

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ALTERNATİF YAKITLARLA ÇALIŞAN GEMİLERDE MAKİNE DAİRESİ
PERSONELİN RİSK VE EMNİYET FARKINDALIĞININ
DEĞERLENDİRMESİ LNG ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aysel ÇAMCI

Denizcilik Çalışmaları Anabilim Dalı

Denizcilik Çalışmaları Programı

TEMMUZ 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ALTERNATİF YAKITLARLA ÇALIŞAN GEMİLERDE MAKİNE DAİRESİ
PERSONELİN RİSK VE EMNİYET FARKINDALIĞININ
DEĞERLENDİRMESİ LNG ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Aysel ÇAMCI
(423231010)**

Denizcilik Çalışmaları Anabilim Dalı

Denizcilik Çalışmaları Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Fırat BOLAT

TEMMUZ 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**ASSESSMENT OF ENGINE ROOM PERSONNEL'S RISK AND SAFETY
AWARENESS ON SHIPS FUELED BY ALTERNATIVE FUELS: THE CASE
OF LNG**

M.Sc. THESIS

**Aysel ÇAMCI
(423231010)**

Maritime Studies

Maritime Studies Programme

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Firat BOLAT

JULY 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 423231010 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Aysel ÇAMCI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ALTERNATİF YAKITLARLA ÇALIŞAN GEMİLERDE MAKİNE DAİRESİ PERSONELİN RİSK VE EMNİYET FARKINDALIĞININ DEĞERLENDİRMESİ LNG ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğretim Üyesi Fırat BOLAT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğretim Üyesi Emrah ŞİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Umut TAÇ
Piri Reis Üniversitesi

Teslim Tarihi : 06 Haziran 2025
Savunma Tarihi : 03 Temmuz 2025





Aileme,



ÖNSÖZ

Öncelikle bu tezin oluşmasındaki büyük katkılarından dolayı danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Fırat BOLAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Beni denizcilikle tanıştıran ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Hasan Bora USLUER'e minnettarım. Uzakyol Başmühendis Eren YILMAZ'a ve Mühendis Tamer GEÇKİN'e çalışmama verdikleri desteklerden mütevellit müteşekkirim. Bir teşekkürü de SanMar Denizcilik'e borç bilirim. Teşekkürlerin en büyüğünü ise bana daima inanan sevgili aileme ve arkadaşlarım Seda ÇOŞKUN KAKŞA ile Ecem ARIK'a ithaf ederim.

Temmuz 2025

Aysel Çamcı



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Konusu ve Kapsamı	1
1.2 Tezin Amacı	2
2. KONVANSİYONEL YAKITLARDAN ALTERNATİF YAKITLARA GEÇİŞ.....	5
2.1 Alternatif Yakıt Türleri	8
2.1.1 Metanol	11
2.1.2 Amonyak	13
2.1.3 Hidrojen ve batarya teknolojileri	14
2.1.4 Biyoyakıtlar ve e-yakıtlar.....	17
2.1.5 LNG	18
3. RİSK VE EMNİYET FARKINDALIĞI.....	23
3.1 Denizcilikte Risk Farkındalığı.....	26
3.2 Emniyetli Seyir.....	29
3.3 Risk Ve Emniyet Farkındalığı Eğitiminin Önemi.....	31
3.3.1 Denizcilikte risk ve emniyet farkındalığı eğitiminin önemi	32
4. YÖNTEM.....	35
4.1 Sistematik İnsan Hatası Azaltma Ve Tahmin Yaklaşımı	37
4.2 İstatistiki Analiz	38
4.3 Örneklem Grubu.....	39
4.4 Risk Anketi.....	40
4.5 Emniyet Kültürü Anketi	41
5. BULGULAR.....	42
5.1 Likit Doğal Gaz Besleme Sistemi	42
5.1.1 Likit doğal gaz yakıt besleme sisteminde oluşabilecek arızalar ve sonuçlar	45
5.2 Matrislerin Değerlendirilmesi	51
5.2.1 Yazar tarafından oluşturulan risk matrisleri.....	51
5.2.2 Katılımcıların risk matrisleri	58
5.2.2.1 Çalışmaya katılan başmühendislerin risk matrisleri	58
5.2.2.2 Çalışmaya katılan ikinci mühendislerin risk matrisleri.....	65
5.2.2.3 Çalışmaya katılan vardiya mühendislerinin risk matrisleri.....	73

5.3 Emniyet Kültürü Ölçeği Sonuçlarının Değerlendirilmesi	80
6. TARTIŞMA	87
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	101
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	117



KISALTMALAR

IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğal gaz
IGF Kod	: Gaz ve Düşük Parlama Noktalı Yakıtlar için Uluslararası Güvenlik Kodu
SHERPA	: Sistematik İnsan Hatası Azaltma ve Tahmin Yaklaşımı
ABS	: Amerikan Klas Kuruluşu
BM	: Birleşmiş Milletler
STCW	: Gemiadamlarının Eğitimi, Belgelendirilmesi ve Vardiya Tutma Standartları
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
MARPOL	: Uluslararası Gemilerden Kaynaklanan Kirliliği Önleme Konvansiyonu
PM	: Partikül Madde
EIAPP	: Uluslararası Makine Hava Kirliliği Önleme Sertifikası
MEPC	: Deniz Çevresi Koruma Komitesi
MRV	: İzleme, Raporlama, Doğrulama Sistemi
EEDI	: Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi
EEXI	: Enerji Verimliliği Mevcut Gemi İndeksi
CII	: Operasyonel Karbon Yoğunluk Göstergesi
SEEMP	: Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı
ICE	: İçten Yanmalı Makine
FC	: Yakıt Hücresi
CNG	: Sıkıştırılmış Doğal gaz
LCA	: Yaşam Döngüsü Emisyonları
HFO	: Ağır Yakıt Yağı
MDO	: Deniz Dizel Yakıtı
MGO	: Deniz Gaz Yakıtı
EGCS	: Egzoz Gazı Temizleme Sistemleri
SCR	: Seçici Katalitik İndirgeme

EGR	: Egzoz Gaz Sirkülasyonu
PEMFC	: Proton Değişim Membran Yakıt Hücresi
SFOC	: Katı Oksit Yakıt Hücreleri
MCFC	: Erimiş Karbonat Yakıt Hücreleri
FAME	: Yağ Asidi Metil Esterleri
FAEE	: Yağ Asidi Etil Esterleri
FT	: Fischer-Tropsch Sentezi
NEDO	: Yeni Enerji ve Endüstriyel Gelişme Örgütü
MOC	: Metan Oksidasyon Katalizörleri
NIST	: Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü
SMS	: Emniyetli Yönetim Sistemi
FSRU	: Yüzer Depolama ve Yeniden Gazlaştırma Ünitesi
FBN	: Bulanık Bayes ağı
FSA	: Resmi Emniyet Değerlendirmesi
SOLAS	: Denizde Can Emniyeti Sözleşmesi
EMSA	: Avrupa Deniz Güvenliği Ajansı
HSE	: İngiltere Sağlık ve Emniyet Başkanlığı
VTS	: Gemi Trafik Hizmetleri Personeli
MET	: Denizcilik Eğitimi ve Öğretimi
HTA	: Hiyerarşik Görev Analizi

SEMBOLLER

% : Yüzde
°C : Santigrat Derece





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.4.2.1 : Emniyet kültürü ölçeği soru dağılım tablosu	41
Çizelge 5.2.1.1 : Yazar tarafından oluşturulan eylem hataları risk matrisi	52
Çizelge 5.2.1.2 : Yazar tarafından oluşturulan iletişim hataları risk matrisi	53
Çizelge 5.2.1.3 : Yazar tarafından oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisi	54
Çizelge 5.2.1.4 : Yazar tarafından oluşturulan seçim hataları risk matrisi.....	55
Çizelge 5.2.1.5 : Yazar tarafından oluşturulan kontrol hataları risk matrisi.....	56
Çizelge 5.2.2.1.1 : Başmühendislerin cevaplarıyla oluşturulan eylem hataları risk matrisi	58
Çizelge 5.2.2.1.2 : Başmühendislerin cevaplarıyla oluşturulan iletişim hataları risk matrisi	59
Çizelge 5.2.2.1.3 : Başmühendislerin cevaplarıyla oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisi	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.61
Çizelge 5.2.2.1.4 : Başmühendislerin cevaplarıyla oluşturulan seçim hataları risk matrisi	62
Çizelge 5.2.2.1.5 : Başmühendislerin cevaplarıyla oluşturulan kontrol hataları risk matrisi	64
Çizelge 5.2.2.2.1 : İkinci mühendislerin cevaplarıyla oluşturulan eylem hataları risk matrisi	65
Çizelge 5.2.2.2.2 : İkinci mühendislerin cevaplarıyla oluşturulan iletişim hataları risk matrisi	67
Çizelge 5.2.2.2.3 : İkinci mühendislerin cevaplarıyla oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisi.....	68
Çizelge 5.2.2.2.4 : İkinci mühendislerin cevaplarıyla oluşturulan seçim hataları risk matrisi	70
Çizelge 5.2.2.2.5 : İkinci mühendislerin cevaplarıyla oluşturulan kontrol hataları risk matrisi	71
Çizelge 5.2.2.3.1 : Vardiya mühendislerinin cevaplarıyla oluşturulan eylem hataları risk matrisi	73
Çizelge 5.2.2.3.2 : Vardiya mühendislerinin cevaplarıyla oluşturulan iletişim hataları risk matrisi	74
Çizelge 5.2.2.3.3 : Vardiya mühendislerinin cevaplarıyla oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisi.....	76
Çizelge 5.2.2.3.4 : Vardiya mühendislerinin cevaplarıyla oluşturulan seçim hataları risk matrisi	77
Çizelge 5.2.2.3.5 : Vardiya mühendislerinin cevaplarıyla oluşturulan kontrol hataları risk matrisi	79
Çizelge 5.3.1 : Emniyet kültürü skorları betimsel istatistik tablosu	80
Çizelge 5.3.2 : Emniyet kültürü ölçeğine verilen cevapların ortalama değerleri.	81
Çizelge 5.3.3 : Katılımcıların demografik özelliklerinin betimsel istatistik tablosu.	81

Çizelge 5.3.4 : Korelasyon tablosu.	82
Çizelge 5.3.5 : Korelasyon tablosu.	83



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1 : Çalışmanın akışı	36
Şekil 4.1.1 : SHERPA adımları.	37
Şekil 5.1.1 : Çift cidarlı LNG boru devresi kesiti.....	44
Şekil 5.1.2 : LNG yakıt besleme şeması.....	44
Şekil 5.3.1 : Eğitim seviyesi ve emniyet kültürü ölçeği regresyon grafiği.....	84
Şekil 5.3.2 : Katılımcının rütbesi ve emniyet kültürü ölçeği regresyon grafiği.	84
Şekil 5.3.3 : Katılımcının eğitim seviyesi ve risk skoru regresyon grafiği.....	85
Şekil 5.3.4 : Katılımcının rütbesi ve risk skoru regresyon grafiği.....	85



ALTERNATİF YAKITLARLA ÇALIŞAN GEMİLERDE MAKİNE DAİRESİ PERSONELİN RİSK VE EMNİYET FARKINDALIĞININ DEĞERLENDİRMESİ LNG ÖRNEĞİ

ÖZET

Yeryüzünün en eski mesleklerinden biri olan denizcilik, tarih boyunca insanlığa birçok alanda fayda sağlamış ve dünya ticaretinin temel taşıyıcı gücü olmuştur. Dünya yüzeyinin yaklaşık %70'inin denizlerle kaplı olması, deniz taşımacılığını düşük maliyetli ve yüksek kapasiteli bir seçenek haline getirmiştir. Ancak artan sera gazı emisyonları, fosil yakıtlara olan bağımlılık ve çevresel sürdürülebilirlik sorunları, denizcilik sektörünü de derinden etkilemektedir. Bu bağlamda, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), 2030 yılına kadar emisyonları %40 oranında azaltmayı ve 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşmayı amaçlayan politikalar geliştirmiştir. Bu hedeflere ulaşmak amacıyla alternatif yakıt arayışları artmış; metanol, amonyak, hidrojen, biyoyakıtlar ve özellikle sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) gibi seçenekler ön plana çıkmıştır.

LNG, düşük sülfür ve partikül madde emisyonları ile konvansiyonel yakıtlara kıyasla daha az CO₂ ve NO_x salımı gibi çevresel avantajlara sahip olması nedeniyle IMO'nun kısa ve orta vadeli emisyon azaltım hedefleri için uygun bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Ancak LNG'nin kriyojenik doğası, düşük sıcaklıklarda depolama zorunluluğu, yüksek yanıcılığı ve kapalı alanlarda boğucu etkisi gibi operasyonel riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle LNG yakıtlı gemiler, IGF Kod'a (Gaz ve Düşük Parlama Noktalı Yakıtlar için Uluslararası Güvenlik Kodu) tabi tutulmakta; bu gemilerde görev alacak personelin özel eğitim ve sertifikalara sahip olması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı, gemi makine dairesi personelinin risk farkındalığı ve emniyet kültürü algısını değerlendirmektir ve LNG yakıtlı gemiler örnek grup olarak seçilmiştir. LNG, günümüzde en yaygın kullanılan alternatif yakıtlardan biri olarak kabul edilmekte ve önümüzdeki süreçte yaygınlığını artırması beklenmektedir. Bu doğrultuda, çalışmada örneklem grubu olarak LNG yakıtlı gemilerde görev alan Türk makine dairesi personeli belirlenmiştir. LNG yakıtlı gemi sayısının az olması nedeniyle küçük örneklem gruplarına uygun yöntemler benimsenmiş ve toplam popülasyonun yaklaşık %12'si değerlendirilmiştir. Örneklem seçimi, yargısal örnekleme yöntemi ile gerçekleştirilmiş; katılımcılar LNG yakıtlı gemilerdeki deneyimlerine göre seçilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, LNG-çift yakıtlı gemilerin yakıt depolama sistemleri analiz edilerek tipik bir devre şeması oluşturulmuştur. Bu süreçte, gemi tasarımları, tersane verileri ve sahadaki personelin katkıları da değerlendirilmiştir. Oluşturulan şema üzerinden SHERPA (Sistematik İnsan Hatası Azaltma ve Tahmin Yaklaşımı) yöntemi ile insan hatalarından kaynaklanabilecek riskler belirlenmiş ve bir risk matrisi oluşturulmuştur. Bu risk senaryoları anket formuna dönüştürülerek LNG

yakıtlı gemilerde çalışan makine personeline uygulanmış; katılımcılardan risklerin olasılık ve şiddet düzeylerini değerlendirmeleri istenmiştir.

İkinci aşamada ise emniyet kültürü algısını ölçmek amacıyla Amerikan Klas Kuruluşu (ABS) tarafından geliştirilen ve iletişim, yetkilendirme, geri bildirim, karşılıklı güven, sorun tanımlama, emniyet teşviki, tepkisellik ve emniyet farkındalığı gibi başlıkları içeren anket kullanılmıştır. Elde edilen veriler SPSS istatistik programı ile analiz edilerek katılımcıların emniyet kültürü ve risk algısı düzeyleri değerlendirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre, LNG yakıtlı gemilerde çalışan personelin risk ve emniyet kavramlarına yönelik ortak bir yaklaşım sergilemediği görülmüştür. Özellikle rütbe grupları arasında belirgin farklar tespit edilmiştir. Başmühendislerin risk yönetimi konusunda daha sistemli bir yaklaşım sergilediği gözlemlenirken; ikinci mühendisler ve makine zabıtlarının değerlendirmelerinde tutarsızlıklar bulunmuştur. Ayrıca, eğitim ve sertifikasyonun mevcut risk farkındalığı üzerinde beklenen etkiyi yaratmadığı görülmüştür. İletişim hatalarının, özellikle ortak dil eksikliği ve kültürel farklılıklar nedeniyle beklenenden yüksek düzeyde olduğu da tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, LNG yakıtlı gemilerde görev yapan personelin özellikle eylem ve kontrol hatalarına açık olduğu; kontrol sistemlerinin otomasyona kaymasıyla bu hataların daha da kritik hale geldiği belirlenmiştir. Her ne kadar bu gemilerde çalışmak için özel eğitimler zorunlu olsa da personelin risk ve emniyet kavramlarına ilişkin yaklaşımlarında birlik sağlanamamıştır. Bu durum hem seyir emniyeti hem de sürdürülebilir deniz taşımacılığı açısından önemli riskler barındırmaktadır.

ASSESSMENT OF ENGINE ROOM PERSONNEL'S RISK AND SAFETY AWARENESS ON SHIPS FUELED BY ALTERNATIVE FUELS: THE CASE OF LNG

SUMMARY

Navigation is one of the most critical components of a sustainable economy and development. Thanks to the geographical conditions of Earth that enable maritime trade the most cost-effective transportation mod. However, the environmental problems, such as global warming, necessitate taking urgent action on greenhouse gas emissions. As a part of the United Nations (UN), the International Maritime Organization follows the regulations taken to reduce greenhouse gases emitted during maritime operations. The current target of IMO is to diminish maritime caused emissions %40 by 2030 and to achieve zero emission levels by 2050 onwards. To solve the emission problem, the adoption of new fuel technologies is on the agenda of all parties involved in navigation, including machinery technologies to new regulations. The most current studied non-conventional fuels types are biofuels, ammonia, hydrogen, methanol, and liquefied natural gas (LNG).

To meet IMO's short and medium-term goals, the current availability of listed alternative fuels displays LNG will be the most popular option for today and the near future. The main reasons of popularity are rooted the low sulphur content and particulate matter of LNG. Moreover, LNG emits nearly %25-30 lower CO₂ than conventional fuels, and the NO_x restrictions of IMO can be met by LNG utilization. However, LNG brings some risks with it as well due to its cryogenic structure and high flammability characteristics. Also, even small leaks of LNG may lead to serious crew injuries due to the asphyxiating feature of LNG gas. Thus, structures and requirements about LNG are regulated under some special regulations.

The International Code of Safety for Gas-Fueled Ships (IGF) covers regulations about vessels using low-flashpoint fuels to improve safety in such dangerous environments. For this reason, special courses and training are required from the personnel working onboard with LNG fuel.

The objective of this thesis is to investigate the risk awareness and safety culture of engine room personnel, utilizing LNG-fueled vessels as the selected sample group. This choice is based on the fact that LNG is currently the most prevalent non-conventional fuel utilized, and an increase in LNG usage is anticipated in the near future. In this context, the sample group for the study is identified as Turkish engine room personnel employed on LNG-powered vessels. Given the limited number of LNG-powered vessels, methodologies suitable for small sample sizes were implemented, with approximately 12% of the total population evaluated. The sample selection employed a judgmental sampling method; participants were chosen based on their relevant experience with LNG-powered vessels.

In the initial phase of the study, an analysis was conducted on the fuel storage systems of LNG-dual fuel ships, and a representative circuit diagram was developed. Throughout this process, ship designs, shipyard data, and insights from field personnel were comprehensively assessed. Based on the generated diagram, potential risks attributed to human errors were identified utilizing the SHERPA (Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach) method, which subsequently contributed to the formulation of a risk matrix. These identified risk scenarios were transformed into a questionnaire and distributed to the engine personnel operating LNG-powered ships, wherein participants assessed both the probability and severity levels associated with the identified risks.

In the second stage, a questionnaire developed by the American Classification Society (ABS) was utilized to evaluate perceptions of safety culture, addressing topics such as communication, empowerment, feedback, mutual trust, problem definition, safety promotion, responsiveness, and safety awareness. The data collected were subjected to analysis using the SPSS statistical software, and the safety culture and risk perception levels of the participants were appraised.

According to the analysis results, it was observed that personnel employed on LNG-powered vessels did not exhibit a unified approach to risk and safety concepts. Significant disparities were identified, particularly among various rank groups. While chief engineers demonstrated a more systematic approach to risk management, inconsistencies were evident in the evaluations conducted by second engineers and engine officers. Moreover, it is observed that the personnel have some problems reflecting the outputs of the risk and safety training and education received to get a certificate to work onboard with LNG fuel. One of the unexpected results of the study was the high-risk score of communication errors. Working in an international environment and the differences in language abilities among people may contribute to this result. Thus, it is a crucial output for Turkish education facilities that Turkish personnel may have language-related problems.

