atrophy, shorter dendritic branches, and even the loss of neurons, particularly in the hippocampus, a brain region crucial for learning and memory (Girotti et al., 2024; McEwen & Sapolsky, 1995). This suggests that while acute stress responses are adaptive, chronic or excessive stress can compromise the very neural structures vital for cognitive processes. The effect of glucocorticoids on neurons is visualised in Figure 2. The unhealthy physical and mental states, alongside an escalated stress response, directly contribute to an excessive cognitive load, leading to cognitive errors and increased safety risks (Ma et al., 2023). While moderate stress can enhance productivity,

prolonged and excessive stressors, coupled with fatigue, significantly increase the likelihood of human error (Tam et al., 2021).

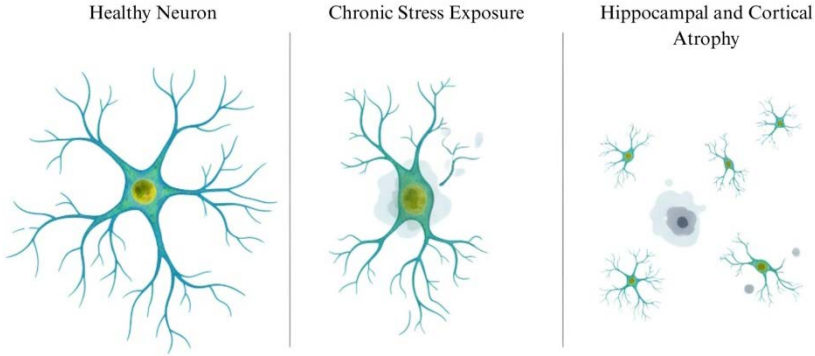


Figure 2. Neurobiological impact of chronic stress.

3.2. Brain Structures and Memory

Stress significantly impacts several key brain structures essential for cognitive functions, particularly memory, leading to various impairments. The hippocampus and prefrontal cortex (PFC) are two such critical regions, along with the amygdala, each playing distinct but interconnected roles in how memories are formed, stored, and retrieved (McEwen & Sapolsky, 1995).

The hippocampus is essential for learning and forming memories, particularly for memory tasks that depend on it, such as declarative memory for facts and events (Girotti et al., 2024; McEwen & Sapolsky, 1995). Under stress, the hippocampus is highly vulnerable to the effects of stress hormones. Chronic increases in glucocorticoids (such as cortisol) or corticotropin-releasing factor (CRF) are consistently linked to cognitive deficits, especially in tasks related to memory that rely on the hippocampus. Prolonged stress or sustained glucocorticoid exposure can cause the hippocampus to shrink, shorten dendritic branches, and alter its structure (Girotti et al., 2024). This

process, ranging from reversible atrophy to neuronal death under severe and prolonged stress, is visually depicted in Figure 3. In severe and prolonged stress, this can even result in the irreversible loss of hippocampal neurons, particularly in the CA3 and later CA1 regions (McEwen & Sapolsky, 1995). Studies using daily restraint stress in animals have shown dendritic retraction in the CA3 region of the hippocampus after as little as three weeks (Girotti et al., 2024). Although modest levels of stress hormones can boost memory formation, very high or sustained increases in catecholamines and glucocorticoids can impair memory processes (Mendl, 1999). Acute stress can also disrupt hippocampal-prefrontal function during spatial navigation, hindering flexible behavior (Schwabe et al., 2022).

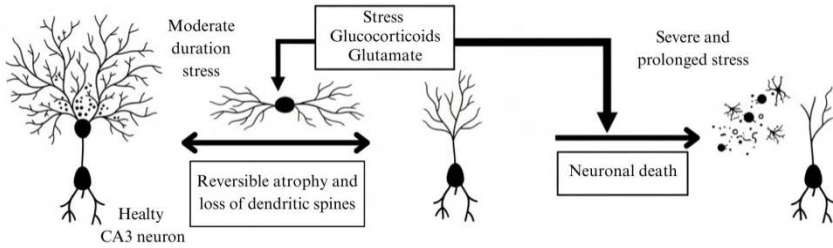


Figure 3. The impact of stress on hippocampus (adopted from (McEwen & Sapolsky, 1995)).

The prefrontal cortex (PFC) is vital for higher-order cognitive processes, including planning, cognitive control, visuospatial perception, reasoning, decision-making, and working memory (Thomas et al., 2021). Regarding structural changes, the prefrontal cortex appears more vulnerable to stress than the hippocampus. Chronic stress can impair PFC-dependent functions, including response inhibition and spatial working memory. Acute psychological stress can decrease the activity associated with working memory in the dorsolateral PFC. Known stress signaling pathways can negatively affect both the

structure and functioning of the prefrontal cortex. Research indicates that even brief exposure (one week) to mild stress can change dendritic structure in the medial PFC. The prefrontal cortex also houses mineralocorticoid and glucocorticoid receptors that influence the stress response and behavior (Girotti et al., 2024).