To sum up, new fuel technologies may bring some additional risks compared to conventional fuel supply systems. Moreover, some specific characteristics of alternative fuels, such as cryogenic storage or high-pressure systems, can pose risks that need to be minimized for personnel onboard. As an output of this study, the LNG fuel system was found to be more vulnerable to action and control errors. The increased automation integration may make the crew more open to these error types. Even with complementary training and certification required for LNG-fueled vessels, engine room personnel still have problems with safety culture, risk awareness, and risk management issues. To this end, maritime safety will continue to be one of the most crucial components of a sustainable economy and transportation.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Konusu Ve Kapsamı

Yeryüzünün en eski sektörlerinden biri olan denizcilik tarih boyunca insanlara pek çok fayda sağlamıştır. Dünyanın yaklaşık %70'inin denizlerle çevrili olması denizciliğin taşımacılığın en önemli branşlarından biri olmasını mümkün kılmıştır (Schulz, 2003). Coğrafi avantajlar da göz önüne alındığında dünya ticaretinin yaklaşık %90'ı denizcilik vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir (Christiansen et al., 2019). Yük taşıma potansiyeli, birim başı taşıma maliyeti, altyapı maliyetleri ve gelişen teknolojinin gemilerin hızına, enerji verimliliğine ve kullanım ömrüne katkılarıyla denizciliğin gelecekte de en yaygın kullanılacak taşımacılık tipi olduğunu söylemek mümkündür. Fakat dünyamızın karşılaştığı sorunlar denizcilik sektörünü de derinden etkilemektedir. Pek çok ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşa göre günümüzün en önemli sorunlarından biri artan sera gazı emisyonlarıdır. Emisyonların en temel nedenlerinden biri ise üretim ve taşımacılık faaliyetlerinin fosil yakıtlara olan bağımlılığıdır. Fosil yakıt kullanımını azaltmak ve artan enerji ihtiyacını daha az emisyon salınımı ile gerçekleştirebilmek başta Birleşmiş Milletler (BM) olmak üzere hemen hemen tüm kamu, özel ve sivil toplum kuruluşlarının sürdürülebilirlik planlarının en önemli kısmıdır. Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization - IMO), BM'nin denizcilik özelinde faaliyet gösteren branşı olarak deniz taşımacılığında emisyon azaltma politikalarına liderlik etmektedir. Deniz taşımacılığının toplam emisyonların yaklaşık %3'ünü oluşturduğu tahmin edilmekte (Hero et al., 2025) ve denizciliğin her ne kadar daha çevre dostu olduğu kanısı kabul görmekte ise de gemi makinelerinin fosil yakıtlara göre dizayn ediliyor olması sürdürülebilirlik hedeflerinin geleceği için riskler teşkil etmektedir. Sürdürülebilirlik politikalarına başarılı bir çerçeve oluşturmak amacıyla IMO geleceğe yönelik hedefler belirlemiştir. Bu hedeflerin en önemlilerini 2030 yılına kadar deniz taşımacılığı kaynaklı emisyonları %40'a kadar azaltmak ve 2050 senesine kadar ise net 0 emisyon ve alternatif yakıtlara geçiş oluşturmaktadır (*IMO's Work to Cut GHG Emissions From Ships*, n.d.). Net 0 hedefi ile hesaplanan

emisyonlar yalnızca taşımacılık anında oluşan emisyonları kapsamamakta, yakıtların çıkarılmasından ve üretiminden baca gazı olarak atılmasına kadar olan tüm süreç değerlendirilmektedir. Günümüz teknolojik şartlarında, IMO'nun kısa ve orta dönem emisyon azaltma hedeflerine sektörel ve altyapısal hazırlık ve ilk yatırım maliyeti açısından sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) konvansiyonel yakıtlara en hazır alternatif olarak değerlendirilmektedir.

LNG, doğalgazın saflaştırılması ve sıvılaştırılması ile elde edilen ve büyük çoğunluğu metan ve diğer hidrokarbonlardan oluşan bir yakıttır. LNG, sülfür oksit emisyonları ve partikül madde oluşturmaması, konvansiyonel yakıtlara oranla %90 daha az nitrojen oksit ve %20-25 daha az karbondioksit emisyonları oluşturması yönleriyle emisyon azaltma politikalarına uygun bir yakıt olarak değerlendirilmektedir (Sagot et al., 2025). Fakat LNG'nin yanma ve emisyon özelliklerinin yanı sıra dikkat edilmesi gereken en önemli konu kriyojenik bir yakıt oluşudur. Çok düşük sıcaklıklarda depolanan yakıtlar, depolama ve tahrik sistemi emniyeti açısından riskler teşkil etmektedir. LNG tahrikli gemilerin Gazlar veya Düşük Parlama Noktalı Yakıtları Kullanan Gemiler İçin Uluslararası Güvenlik Koda (IGF Code) tâbi olması Gemiadamlarının Eğitimi, Belgelendirilmesi ve Vardiya Tutma Standartlarına (STCW) göre LNG tahrikli gemilerde çalışmak için özel eğitimler ve sertifikalar almayı gerektirmektedir. Bu sertifikaların ve eğitimlerin temel amacı, personelin çalıştığı gemi tipinin özel gereksinimlerine göre risk ve emniyet farkındalığını arttırmaktır. Özellikle LNG'nin parlama noktasının -187 °C civarlarında olması denizciliğin doğasından kaynaklanan risklere yenilerinin eklemektedir (*Alternative Fuels Data Center: Fuel Properties Comparison*, n.d.). IGF koda tâbi farklı tür gemiler için alınan uzmanlık sertifikalarının özellikle tahrik sistemi ile doğrudan alakadar olan makine dairesi personelinin için zorunludur. Bu durum, makine dairesi personelinin risk farkındalığının ve emniyet kültürünün önemini gözler önüne sermektedir.

1.2 Tezin Amacı

IMO'nun emisyon azaltma politikaları denizcilik sektörünü gemide kullanılabilecek farklı yakıtlar aramaya itmiştir. Güncel olarak metanol, amonyak, hidrojen, biyoyakıtlar ve LNG üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Alternatif yakıt tercihleri arasında LNG'nin ön plana çıktığını söylemek mümkündür. Bu yönelimin temel

sebeplerinden bazıları LNG'nin halihazırda kullanılan makinelerde ve yakıt tanklarında küçük modifikasyonlarla kullanılabilir olması, dünya genelindeki dağıtım ağlarının ve limanların LNG altyapısına daha hazır olması ve enerji yoğunluğunun konvansiyonel yakıtlara daha yakın olması sebebiyle daha az fazladan depolama alanı gerektirmesi olarak gösterilebilir. Fakat, LNG'nin gemide depolanması ve yakıt olarak kullanılması bazı riskleri beraberinde getirmektedir. Kriyojenik depolama gerektirmesi, gaz halinin hayli yanıcı olması ve kapalı alanlarda boğucu özellik göstermesi bu risklerden bazılarıdır. Düşük parlama noktasına sahip olduğu için IGF kod kuralları çerçevesinde LNG tahrikli gemiler işletilmelidir. IGF kod, işletme gereksinimleri yanı sıra çalışan gemi tipi özelinde sertifika ve uzmanlık eğitimlerini de zorunlu kılar. Risk ve emniyet farkındalığı konuları temel STCW eğitiminin parçaları olsa da alternatif yakıtlar için ileri derece eğitimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle makine dairesi personeli tahrik sisteminin bakım-tutum, onarım ve işletme işleriyle daha ilişkili olduğundan makine dairesindeki risk yönetimi ve emniyet kültürü geminin emniyetli seyretmesi için zaruridir. Her ne kadar riskler gerekli önlemler alınarak indirgense de tüm riskleri ortadan kaldırmak mümkün değildir. Denizdeki olumsuz koşulların risk yönetimini zorlaştırdığı göz önünde bulundurularak denizcilerin özellikle de makine dairesi personelinin emniyetli seyir konusunda daha özenli olması gerekmektedir. Yüksek basınç, devir ve sıcaklık, farklı çeşitlerde devrelerin bulunması ve hepsinin farklı gerekliliklerinin olması (örneğin hidrolik, pnömatik, elektrik), çok çeşitli makinelerin bir arada bulunması ve ağırlıkları tonları bulan parçalarla çalışılıyor olması makine dairesinde risk yönetimini zorlaştıran faktörlerdendir. Bu risklere henüz istenen teknolojik olgunluğa erişememiş alternatif yakıt sistemlerinden kaynaklanan riskler de eklendiğinde makine dairesi personeline risk farkındalığı konusunda daha fazla iş düşmektedir.

Bu çerçevede, konvansiyonel gemilerde dahi sıkça tartışılan emniyetli seyir gerekliliklerinin alternatif yakıt teknolojileri ile revize edilmesi kaçınılmazdır. Risk farkındalığı ve emniyetli çalışma ortamı düzenlemeleri açısından personelin ilgili konulara aşinalığı ve hazırlığı hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı ise, LNG tahrikli gemilerde çalışan makine dairesi personellerinin emniyet kültürü algısını ve risk farkındalığını değerlendirmektir. Risk farkındalığı değerlendirme kıstaslarının oluşturulması için LNG-çift yakıtlı bir geminin yakıt depolama sistemi incelenmiş ve insan kaynaklı hatalardan oluşabilecek riskleri değerlendirmek için

SistematiK İnsan Hatası Azaltma ve Tahmin Yaklaşımı (SHERPA) kullanılarak bir risk matrisi oluşturulmuştur. Risk matrisinden çıkan sonuçlar bir ankete dönüştürölerek LNG-çift yakıtlı gemilerde çalışan personellerden belirlenen riskleri şiddet ve olasılık açısından değerdendirmeleri istenmiştir. Emniyet farkındalığının değerdendirilmesi içinse Amerikan Klas Kuruluşu (ABS) tarafından geliştirilen gemi güvenlik kültürü anketi kullanılmıştır. Bu anket 3 ana kısımdan oluşmakta ve 8 alt başlıkta emniyet faktörlerini incelemektedir. Bu faktörler sırasıyla iletişim, yetkilendirme, geri bildirim, karşılıklı güven, sorun tanımlama, emniyet teşviki, tepkisellik ve emniyet farkındalığı olarak gruplanmıştır. Anketlerden elde edilen veriler ise SPSS istatistik programı ile işlenerek alternatif bir yakıtlı tahrik edilen gemide çalışan makine dairesi personellerinin risk farkındalığı, emniyet kültürü ve emniyet farkındalığı üzerine değerdendirme yapma imkanı sunmuştur.

2. KONVANSİYONEL YAKITLARDAN ALTERNATİF YAKITLARA GEÇİŞ

Yeryüzünde çeşitli enerji kaynakları mevcuttur ve enerji dönüşümü günümüz teknolojilerinin temel taşı oluşturmaktadır. Enerji türleri en temelde iki sınıfta incelenir; yenilenebilen ve yenilenemeyen kaynaklardan elde edilen enerjiler. Yenilenebilen enerji kaynaklarının güzel örnekleri rüzgar, dalga ve güneş enerjileridir ve günümüzde enerji ihtiyacını karşılamak üzere farklı yenilenebilen enerji türlerine yatırımlar yapılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları ise sürdürülebilirliğin düşük olduğu, en temel tabirle tüketildiği kadar üretilmeyen doğal kaynaklardır (Allianz Türkiye, n.d.) Yenilenemez enerji kaynaklarının temeli fosil yakıtlardır. Yakıt kavramı ise termal, mekanik, elektrik enerjisi gibi farklı enerji formlarına dönüşebilen kömür, petrol ve doğalgaz gibi maddelere verilen genel addır (Andersson et al., 2020; Brynolf et al., 2016). Günümüzde deniz taşımacılığı ağırlıklı olarak konvansiyonel yakıtlara dayalı içten yanmalı makineler ile sürdürülmektedir (Prussi et al., 2021). İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Enerji Enstitüsü konvansiyonel yakıtları “yenilenme süreçleri çok uzun olan” uzunca bir süredir kullanılan “fosil yakıtlara dayalı” enerji kaynakları olarak tanımlar (*Konvansiyonel Enerji Anabilim Dalı*, n.d.). Fosil yakıtlar milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan kalıntılarından zamanla yüksek basınç ve sıcaklık etkisiyle farklı formasyonlarla oluşan katı, sıvı ve gaz şekillerinde bulunabilen yüksek karbon içerikli doğal kaynaklardır. Fosil yakıtların içeriğindeki karbon, hidrokarbon, sülfür, azot gibi bileşenler sera gazlarının oluşmasındaki temel sebeplerdendir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Enerji Bakanlığı son 20 yılda salınan insan kaynaklı emisyonların yaklaşık dörtte üçünün fosil yakıt tüketiminden kaynaklandığını iddia etmektedir (*Fossil*, n.d.). Sera gazlarının en kritik etkisi küresel ısınmayı doğrudan etkileyerek dünyanın ısınmasına sebebiyet vermesidir. Artan sıcaklıklar dolayısıyla buzulların erimesi ve kutuplardaki doğal yaşamın olumsuz etkilenmesi, artan orman yangınları, mevsimsel dengesizliklerin yaşanması ve ekstrem hava olayları, deniz seviyelerinin yükselmesi ve içme suyu miktarının azalması bu etkilerin örneklerindendir. Bu kapsamda Paris İklim Anlaşması (Bach et al., 2020) ve BM’nin

sürdürülebilirlik planları doğrultusunda 7. Ve 13. hedefler IMO'nun emisyon azaltma politikalarının çerçevelerini oluşturmaktadır (*THE 17 GOALS | Sustainable Development*, n.d.). Uluslararası ve ulusal düzenlemelerin pek çoğu için kaynak oluşturan bu politikalar taşımacılık sektörünün sürdürülebilirliği açısından da hayati önem taşımaktadır.

Su yolu taşımacılığının km/ton sera gazı emisyon oranları dikkate alındığında diğer taşımacılık modlarından çok daha karlı olduğunu söylemek mümkündür (Prussi et al., 2021). Deniz taşımacılığı özelinde ise total emisyonların yaklaşık yüzde üçünden sorumlu olduğu söylenebilir (Stallard, 2025; Herdzik, 2021). Denizcilik sektöründe yaygın olarak salınan sera gazı emisyonları karbondioksit, kükürt oksitler, nitroz oksitler ve partikül maddelerdir (Svanberg et al., 2018) ve gemiler taşımacılık sektöründen kaynaklı NO_x, SO_x, ve partikül madde emisyonlarının en büyük kaynağıdır (Wang & Wright, 2021). BM'nin denizcilikte özelleşmiş branşı olarak IMO denizcilikten kaynaklı emisyonların azaltılması yönünde adımlar atmaktadır.

Uluslararası Gemilerden Kaynaklanan Kirliliği Önleme Konvansiyonu (MARPOL) IMO'nun en temel konvansiyonlarından biridir. Güncel olarak 6 adet eki bulunan MARPOL çeşitli kazalar ve olaylar sonucunda geliştirilerek günümüzdeki formunu almıştır. MARPOL'ün altıncı ve son kabul edilen eki 1997 yılında gemi baca gazlarından kaynaklanan kirliliğin önlenmesi başlığı ile kabul olunmuş ve 2005 senesinde uygulanmaya başlanmıştır. Altıncı ek gemi baca gazlarından kaynaklı SO_x, NO_x, ve karbon yoğunluğunun azaltılması konularında düzenlemeler içermektedir (*Climate Action and Clean Air in Shipping*, n.d.). 2020 yılı düzenlemeleri ile SO_x ve partikül madde (PM) emisyonları açık denizlerde %3.5'ten %0.5'e düşürülmüş olup bu oran IMO tarafından belirlenmiş emisyon kontrol bölgelerine 2015 yılından itibaren %0.1 olarak uygulanmaktadır (*SO_x • PM Regulations | ClassNK - English*, n.d.; Karatuğ et al., 2023). NO_x emisyon düzenlemeleri Uluslararası Makine Hava Kirliliği Önleme Sertifikası (EIAPP) ile kayıt altına alınmakta olup 2016 yılından itibaren seviye III (tier III) kuralları emisyon kontrol alanlarında uygulanmaktadır. 2000 yılında seviye I'in uygulamaya konmasından itibaren 16 yıl içinde seviye 3'e geçilmesiyle NO_x emisyonlarının yaklaşık %80 azaltılması hedeflenmiştir (*Nitrogen Oxides (NO_x) – Regulation 13*, n.d.). 1997'de ek VI ile karbondioksit emisyonlarının da sera gazı etkisi yapmasına istinaden azaltılması yönünde kararlar alınmıştır. IMO'nun sera gazlarını azaltmaya yönelik başlangıç stratejisi 2018 yılında Deniz

Çevresi Koruma Komitesi (MEPC) tarafından emisyonlarının 2008'e kıyasla 2030 senesine kadar %40 azaltılması, 2050 senesine kadar ise %50 azaltılmasını ve nihayetinde ise net sıfır sera gazı emisyon salınımı hedeflerini belirlenmiştir (2023 *IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions From Ships*, n.d.; McKinlay et al., 2021; Al-Enazi et al., 2021). Avrupa Birliğinin (AB) ilk emisyon azaltma politikası olarak bilinen izleme, raporlama, doğrulama sistemi (monitoring, reporting, verification-MRV) (Christodoulou & Cullinane, 2022) ve IMO'nun veri toplama sistemi (data collection system -DCS) ile gemiler tarafından salınan sera gazı emisyonlarını yakından takip edilmektedir (Herdzik, 2021). "FuelEU" denizcilik girişiminin de bir parçası olduğu Avrupa iklim hukuku çerçevesinde geliştirilen "Fit for 55" programı ile 2030 yılına kadar AB sınırları içerisinde salınan sera gazı emisyonlarının %55 azaltılması hedeflenmektedir (*Fit For 55: Delivering on the Proposals*, n.d.) ve 2025 yılından itibaren denizcilik kaynaklı emisyonların azaltılması yönünde sınırlar belirlenmektedir (Christodoulou & Cullinane, 2022). IMO'da ise emisyon azaltma hedeflerini karşılamak için 3 aşamalı bir planlama yapılmış ve kısa dönem, orta vade ve uzun dönem hedefleri belirlenmiştir. IMO'nun kısa dönem hedefleri genellikle operasyonel iyileştirmeleri kapsamaktadır (Schroer et al., 2022). Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (energy efficiency design index- EEDI), Enerji Verimliliği Mevcut Gemi İndeksi (energy efficiency index for existing ships- EEXI), Operasyonel Karbon Yoğunluk Göstergesi (carbon intensity indicator- CII) gibi yeni gereklilikler ek VI kapsamında uygulanmaya başlanmıştır. Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (ship energy efficiency management plan- SEEMP) 2013 senesinde duyurulmuş ve 2021 senesindeki 76. MEPC toplantısında CII, EEDI, EEXI kavramları da enerji verimliliği yönetimi kapsamına dahil edilmiştir (*Short-term GHG Reduction Measure*, n.d.). EEDI; yeni inşa edilen gemiler için enerji verimliliği daha yüksek tasarımlar yapılmasını zorunlu kılar. EEXI ise var olan gemilerin operasyonel optimizasyonlar yaparak enerji verimliliğine daha uygun seyretmesini gerekli kılar. Örneğin, rota optimizasyonu, pervane optimizasyonu, rüzgar yönüne göre seyretme gibi uygulamalar EEXI kapsamında değerlendirilmektedir. CII ise gemileri enerji 6 miktarının taşınan yük X katedilen mesafeye bölünmesi ile bulunur (*Short-term GHG Reduction Measure*, n.d.). IMO'nun orta vade planları alternatif yakıtlara geçiş teknolojilerinin desteklenmesi ve inovatif emisyon azaltma mekanizmalarının

geliştirilmesi gibi yenilikleri içermektedir. Uzun dönem planlamalarının ise temel hedefi net sıfır emisyon salınımı ve fosil yakıtların kullanımının bırakılması olarak belirlenmiştir.

Orta ve uzun vade hedeflerinin yalnızca operasyonel iyileştirmeler ile karşılanamayacak olması denizcilik sektörünü alternatif enerji kaynaklarına yönelik teknolojileri benimsemeye yöneltmektedir. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının gemilere adaptasyonu oldukça tartışmalıdır. Rüzgar ve güneş enerji kaynaklarının coğrafi dağılımları ve değişken olmaları, ikame seviyelerinde gerekli yeterlilikleri karşılayamamaları ve her gemi tipi için tasarım ve stabilite açısından uygulanabilir olmamaları, gemileri için ideal tahrik sistemlerinin içten yanmalı (international combustion engine- ICE) yahut yakıt hücresi (fuel cell- FC) olarak belirlenmesinde ve rüzgar ve güneş enerjilerinin yardımcı güç kaynağı olarak değerlendirilmesinde etkili olmuştur (Xing et al., 2021). Alternatif bir teknoloji olan güneş hücresi sisteminde ise en sık karşılaşılan sorunların başında gemide yeterli kurulum ve enerji depolama alanının olmamasıdır (Rony et al., 2023). Rüzgar ve batarya tahrikli gemi tasarımları ise büyük tonajlı ve uzun seferler yapan gemiler için uygun enerji opsiyonları olarak değerlendirilmemektedir (Harahap et al., 2023; Law et al., 2021).

Tüm bu düzenlemeler ve uygulamalar ele alındığında, denizcilik sektörünün enerji verimliliğinin artırılması, yakıt tüketimi ve emisyon salınımlarının azaltılması, alternatif yakıt teknolojilerinin geliştirilmesi günümüzün gündem maddelerindendir (Karatuğ et al., 2023). Gemi tasarımındaki enerji verimliliği uygulamaları, operasyonel ve teknik enerji verimliliği uygulamaları ile alternatif yakıt teknolojileri deniz taşımacılığını karbonsuzlaştırmada önemli rol oynayabilir (Prussi et al., 2021). IMO'nun ek VI ile başlayan emisyon azaltma politikalarının günden güne sertleştirilmesi ve genişletilmesi, uluslararası ve ulusal pek çok emisyon düzenleme politikalarının oluşturulması ile denizcilik sektörünü alternatif yakıtlara geçmeye yönlendirilmek hedeflenmektedir.

2.1 Alternatif Yakıt Türleri

Alternatif yakıtlar en genel tanımı ile petrol türevleri olmayan, benzin ve dizel dışındaki yakıtlar olarak tanımlanabilir. ABD Enerji Bakanlığınca sentetik yakıtlar, biyoyakıtlar, etanol, metanol, hidrojen, kömür türevi sıvı yakıtlar, elektrik, doğalgaz

ve propan gazı alternatif yakıtlar olarak değerlendirmektedir (*Alternative Fuels Data Center: Natural Gas Laws and Incentives in Arkansas*, n.d.). Fakat, pek çok gemi makine üreticisi ve IMO'ya göre deniz ulaşımı için en sık tartışılan alternatif yakıt türleri hidrojen, metanol, amonyak, biyoyakıtlar, sıvılaştırılmış yahut sıkıştırılmış doğalgaz (liquified naturalgas- LNG-CNG-cyrogenic naturalgas) olarak sıralanabilir (Deniz & Zincir, 2015). Alternatif yakıtların emisyon azaltma politikalarına uygunluğu değerlendirilirken en önemli noktalardan biri yaşam döngüsü emisyonlarının baz alınmasıdır (Law et al., 2021). Yaşam döngüsü emisyonları (life cycle assessment- LCA), yakıt üretiminden emisyon olarak salınma kadar olan tüm süreci kapsar. Dolayısıyla, bir yakıtın emisyon azaltıcı olabilmesi için üretimin yönteminin de aynı şekilde emisyon azaltma politikaları ile uyumlu olması yahut üretim sürecinde karbon döngüsünü bozmaması gerekir. Bu süreç özellikle metanol, amonyak, biyoyakıtlar, hidrojen ve sentetik yakıtların üretimi aşamasında önem kazanmaktadır. Örneğin, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilmiş metanol net sıfır emisyon değerlerine hayli yakinken, fosil yakıtlarla üretilen metanolün yanma sonrası emisyon değerleri ağır yakıt yağından (heavy fuel oil- HFO) daha kötüdür. Yakıt üretimini sırasında salınan emisyonlar hakkında bilgi vermesi açısından yakıt renk kodları kullanılmaktadır. Yeşil üretim, yenilenebilir enerji kaynakları ve çevre dostu üretim yöntemiyle mavi renk üretimde doğalgaz kullanıldığını, sarı renk kodu üretimde güneş enerjisinden faydalandığını, kahverengi, gri ve siyah kodlar ise üretimde kömür kullanıldığını ifade etmektedir (Shi et al., 2023). Üretiminde fosil yakıtlar kullanılan alternatif yakıtların üretim ve tedarik sürecinden gemide yakıt olarak kullanılmasına kadar olan süreçte (well-to-wake- WTW) konvansiyonel yakıtlardan daha fazla emisyon ürettiği söylenebilir.

Alternatif yakıtlara geçiş sürecinde dikkate alınması gereken oldukça önemli başka bileşenler de vardır. Makinenin ve yakıt sisteminin seçilmiş yakıtı göre düzenlenmesi gerekmektedir. Alternatif yakıtlar genellikle düşük parlama noktasına sahip, patlayıcı ve korozyif özelliklere sahip olduğundan gerekli emniyet tedbirlerinin de alınması gerekmektedir. Diğer bir önemli nokta ise yakıtın ulaşılabilirliğidir. Yakıt üretiminin gerekli seviyelerde olması, ikmal için yeterli altyapı yatırımlarının yapılması (Svanberg et al., 2018) ve geminin emniyetli seyir için seçilen yakıtı uygun olması gerekmektedir. Yakıtın ve üretimin maliyeti de ürünün sektör tarafından kabul edilmesi için oldukça önemlidir.

Günümüzde en yaygın kullanılan yakıt türleri, HFO, düşük kükürtlü HFO, deniz dizel yakıtı (marine diesel oil- MDO), ve deniz gaz yakıtı (marine gas oil- MGO) olmakla birlikte bu yakıtların pek çoğu uluslararası düzenlemelerdeki emisyon sınırlarını karşılamamaktadır. Dolayısıyla, konvansiyonel yakıtlar kullanan gemiler özellikle kükürt emisyonlarını azaltmak için temizleme sistemleri (exhaust gas cleaning systems- EGCS) kullanmaktadır (Xing et al., 2021). Fakat günden güne azalan emisyon sınırlarını baca gazı temizleme yöntemleri ile karşılamak pek mümkün olmadığından özellikle güncel gemilerde minör değişimlerle tercih edilebilecek yakıtların kullanımını artmaktadır. Yeni tasarlanan gemiler için bu dönüşüm daha kolay olsa da güncel filo için makineye ve sisteme uygunluk oldukça önemlidir (Deniz & Zincir, 2015). Tüm bunlar dikkate alındığında LNG IMO'nun kısa ve orta dönem hedeflerini de karşılayabilecek durumda olması açısından en yaygın kullanılan alternatif yakıt türüdür (Xing et al., 2021; Shi et al., 2023) ama LNG'nin bir geçiş yakıtı olarak değerlendirilmesi de mümkündür (Xing et al., 2021; Harahap et al., 2023). Önceleri yük olarak taşınan LNG'nin ikmal altyapılarının da gelişmesiyle konvansiyonel yakıtlara en büyük rakip olduğu söylenebilir (Wang & Wright, 2021). Her ne kadar LNG günümüzde teknolojik olarak en olgunlaşmış alternatif yakıt türü olsa da, IMO'nun uzun vade ve net sıfır emisyon hedeflerini karşılayabilmesi pek mümkün görünmemektedir (Shi et al., 2023). Bu sebeple amonyak, metanol, hidrojen ve biyoyakıtlar gibi farklı teknolojilerin geliştirilmesi için de çalışmalar sürmektedir. Elektroyakıtlar, hidrojen ve biyoyakıt teknolojilerinin günümüzde yaşam döngüsü emisyonları açısından yeşil üretiminin maliyet-fayda dengesini sağlayabildiğini söylemek mümkün değildir. Küresel pazardaki fiyat farklılıkları da hidrojen teknolojisinin benimsenmesini zorlaştıran faktörlerdendir (Wang & Wright, 2021). Biyoyakıtlar güncel makinelerle kullanılabilir olmasına karşın (Law et al., 2021) güncel üretimin genelde gıda maddelerinden olması etik problem yaratmaktadır (Wang & Wright, 2021; Xing et al., 2021). Amonyakın ise patlayıcı ve zehirli özellikleri dolayısıyla insan sağlığını ve çevreyi tehdit etmesi (Harahap et al., 2023) ve mevcut tahrik sisteminde majör değişiklikler gerektirmesi amonyak teknolojisi için de henüz zamana ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Metanolün ise yaşam döngüsü emisyonlarında fayda-fiyaat dengesini sağlayabilmesi için yeşil üretim kapasite ve teknolojilerinin artması gerekmektedir. Ek olarak alternatif yakıt teknolojilerine geçişte en büyük problemlerden birisi de gerekli

standart ve düzenlemelerdeki eksiklikler ve personel eğitiminin güncel teknolojiye uygunluğu olarak değerlendirilebilir (Bach et al., 2020).

2.1.1 Metanol

Metanol yeryüzünde farklı amaçlar için üretilen ve kullanılan basit bir oksijenli hidrokarbondur (Karatuğ et al., 2023; Verhelst et al., 2018; Zincir et al., 2019). Yapısında bir karbon, dört hidrojen ve bir oksijen atomu bulunan metanolün içeriğindeki düşük karbon sayısı nedeniyle iyi bir emisyon azaltma tercihi olabileceği düşünülmektedir. Düşük karbon/hidrojen oranı ve kükürtsüz bir molekül olması nedeniyle metanol daha az sera gazı emisyonu oluşturmaktadır (Deniz & Zincir, 2015; Sayin, 2010). Tarımsal kalıntılar ve orman kalıntıları, hayvancılık atıkları, kanalizasyon gibi pek çok farklı hammadde metanol üretimi için kullanılabilir (Svanberg et al., 2018; McKinlay et al., 2021; Karatuğ et al., 2023). Metanolün biyokütleden üretilabiliyor olması yenilenebilir enerji üretimi açısından da gelecek vadeden bir özelliktir (Liu et al., 2019). Günümüzde en yaygın kullanılan metanol üretim yöntemi doğalgaz dönüşümü veya kömür gazlaştırması sonucu sentez gazının katalitik dönüşümüdür (Svanberg et al., 2018). Metanol ile ilgili en ciddi sıkıntılardan biri içeriğinde az da olsa karbon atomu bulundurması dolayısıyla net sıfır hedefleri için ekstra önlemler gerektirmesi (Shi et al., 2023) ve üretimde kullanılan fosil yakıtlar dolayısıyla oluşacak yaşam döngüsü emisyonlarıdır. Öyle ki fosil yakıtlarla üretilen metanolün yaşam döngüsü emisyonları ele alındığında yakıt olarak kullanılması sonucu konvansiyonel yakıtlardan daha fazla yaşam döngüsü emisyonu üretecektir (Liu et al., 2019). Fakat metanolün yenilenebilir enerji kaynakları ile üretimi de mümkündür ki bu durum IMO'nun uzun vade hedefleri için metanolü en çok konuşulan alternatiflerden biri yapmaktadır. Birinci nesil olarak metanol üretiminde gıda maddelerinin kullanılması açlıkla mücadele edilen bir dünyada etik tartışmalarına yol açmıştır (Verhelst et al., 2018). Metanol üretim yöntemleri teknoloji ile genişletilmekte ve iyileştirilmektedir ki gıda maddelerinden üretilen metanolün dünyanın yakıt ihtiyacını karşılayabilmesi mevcut tarım üretimi kapasitesi ile mümkün görünmemektedir. Fakat ikinci ve üçüncü nesil olarak üretilen yenilenebilir metanol için genellikle selülozlu atıkların fermantasyonu yöntemi tercih edilmektedir (Verhelst et al., 2018). Fakat bu üretim metoduyla da dünya yakıt ihtiyacının karşılanabilirliği konusu tartışmalıdır. Bazı çalışmalar ise karbon yakalama sistemleri ve güneş enerjisi kullanılarak yenilenebilir metanol

üretimi yöntemine odaklanmaktadır (Liu et al., 2019). Yenilenebilir metanolün üretim maliyetlerinin fosil bazlı üretimle kıyaslandığında 1.5 ila 4 kat daha yüksek olabileceği tahmin edilmektedir (Xing et al., 2021). Ancak, teknolojik gelişmelerin üretim maliyetlerini düşürmesi beklenebilir. Tüm bu gelişmelerle birlikte makine üreticilerinin de metanol tahrikli makine yapım çalışmalarının devam ettiği söylenebilir.

En çok ticareti yapılan kimyasallardan biri olarak metanolün yük olarak taşınması dolayısıyla dünya genelinde 100'den fazla yakıt ikmali yapılmasına olanak tanıyan liman bulunmaktadır (Shi et al., 2023). Metanolün tahrik sistemleriyle tanışması araba yarışlarında performans artırıcı olarak kullanılmasıyla başlamaktadır. Ayrıca havacılık sektöründe de uçakların maksimum güçte kalkışının gerekli olduğu durumlarda da kullanıldığı bilinmektedir (Verhelst et al., 2018). Ölçeklenebilirliği ve standart basınç-sıcaklıkta sıvı fazda olan en basit karbon içerikli molekül olması metanolün yakıt olarak kullanması konusundaki çalışmaları arttırmıştır (Verhelst et al., 2018). Fakat, metanolün gemilerde yakıt olarak kullanımıyla ilgili ciddi endişeler mevcuttur. Bunlardan ilki 12 °C ile düşük parlama noktasına sahip olmasıdır (Karatuğ et al., 2023; Bilgili, 2021; Gilbert et al., 2017) ve LNG, HFO ve amonyaktan daha yüksek patlama riskine sahip olmasıdır (McKinlay et al., 2021). Metanol alevinin güneş ışığında görünmez olması herhangi bir yangın/patlama durumunda müdahaleyi güçleştiren bir durumdur (Verhelst et al., 2018). En önemli endişelerden bir başkası ise metanolün yüksek derecede toksik olmasıdır. Bir çalışmada metanolün insanlara HFO ve dizelden daha az zararlı olduğu ve suda çözünebilir olması nedeniyle çevre için ciddi riskler yaratmadığı iddia edilmiştir (Shi et al., 2023). Fakat alkol karakterli bir molekül olarak metanolün solunduğunda yahut temas edildiğinde ciddi bir toksiklik yarattığı bilinmektedir (Verhelst et al., 2018). Ek olarak, methanol her ne kadar sızıntı durumunda suda çözülebilen bir madde olsa da özellikle kapalı denizlerde yahut körfez bölgelerinde herhangi bir sızıntı olması durumunda hızla suyla karışarak bölgenin asitlik dengesini olumsuz etkileyebilir. Yakıt özellikleri açısından değerlendirildiğinde düşük vizkositeye sahip olması yakıt püskürtülmesi esnasında daha kaliteli bir pulverizasyon yapılmasına olanak tanıyarak daha verimli bir hava yakıt karışımı oluşmasını sağlar (Deniz & Zincir, 2015; Sayin, 2010). Mevcut gemilerde minor değişikliklerle yakıt olarak

depolanabiliyor olması da metanole olan ilginin artmasına yol açmaktadır (Karatuğ et al., 2023; Xing et al., 2021).

2.1.2 Amonyak

Yılda 175 milyon ton ortalama üretim hacmi ile amonyak yeryüzünde en çok üretilen kimyasallardan biridir (Karatuğ et al., 2023; MacFarlane et al., 2020). NH_3 formülü ile gösterilen amonyağın yapısında 1 azot 3 hidrojen atomu bulunmaktadır. Yapısında kükürt ve karbon atomları bulunmadığından, yanma sonucu oluşan egzoz gazlarının emisyon azaltma kriterlerini karşılaması beklenmektedir. Fakat amonyağı içten yanmalı makinelerde kullanmanın bazı zorlukları vardır. Bu zorluklardan ilki amonyağın çok zor tutuşan bir yakıt olmasıdır (Karatuğ et al., 2023). Düşük alev hızı ve azot içeriği amonyağı içten yanmalı makinelerde yakmayı zorlaştıran durumlardandır (Al-Aboosi et al., 2021). Amonyağın zor tutuşması ve tamamen yanmaması sebebiyle silindir içi sıcaklıkların yüksek tutulmak zorunda olması azot oksit emisyonların üretimini arttırmaktadır (Xu et al., 2023). Azot oksit emisyonlarını azaltmak için seçici katalitik indirgeme (selective catalytic reduction-SCR) ve egzoz sirkülasyonu (exhaust gas recirculation- EGR) yöntemleri kullanılabilir (Xu et al., 2023). Emisyon azaltma uygulamaları açısından ise NO_x arıtma sürecinde amonyağın doğrudan sistemden kaçarak “amonyak kaçağı” (ammonia slip) oluşturması (McKinlay et al., 2021) net sıfır emisyon hedefleri açısından amonyağın dikkatli kullanılmasını gerektirmektedir (Karatuğ et al., 2023). Emisyon azaltma politikaları açısından bir diğer önemli etken ise yakıt olarak kullanılacak amonyağın üretim biçimidir. Yaşam döngüsü emisyonları dikkate alındığında fosil yakıtlar kullanılarak üretilmiş amonyağın toplam emisyonları attırdığını söylemek mümkündür (McKinlay et al., 2021). Günümüzde amonyak içeriğindeki hidrojen stoğunun üretilmesi için en yaygın kullanılan yöntem olan Haber-Bosch sentezi yoğun enerji gerektirdiğinden fosil yakıtlar kullanılarak yüksek sıcaklıklar (yaklaşık 500 °C) ve basınç (200-350 bar) değerleri sağlanır (McKinlay et al., 2021; Xing et al., 2021; Al-Aboosi et al., 2021; Giddey et al., 2017). Ancak amonyağı yenilenebilir enerji ile üretmek de mümkündür. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen ve yeşil amonyak olarak etiketlenen amonyak diğer üretim süreçlerine göre sıfır karbonlu bir üretilimdir (Shi et al., 2023) ve amonyak yakıtın yaşam döngüsü emisyonlarını düşürerek emisyon azaltma politikaları ile uyumlu bir yakıt üretimi olanağı sunar (Hansson et al., 2020).

Yakıt olarak amonyak gemilerde farklı şekillerde depolanabilir. Sıvı fazda amonyak genellikle 20 °C yaklaşık 8 barda yahut 20 °C üzerindeki sıcaklıklarda 17 barda basınçlı tanklarda depolanır (Herdzik, 2021). Bu iki temel yöntem genelde ortam basıncında depolama (34 °C) veya ortam sıcaklığında depolama (10 barda) olarak sınıflandırılır (McKinlay et al., 2021; Xing et al., 2021). Sıvı olarak depolanan amonyak enerji yoğunluğu ve yanma özellikleri açısından konvansiyonel yakıtlardan farklıdır. HFO'ya göre 1.5-2.5 kat daha fazla hacim ve 1.4-1.6 kat daha fazla ağırlık gerektiren amonyağın yaşam döngüsü perspektifinden konvansiyonel yakıtlardan 3.5-5.2 kat daha maliyetli olması beklenilmektedir (Kim et al., 2020). Amonyak sahip olduğu yüksek H/N oranı sebebiyle yalnızca içten yanmalı makineler için değil yakıt hücresi teknolojisi için de kullanılabilecek bir hidrojen depolama alternatifidir (Hansson et al., 2020; Kim et al., 2020). Amonyak, bir katalizör ve ısı kaynağı ile parçalanarak hidrojen deposu olarak kullanılabilir (Xing et al., 2021). Amonyağın kullanım yöntemine bağlı olarak, amonyak tahrikli gemilerin sera gazı emisyonlarının yaklaşık %85-90 azaltılabileceği öngörülmektedir (Kim et al., 2020). Amonyak yüksek hacimsel enerji yoğunluğu sebebiyle tercih edilebilir bir alternatif olarak değerlendirilebilir fakat oldukça toksik ve korozif olması amonyağın gemilerde tercih edilebilirliğini düşüren özelliklerindendir (McKinlay et al., 2021). Yalnızca çevre açısından değil insan sağlığı açısından da amonyak dikkatli değerlendirilmesi gereken bir kimyasaldır (Karatuğ et al., 2023). Ancak, amonyağın halihazırda en sık ticareti yapılan kimyasallardan biri oluşu altyapısal anlamda diğer yakıtlara nazaran ikmal ve transfer açısından daha hazır bulunduğu gösterilebilir (Karatuğ et al., 2023; MacFarlane et al., 2020; Al-Aboosi et al., 2021). Uzun vade hedefleri açısından, amonyağın hem SCR-EGR sistemleri ile net sıfır emisyon hedeflerine yaklaşabilmesi hem de hidrojen teknolojisi için bir depo olarak kullanılabilmesi önümüzdeki yıllarda amonyak teknolojisinin geliştirilmesi için daha çok çalışma yapılabileceğine işaret etmektedir (Hansson et al., 2020).

2.1.3 Hidrojen ve batarya teknolojisi

Hidrojen dünyada en bol bulunan elementlerin başında gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilebiliyor olması, karbon içermemesi ve yanma özellikleri dolayısıyla alternatif olarak değerlendirilen yakıtların başında gelmektedir (Dere, 2023). Fakat hidrojenin genellikle bileşik formda bulunması nedeniyle ayırıştırma süreci için hayli enerji gerekmektedir ve günümüzde hidrojen üretiminde kullanılan

enerjinin büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan üretilmektedir (Xing et al., 2021; Van Hoecke et al., 2021). Elektroliz yöntemiyle hidrojen üretme teknolojisi günümüzde hayli gelişmiş olmakla birlikte kullanılan elektriğin yenilenebilir enerjiden üretilmiş olması bu süreci emisyonlu kılar (McKinlay et al., 2021; Van Hoecke et al., 2021). Diğer alternatif yakıtlarda olduğu gibi yaşam döngüsü emisyonları hidrojen için de önemlidir. Özellikle hidrojenin depolanması ve taşınması için harcanacak enerjinin de dikkate alınması gerekir (Perna et al., 2023).