The amygdala is significantly involved in emotional processing and the modulation of memory, particularly for emotionally arousing events. In the basolateral amygdala, endocannabinoid signaling coordinates how stress hormones influence memory consolidation. Noradrenergic signaling there also contributes to glucocorticoid-induced enhancement of memory storage. The amygdala's intrinsic functional connectivity with the hippocampus during rest can even predict enhanced memory under stress (Mendl, 1999; Schwabe et al., 2022).

Beyond these specific regions, widespread sleep deprivation (common among seafarers) can impact the superior parietal lobe, both occipital lobes, the thalamus, and the connectivity among them, all of which are crucial for cognitive control and perception (Thomas et al., 2021). Brain activity, as measured by electroencephalogram (EEG) waves (alpha, beta, theta, delta), directly reflects psychological states. Changes in EEG indices, such as the ratio of theta and alpha to beta activity $((\theta + \alpha)/\beta)$, show a positive correlation with increased fatigue (Yang et al., 2023). The overall unhealthy physical and mental states, coupled with an escalated stress response, directly contribute to an excessive cognitive load, leading to cognitive errors and increased safety risks (Ma et al., 2023). While moderate stress can enhance certain aspects of cognitive performance, prolonged and excessive stressors, compounded by fatigue, significantly increase the likelihood of human error

(Mendl, 1999). The sequential impact of stressors on cognitive function and safety is further illustrated in Figure 4.

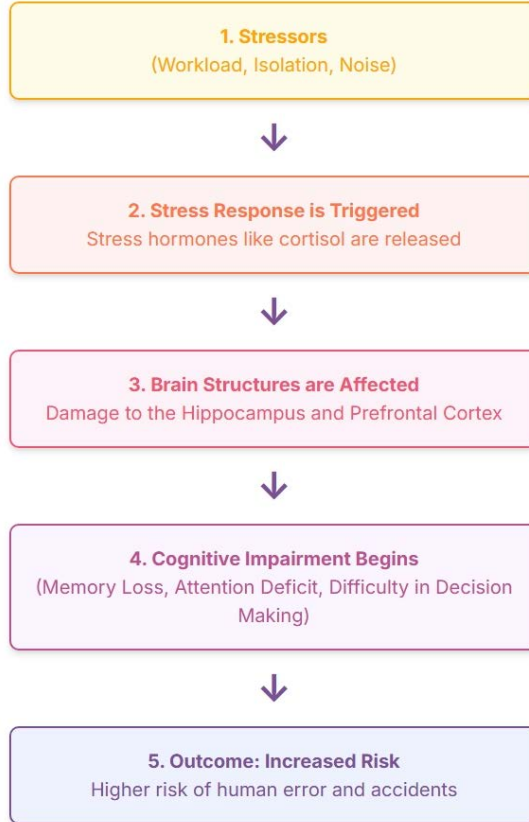


Figure 4. Stress-to-risk pathway in seafarers.

4. COGNITIVE IMPAIRMENTS

4.1. Acute Stress Response

When faced with immediate threats or high demands, the body triggers an acute stress response involving the rapid release of stress hormones, particularly catecholamines and glucocorticoids (Schwabe et al., 2022). While moderate levels of these can enhance memory formation, excessively high or

prolonged acute elevations become detrimental (McEwen & Sapolsky, 1995; Mendl, 1999).

- **Attention and Working Memory Deficits:** Acute psychological stress can directly impair attention and lead to shortened attention spans (Girotti et al., 2024; Mendl, 1999). Working memory, which briefly holds and manipulates information, is especially vulnerable to acute corticosteroid effects, causing reversible deficits in verbal declarative memory. Acute stress also dampens working-memory-related activity in the prefrontal cortex (PFC), a key region for higher-order cognition (Girotti et al., 2024).

- **Compromised Decision-Making and Cognitive Flexibility:** Acute stress can disrupt decision-making processes, especially under uncertainty (Cantelon et al., 2024). It can also attenuate cognitive flexibility, impacting the ability to adapt to changing situations, and influence decision speed (Girotti et al., 2024; Mendl, 1999). This is particularly critical in situations requiring complex navigation or rapid problem-solving, where errors can have catastrophic consequences.

- **Exacerbated by Acute Fatigue:** Acute fatigue, often a direct result of time pressure, irregular shifts, and demanding workloads prevalent in seafaring, further compounds these cognitive issues (Andrei et al., 2020). Sleep loss (common among seafarers) has been shown to slow reaction times and impair attention, working memory, decision-making, and short-term memory (Thomas et al., 2021).