Ek olarak yüksek hidrojen içeriğine sahip olan bileşik ve moleküller de hidrojen deposu olarak bu ayrıştırma sürecinde kullanılabilir. Hidrojeni doğrudan yakıt olarak kullanma ve hidrojen yakıt hücresi yöntemleri günümüzde hidrojen tahrikli gemilerin yakıt sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Hidrojenin kendi kendine tutuşma direnci hayli yüksek olduğundan pilot yakıtlı yöntemler hidrojenin doğrudan yakıt olarak kullanıldığı sistemler açısından daha popülerdir (Dere, 2023). Hidrojen yakıtı ile ilgili en önemli sorunlar hidrojenin depolanması konusundan çıkmaktadır. Gemilerde hidrojen düşük sıcaklıklarda (-253 °C) sıkıştırılmış veya sıvılaştırılmış olarak depolamak mümkündür (Shi et al., 2023; Van Hoecke et al., 2021; Stamoudis et al., 2013; Bari & Esmaeil, 2009) fakat sıkıştırılmış hidrojenin dizel makinalarda vuruntu problemi nedeniyle uygun bir alternatif olduğu düşünülmektedir (Shi et al., 2023). Hidrojenin doğrudan yakıt olarak kullanımındaki bir diğer problem ise hidrojenin düşük hacimsel yoğunluğu nedeniyle daha fazla depolama alanı gerektirmesidir ki yaklaşık 500 bara kadar sıkıştırılmış hidrojenin konvansiyonel yakıtlara oranlara 15 kat daha fazla alana ihtiyaç duyacağı düşünülmektedir fakat depolamanın kriyojenik olarak mutlak sıfır değerinde yapılması durumunda fazladan depolama alanı 4-5 kat olarak hesaplanmaktadır (Xing et al., 2021). Ancak bu değerler ulaşılması oldukça güç değerler olmakla birlikte sürekliliği sağlamak açısından hayli enerji gerektiren süreçlerdir. Yüksek basınç ve çok düşük sıcaklık değerlerinde depolama yapmanın gemide kullanılan malzeme ve materyale etkisini de göz ardı etmemek gerekir. Hidrojenin küçük bir molekül olması nedeniyle kaçak yapma riskinin yüksek oluşu ve kolay tutuşabilen özelliği hidrojen depolama tasarımları açısından dikkat edilmesi gereken bir başka önemli konudur (Van Hoecke et al., 2021). Günümüz teknolojisinde hidrojeni katı maddelerde depolama yöntemleri üzerine de çalışmalar yürütülmektedir ki kimyasal bağ kullanarak yüksek oranda hidrojeni metallere emdirmek üzerine kurulu metal hibrit sistemi yeni

teknolojilerden biridir (McKinlay et al., 2021; Van Hoecke et al., 2021). Hidrojenin yakıt olarak mı yahut yakıt hücresi olarak kullanımının daha avantajlı olduğu günümüzde en sık tartışılan konulardandır. Tsujimura ve Suzuki, içten yanmalı hidrojen makinalarının başlangıç maliyeti, güç yoğunluğu ve makineye sağlanacak saf hidrojen açısından yakıt hücresinden daha avantajlı olabileceğini ifade etmektedir (Tsujimura & Suzuki, 2017). Fakat bir başka çalışmada, hidrojenin gerektirdiği fazladan hacim dolayısıyla yakıt hücresi olarak kullanımının daha avantajlı olduğu savunulmaktadır (McKinlay et al., 2021).

Yakıt hücresi teknolojisi, yakıttaki kimyasal enerjiyi doğrudan elektriğe dönüştürmeyi hedefleyen bir sistemdir ve bu işlem sırasında seçilen yakıtın türüne ve yaşam döngüsü emisyonlarında da bağlı olarak çok az sera gazı emisyonu ürettiği söylenebilir (Fu et al., 2023). Yakıt hücrelerinin sessiz çalışma özelliği, gelecek dönemlerdeki potansiyel su altı gürültü azaltma politikalarını da günümüz teknolojisi ile karşılayabilecek seviyelerdedir. Yakıt hücresi teknolojisi yeni olmamakla birlikte 1970’lerde askeri amaçlarla geliştirilmiş olması ve sessiz çalışma ve düşük vibrasyon özelliği ile denizaltı teknolojisinde kullanılması nedeniyle sivil denizcilik özelinde çalışılması hayli zaman almıştır (Van Biert et al., 2016; Adams, 1990; Sattler, 2000). Yaygın olarak kullanılan dizel jeneratör teknolojisinin kimyasal enerjinin termal ve mekanik enerji yoluyla elektriğe dönüştürülmesi süreci yakıt hücrelerinde kimyasal enerjinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle içten yanmalı makinalardaki fazladan yanma süreçlerini ortadan kaldırmaktadır (Van Biert et al., 2016). Hidrojen ise yakıt hücresi teknolojisine en uygun alternatif yakıtlardan biri olarak değerlendirilmektedir ve hidrojenin yakıt hücresi olarak kullanılmasının daha yaygın bir yöntem olduğu ifade edilmektedir (Dere, 2023; Perna et al., 2023). Bu durumun en temel sebeplerinden biri olarak hidrojenin düşük sıcaklıklarda dahi elektrokimyasal oksidasyon kinetiğinin hızlı olması gösterilmektedir (Van Biert et al., 2016). Halihazırda ticari olarak kullanılmaya en uygun yakıt hücresi türü yüksek saflıkla beslenen “proton değişim membran yakıt hücresidir (proton exchange membrane fuel cell- PEMFC)” ancak amonyak, biyoyakıtlar ve sentetik yakıtlar gibi yenilenebilir enerjilerle de kullanılabilen katı oksit yakıt hücreleri (SOFC) ve erimiş karbonat yakıt hücrelerinin (MCFC) de oldukça avantajlı olduğunu söylemek mümkündür (Perna et al., 2023).

Bataryalar ve lityum-iyon piller ise günümüzde kara taşımacılığında ve elektrikli araçlarda tercih edilebilen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat bu batarya ve pillerin uzun seyirler için gerekli enerji ihtiyaçlarını sağlayabilmeleri için gereken hacim oldukça fazladır (McKinlay et al., 2021). Elektriği depolamanın yanı sıra, değişen elektrik maliyetleri ve günümüzde üretilen elektriğin büyük bir bölümünün fosil yakıt kökenli olması da yaşam döngüsü emisyonları açısından endişe verici bir başka durumdur. Özetle, uzun vadede batarya teknolojisinin ana tahrik kaynağı olarak düşünülmesi pek mümkün görülmemektedir. Hidrojen teknolojisinin ilerlemesiyle taraftarlarının artacağını öngörmek mümkündür fakat hidrojen kullanımı açısından hayli travmatik izler bırakan “Hindenburg kazası” hidrojen kullanımının halk ve sektör tarafından benimsenmesinin biraz zaman alabileceğini gösterebilir (Van Hoecke et al., 2021).

2.1.4 Biyoyakıtlar ve e-yakıtlar

Biyoyakıt kavramı, canlı organizmaların metabolik atıklarından yahut canlı organizmalardan elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak tanımlanabilir. Yakıt olarak kullanılmaları sonucu emisyon oluşturmazlar de halihazırda doğada var olan atom ve molekülleri tekrar doğaya saldıkları için net emisyon değerleri sıfıra yakındır. Bu durumun sera gazı emisyonlarında önemli azalmalara yol açabileceği düşünülmektedir (Rony et al., 2023). Biyoetanol, biyodizel, biyometanol, dimetileter, biyoyağ, biyobutanol ve biyojet günümüzde üretilen biyoyakıtlara örnek olarak gösterilebilir (Fivga et al., 2019). Birinci nesil biyoyakıtlar genellikle gıda maddelerinden üretilirken ikinci nesil sıvı biyoyakıtlar kimyasal reaksiyonlar sonucu elde edilir. Bu yakıtlar mevcut petrol türevi yakıtlarla oldukça benzer özelliklere sahiptir (Fivga et al., 2019). Biyoyakıtların farkı kimyasal üretim metodları mevcuttur. En yaygın kullanılan termokimyasal üretim yöntemleri “piroliz, gazlaştırma ve Fisher Tropsch” sentezi iken biyokimyasal yöntemler “fermantasyon ve transesterifikasyon” süreçleridir (Fivga et al., 2019). Biyoetanol üretiminde en sık kullanılan yöntem şeker fermentasyonudur. Bir diğer üretim yöntemi ise lignoselülozik atık malzemelerin öncelikle gazlaştırılması yöntemiyle yapılır ve bu organik materyaller karbonmonoksit, karbondioksit, hidrojen ve metan gibi materyallere ayrıştırılır (Bridgwater, 2003). Biyobütanol ise lingoselülozik biyotkütellerin fermentasyonu ile üretilir (Fivga et al., 2019). Biyodizel ise, bitkisel ve hayvansal yağların bir katalizör aracılığı ile “transesterifikasyonu ve

esterifikasyonu” sonucu elde edilen metil/etil esteri (FAME ve FAEE) olarak açıklanabilir (Sattler, 2000). Fischer-Tropsch (FT) sentezi yeşil dizel üretim sürecinin temelini oluşturur (Fivga et al., 2019). Biyometanol ise karbon monoksit, karbon dioksit veya metanın katalitik hidrojenasyonu ile üretilen bir alkoldür (Shamsul et al., 2014; Minter, 2011). Fakat ikinci derece biyoyakıtların üretimi büyük ölçüde teknoloji ve hammadde olarak kullanılacak biyokütle miktarına bağlıdır. Biyoyakıtların fosil yakıtlarla benzerliklerine istinaden güncel makinelerde minör değişikliklerle kullanılabilecek olması sektörel açıdan umut verici bir durum iken, sürdürülebilirlik endişeleri de sıklıkla gündeme gelmektedir (Rony et al., 2023; Li et al., 2022). Yenilenebilir Enerji Direktifi’nin de yenilenebilir biyoyakıt kullanımı açısından düzenlemeler içermesi teknolojik gelişmelerin de önünü açmaktadır (*Renewable Energy Directive*, n.d.).

E-yakıtlar ise günümüzde kullanılan fosil yakıtların sentetik kopyaları olarak açıklanabilir (Martin et al., 2023). PtX, RFNBO gibi yakıtlar üzerlerine en çok çalışmalar yapılan e-yakıt türleridir (Martin et al., 2023). E-yakıtlar da biyoyakıtlar gibi majör değişikliklere ihtiyaç duyulmadan güncel tahrik sistemlerinde kullanılabilirler. E-yakıtlar hava ve kara taşımacılığı gibi farklı taşımacılık modları için daha fazla tartışılırken denizcilik sektörü için de belli başlı çalışmalar yapılmaktadır. E-yakıtların en önemli özelliklerinden biri de mevcut fosil yakıtlarla sorunsuz bir şekilde karıştırılabilir olmalarıdır (Prussi et al., 2022). Fakat biyoyakıtlar ve e-yakıtların popüler alternatifler olarak değerlendirilememesindeki en önemli etken günümüz teknolojisi ile üretimin çok maliyetli ve meşakkatli oluşudur. Ek olarak biyoyakıtlar için gereken biyokütle, özellikle gıda kökenli üretim sürecinde pek çok etik problem yaratmaktadır. Diğer alternatif yakıtlara kıyasla daha az yönelime sahip olsalar da biyoyakıtlar ve e-yakıtların emisyon azaltma uygulamaları için oldukça umut verici olduğu söylenebilir. Ancak sektörün bu sürece uyum sağlaması açısından yakıt türünün fiyatı da oldukça önemlidir. Dolayısıyla, teknolojinin biyoyakıt ve e-yakıt üretim süreçlerini kolaylaştırmasıyla gelecek dönemlerde favori alternatifler olarak değerlendirilme ihtimalleri yüksektir.

2.1.5 LNG

Doğal gaz farklı versiyonlarıyla günümüzde yakıt olarak kullanılmaktadır. LNG, doğal gazın düşük sıcaklıklarda sıvılaştırılarak depolanan halidir. CNG ise, doğal

gazın sıvılaştırılmadan yüksek basınçlarda depolanarak kullanılan formudur. Fakat LNG, CNG'den daha fazla metan içeriğine sahiptir, bu sebeple enerji yoğunluğu daha fazladır ve ekonomik olarak daha karlıdır (Sari et al., 2023). Özellikle LNG'nin diğer alternatif yakıtlara göre daha ucuz olması (Rony et al., 2023) ve konvansiyonel yakıtlara göre yaklaşık %25 daha az CO₂ emisyonu üretmesi sebebiyle IMO'nun kısa ve orta vade hedeflerini yakalayabilmek için sektörel olarak en ulaşılabilir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Herdzik, 2021; Schinas & Butler, 2016). Alternatif yakıtlara geçişte en önemli problemlerden birinin altyapı hazırlığı olduğu göz önünde alındığında, yaygın altyapı ağıyla da LNG umut verici bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Denizcilik sektörünün LNG ile aşinalığı alternatif yakıt olarak değerlendirilmesinden çok öncelere dayanır. LNG geçen yüzyılın en sık taşınan yüklerindedir, dolayısıyla pek çok limanda LNG depolama, yükleme ve tahliyesi için gerekli donanımlar mevcuttur. Hatta 1960'lı yıllardan başlayarak 2000'lerin başlarına kadar LNG taşıyan gemiler tankta buharlaşmış olan gazı (boil-off gas) yakıt olarak kullanmaktaydı (Schinas & Butler, 2016; Iannaccone et al., 2020). LNG'nin SO_x ve PM oluşturmayan yapısı ve %80'e kadar NO_x emisyonlarını azaltabilmesi sebebiyle IMO'nun emisyon azaltma kurallarının ardından akla ilk gelen seçeneklerden biri olmuştur (*Environmental Performance*, n.d.). Dahası, LNG güncel makinalarda küçük değişikliklerle kullanılabilir. Fakat LNG ile ilgili en önemli tartışmaların başına LNG'nin bir alternatif yakıt olarak değil bir geçiş yakıtı olarak değerlendirilmesi konusu yer almaktadır. Bir başka tartışma konusu ise LNG devrelerinden metan kaçmasıdır (metan slip). Metan, karbondioksit'e kıyasla %25-30 daha fazla sera gazı etkisine sahiptir (Cepeda et al., 2019), ve atmosferde CO₂'den daha hızlı dağılır (Schinas & Butler, 2016). Fakat günümüzde metan kaçmasını engellemek için makinalarda iyileştirmeler yapılmakta ve tıpkı kükürt oksit emisyonlarında olduğu gibi katalizör yahut süpürme sistemleri geliştirilmektedir. Her koşulda, güncel emisyon kurallarını karşılayan ve halihazırda kullanılan bir teknoloji olan LNG'nin belli bir süre dünya filosunu domine edecek olması beklenebilir.

LNG'nin kullanımında güncel iki farklı konsept mevcuttur. İlki, 2 zamanlı makinelerde kullanılan ve düşük hızlarda işletilen dizel çevrimi uygulanan "MEGI" konseptidir ve yanma odasına yüksek basınçlı gaz enjeksiyonu yapılır. Diğer konsept ise Otto çevriminde çalışan ve düşük basınçlı gaz enjeksiyonu yapan WinGD X-DF

sistemidir (Herdzik, 2021). Düşük basınçlı sistemde gaz basıncının 13 bar olması gerekirken, yüksek basınçlı sistemde enjeksiyon basıncının yaklaşık 300 bar olması gerekmektedir (American Bureau of Shipping, 2022). Fakat LNG'nin kendiliğinden tutuşma ısısı yaklaşık 650 °C olduğu için iki sistemde de pilot yakıt kullanımı gereklidir (Herdzik, 2021; *Assessment of Selected Alternative Fuels and Technologies in Shipping*, n.d.). Metan kaçması özellikle Otto çevrimli makinelerde gözlemlenebilir ve eksik yanma yahut makine durduktan sonra devrede yapılan havalandırma sebebiyle oluşabilir (Schinas & Butler, 2016). Düşük basınçlı sistemin MGO'ya kıyasla %35'lik bir sera gazı azaltma özelliğinin olduğu söylenebilir (Iannaccone et al., 2020). Fakat bir başka çalışmada dizel çevrimli makinalarda daha düşük metan kaçması olduğu iddia edilmektedir (Cepeda et al., 2019). Üzerinde anlaşılan konu, hava/gaz yüzdesi yüksek, zayıf yanma olarak adlandırılan (lean burn) yöntemin yanmamış metanın kaçmasını %90'a kadar azaltabileceğidir (Sari et al., 2023; Schinas & Butler, 2016). Metan kaçmasını engellemenin bir başka yolu ise SCR sistemidir ve metan kaçması %99'a kadar azaltılabilir (Sari et al., 2023). Yeni Enerji ve Endüstriyel Gelişme Örgütü (New Energy and Industrial Technology Development Organization- NEDO), metan kaçmasını önlemek için metan oksidasyon katalizörleri (methane oxidation catalysts-MOC) teknolojisini geliştirmiştir ve maliyet azaltma çalışmaları yapmaktadır (Sari et al., 2023). LNG ile ilgili değerlendirilmesi gereken en önemli konulardan biri de LNG tanklarıdır.

Gemi üzerine entegre edilmiş membran tanklar ve bağımsız olan A, B, C tipi tanklar LNG tahrikli gemilerde tercih edilmektedir. Membran, tip A ve tip B tankları -162 °C ve atmosferik basınçta depolama yapmaya uygunken, C tipi tanklarda yaklaşık 10 bar basınçta -130 °C civarlarında depolama yapılmaktadır (American Bureau of Shipping, 2022; Wärtsilä, n.d.). Özellikle en büyük harcamanın LNG tanklarına yapılacağı dikkate alındığında, geminin seyir bölgeleri ve geri ödeme süresi bu dönüşümde hayati önem taşımaktadır (Schinas & Butler, 2016). Günümüzde endişe yaratan bir başka konu ise, LNG ikmal tesislerinin sayısı ve yeterli kapasiteye sahip olmayışıyla ilgilidir ve bu durumunun LNG tahrikli gemilerin sefer bölgelerini kısıtlayabileceği düşünülmektedir (Schinas & Butler, 2016). Fakat diğer alternatif yakıtların hazırlık seviyeleriyle kıyaslandığında, LNG için sektörün daha hazır olduğu ve daha hızlı adapte olabileceğini ifade etmek yanlış olmaz. Her ne kadar LNG teknolojisinin geliştirilmesi gereken pek çok yönü olsa da günümüzde yaklaşık

600 adet LNG tahrikli gemi bulunmaktadır (*LNG Powers Unprecedented Year for Orders of Alternative-fuelled Vessels*, 2025) ve LNG kendini ispatlamış günümüz için uygun ve ulaşılabilir bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır (Cepeda et al., 2019). Yapılan araştırmalar, LNG'li gemilerin MGO'dan daha sürdürülebilir bir performans ortaya koyduğu konusunda hemfikirdir (Iannaccone et al., 2020). LNG tahrik sistem için en efektif gemi tipleri uluslararası sefer yapan konteyner ve tanker gemileri olarak belirlenmiştir (Sari et al., 2023). Özellikle Kuzey Denizi ülkelerinin 2010'ların ortalarından beri LNG uygulamalarını benimsemesi de LNG sistemlerinin sektörel olarak kabul görmesinde önemli bir rol oynamıştır (Iannaccone et al., 2020). Yapılan çalışmalara istinaden, LNG ve metanole en kısa sürede geçilmesi durumunda yüksek oranda maliyet tasarrufu yapılabileceği savunulurken, biyoyakıtların denizcilik sektörü için rekabet gücünün düşük ve sınırlı olduğu ifade edilmektedir (Rony et al., 2023). LNG'nin ise günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip ve en kolay adapte edilebilen alternatiflerden biri olduğu ifade edilebilir.



3. RİSK VE EMNİYET FARKINDALIĞI

Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (National Institute of Standards and Technology- NIST) risk kavramını bir varlığın olası bir durum veya olayla tehdit edilmesi durumu olarak tanımlar ve bu tehdit edilme durumunun ciddiyetini meydana gelme olasılığı ve meydana geldiğinde yaratacağı tahribat derecesi ile belirler (CSRC Content Editor, n.d.). Risk, günümüzde pek çok endüstrinin sürdürülebilirliği açısından en hayati kavramlardan biridir. Her iş kolu kendine özgü risk değerlendirmeleri yaparak hareket alanlarını belirler ve risk yönetimi emniyetin sağlanması için gereklidir. Cambridge sözlüğü emniyet kelimesinin tanımını güvende olunulan ve tehlike yahut risk altında olunulmayan durum veya yer olarak yapar (*Safety*, 2025). Bu tanım emniyetli olabilmek için risklerin tespit edilmesinin ne kadar önemli olduğunu kanıtlar niteliktedir. Emniyet ve güvenlik kavramları sık sık karıştırılmaktadır. Fakat kökenleri ve anlamları detaylı incelendiğinde aralarında bariz bir ayrım olduğu anlaşılmaktadır. Emniyet (safety) kavramı, doğal sebeplerle ve insan hatalarıyla gelişigüzel oluşabilecek riziko/risklerden korunma durumu iken güvenlik (security) kasıtlı zarar niyetinden kaynaklanan tehlikelerden kaçınmaktır (Nas, 2015). Her ne kadar Türkçe’de bu iki kavramı eş anlamlı gibi bir kullanım yönelimi olsa da havacılık, demiryolu taşımacılığı ve denizcilikte de bu iki kavram belirlenen ayrıma dikkat edilerek kullanılır (Gerede, 2006; Üstündağ, 2016).

Emniyetli yönetim sistemi yahut iş emniyeti yönetim sistemi olarak da anılabilen SMS (safe management systems) sistematik ve tabandan tavana ilerleyen riskleri yönetme ve kontrol etmeye dayalı bir yaklaşım olup risk yönetimi için prosedürler, uygulamalar ve politikalar içerir (*Safety Management System (SMS)*, 2024). Emniyetli yönetim sistemi bir işletmenin emniyetli yönetimi için gereken, belgeler, politikalar, sistemler ve yazılımlar, emniyet ekipmanları, teknoloji, bakım ve işletme gibi donanımların tümünü içerir ve emniyet politikası, yönetim yapısı ve yönetim prosedürü olarak sınıflandırılabilir (Xuecai et al., 2022). Bir organizasyonun veya oluşumun emniyetini sağlamak ve emniyetinin sürdürülebilirliğini sağlamak için yaptığı her şey emniyet kültürü olarak kabul edilirken, emniyet iklimi daha mikro

ölçekte personelin uygun davranış ve uygulamalarla emniyet kültürünü devam ettirme çalışmaları olarak tanımlanabilir (*Definition Examples of Safety Culture and Overlap With Safety Climate*, n.d.). Fakat bu iki kavram birbiri ile oldukça iç içe geçmiş ve temelde ortak bir gayeleri olduğundan birbirleri yerine kullanılması mümkündür. İyi bir emniyet iklimi, sektör fark etmeksizin, yöneticilerin SMS'ye olan bağlılığı ve çalışanların risk ve emniyetli yönetim sistemlerine karşı tutumlarıyla gerçekleştirilebilir (Nævestad et al., 2021; Flin et al., 2000). Emniyet kültürü de fiziksel, kurumsal, davranış ve manevi kültürlerin kesişimidir ve içeriği oldukça geniş olduğundan hayli efor gerektirir (He et al., 2012). Örgütsel yapı ve emniyet kültürü arasındaki bağlar bu sebeple oldukça karmaşık olabilir (Claxton et al., 2022). Emniyet kültürünün oluşmasındaki bir başka önemli bileşen ise emniyet farkındalığıdır (Akalp et al., 2015). Emniyet kültürü kavramı Çernobil kazası ile literatüre girmiş olmasına rağmen günümüzde hemen hemen her endüstride yer bulmuştur (Guldenmund, 2000). Fakat her kaza yanlış yapılan bir şeyin ya da kötü bir tasarım sonucu değilken mutlaka yanlış giden bir şeylerin sonucudur (Vinnem et al., 2010). Çalışmalar göstermektedir ki, insanların emniyetli olmayan davranış ve eylemleri kazaların oluşmasının temel sebeplerindedir (Üstündağ, 2016). İncelenen 75000 endüstriyel kazada emniyetli olmayan insan davranışlarının %88, emniyetli olmayan hareketlerin %10 ve diğer faktörlerin %2 oranında yaralanmalara sebebiyet verdiği görülmektedir (Heinrich, 1931, alıntılındığı kaynakta geçtiği şekliyle Hussain, Shoukat, & Haider, 2019). Kömür ve gaz endüstrisindeki patlamalarının nedenlerinin araştırıldığı bir çalışmada, her ne kadar fiziki emniyet faktörlerinin de içinde bulunduğu karmaşık bir yapı bulunsa da incelenen 151 emniyetli olmayan eylemden 112'sinin önleme ve kontrol bilgisi eksikliğinden kaynaklandığı ve bu 112 emniyetsiz olayın 578 kere meydana geldiği belirlenmiştir (Xuecai et al., 2022). Sebepler sınıflandırıldığında en yüksek oranlar emniyet düzenlemelerine ilişkin farkındalığın yetersiz olması, emniyet risk farkındalığının düşük olması ve emniyet sorumluluğu farkındalığının yetersiz olması olarak bulunmuştur (Xuecai et al., 2022). İtalyada yapılan bir çalışmada ölümlü yaralanmaların azalma eğiliminde olduğu bulunurken, eğitim, motivasyon, fiziksel yahut zihinsel yetenek eksiklerinden kaynaklanan önlenemez insan hatalarında benzer bir eğilim görülememiştir (Fabiano et al., 2007). IMO'ya göre ise, her yıl deniz kazalarında pek çok insan hayatını kaybetmektedir ve bu kayıplardan 24.000'ini balıkçılık sektörü çalışanları oluşturmaktadır (*Assembly 29th Session*, n.d.). Literatür göz önüne alındığında, insan

faktörünün emniyet için hayati öneme sahip olduğunu ifade etmek yanlış olmaz (Adjekum et al., 2015). Çalışanların emniyet ve risk farkındalığı ise şirketin risk yönetimi ve emniyet kültürü yaklaşımıyla doğrudan ilişkilidir (Claxton et al., 2022; Adjekum et al., 2015; S. H. Hsu et al., 2010; Mackenzie et al., 2019).

Emniyet kültürünün oluşmasında personelin psikolojik durumundan, personeller arasındaki iletişime kadar pek çok faktör etkilidir. Fakat bu faktörlerin hepsinin aynı oranda kazalara etkili olduğunu savunmak mümkün olmaz. Kötü psikoloji, emniyetli olmayan koşulların oluşmasında yahut emniyetli olmayan davranışların meydana gelmesinde etkili olabilir (Xuecai et al., 2022). Liderlik yaklaşımlarının da personelin risk algısını ve emniyet kültürünü etkilediğini söylemek mümkündür (S. H. Hsu et al., 2010). Risk ve emniyet kültürü ile ilgili eğitimler de personelin algısını olumlu yönde etkilemektedir (Fabiano et al., 2022). Ekip içi iletişimin özellikle kontrol sistemlerin emniyetli işletilmesinde önemli bir rol oynadığı bulunmuştur (S. H. Hsu et al., 2010). Yapılan çalışmalarda motivasyonun da emniyet kültürünün geliştirilmesinde önemli bir faktör olduğu ortaya konmuştur (Fabiano et al., 2022). Ek olarak, iyi geliştirilmiş bir emniyet kültürünün en önemli parçası emniyetli davranışlar bütünüdür (Adjekum et al., 2015; Von Thaden & Gibbons, 2008). Emniyetsiz davranışlar ve kazalar arasındaki ilişki hayli karmaşık olsa da, özellikle bazı hata ve ihlal türlerinin emniyetsiz davranışlarla daha çok ilişkili olduğu ortaya konmuştur (Nævestad et al., 2021; De Winter & Dodou, 2010). Buradan da yola çıkarak, emniyet farkındalığını attırmak ve kaza sayısını azaltmak için davranış temelli emniyet olarak adlandırılan riskli davranışları değerlendiren yaklaşımlar geliştirilmiştir ve yapılan çalışmada davranış temelli emniyet uygulaması sonucu çalışanların emniyet endeksinin %17'ye kadar yükseldiği görülmüştür (Hussain, Shoukat, & Haider, 2019). Bu davranışların belki de en güçlükle uygulanı riskleri, kazaları yahut emniyet kültüründeki aksaklıkları rapor etme olanıdır. Yapılan çalışmalarda, insanların emniyet raporlama sistemlerinin anonimliklerinden şüphe ettiği ve bu durumun kendilerine karşı kullanılabileceği düşüncesine sahip oldukları ortaya konmuştur (Adjekum et al., 2015). Bir başka çalışmada, şirketlerde bulunan “suçlama kültürünün” ve kötü liderlik uygulamalarının çalışanların emniyetsiz uygulamaları raporlamasını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir (Claxton et al., 2022; Walker, 2013). Yine aynı çalışmada, katılımcı yaşı ile bildirim sıklığı arasında negatif bir ilişki bulunmuştur (Adjekum et al., 2015) ki bu durum çalışanlarının yaş

ortalaması yüksek olan şirketlerde emniyet kültürünü yerleştirmenin zorlaşacağını gösterebilir. Yarı zamanlı çalışanları bulunan ve çok sık personel değiştiren şirketlerde de emniyet kültürü geliştirmenin ve emniyetli yönetim uygulamalarının zorlaştığı bulunmuştur (Claxton et al., 2022). Emniyet kültürü ideallerine uygun bir ortamda ise, insanlar sorumluluklarının bilincinde olur ve bireysel sorumluluklarını yerine getirmekten çekinmez (Adjekum et al., 2015). Raporlama ise bu sorumluluklar açısından hayli önemli olup gelecekte yaşanacak problemlerin önlenmesi için de gereklidir. Yapılan araştırmalara istinaden emniyet bilincinde sahip çalışma ortamlarında çalışanların bir olumsuzluk korkusu olmadan ve özgürce emniyetle ilgili endişe ve sıkıntıları bildirebildiğinden bahsetmek mümkündür (Claxton et al., 2022). Ek olarak çalışanlar arasındaki iyi ilişkilerin ve uyumun, iş birliğini ve emniyetsizliklerle ilgili raporlamaları kolaylaştırdığı ifade edilmektedir (S. H. Hsu et al., 2010). Emniyet kültürüne önem veren şirketlerin ortak özelliklerinden biri de ilgili konuya yatırım yaparak ve bütçe ayırarak emniyetsiz durumlardan kaynaklanan olumsuzluklardan korunulmaya çalışılmasıdır (Vinnem et al., 2010).

3.1 Denizcilikte Risk Farkındalığı

Denizcilik dünyanın en riskli endüstrilerinden biri olarak değerlendirilmekte ve 2003-2012 yılları arasını kapsayan bir çalışmada denizcilik sektöründeki ölümcül kaza oranları toplam İngiliz iş gücünün 21 katı, inşaat sektörünün 4,7 katı ve imalat sektörünün 13 katı olarak belirlenmiştir (Roberts et al., 2014). Denizcilik kazaları genel olarak düşük olasılıklı fakat sonuçları ağır olaylar olarak değerlendirilir ve bu sebeple politika yapıcıların ilgi odağıdır (Chen et al., 2022; Fan et al., 2020). Denizcilik kazalarının doğası risk değerlendirmesinin ve emniyet kültürünün önemini ortaya koymaktadır ki kazaların olma sıklığı düşük olsa da katastrofik etkileri olabilir. Denizde kazaların %80'inin insan faktöründen kaynaklandığı gerçeği dikkate alındığında şirketlerin insan faktörüne daha çok dikkat etmesi gerektiği söylenebilir (Pyć, 2020). Denizde emniyet kültürünün oldukça önemli bir risk faktörü olduğunda dair pek çok kanıt bulunsa da denizde emniyet kültürü ve risk farkındalığı üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır (Andrei et al., 2020). Güncel literatürdeki sonuçlara istinaden, denizde kazaların önlenmesinde denizcilerin bilgisi ve farkındalığı, net ve açık iletişim ve emniyet kültürü en önemli

üç faktör olarak dikkat çekmektedir (Fan et al., 2020). Özellikle iletişim, mürettebat arasındaki güven ve bağlılık, risk yönetimi ve eğitimiyle ilgili güvenlik politikaları ve uygulamaları denizcilerin davranışlarının şekillenmesinde önemli rol oynar ve doğrudan yahut dolaylı olarak gemideki emniyet kültürünü etkiler (Andrei et al., 2020). Yapılan bir çalışma denizcilik şirketlerinin geminin ve yükün emniyetine mürettebatından daha fazla önem verdiğini ortaya koymuş ve katılımcıların yaklaşık %20'sinin çalıştıkları şirketin mürettebatın refahına çok az veya orta düzeyde önem verdiğini belirtmiştir (Andrei et al., 2020). Oysa ki yükün de geminin de emniyeti için en önemli faktör mürettebatın emniyet ve risk farkındalığının yüksek olması ve emniyet kültürüne önem vermesidir (Jung, 2021). Başka bir çalışmada ise, çalışanların yaklaşık yarısı şirketlerinin çalışan sağlığı ve emniyetine değer verdiğini düşünürken, katılımcıların %43'ü kendilerinin çalıştıkları şirket örgütlenmesinin önemli bir parçası olarak görülmediğini ifade etmektedir (Bhattacharya, 2015). Denizcilik özelinde bakıldığını bunun sebeplerinden biri de fiziksel olarak ofisten uzak olmak ve emniyetli yönetim sistemlerinin geliştirildiği yerlerin ise gemi ortamından ve gemide olabilecek potansiyel sorunlardan uzak olması gösterilebilir (Bhattacharya, 2015).

Kazalarla ilgili yapılan çalışmalar göstermektedir ki, deniz kazalarının yalnızca sosyal ve ekonomik yönleri yoktur, personel emniyeti ve çevre emniyeti faktörleri geri dönüşü olmayan hasarlara yol açabilir (S. Hsu et al., 2023). Temaslı kazalar (çatma-çatışma) en sık karşılaşılan kaza türlerinden olmakla birlikte insan faktörünün de en etkili olduğu kaza türlerindendir (Chen et al., 2022). Kapalı alan kazaları da özellikle LNG/FSRU (floating storage and regasification unit- yüzer depolama ve yeniden gazlaştırma ünitesi) gibi gaz gemilerinde en sık meydana gelen kazalardan olmakla birlikte her ne kadar bu kazaların önüne geçmek için dayanıklılık mühendisliği denilen sistemler geliştirilerek risk azaltılmak istenirse de, bu tür kazalar ciddiyetini korumaktadır (Mentes & Mollaahmetoglu, 2022). Ham petrol tankerlerinde en yaygın gözlemlenen kaza türünün yangın/patlama olduğu belirtilmektedir (Chen et al., 2022; J. Wang et al., 2021b). Kazaları önlemek için pek çok adım atılmıştır. Bulanık Bayes ağı (Fuzzy Bayesian Network- FBN) geliştirilerek profesyonel kaza analiz raporları ve uzman görüşleri ile niceliksel olarak belirlenen parametreler dikkate alınarak personelin ve yönetimin operasyonları daha emniyetli hale getirmesine katkı sağlamak hedeflenmiştir (Chen et al., 2022). Denizcilik

özelinde ise IMO, denizde emniyeti iyileştirmek ve kazalarını azaltmak için FSA (formal safety assessment- resmi emniyet değerlendirmesi) olarak adlandırılan ve risk tanımlama, risk değerlendirme, risk kontrol seçenekleri, maliyet/fayda değerlendirmesi ve karar alma önerileri kısımlarını içeren resmi emniyet değerlendirmesi yöntemini geliştirmiştir (S. Hsu et al., 2023). Değerlendirme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar dikkate alındığında, Türkiye arama kurtarma bölgesinde yapılmış bir çalışmada temaslı kazaların büyük kısmının insan hatalarından kaynaklandığı bulunmuştur ve bu tür kazaların en önemli nedenleri arasında dikkat dağınıklığı, alkol, beceri eksikliği, yetersiz iş hazırlığı yetersiz veya uygun olmayan personel görevlendirmeleri, son olarak da kötü hava koşulları yer almaktadır (Chen et al., 2022; Erol & Başar, 2014). Bir başka çalışmada da dikkatsizlik ve zayıf emniyet bilinci gemi çatma/çatışma kazalarının ve diğer deniz kazalarının temel nedeni olarak gösterilmektedir, buna ek olarak riskleri tespit edememe, rota ve hız optimizasyonu ve ihmal gibi konular da yetersiz emniyet bilincinin bileşenleri olarak değerlendirilmektedir (S. Hsu et al., 2023). Yaşam mahalli de dahil olmak üzere ateşin dikkatsiz kullanımı, gemideki yangın ve patlama kazaları için önemli bir tutuşturma kaynağı oluşturmaktadır (Chen et al., 2022). Tüm bunlar dikkate alındığında gemi personelinin risk farkındalığı ve emniyet kültürü algısı hayati bir önem taşımaktadır.

Yapılan bir literatür taramasında özetlenen 29 risk faktörünün 15'i insan kaynaklı, 9'u gemi kaynaklı ve 5'i de çevre kaynaklı olarak sınıflandırılmıştır (S. Hsu et al., 2023b). Bu risk faktörlerini azaltmak için işletmecilerin mürettebatının tükenmişlik ve yorgunluk seviyelerini azaltmak ve sorumluluk bilincini geliştirmek için önlem alması gerekmektedir ki genel olarak dikkat dağıtıcı faktörler ağır hava koşulları, yetersiz emniyet/risk farkındalığı, bakım-tutum ihmalleri gibi konuları da kapsamaktadır [98]. Yapılan bir çalışmada katılımcıların yaklaşık yarısı düşük seviyede tükenmişlik yaşadığını belirtirken, %20'si artan veya yüksek düzeye tükenmişlik ve özellikle kronik tükenmişlik yaşadıklarını, %40'ı ise daha sık ruhsal sağlık sorunlarının (örn. anksiyete, depresyon) semptomları yaşadıklarını bildirmiştir (Andrei et al., 2020). Personelinin psikolojik iyi olma halinin sefer emniyeti açısından hayli önemli olduğu literatürde en sık tartışılan konulardandır. Psikolojik iyi olma durumunun bileşenleri olarak mürettebat arası ilişkiler, şirket-personel arası ilişkiler ve kişisel özellikler değerlendirilebilir. Personelinin birlikte çalışma

durumuyla ilgili yapılan bir araştırmada, denizcilerinin %69'unun iř arkadaşlarına emniyet bilinci konusunda güvindiklerini iddia etmektedir (Bhattacharya, 2015). Personel yönetimi bu gibi durumların aşılması konusunda kritik önem taşımaktadır. Gemi personel yönetimi için, eğitim ve emniyet tatbikatları hayati önem taşımaktadır (Chen et al., 2022). Operasyonlara uygun kontrol listeleri geliştirilmesi de emniyet seviyesini iyileştirilmesi ve çalışanların risk farkındalıklarını ve emniyetsiz eylemlerin önlenmesi açısından etkili araçlardandır (Mentes & Mollaahmetoglu, 2022). Oysa literatürdeki çalışmalarda geminin seyir programına uymak için emniyetin ikinci plana atıldığı ve bu oranının yaklaşık %56 seviyelerine tekabül ettiği görülmüştür (Bhattacharya, 2015). Ancak unutulmamalıdır ki deniz ticaretinin devamlılığı için gemilerin emniyetli seyretmesi hayati önem taşımaktadır. Ek olarak BM'nin sürdürülebilirlik planları doğrultusunda da deniz emniyetinin devamlılığı oldukça önemlidir (Pyć, 2020).

3.2 Emniyetli Seyir

Emniyet kavramı en genel ifadelerle bireylerin ve bir topluluğun sağlığını ve refahını korumak için psikolojik, fiziksel ve maddi zarara yol açabilecek risklerin kontrol altına alınması olarak tanımlanabilir (Formela et al., 2019). Seyir emniyeti ise denizciliğin doğası gereği içinde pek çok farklı bileşen barındıran karmaşık bir konudur. Esas hatlarıyla seyir emniyetinin tanımı yalnızca gemiyi A noktasında B noktasına götürmekle sınırlı değildir, bu yolculuk sırasında geminin teknik bileşenlerinin kullanımdan gemi personelinin bilgi ve becerilerine kadar pek çok faktörü kapsar (Melnyk & Onyshchenko, 2022). Emniyetli seyirle ilgili uluslararası ve ulusal pek çok kuruluş tarafından düzenlemeler yapılmıştır. Denizde Can Emniyeti Sözleşmesi (safety of life at sea- SOLAS), seyir emniyetiyle ilgili ilk düzenlemelerin başında yer almaktadır (SOLAS, n.d.). Avrupa Deniz Güvenliği Ajansı (European maritime security agency- EMSA) da deniz çevresi ve can güvenliği için geniş çalışmalar yürütmektedir (*Safety & Security - EMSA - European Maritime Safety Agency*, n.d.). Modern uydu hizmetleri ve iletişim teknolojisi seyir emniyetinin önemli parçalarıdır ki fonksiyonel emniyet kavramı bu ekipmanların emniyetini sağlamak için risk azaltma stratejilerini içerir (Formela et al., 2019). Fakat insan faktörü bu alet ve ekipmanların bakım tutumundan uygun kullanımına kadar pek çok aşamada devreye girmektedir. Emniyet açısından insan faktörünün ne

kadar önemli olduğu açıktır fakat bu konuda yanlış kullanılması muhtemel iki farklı kavram vardır; insan faktörü ve insan hatası. İnsan faktörünün öneminden bahsederken tartışılan konu insanların bir şeyleri sürekli yanlış yaptığı anlamını taşımaz. İngiltere Sağlık ve Emniyet Başkanlığına (health and safety executive-HSE) göre insan faktörü ve insan hatası arasındaki fark insan faktörünün işyerindeki davranışını etkileyen bireysel, çevresel, örgütsel ve mesleki unsurların tümü olarak değerlendirilirken insan hatası planlardan, kurallardan veya belirlenmiş sınırların dışında yapılan eylemler olarak tanımlanır (Chowdhury et al., 2024; Senders & Moray, 2020; Uflaz et al., 2022). Gemide insan faktörü, tükenmişlik ve kronik yorgunluk, durumsal farkındalık, iletişim becerileri, karar alma süreçlerinin yönetimi, ekip çalışmasının kalitesi, fiziksel sağlık ve stres gibi bileşenlerden etkilenmeye açıktır (Formela et al., 2019). Bu durumlar pek çok olay ve kazanın temeli gibi görünse de insan faktörü makine arızalarını ve kazaları önleme konusunda oldukça önemli bir etmendir (Chowdhury et al., 2024). Yapılan bir çalışmada insan hatasının başlıca sebepleri sorumlu zabitin ayrıntılara yeterince dikkat etmemesi, kıyı yönetimi tarafından yetersiz denetim yapılması ve gemideki yönetici pozisyonundaki zabitlerin operasyonel süreçleri yeterince takip etmemesi olarak belirlenmiştir (Uflaz et al., 2022). Aynı çalışmada, mürettebatın gemiyi seyir hazırlama sürecindeki performansının yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır (Uflaz et al., 2022). Bir başka çalışmada, petrol/yakıt sızıntısının başlıca nedenleri yanlış iletişim ve yetersiz emniyet tedbirleri olarak değerlendirilmiş ve burada yaşanan kişisel yaralanmaların sebebi gemi çalışanlarının yeteri kadar kişisel koruyucu ekipman kullanmaması olarak açıklanmıştır (Chowdhury et al., 2024). Gemi trafik hizmetleri personeli (vessel traffic service operators- VTS) kaynaklı kazaları araştıran bir çalışmada ise çalışan personelin tükenmişlik sebepleri iletişim dili, iş yükü, gereksiz alarmlar ve standartlaştırılmamış bazı uygulamalar olarak belirlenmiştir (Moreno et al., 2022). Güncel literatür göstermektedir ki, seyir emniyeti açısından geminin emniyet kültürü ve dolayısıyla insan faktörü hayati önem taşımaktadır (Uflaz et al., 2022). İhmal, bakım sistemlerinin yetersiz takibi ve önlenabilir kazalar gemi emniyeti sağlanabilmesi için protokollerin iyileştirilmesi ve güncel teknolojiye uygun yeterli eğitim uygulamalarının geliştirilmesini gerektirmektedir (Chowdhury et al., 2024).