For seafarers, these physical and acute cognitive disorders are not isolated incidents but constant threats inherent to their profession. The unhealthy physical and mental states, alongside an escalated stress response, directly contribute to an excessive cognitive load, leading to cognitive errors and increased safety risks in maritime operations.

4.2. Cognitive Effects of Chronic Fatigue

Chronic fatigue represents a profound and pervasive challenge in the maritime industry, distinct from acute, short-term tiredness. It is described as a prolonged type of fatigue that develops over long durations, frequently does not respond to standard recovery methods, and can result in significant negative impacts on seafarers' overall performance and long-term well-being (Andrei et al., 2020). This condition is recognized as one of the most pressing health problems for seafarers and a primary human factor contributing to maritime accidents.

The unique and demanding nature of the seafaring profession, characterized by long working hours, arbitrary shift systems, and insufficient rest, makes seafarers particularly susceptible to chronic fatigue (Brooks & Greenberg, 2022; Ma et al., 2023). Major contributors to chronic fatigue include time pressure and sustained vigilance demands (common in watchkeeping roles) which often lead to sleep disturbances and inadequate recovery between shifts (Andrei et al., 2020). This sustained exposure to stressors, without adequate time for recovery, underlies the development of chronic fatigue.

Chronic fatigue severely compromises a wide array of cognitive functions essential for safe maritime operations:

- **Memory Impairment:** Chronic fatigue leads to a decline in learning ability and memory (Ma et al., 2023). Sleep deprivation, a common component of chronic fatigue, can directly impair cognitive function and memory (Othman et al., 2023; Thomas et al., 2021). Extended periods of stress, with chronic fatigue being a significant symptom, are linked to cognitive decline, especially in memory tasks reliant on the hippocampus, and can lead to temporary deficits in verbal declarative memory (Girotti et al., 2024; McEwen & Sapolsky, 1995). In extreme cases, truly prolonged stress can even lead to

irreversible loss of hippocampal neurons, which are crucial for memory (McEwen & Sapolsky, 1995).

- **Attention and Perception Deficits:** Seafarers experiencing chronic fatigue exhibit a decline in perception ability and reduced attention (Ma et al., 2023). Mental fatigue, in particular, is linked to delayed reaction times and reduced situational awareness (Yang et al., 2023). These impairments can manifest as blurred vision, hearing loss, and general psychological activity decline.

- **Executive Function and Decision-Making:** Chronic fatigue impacts cognitive control, problem-solving, reasoning, and decision-making capabilities. Excessive cognitive load, a direct consequence of chronic fatigue, results in reduced flexibility, and information acquisition and analysis errors, leading to poor decision-making and overall operational performance (Ma et al., 2023; Thomas et al., 2021; Yang et al., 2023).

The cumulative nature of chronic fatigue means that these cognitive deficits can worsen over time, significantly increasing the likelihood of human error and maritime accidents (Andrei et al., 2020; Ma et al., 2023; Yang et al., 2023). The constant vigilance required in maritime environments, combined with the stress of long contracts and limited support, puts seafarers at a higher risk of mental burnout, directly impacting their cognitive performance (Othman et al., 2023).

While some pilot studies on younger maritime pilots have reported subjective cognitive complaints related to chronic sleep disruption, they did not always find objective cognitive deficits when compared to controls. However, these studies acknowledge limitations such as small sample size and the possibility that pilots develop compensatory mechanisms. Notably, this research indicates that the enduring cognitive

effects of disrupted sleep tend to become more apparent in later life (Thomas et al., 2021). Thus, the pervasive presence of chronic fatigue remains a critical concern for the safety, well-being, and sustained cognitive function of seafarers across their careers.

5. CONCLUSION

The seafaring profession, a linchpin of the global economy, inherently exposes its workforce to a unique and pervasive array of stressors that profoundly impact their mental health and cognitive functions. This chapter has explored these critical issues from both psychological and physiological perspectives, highlighting how the demanding maritime environment contributes to significant cognitive impairments, particularly memory loss, which in turn poses substantial risks to maritime safety.

Given that human factors, often mediated by stress and cognitive load, account for over 80% of maritime incidents, addressing these issues is paramount for enhancing maritime safety and promoting the well-being of seafarers. Moving forward, a holistic approach is crucial. This includes:

- **Improving Working Conditions:** Implementing better shift schedules, ensuring adequate rest periods, fostering positive social support, and providing opportunities for job autonomy.
- **Enhanced Training and Support:** Offering psychoeducation for stress management, mental health awareness training, and counselling services tailored to the unique challenges of seafaring.
- **Objective Monitoring:** Utilizing non-invasive neurophysiological monitoring methods, such as EEG and ECG,

in real navigation environments to provide continuous, objective data on seafarer fatigue and mental workload, enabling proactive interventions and personalized management strategies.

- **Strategic Technological Integration:** Carefully assessing human factors in the design and deployment of advanced systems like Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) to ensure automation reduces, rather than inadvertently increases, cognitive load and stress on human operators.