3.3 Risk ve Emniyet Farkındalığı Eğitiminin Önemi

Emniyet eğitiminin detaylı tanımı Pieczywok tarafından yapılmış ve içeriği çeşitli risklere karşı koymak için uygun tutum ve değerlerin oluşturulması çerçevesinde şekillendirilmiştir (Pieczywok, 2012, alıntılındığı kaynakta geçtiği şekliyle Gawlik-Kobylińska, 2021). Emniyet kültürü pek çok sektörün sürdürülebilirliği için oldukça önemlidir. Kara taşımacılığında çoğu AB ülkesinin emniyetli sistem yaklaşımının esaslarını oluşturan 4 E prensibinin ilk E'si eğitimi sembolize etmektedir (Assailly, 2015). AB sağlık ve emniyet stratejisi mesleki emniyet ve sağlığı geliştirmek için eğitim programlarının önemini vurgulamaktadır (Şenkal et al., 2021). Yapılan çalışmalarda süreç emniyeti ile ilgili bazı kaza türlerinde sıklık düşük olsa da etkinin hayli yüksek olması nedeniyle süreç emniyeti müfredatının özellikle yangın/patlama, risk tanımlama ve risk analizi gibi konulara önem verdiği görülmüştür (Ditchburn & David, 2006). Üç Mil Adası, Çernobil, Fukuşima gibi nükleer kazalar incelendiğinde hepsinde insan kaynaklı faktörlerin felaketlere yol açtığı görülmüştür (Aleksandrov et al., 2016). Bir başka çalışmada yine çeşitli kazaların nedenleri sıralarken davranışsal faktörlerin yaklaşık %90'a karşılık geldiği görülmüştür (Assailly, 2015). Bireylerin davranış normlarını oluşturmayı hedefleyen ve kişilik, yetiştirme ve gelişim kısımlarını içeren Noxolojik eğitim modeli, emniyetli davranış biçimlerinin öğretilmesi ve emniyet kültürünün geliştirilmesi için kullanılabilir (Aleksandrov et al., 2016). Büyük kazaların önlenmesinin yanı sıra bu tarz eğitimler daha sağlam emniyet temellerine sahip uygulamalar geliştirilmesine de yardımcı olur (Guntzburger et al., 2016). Literatürdeki çalışmalar göstermektedir ki emniyet ve güvenlik eğitimleri sürdürülebilirlik için oldukça önemlidir (Gawlik-Kobylińska, 2021). Öğrencilerin iş güvenliği ve sağlığı farkındalık düzeylerini ölçmek için yapılan bir çalışmada, verilen eğitim öncesi ve sonrasındaki farkındalık derecesinde ciddi farklar gözlenmiş ve eğitim sonrası testin tekrarlanması sonucu verilen eğitim oldukça kalıcı bir etki yaptığı gözlemlenmiştir (Şenkal et al., 2021). Özellikle üniversite müfredatlarına emniyet ve risk farkındalığını ve emniyet kültürünü geliştirmeyi destekleyen derslerin entegre edilmesi önceki çalışmaların çıktıları da dikkate alındığında oldukça faydalı olacaktır.

3.3.1 Denizcilikte risk ve emniyet farkındalığı eğitiminin önemi

Denizcilik dünyanın en riskli mesleklerinden olduğundan ve BM'nin sürdürülebilirlik planları başta olmak üzere pek çok global olayın kalbinde bulunduğu için seyir emniyeti, personelin risk algısı ve geminin emniyet kültürü oldukça önemlidir. Gemi emniyetinin ve güvenliğinin ise çok bileşenli yapısı, kara sistemlerinden hayli farklı olması ve dinamik özellikleri denizcilikte emniyet kavramını zorlaştıran faktörlerdir. Denizde emniyeti arttırmak amacıyla güncel teknolojik uygulamalar denizciliğe uyarlanmış ve otomatik seyir sistemleri geliştirilmiştir ancak bu sistemler denizcilik eğitiminin önemini arttırmıştır (Demirel & Bayer, 2015). IMO tüm dünyada denizcilik eğitimi standardize etmek için STCW'yi geliştirmiş ve böylelikle temel emniyet gerekliliklerini evrenselleştirmeye çalışmıştır (*International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW)*, n.d.). Denizcilik eğitimi veren kurumların bu uluslararası standartlara uyma gereklilikleri bulunmasının yanı sıra denizcilikteki risk faktörlerinin anlaşılmasında da yardımcı olmaları gerekmektedir (Hipol, 2022).

Temel STCW eğitimleri, denizde canlı kalma odaklı bireylerin can yeleği giyme, gemi terk prosedürlerine alışma, yangınla mücadele etme, ilk yardım becerilerini geliştirme gibi konuları içermektedir (Kamis et al., 2020). Fakat günümüzde gelişen ve değişen teknolojiler bu eğitimlerin güncellenmesi ve etkilerinin artırılması gerekliliğini doğurmaktadır. Özellikle pek çok gemi tipi için geliştirilmeye çalışılan alternatif yakıt teknolojileri, denizde güvenlik ve emniyet eğitimleri açısından majör değişiklikler gerektirmektedir. Emniyetli yönetimin temel ilkesi risk değerlendirmesi ve risk yönetimidir (Demirel & Bayer, 2015) ve bu konular konvansiyonel yakıtlı gemilerde bile hayati önem taşıırken güncel üniversite müfredatlarında ilgili konuda dersler bulunmamaktadır. Örneğin, Türkiye'nin en iyi denizcilik fakültesine sahip olan İstanbul Teknik Üniversitesi gemi makineleri işletme bölümünün ders programında STCW eğitimleri dışında emniyet kültürü, risk farkındalığı ve risk yönetimi ile ilgili ders bulunmamakta, seçmeli ders olarak açılan "Quality&Safety Management Sys." (kalite ve emniyet yönetim sistemleri) dersine kayıtlı ise yalnızca 13 kişi bulunmaktadır ki İTÜ gemi makineleri işletme programının senelik 52 kontenjanı bulunmaktadır (İstanbul Teknik Üniversitesi, n.d.) Filipinler'de yapılan bir çalışmada ise denizcilik eğitim müfredatının (maritime education and training-MET) geliştirilmesine verilen öneme rağmen, ülkedeki kurumların istenilen

yeterlilikleri yakalamakta ciddi zorluklar çektiği ifade edilmiştir (Hipol, 2022). Özellikle Denizcilik İngilizcesi ile ilgili yapılan çalışmalar, iletişim becerilerinin önemini göz önüne koyarken bu açıdan ne kadar sıkıntılar çekildiğini de göstermektedir. Literatürde deniz kazalarına yol açan en önemli faktörlerden birinin yetersiz iletişim becerilerinin olduğu tartışılmaktadır (Gabedava & Hu, 2025). Her ne kadar IMO'nun bu konuda standardize edilmiş bir müfredatı da olsa, denizcilik eğitimi veren ülkelerin sosyokültürel durumları özellikle dil eğitimi derinden etkilemektedir. Filipinli denizcilerle yapılan bir çalışmada, Filipinli denizcilerin yetersiz dil becerilerinden dolayı aşağılanmak korktukları ve konuşmaktan çekindikleri ortaya çıkarılmıştır (Hipol, 2022). Oysa ki emniyet kültürünün en önemli bileşenlerinden biri de birey-mürettebat-şirket arasındaki iletişimidir. IMO ve bütün paydaşların çabalarında rağmen yetersiz iletişimden kaynaklanan sınırlamaların devam ettiği gözlenmektedir ve denizde emniyet ve emniyet kültürünü arttırmaya yönelik çalışmalarda bu konuya özellikle değinilmektedir (Gabedava & Hu, 2025).

Literatür taraması kısmında, personelin risk ve emniyet farkındalığının ve gemideki emniyet kültürünün önemi vurgulanmıştır. Denizciliğin yeryüzündeki pek çok sektörle paydaş olması ve ekonomik sürdürülebilirliğin çok önemli bir parçası olması seyir emniyetinin tüm bileşenlerinin önemini arttırmaktadır. Özellikle emisyon azaltma politikaları ile gelişen alternatif yakıt teknolojileri beraberinde pek çok riski de getirmektedir. LNG'nin günümüzde en yaygın kullanılan alternatif yakıt yahut geçiş yakıtı olarak değerlendirilmesi LNG tahrikli gemi sayısının ve bu tarz yüksek riskli gemilerde çalışan insan sayısının artışına neden olmuştur. Tüm bunlardan özetle, bu çalışma LNG tahrikli gemilerde çalışan makine dairesi personelinin risk ve emniyet farkındalığını ve gemi personelinin emniyet kültürü anlayışının değerlendirilmesini hedeflemektedir.

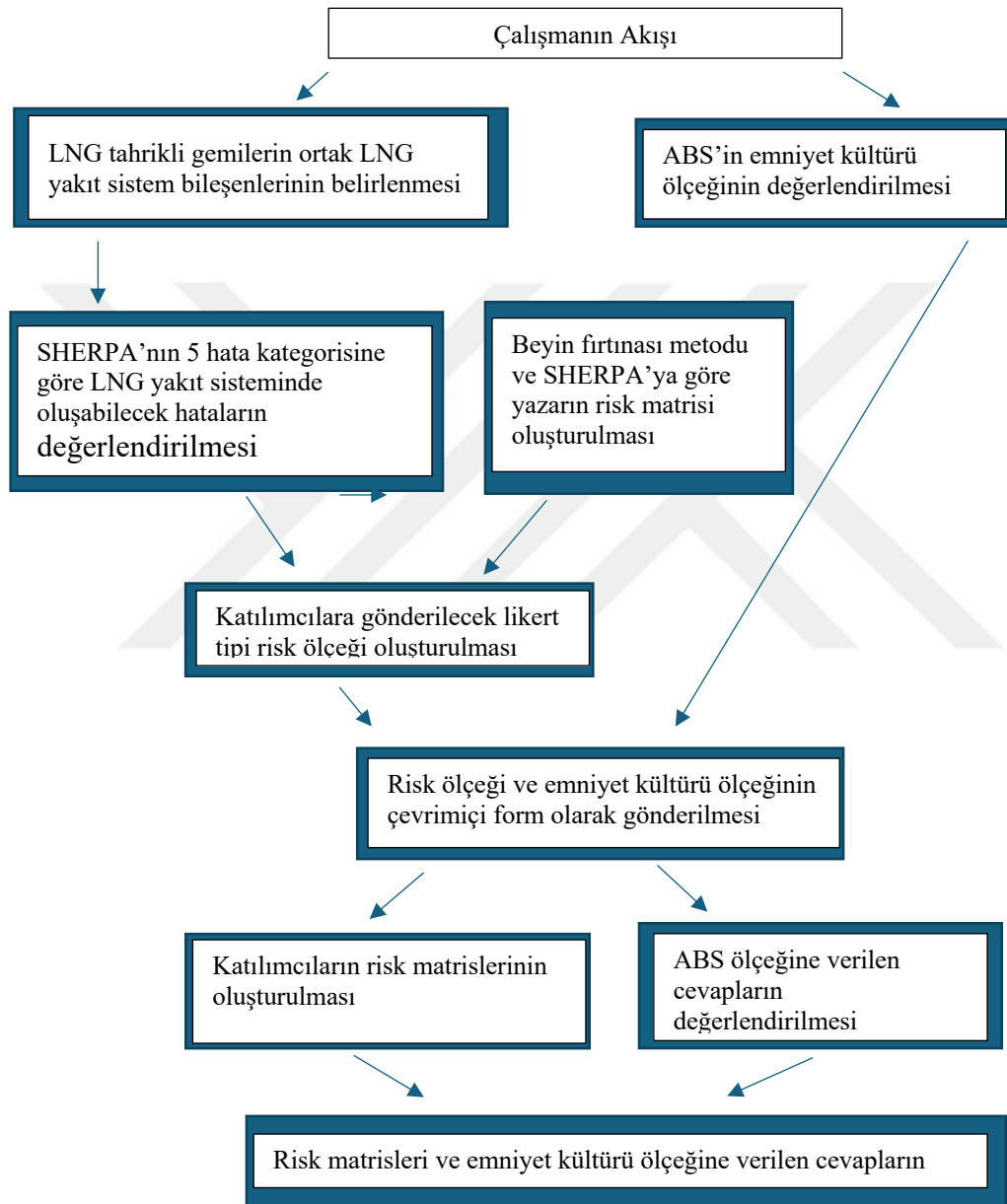


4. YÖNTEM

Denizciliğin dünyanın en tehlikeli mesleklerinden biri olarak sınıflandırılması denizcilik operasyonlarının daha dikkatli incelenmesini gerektirmektedir. Öyle ki denizcilik yalnızca bir ulaşım ve taşıma yöntemi değil aynı zamanda sürdürülebilir bir dünya ekonomisinin de en önemli bileşenidir. Hemen tüm endüstrilerde hatta otomatik sistemlerde dahi operasyonların emniyetli ve sürdürülebilir olabilmesi için insan faktörü oldukça önemlidir. Her ne kadar denizciliği otomatikleştirme ve denizcilikte insan etkisini azaltma politikaları popüler olsa da günümüzde ve tahmin edilebilir gelecekte insan etkisinin gemi operasyonlarından tamamen silinebilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla insan faktörünün önemli bir zaman daha denizciliğin ayrılmaz bir parçası olacağı kesindir. Fakat olay ve kaza analizleri de incelendiğinde, insanın koruyucu bir rolü olduğu kadar risk ve tehlikelere açık bir yönü olduğu da söylenebilir. Günümüz denizciliğinde hayli uzun süredir kullanılan konvansiyonel yakıt teknolojileriyle dahi insan faktörü kaynaklı ve önlenemez pek çok kaza gerçekleşirken, henüz pek çok sektör için de yeni ve az deneyimlenmiş alternatif yakıt teknolojileri tehlike ve risklerin artmasına sebebiyet vermektedir. Bu çerçevede, günümüzde en yaygın alternatif yakıt olarak bilinen LNG tahrikli gemilerde çalışan personelin risk algısı ve emniyet kültürü değerlendirilmektedir. Bu sebeple SHERPA gemi çalışanlarının risk algısını değerlendirmek için kullanılmıştır. Tezin yazarı LNG tahrikli gemilerde çalışabilmek için gerekli olan sıvılaştırılmış gaz eğitimi sertifikasını almış, LNG tahrikli gemilerin proje detaylarını incelemiş ve ilgili personelin de desteği ile beyin fırtınası yöntemi (brainstorming method) kullanarak LNG yakıt depolama sisteminde insan kaynaklı olarak gerçekleşebilecek hataları belirlemiştir. Bu hatalar olasılık ve ciddiyet değerlendirmesi için likert ölçeği tipinde bir çevrimiçi ankete dönüştürülmüş ve LNG tahrikli gemilerde çalışan personelin SHERPA'nın 5 insan hatası kategorisine göre bu anketi doldurması istenmiştir. Ankete başlamadan önce katılımcılara 5 SHERPA insan hatası türünün okunup anlaşılabilirliği ve çeşitli örneklerle somutlaştırılabilirliği bir metin yine çevrimiçi ankette iletilmiştir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında yazarın beyin fırtınası yöntemi ve SHERPA ile oluşturduğu risk matrisi ile katılımcıların risk değerlendirme

anketine verdiği cevaplar karşılaştırılmaktadır. Son olarak ise çevrimiçi ankete Amerikan Klas Kuruluşu (ABS) tarafından geliştirilen emniyet kùltürü ölçeği eklenmiş ve katılımcıların risk değerlendirilmeleri ve emniyet kùltürü ölçeğine verdikleri cevaplar analiz edilerek çalışma tamamlanmıştır.

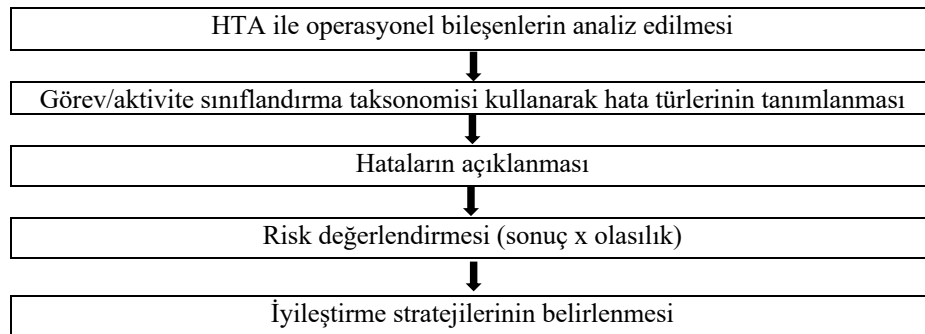
şekil 4.1 : Çalışmanın akışı



4.1 Sistematik İnsan Hatası Azaltma ve Tahmin Yaklaşımı (SHERPA)

20. yüzyılın başlarından itibaren, özellikle psikoloji biliminin gelişmesi ve davranış teorileri endüstriyel üretimde artan olaylar ve kazalar sonucu dikkati insan faktörüne çekmiştir (El Amin & Bouhafs, 2024). Bu süreçte insan hatası, davranışları, eğilimleri gibi konularda standardize edilen pek çok yöntem geliştirilmiştir. SHERPA da bunlardan birisi olup 1980'lerde Embrey tarafından çerçevesi oluşturulan ve Hiyerarşik Görev Analizi (HTA) yöntemini insan kaynaklı hatalardan oluşabilecek bir taksonomiyle birleştirerek insan hatasının azaltılmasını ve önlenmesini hedefleyen bir yöntemdir (Stanton et al., 2019; Teymourzadeh et al., 2023). Özetle SHERPA, HTA yöntemini kullanarak insan faaliyetleriyle ilişkili emniyet hata türlerini sınıflandırır (Harris et al., 2005). Görev analizi sonucu ortaya çıkan hata türlerinden insan faktörüyle alakalı olanlarla ilgilenir (Teymourzadeh et al., 2023). İnsan hata türlerinin belirlenmesinde ise insan performansının bilişsel modelleri yer alır (Teymourzadeh et al., 2023), Embrey tarafından oluşturulan temel yöntemde görev analizi ve 4 işleme kategorisi yer almaktaydı ve bunlar beceriye dayalı işleme (skill-based processing), kural tabanlı tanılama işleme (rule-based diagnostic processing), kural tabanlı eylem işleme (rule-based action processing) ve bilgiye dayalı işleme (knowledge-based processing) olarak sınıflandırılmaktaydı (Embrey, 1986). SHERPA yönteminin geliştirilmesiyle insan hatası kategorizasyonu eylem (action), bilgiyi hatırlayamama/geri getirme (retrieval), kontrol (checking), seçim (selection), iletişim (information communication) olacak şekilde geliştirilerek son halini almıştır (Stanton et al., 2019; Teymourzadeh et al., 2023; Harris et al., 2005; Embrey, 1986). SHERPA yönteminin uygulanacağı alana veya yapılan çalışmaya göre genişletilebilen 5 temel adımı vardır.

Şekil 4.1.1 : SHERPA adımları (Stanton et al., 2019; Torres et al., 2021)



Bu yöntemi daha iyi anlayabilmek için adımları detaylıca açıklamak gerekir. SHERPA metodunun ilk adımı HTA ile başlar. HTA'nın temel amacı bir görevin, bir operasyonun bileşenlerini analiz ederek sınıflandırmaktır ve hataya yol açabilme olasılığı bulunan durumların ortaya çıkarılması sağlamaktır (El Amin & Bouhafs, 2024; Embrey, 1986; Stanton, 2004; Annett, 2003). SHERPA'nın bir sonraki adımı görevlerin sınıflandırılmasıdır. Bu aşamada bütün operasyonel bileşenler ele alınır ve 5 temel hata taksonomisine göre sınıflandırılır (Stanton, 2004). SHERPA'nın 3. adımı güvenilir hata modlarının değerlendirilmesidir. Bir sonraki adımda sonuç analizi yapılır ve bu aşamada belirlenen hataların sıklığı ve etkisi üzerine değerlendirmelerde bulunulur. Beşinci aşamada gerçekleştirilen kurtarma (recovery analysis) kısmında ise hatanın kurtarılabileceği bir sonraki görev adımı varsa bu adama gidilir fakat bu durum her görevde olmayabilir. Bu aşamayı takip eden kritiklik analizi yapılan değerlendirme sonucu hatanın önemli kayıplara yol açıp açmayacağını belirttiği kısımdır. Kritiklik ikili şekilde atanır; durum kritiktir yani değeri 1'dir yahut kritik değildir ve değeri 0'dır. Son aşama olan çözüm analizi sürecinde belirlenen hataları azaltmaya yönelik öneriler geliştirilir (Stanton, 2004). Çözüm analizi sürecinde hatayı azaltmaya yönelik 4 temel kategoride önerilerde bulunulabilir ve bu kategoriler ekipman iyileştirilmesi, eğitim, prosedürel iyileştirmeler ve yönetimsel iyileştirmeler olarak sınıflandırılabilir gibi yapılan araştırmanın sonucuna göre nılmfarklılık da gösterebilir (Imtiaz, Munsı, Nayan, & Dei, 2014).

SHERPA'nın en önemli avantajlarından biri nükleer santraller, petrokimya endüstrisi gibi yüksek riskli operasyonlar için geliştirilmiş olmasına karşın hemen hemen her alanda kullanılmaya uygundur ve güncel literatürde tıptan, eğitime kadar bu yöntem kullanılarak yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Bu durumun en önemli sebeplerinden biri SHERPA sürecinde niceliksel hem niteliksel aşamaların bir arada kullanılmasıdır. HTA ve risk değerlendirmesi kullanılarak nümerik olmayan durumların matematiksel hesaplamaları yapılabilir ve daha net sonuçlar elde edilebilir. SHERPA'nın niteliksel kısmı değerlendirmede kullanılan verilerin katılımcıların deneyimlerine göre şekillenmesini kapsar ve böylelikle insan kaynaklı hataları daha temelden analiz edebilme imkanı sunar.

4.2 İstatistiki Analiz

İnsan faktörü fizyolojik, psikolojik ve çevresel faktörler başta olmak üzere pek çok dış etkene açıktır. Sistemik İnsan hatası önleme ve tahmin yöntemi ile LNG tahrikli gemilerin yakıt sisteminde insan kaynaklı oluşabilecek hataların taksonomisi yapılmış ve risk matrisi oluşturulmuştur. Çalışmanın ikinci aşaması olan emniyet kültürü ölçeğiyle ise personelin emniyet farkındalığı değerlendirilmiştir. Çalışmanın istatistiki analiz kısmı SHERPA yöntemi ile edilen sonuçların emniyet kültürü ölçeği ile elde edilen sonuçlar ile birleştirilip yorumlanması kısmı için önemlidir. Çalışmanın istatistiki analiz kısmında SPSS paket programı kullanılmıştır (IBM Corp., 2022). Bu program ile emniyet kültürü ölçeğine verilen cevapların risk matrisi ölçeğinden elde edilen sonuçlarla ilişkileri incelenmiştir.

4.3 Örneklem Grubu

Çalışmanın örneklem grubu LNG tahrikli gemilerde çalışan makine dairesi personeli ile sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırmanın temel sebebi yakıt sistemi ile ilgili sorunların makine dairesi personelinin görev tanıma dahil olmasıdır. Çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi etik kurul onayı ile yürütülmektedir. Güncel olarak aktif çalışan LNG tahrik sistemine sahip gemisi sayısı yaklaşık 600 olarak belirlenmiştir (*LNG Powers Unprecedented Year for Orders of Alternative-fuelled Vessels, 2025*). Fakat, LNG tahrikli gemilerde net bir çalışan makine personeli sayısı yoktur. Gemilerde minimum personel sayısı bayrak devletleri tarafından IMO kurallarınca belirlenir (*Principles of Minimum Safe Manning, n.d.*). Bu kurallar gemide kaç personel çalıştırılması gerektiğini, ilgili personelin yeterlilik ve sertifikalarını hatta gemideki personel sayısına göre bulundurulması gereken minimum erzak miktarını dahi belirler. IMO kurallarını dikkate alarak bayrak devletleri gemilerin yapısal özelliklerine göre bir minimum çalıştırılması gereken personel sayısı belirlerler. Günümüzdeki LNG tahrikli gemiler göz önüne alındığında bu gemilerde yaklaşık 3 adet makine zabiti olduğu kabul edilebilir; bunlar baş mühendis, ikinci mühendis ve makine zabitidir (3.-4. mühendis). Dolayısıyla güncel gemi sayısı ve değiştirmeci personel sayısı da dikkate alındığında, dünya genelinde yaklaşık 2500 adet LNG yakıtlı gemide çalışan makine zabiti vardır genellemesi yapılabilir. LNG yakıtlı gemilerde çalışan Türk makine zabiti sayısı Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı verilerinden (*DENİZCİ ÜLKE TÜRKİYE DÜNYADA 12. SIRADA, n.d.*) ve

dünyadaki toplam zabıt sayısından (*International Chamber of Shipping, n.d.*) yola çıkılarak yaklaşık 106 kişi olarak tahmin edilmiştir. Katılım için farklı kanallardan 100 kişi davet edilmiş fakat 18 kişi çevrimiçi formu doldurmuştur. Formu dolduran 18 kişiden 3 tanesi yabancı uyrukludur ve kıyaslamaya dahil edilebilecek yeteri kadar yabancı uyruklu kişi olmadığı için cevapları çalışmadan çıkarılmıştır. 13 adet Türk makine zabıtının rütbe dağılımları; 7 başmühendis, 3 ikinci mühendis ve 3 makine zabiti olacak şekildedir. Tüm katılımcılar minimum lisans derecesi mezunudur. Katılımcı sayısı toplam popülasyonun yaklaşık %12'sidir ve bu tarz çok küçük popülasyonlu gruplar için bu sayısı yorum yapmak açısından yeterli olarak kabul edilebilir (Cohen, 1988).

4.4.1 Risk Anketi

LNG tahrikli gemilerin projeleri incelenmiş ve yakıt sistemindeki ortaklıklar dikkate alınarak LNG yakıt sisteminin temel bileşenleri belirlenmiştir. Risk anketi sorularını oluşturmak için ilgili konunun uzmanlarıyla beyin fırtınası (brainstorming) yöntemi ile sistem içinde oluşabilecek sorunlardaki insan faktörü değerlendirilmiştir. Çalışmadaki değerlendirme kısmı LNG yakıt sağlama sistemi ile sınırlandırılmış olup yakıt alma operasyonu (bunker) dahil edilmemiştir. Yakıt sisteminde insan faktörünün baskın olduğu ve gemide istenmeyen sonuçlar yaratabilecek konular; tankın aşırı doldurulması, LNG devresindeki yüksek basınç, yakıt odasına LNG sızması, yakıt odası havalandırma devresindeki vakum tapasının arızalanması, tanktan LNG sızıntısı, tank alanında yangın çıkması, yakıt odasına bitişik bölmede yangın çıkması, tank bağlantısından LNG sızması, havalandırmadan LNG salınımı, hava kilitli bölmeye yahut geminin diğer alanlarına gaz sızması, basınçlandırma evaporatörünün fazla çalışması, basınçlandırma evaporatörünün yetersiz çalışması, ana gaz evaporatörünün fazla çalışması, ana gaz evaporatörünün yetersiz çalışması, sistemdeki filtrenin arızalanması, blok valf bölümünün arızalanması, basınç kontrol valfinin arızalanması, yakıt ısıtma sisteminin arızalanması, nitrojen sisteminin arızalanması, havalandırma sisteminin arızalanması, gaz ve yangın tespit sisteminin arızalanması, otomasyon sisteminin arızalanması olacak şekilde 22 ana sorun olarak belirlenmiştir. Bu 22 sorun 12 bölüm altında sınıflandırılmıştır. Sorular katılımcılara likert ölçeği tipli çevrimiçi anket olarak gönderilmiştir. Kullanılan 5'li likert ölçek tipinde 1'den 5'e doğru gidildikçe olasılık ve ciddiyet artmaktadır. Katılımcıların, bu

22 sorundaki insan faktörünün olasılığını ve ciddiyetini 5 SHERPA kategorisine göre değerlendirmesi istenmiştir.

4.4.2 ABS, emniyet kültürü anketi

Katılımcıların emniyet farkındalıklarını ve emniyet kültürü kavramına bakış açılarını değerlendirmek için Amerikan Denizcilik Bürosu tarafından 2012 yılında geliştirilmiş ve 2014 senesinde güncellenmiş olan ölçek kullanılmıştır (American Bureau of Shipping, 2014). Bu çalışmanın gemide çalışan ve karada çalışan personelin ayrı değerlendirilmesi için 2 alt ölçeği vardır. Bu çalışmada gemide emniyet kültürü anketi kullanılmıştır. Bu ölçek 6'lı likert ölçeği olarak geliştirilmiştir ve cevaplar 0-5 arasında değerler almaktadır. 0 değerinin karşılığı bilmiyorum olarak atanmış ve 1'den 5'e doğru gidildikçe soruda verilen ifadeye katılım seviyesi artmaktadır. Anket 5 bölümden oluşmaktadır. A bölümündeki sorular geminin emniyetine etki eden riskleri ve kazaları azaltmak için geliştirilen politikalar, prosedürler, tutumlar ve eylemlerle ilgilidir ve bu bölüm 25 sorudan oluşmaktadır. B bölümündeki sorular ise iş sağlığı ve emniyeti ile ilgili olup 6 adettir. C bölümündeki sorular bireyin kendi işini değerlendirmesi ile ilgili olup 9 adet sorudan oluşmaktadır. D bölümü katılımcıların demografik özellikleriyle ilgilidir. E bölümünde ise katılımcılardan emniyet kültürünü geliştirmek için öneriler istenmektedir ve bu kısım açık uçlu olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu çalışmada, ölçeğin yalnızca A, B ve C bölümleri kullanılmıştır. Bunun sebebi emniyet kültürünü değerlendirmekle ilgili soruların bu bölümlerde yer almasıdır. Bu ölçekte gemi emniyetine etki eden 8 ana faktör tespit edilmiş ve sorular bu 8 faktörle ilgili hazırlanmıştır. Bu faktörler sırasıyla; iletişim (com), güçlendirme (emp), geri bildirim (fdb), karşılıklı güven (mtr), sorun tanımlama (pid), emniyetin teşviki (pos), duyarlılık (rsp) ve emniyet farkındalığıdır (saw). Ölçeğin 8 alt başlığa göre soru dağılımları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.4.2.1 : Emniyet kültürü ölçeği soru dağılım tablosu

com	emp	fdb	mtr	pid	pos	rsp	saw
9	5	12	8	16	1	7	13
11	27	21	10	20	2	17	14
25	34	23	22	24	3	18	15
39	35	29	26	32	4	19	33
40	37	31	28	38	6	30	36

Ölçeğin değeriendirilmesi verilen cevapların toplam skoruna göre yapılmaktadır.



5. BULGULAR

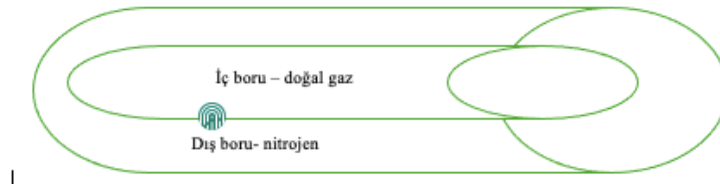
Çalışmanın bulguları 3 alt başlıkta değerlendirilecek olup ilk alt başlık LNG yakıt besleme sisteminin açıklanmasıdır. Bu bölümde sistemin bileşenleri ve çalışma prensibi paylaşılacaktır. İkinci alt başlıkta ise yazarın ve katılımcıların risk anketine verdikleri cevaplar değerlendirilecektir. Son başlıkta ise katılımcıların emniyet kültürü ölçeğine verdikleri cevaplar paylaşılacaktır.

5.1 LNG Yakıt Besleme Sistemi

LNG tahrikli gemilerde yakıt besleme sistemi geminin tipi, makine gücü, tank ve pervane sayısı gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Fakat sistemin ana bileşenleri temelde aynıdır. LNG, tankta yaklaşık %90 sıvı, %10 gaz olacak şekilde depolanır. Tankın aşırı basınçlanmasını önlemek için basınç tahliye valfleri mevcuttur. Tankın basıncı düşerse, basınçlandırma evaporatörü devreye girer ve tanktaki sıvı yakıtın bir kısmını gazlaştırarak tanka gönderir. Evaporatörlerde ısı kaynağı olarak ısıtma sistemiden (heating media system) gelen su ve glikol karışımı kullanılır. Ana makinaya sağlanacak yakıt da tanktan çıkarak ana gaz evaporatörüne gelir ve burada gazlaştırılır. Fakat bu aşamada gaz hala oldukça soğuktur, bu sebeple makinaya girmeden önce heter vasıtası ile ısıtılır ve filtreden geçirilir. Ana gaz bloğu sistemi makinanın yakıt ihtiyacına göre sisteme yakıt sağlanmasını denetleyen ve içeriğinde sensörler ve valfler bulunan bir mekanizmadır. LNG yakıt sisteminin pek çok aşamasında sensörler mevcuttur. Tank içindeki basıncın ve sıcaklığın ölçülmesi, devrelerdeki basıncın ve sıcaklığın ölçülmesi sensörler ile sağlanır. Örneğin, tank içindeki basınç azaldığında sensör basınçlandırma evaporatörünü çalıştırır ve devredeki valflerin açılmasını sağlar. Tank içindeki basınç yeterli seviyeye ulaştığında ise valfler kapatılır ve evaporatör durdurulur. Elektronik kontrol ve otomasyon ile yapılan tüm bu işlemler kontrol odasından takip edilebilir. Öyle ki herhangi bir acil durumda sisteme manuel müdahale etmek de mümkündür. LNG yakıt sistemine gaz kaçaklarından kaynaklanan zararlarının önlenmesi için nitrojen sistemi entegre edilmiştir. Gaz geçen devreler çift cidarlıdır ve dış boruda nitrojen

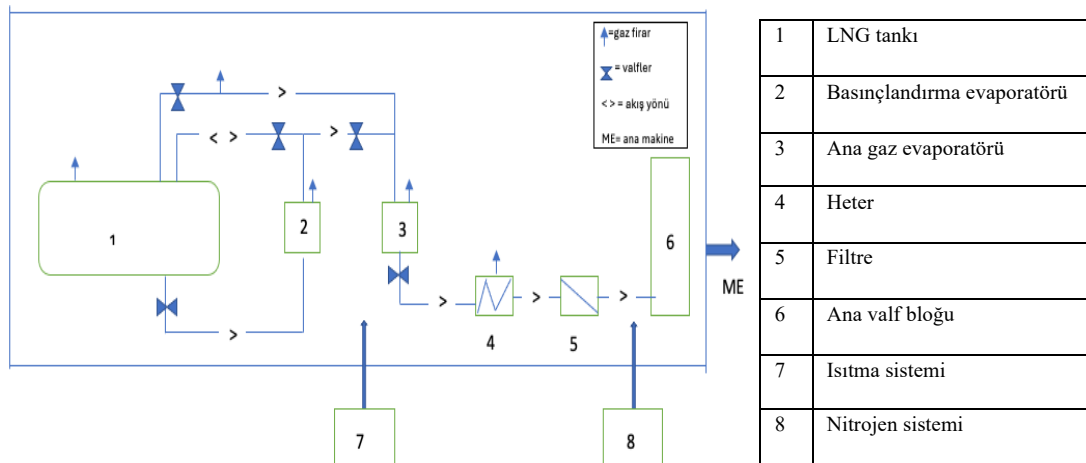
gazı dolaşır. Böylelikle iç boruda herhangi bir kaçak olduğunda ortama yayılmadan nitrojenle karışarak gaz derişiminin azaltılması hedeflenir. Devrelerde daima havalandırma yapılarak dış borudaki gaz atmosfere verilir. Bu durum iç boruda herhangi bir kaçak olduğunda gemiye yayılmasının engeller ve doğalgaz güvenli bir şekilde atmosfere gönderilmiş olur.

Şekil 5.1.1 : Çift cidarlı LNG boru devresi kesiti (Yazar tarafından çizilmiştir.)



Gemide sürekli çalışan makineler ve farklı sıcaklık kaynakları bulunduğundan pek çok yerde alev, duman ve sıcaklık dedektörleri mevcuttur. LNG tank alanı ve devreler de oldukça kritik alanlar olduğundan devrenin büyüklüğüne ve yapısının uygunluğuna göre bu tarz sensörler sisteme eklenir. Otomasyon sistemi sensörlerin çalışması açısından oldukça önemlidir. Sensörlerde okunan veriler kontrol odasındaki bilgisayara aktarılır ve böylelikle personel sürekli gözlem yapabilme fırsatı bulur. Son olarak, gemide havalandırma sistemi hayati önem taşımaktadır. LNG tank alanında da devrelerinin bulunduğu alanlarda da düzenli havalandırma yapılır ve bu alanlardan çıkan hava doğrudan atmosfere verilir. Böylelikle, herhangi bir yakıt sızıntısı durumunda gazın geminin diğer bölümlerine yayılmasını engellenmiş olur.

Şekil 5.1.2 : LNG yakıt besleme şeması



5.1.1 LNG yakıt besleme sisteminde oluşabilecek arızalar ve sonuçları

Bu alt başlıkta risk anketini oluşturan sorular tartışılacaktır. Öncelikle sistemde insan faktörü ile ilişkili olabilecek arızalar paylaşılacak ve bu arızaların sonuçları değerlendirilecektir. Risk anketinin ilk sorusu LNG tankın aşırı doldurulmasıyla ilgilidir. Aşırı doldurma işlemi yakıt operasyonları sırasında yahut basınçlandırma evaporatörünün çalışması sırasında olabilir. Tank içindeki sıcaklığın yükselmesi sebebiyle de sıvı yakıt kendiliğinden gazlaşarak tank basıncı artırabilir. Bu arızaya sebebiyet verebilecek en yaygın eylem hataları bilgisayarda yanlış düğmeye basmak yada yanlış valfin açılmasını sağlamaktır. Tank operasyonları sırasında iletişim kaynaklı problemlerin oluşması da muhtemeldir, özellikle farklı dil beceri seviyelerindeki insanlar pek çok yanlış anlaşılmaya sebebiyet verebilir ki tank operasyonları birden fazla zabitin aynı anda görev aldığı ve etkileşimde bulunduğu operasyonlardır. Bilgiyi hatırlayama kaynaklı hatalar az da olsa tankın aşırı doldurulmasına sebebiyet verebilir. Aşırı doluma sebebiyet verebilecek bu tür hatalar ilgili prosedürlerin uygun bir şekilde yada uygun bir zamanda yapılamamasından kaynaklanır. Tankın aşırı doldurulmasına sebebiyet verebilecek seçim hataları da temelde valflere ilgili olabilir. Operasyonlar sırasında yanlış sistemlerin devreye alınması tankın aşırı doldurulmasına sebebiyet verebilir. Örneğin ana gaz evaporatörünü seçmek yerine basınçlandırma evaporatörünün devreye alınması tank içi basıncı artırabilir. Tank içindeki basıncın artmasındaki en önemli hata kategorisi kontrol hatalarıdır. Sensörlerden gelen uyarıların kontrol edilmemesi veya sürecin dikkatli izlenmemesi kontrol hatalarının temelini oluşturur. Fakat yakıt tankının aşırı doldurulması kritik bir olay değildir ve ciddi sonuçlara yol açmaz. Sensörlerden gelen uyarılar dikkate alınmazsa yahut sistem aşırı basınçtan kurtulamazsa tank üzerinde bulunan mekanik basınç kontrol valfleri çalışır ve tanktaki gazı doğrudan atmosfere yollar.

LNG devrelerinde oluşabilecek hatalar ise devredeki aşırı basınç, tank alanına yakıt sızıntısı ve devredeki vakum tapasının arızalanmasıdır. Devredeki basıncın artmasına sensör hataları, acil durum kapatma sistemi (ESD) ve insan hataları sebebiyet verebilir. Bu arızanın oluşmasındaki eylem hataları manuel valflerin yanlış operasyonları sonucu oluşabilir. Verilen talimatların anlaşılabilmesi sonucu iletişim hatası kaynaklı aşırı basınç oluşabilir. Devrelerdeki en önemli etmen devrenin yapısını, bileşenlerini ve bağlantılarını doğru bilmek ve hatırlamaktır. Bu gibi

konulardaki hatalar bilgiyi hatırlayamamaktan kaynaklanır ve devrelerde basınçlanmaya sebebiyet verebilir. Devre özelinde seçim yapılması gereken konular oldukça sınırlıdır. Bu sebeple devrelerdeki aşırı basınca seçim kaynaklı hataların yol açma ihtimali düşüktür. Fakat devrelerdeki yüksek basıncın en önemli sebebi kontrol hatalarıdır. Devredeki akışın, valflerin, değerlerin kontrol edilmemesi, ihmal edilmesi yada atlanması borular içinde yüksek basınca sebebiyet verebilir. Devrede yüksek basınç sebebiyle sistem bileşenleri zarar görebilir, LNG farklı yerlere sızabilir ve en önemlisi de aşırı soğuk gazdan dolayı personel yaralanabilir. Dolayısıyla devrelerdeki aşırı basınç dikkat edilmesi gereken bir konudur. Tank alanına yakıt sızıntısının sebepleri yapıların bozulması, fiziksel hasar görmüş parçalar ve yanlış stres hesaplamaları olabilir. Bu tür bir arızada en önemli hata türü kontrol hatasıdır. Sistem bileşenlerinin durumlarının gerekli zamanlarda ve gerekli şekillerde kontrol edilmemesi yakıt sızıntısına sebebiyet verebilir. Bu tür bir arızanın sonuçları LNG sızıntısı ve personel yaralanması olabilir. Dolayısıyla oldukça dikkat edilmesi gereken bir konudur. LNG devresinde son oluşabilecek arıza vakum tapası arızasıdır. Bu arıza genelde materyalin kalitesinden yahut devredeki aşırı basınçtan oluşur. İnsan faktörüyle alakalı kısımlar aşırı basınç durumundan kaynaklanan arızalar için geçerlidir ve bu senaryoda en önemli hata kategorisi kontrol hatasıdır. Fakat bu arıza sonucu tüm yakıt operasyonları sekteye uğrayabilir ve ana makine tahrik gücünü kaybedebilir ve bu durum daha ciddi sonuçlara sebebiyet verebilir.