In the end, grasping the complex connection between elevated stress levels, memory, and cognitive abilities in seafarers isn't just an academic endeavor. This is a crucial action to safeguard the well-being of this key workforce and ensure the continued safe and sustainable operation of the global maritime industry.

REFERENCES

- Andrei, D. M., Griffin, M. A., Grech, M., & Neal, A. (2020). How demands and resources impact chronic fatigue in the maritime industry. The mediating effect of acute fatigue, sleep quality and recovery. *Safety Science, 121*, 362–372. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.019>
- Brooks, S. K., & Greenberg, N. (2022). Mental health and psychological wellbeing of maritime personnel: a systematic review. *BMC Psychology, 10*(1), 139. <https://doi.org/10.1186/s40359-022-00850-4>
- Cantelon, J. A., Navarro, E., Brunyé, T. T., Eddy, M. D., Ward, N., Pantoja-Feliciano, I., Whitman, J., Jyoti Saikia, M., & Giles, G. E. (2024). Emotional, physiological, biochemical, and behavioral responses to acute stress and uncertainty in military personnel. *PLOS ONE, 19*(11), e0312443. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0312443>
- Christodoulou, D., Nikitakos, N., & Papachristos, D. (2019). The Effects of the Naval Profession on the Seafarers' Mental Health. *International Journal of Computer Applications, 178*(24), 7–14. <https://doi.org/10.5120/ijca2019919035>
- Girotti, M., Bulin, S. E., & Carreno, F. R. (2024). Effects of chronic stress on cognitive function – From neurobiology to intervention. *Neurobiology of Stress, 33*, 100670. <https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2024.100670>
- Hystad, S. W., & Eid, J. (2016). Sleep and Fatigue Among Seafarers: The Role of Environmental Stressors, Duration at Sea and Psychological Capital. *Safety and Health at Work, 7*(4), 363–371. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.05.006>
- Jensen, H.-J., & Oldenburg, M. (2019). Potentially traumatic

- experiences of seafarers. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 14(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s12995-019-0238-9>
- Ma, Y., Liu, Q., & Yang, L. (2023). Analysis of human factors affecting seafarers' cognitive load on maritime safety. *2023 7th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, 1889–1898. <https://doi.org/10.1109/ICTIS60134.2023.10243721>
- McEwen, B. S., & Sapolsky, R. M. (1995). Stress and cognitive function. *Current Opinion in Neurobiology*, 5(2), 205–216. [https://doi.org/10.1016/0959-4388\(95\)80028-X](https://doi.org/10.1016/0959-4388(95)80028-X)
- Mendl, M. (1999). Performing under pressure: stress and cognitive function. *Applied Animal Behaviour Science*, 65(3), 221–244. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00088-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00088-X)
- Oldenburg, M., Herzog, J., Barbarewicz, F., Harth, V., & Jensen, H.-J. (2021). Online survey among maritime pilots: job-related stress and strain and the effects on their work ability. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 16(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s12995-021-00322-2>
- Othman, R., Faizal, H., & Jeevan, J. (2023). Assessing Occupational Stress in Seafaring: A Fuzzy Delphi Approach to Develop Effective Management Strategies in Offshore Support Vessel Operations. *Transactions on Maritime Science*, 12(2). <https://doi.org/10.7225/toms.v12.n02.011>
- Schwabe, L., Hermans, E. J., Joëls, M., & Roozendaal, B. (2022). Mechanisms of memory under stress. *Neuron*, 110(9), 1450–1467. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2022.02.020>

- Tam, K., Hopcraft, R., Crichton, T., & Jones, K. (2021). The potential mental health effects of remote control in an autonomous maritime world. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 5(2), 40–55. <https://doi.org/10.1080/25725084.2021.1922148>
- Thomas, J., Overeem, S., Dresler, M., Kessels, R. P. C., & Claassen, J. A. H. R. (2021). Shift-work-related sleep disruption and the risk of decline in cognitive function: The CRUISE Study. *Journal of Sleep Research*, 30(2). <https://doi.org/10.1111/jsr.13068>
- Yang, L., Li, L., Liu, Q., Ma, Y., & Liao, J. (2023). Influence of physiological, psychological and environmental factors on passenger ship seafarer fatigue in real navigation environment. *Safety Science*, 168, 106293. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106293>
- Yoshida, M., Shimizu, E., Sugomori, M., & Umeda, A. (2021). Identification of the Relationship between Maritime Autonomous Surface Ships and the Operator's Mental Workload. *Applied Sciences*, 11(5), 2331. <https://doi.org/10.3390/app11052331>

DENİZ VE GEMİ MÜHENDİSLİĞİ DEĞERLENDİRMELERİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar / AFYONKARAHİSAR

Tel : (0 531) 880 92 99

yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com