Tanktan LNG sızıntısı sistemde görülebilecek bir başka arızadır. Temel sebepleri yapısal hasarlar, devre bağlantılarındaki sorunlar, çatma/çatışma veya karaya oturma olabilir. Çatma/çatışma ve karaya oturma olaylarında genelde insan faktörü etkilidir fakat güverte personelinin sorumluluk alanındaki olaylardır. Bu çalışmanın örneklem grubu makine personeli ile sınırlıdır, bu sebeple yapısal hasarlar ve devre bağlantılarındaki insan faktörü değerlendirilmeye alınmıştır. Bu hasarların oluşmasındaki en önemli hata kategorisi kontrol hatasıdır. Özellikle devre bağlantılarının kontrolü ve sızdırmazlığı oldukça önemlidir. Tanktan LNG sızması sonucu sızıntının boyutuna göre yangın ve patlama riski bulunur. Ek olarak personel yaralanma olasılığı yüksektir. Bu sebeple tanktan LNG sızması kritik öneme sahip bir arızadır.

LNG tank bölmesine bitişik bölgelerde yangın çıkması yakıt sistemini oldukça yakından ilgilendiren bir durumdur. Bu durumun sebepleri makine dairesinde yangın

yada bölme içindeki makinelerinin yanması olabilir. Bu yangınların oluşmasındaki önemli hata türleri eylem hatası ve bilgiyi hatırlayama hatasıdır. Bu hata türleri yanlış operasyonlar ve yanlış müdahaleler sonucu olabilir. Fakat en önemli hata türü kontrol hatasıdır. Özellikle sensörlerin, sıcaklık artışının ve bitişik bölgedeki makinelerin durumunun yeterli kontrol edilmemesi yangınlara sebebiyet verebilir. Yangın sonucunda LNG tank zarar görebilir, sızıntı olabilir ve gemi tahrik yeteneğini kaybedebilir. Bu sebeple bitişik bölgelerdeki yangın ve sıcaklık artışı kritik öneme sahip bir durumdur. Tank bölmesinde yangın ise yakıt besleme sisteminin elemanı olan makinelerin yangını veya bu makinelere tahrik veren elektrik motor sargıları sebebiyle olabilir. Eylem hatası türü kapsamında makinelerde yanlış operasyonlar yapılması ve bilgiyi hatırlayamama hatası kapsamında dönemsel bakımların atlanması yer alabilir. Kontrol hataları ise bu durum için de en önemli hata türüdür. Sistemdeki makine ve motorların değerlerinin yeterli derecede kontrol edilmemesi bu kapsamda değerlendirilir. Tank bölmesinde yangın sonucu LNG sızıntısı olabilir yada tank zarar görebilir. Fakat bu durumun ciddi sonuçlar doğurması beklenmez çünkü tank alanı oldukça soğuktur ve pek çok yangın söndürme sistemi bileşeni ile donatılmıştır. Dolayısıyla bu alanda büyük yangın çıkma ve ciddi zararlar verme ihtimali düşük olarak değerlendirilmektedir.

Tank bağlantı boşluğuna LNG sızması bu çalışma çerçevesinde değerlendirilen bir başka konudur. Tank boşluğuna sızıntının nedenleri termal stres ve yapısal hasar olarak tanımlanmıştır. Bu hata türünde en yüksek etkiye sahip olan insan faktörü kontrol hatasıdır. Tank bileşenlerinin ve yakıt besleme devresinin bileşenlerinin gerekli fiziksel kontrollerinin yapılmaması sızıntıya sebebiyet verebilir. Tank boşluğuna LNG sızması sonucu potansiyel tehditler yangın/patlama ve personel yaralanmasıdır. Dolayısıyla bu konu oldukça hassas bir konudur ve kritik bir risktir.

Tank havalandırmasından LNG kaçması sistem üzerinde oluşabilecek bir başka arızadır. İnsan faktörü bu arızanın oluşmasında oldukça etkili olabilir. LNG kaçmasının sebepleri tank yada devrelerdeki yüksek basınçtır. Bu arızasını oluşmasında bilgiyi hatırlamama, iletişim ve seçim hataları etkili olabilir. Örneğin, devre üzerinde operasyon yapılırken sisteminin hatırlanmaması, diğer zabıtlarla eksik yada hatalı iletişim kurulması, valf grubundan hatalı valfin seçilmesi bu hata türlerinin sebeplerinden olabilir. LNG kaçmasındaki en önemli hata türleri ise eylem ve kontrol hatalarıdır. Eylem hataları valflerin açma/kapma düzeniyle veya devreye

alınması gereken sistemler üzerinde görülebilir. Kontrol hataları ise basınç- sıcaklık verilerin ve sistem bileşenlerinin düzenli takip edilmemesinden kaynaklanabilir. LNG kaçması sonucu yangın/patlama riski mevcuttur ve çevre hasarı oluşabilir. Açıklanan sebeplerden ötürü bu arıza kritiktir ve özel dikkat gerektirir.

LNG yakıt tankı hava kilitli bir alanda bulunur ve yüksek sızdırmazlık seviyesi mevcuttur. Fakat gazın hava kilidine ve geminin diğer bölgelerine sızması, sistem üzerinde oluşabilecek arızalardandır. Bu durumun sebebi tank birleşme noktalarında gaz birikmesidir ve arızanın oluşmasındaki en önemli insan temelli faktör kontrol hatasıdır. Gerekli kontrollerin zamanında ve uygun şekilde yapılmaması, sızıntıların ve kaçakların fark edilmemesi bağlantı noktalarında gaz birikimine sebebiyet verebilir. Bu birikinti sonucunda ise yangın/patlama ve personel yaralanması riskleri mevcuttur.

Evaporatörler LNG yakıt sisteminin önemli bileşenleridir. Hem tank ve devrelerdeki gerekli basınç değerlerinin korunmasını hem de ana makineye gerekli yakıtın gönderilmesini sağlarlar. Sistemde kullanılan ilk evaporatör basınçlandırıcı olarak kullanılan evaporatördür. Bu evaporatör tank içindeki basıncın gerekli değerlerde tutulmasını sağlar. Basınçlandırma evaporatörünün fazla ve az çalışmasında eylem ve bilgiyi hatırlayama hataları etkilidir. Örneğin, evaporatörün devreye alınması yada çıkarılması sırasında prosedürel yahut operasyonel hatalar yapılabilir. Evaporatörün bakım tutumu sırasında yanlış müdahalelerde bulunulabilir. Fakat, evaporatörün yetersiz yahut aşırı çalışması durumunda da kontrol hatası en yüksek faydaya sahiptir. Gerekli kontrollerin yapılmaması evaporatörlerde bu tür arızalara sebebiyet verebilir. Basınçlandırma evaporatörünün fazla çalışması kısa vadede ciddi sonuçlar yaratmayabilir, tank içinde basıncın artması sonucu firar valfi açılacak ve fazla gaz tahliye edilecektir fakat uzun vadede yangınlara ve sistemsel daha ciddi sıkıntılara sebebiyet verebilir. Basınçlandırma evaporatörünün yetersiz çalışması yahut çalışmaması ise tank içindeki basıncın düşmesine sebebiyet verecektir ve devredeki vakum kırıcı valfler devreye girecektir. Böylece tankın yapısal bozulmalarının önüne geçilmiş olur. Basınçlandırma evaporatörünün fazla yahut eksik çalışması kabul edilebilir bir durum olmamakla birlikte sonuçları yüksek ciddiyet seviyesine sahip değildir. Ana gaz evaporatörünün fazla çalışmasında ise benzer durumlar gözlenir ve hata kategorileri benzer dağılıma sahiptir. Fakat ana gaz evaporatörünün az çalışması yada çalışmaması daha önemli sorunlar doğurabilir. Sistemin çalışmamasında

tıkanıklıklar, bozulan parçalar, yanlış operasyonlar etkili olabilir. Bu durumda da kontrol hatası en yüksek orana sahipken eylem hataları ve bilgiyi hatırlayama hatalarının rolü önemlidir. Ana gaz evaporatörünün yetersiz olması durumunda yakıt sıvı fazdan gaz faza geçemez ve ana makineye yakıt gönderimi sağlanamaz. Bu durum tahrik sisteminin negatif etkilenmesine ve karşı basınç oluşarak sistem bileşenlerinin zarar görmesine sebebiyet verebilir. Kritik etkiye sahip olmasa da ana gaz evaporatörünün yetersiz çalışması ciddi bir risktir.

Gaz valf bloğu içerisindeki pek çok sensör, filtre ve valfler aracılığı ile yakıtın ana makineye gitmeden önce kontrollerinin yapıldığı kısımdır. Filtrede oluşabilecek sorunlar filtrenin tıkanması yahut delinmesi olabilir. Bu durumda en etkili insan faktörü kontrol hatasıdır. Bu tür durumlar sistemlerin düzenli kontrollerinin yapılmadığı koşullarda ortaya çıkar. Fakat filtreden kaynaklı sorunlar sonucunda makineye yakıt iletimi kesilebilir ve gemi tahrik gücünü kaybedebilir. Dolayısıyla kritik sonuçlar doğurmasa da önemli sonuçlar yaratabilir. Blok valflerin arızalanması durumunda valfler açılmayabilir yahut kapanmayabilir. Fakat bu sistem otomatik kontrollüdür. Dolayısıyla insan faktörü içeren tek hata türü kontrol hatasıdır. Otomasyona fazla güvenmek böylesi durumların gözden kaçmasına sebebiyet verebilir. Blok valflerin arızalanması sonucu devrede yüksek basınç oluşabilir veya makineye yakıt iletimi kesilebilir ve bu durum geminin tahrik sistemini yitirmesine sebebiyet verebilir. Özetle, blok valflerin arızalanması kritik bir durum değildir fakat önem derecesi yüksektir. Basınç kontrol valfinde ise durum biraz daha farklıdır. Her ne kadar bu sistem de otomasyona tabi olsa da duyarlılık aralıkları personel tarafından belirlenir. Basınç kontrol valfi basınca karşı duyarsızlaşabilir ve sürekli açık kalabilir. Bu durum basınç farkından dolayı ana makine ve sistem bileşenlerinde bozulmalara sebebiyet verebilir. Aşırı basınç sebebiyle kaçaklara ve sızıntılara yol açabilir. Dolayısıyla makinenin tahrik gücünü etkileyebilir. Bu sebeple kritik olmasa da önem derecesi yüksek bir durumdur. Basınç kontrol valfinin sürekli kapalı kalması ve gaz geçişine müsaade etmemesi de LNG yakıt besleme devresinde bir karşı basınç oluşturabilir ve devre elemanlarına zarar verebilir. Devrelerde kaçaklara sebebiyet verebilir yahut atmosfere LNG kaçmasına yol açabilir. Bu durumda ana makineye yakıt sağlanamaz ve geminin tahrik kabiliyeti azalabilir. Bu tür arızalarda insan kaynaklı hata türleri eylem ve kontrol hatalarıdır. Gerekli referans değerlerinin

hatalı girilmesi ve gerekli kontrollerin yapılmaması kritik olmasa da ciddiye derecesi yüksek sonuçlar doğurabilir.

Isıtma sistemi su ve glikol kullanarak evaporatörlere gerekli sıcaklığı sağlar ve sıvı yakıtın gazlaştırılmasında yer alır. Isıtma sistemi gerekli sıcaklığı sağlayamazsa sıvılaştırma süreci zarar görür ve makineye yeterli gaz yakıt sağlanamaz. Ek olarak sistem bileşenleri de bu durumdan zarar görebilir. Eylem hataları ve kontrol hataları bu sistemin çalışmasını etkileyen insan faktörü kaynaklı bileşenlerdir. Sistem her ne kadar otomatik olsa da kontrol edilmelidir. Değerlerin yanlış belirlenmesi de sistemde arızalara sebebiyet verebilir. Isıtma sisteminin arızası kısa vadede ciddi problemler yaratmaz, uzun vadede fark edilmemesi mümkün değildir. Fakat durumun ciddiyetine göre farklı seviyelerde hasarlara sebebiyet verebilir.

Emniyet ve koruma sistemi LNG devrelerine nitrojen gazı sağlar ve olası bir kaçakta yakıt derişiminin azaltılarak atmosfere verilmesinde görev alır. Nitrojen sisteminin çalışmaması veya fazla çalışması doğrudan gemi operasyonlarını etkilemez fakat ciddi bir emniyet riski oluşturur. Nitrojen sağlanması otomasyon kontrollüdür fakat sistemde eylem ve kontrol hatalarından kaynaklı arızalar oluşabilir. Her ne kadar makinenin tahrik sistemini etkilemese de olası bir kaçak ve sızıntı durumunda ciddi sonuçlar doğurabilecek yardımcı bir sistem olduğu için kritik olmasa da ciddi riskler teşkil etmektedir.

Havalandırma sistemi, LNG devresinin en önemli parçalarındandır. Bölmeler arasında ve devrelerin geçtiği alanlarda gaz yakıt birikintisini önler. Sistemin çalışmama sebebi çek valflerin karşı basınç sebebiyle açılmaması olabilir. Valflerin bakım tutumlarının yanlış yapılması ve gerekli kontrollerin yapılmaması eylem, bilgiyi hatırlayamama ve kontrol hatalarından kaynaklanabilir. Bu durumda daima yangın/patlama riski mevcuttur ve kapalı alanlara girecek personel için de ayrıca risk teşkil edebilir. Havalandırma sistemi arızası kritik olarak değerlendirilmese de ciddiye seviyesi yüksektir. Havalandırma sisteminin fazla çalışması ise ilgili bölümlerde vakum etkisi yaratabilir fakat bu durum ciddi sonuçlar doğurmaz. Bu duruma sebebiyet verebilecek hata türleri de eylem ve kontrol hataları olarak belirlenmiştir.

Gaz ve yangın tespit sistemi geminin emniyet sistemleri açısından oldukça önemlidir. Sistem pek çok sensör, valf ve pompa düzeneğinden oluşur ve otomatik kontrollüdür.

Sistem bileşenlerinin bakım tutumlarının düzgün yapılmaması ve gerekli kontrollerin düzeli olarak yapılmaması gaz ve emniyet tespit sisteminin devre dışı kalmasına sebebiyet verebilir. Her ne kadar bu sistem olabildiğince hatasız çalışabilecek bir şekilde tasarlanmış olsa da eylem ve kontrol hataları sistemin işleyişin etkileyebilir. İnsan etkisi yoğun olmasa da bu sistemdeki herhangi bir arıza geminin batmasına dahi sebebiyet verebilecek ciddiyette olaylara yol açabilir. Bu sebeple gaz ve yangın sistemindeki arızalar kritik olarak değerlendirilmiştir.

Değerlendirilen son sistem ise otomasyon sistemidir. Bu sistemde yaşanabilecek sorunlar veri akışının sağlanamaması yada veri akışının hatalı olmasıdır. Otomasyon sistemi gemideki pek çok sistemle entegre çalıştığı için emniyetli seyir açısından oldukça önemlidir. Otomasyon sistemi yedeği bulunabilen bir sistem olmamakla birlikte gemide insan varlığı sistemin düzgün çalışması için oldukça önemlidir. Otomasyon sisteminde insan kaynaklı oluşabilecek hata türleri eylem, bilgiyi hatırlayamama ve kontrol hatalarıdır. Sistem bileşenleriyle ilgili yanlış operasyonlar yapılması eylem hatalarını oluştururken, sistemin sağladığı veriyi değerlendirememesi yada yanlış değerlendirme bilgiyi hatırlayamama hatalarını oluşturur. Kontrol hataları ise sistem bileşenlerinin güvenilirliğinin düzenli bir şekilde denetlenmemesi ve otomasyona fazla güvenilmesi sonucunda oluşabilir. Otomasyon sisteminin arızalanması kritik olmasa da ciddi önem derecesine sahip sonuçlar doğurabilir ve geminin tahrik sistemini etkileyebilir.

5.1 Matrislerin Değerlendirilmesi

5.2.1 Yazar tarafından oluşturulan risk matrisleri

HTA analizi sırasında literatürdeki pek çok kaynak taranmış ve var olan LNG tahrikli gemilerin projeleri incelenmiştir. Risk matrisi tüm bu bilgiler ışığında sistem bileşenlerin detaylı incelenmesi sonucunda oluşturulmuştur.

Çizelge 5.2.1.1 : Yazar tarafından oluşturulan eylem hataları risk matrisi

		ciddiyet				
olasılık		1	2	3	4	5
1				18	3, 4, 10, 15, 16, 19	5, 8, 21
2			1, 6	11, 12, 13	2, 14, 17, 20, 22	7
3					9	
4						
5						

LNG yakıt besleme sisteminde eylem hatası kaynaklı oluşabilecek risklerin ciddiyet ve olasılık hesapların göre risk matrisi yukarıdaki gibi oluşturulmuştur. Eylem hatası türünde düşük risk faktörü grubuna dahil soru bulunmamaktadır. 1., 6., 18. sorulardaki eylem hatası kaynaklı risklerin seviyesi orta olarak değerlendirilmiştir. 1. soru tankın aşırı doldurulmasıyla ilgili olup 6. soru LNG tank alanında yangınla ilgilidir. 18. soru ise ısıtma sisteminin arızası konusunu kapsamaktadır. Yüksek riskli olarak değerlendirilen sorular 2., 5., 8., 9., 14., 17., 20., 21., ve 22. sorulardır. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. 5. soru insan eylem faktörü kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. Soru 8’de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 9. soru LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. Soru 20, havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin insan kaynaklı eylem hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir.

İnsan faktörü kaynaklı oluşabilecek riskli ve ciddi sonuçlar oluşturabilecek sorular grubuna 3., 4., 10., 11., 12., 13., 15., 16., ve 19. sorular dahil edilmiştir. 3. soru yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumunu incelemektedir. Soru 4’te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 10. soruda hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz

kaçığı durumu irdelenmektedir. 11. Soruda tank içi basınç ayarlayan evaporatörün fazla çalışması durumu işlenmektedir. 12. soruda ise tank içi basınç evaporatörünün yeteri kadar çalışmaması durumu incelenmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün insan eylem hatası kaynaklı fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. Soru 15 ise insan eylem hatası kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. 16. Soru gaz valf bloğunun bir parçası olan blok valflerin arızalanmasındaki eylem hatası faktörünü değerlendirmektedir. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin insan eylem hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. Bu matriste katastrofik sonuçlar yol açabilecek tek durum 7. soru olarak değerlendirilmiştir. Soru 7' de insan eylem hatası kaynaklı LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte yazar tarafından oluşturulan eylem hatası kaynaklı risk matris skoru 130 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.1.2 : Yazar tarafından oluşturulan iletişim hataları risk matrisi

olasılık		ciddiyet				
		1	2	3	4	5
	1		6, 19	11, 12, 18	3, 4, 10, 13, 14	5, 7, 8
	2		1		2, 9	
	3					
	4					
	5					

15., 16., 17., 20., 21. ve 22. sorular yer almamaktadır. Yapılan incelemeler sonucu bu soru gruplarında iletişim kaynaklı risk faktörü değerlendirilmemiştir. 6. ve 19. sorular çok düşük riskli iletişim hatası kaynaklı soru grubuna dahil edilmiştir ve sırasıyla LNG tank odasında yangın ve nitrojen sisteminin gerekli şekilde çalışmaması olarak değerlendirilmiştir. 1., 11., 12., ve 18. sorular düşük riskli hatalar kategorisine dahil edilmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında iletişim hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise aynı evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki iletişim hatalarını değerlendirmektedir. 18. soruda evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu alınmaktadır. 3., 4., 10., 13., 14., sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak

değerlendirilmektedir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki iletişim hatalarını incelemektedir. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 10. soruda iletişim hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 2., 5., 7., 8., ve 9. sorularda incelenmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. 5. soru iletişim hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 9. soru iletişim hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. İletişim hatası başlığı altında değerlendirilen sorular içinde katastrofik etki yaratabilecek bir soru bulunmamıştır ve iletişim hatası kaynaklı risk matrisinin toplam skoru 68 olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.2.1.3 : Yazar tarafından oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisi

olasılık	ciddiyet				
	1	2	3	4	5
1		1	11, 12, 1	3, 4, 10, 14, 15, 20	8
2		6		2, 9, 22	5, 7
3					
4					
5					

Yazar tarafından oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisinde 16., 17., 18., 19., ve 21. sorular yer almamaktadır. Yapılan incelemeler sonucu bu soru gruplarında bilgiyi hatırlayamama kaynaklı risk faktörü değerlendirilmemiştir. 1. soru çok düşük riskli olarak değerlendirilmekte ve LNG tankının aşırı doldurulması konusunu ele alınmaktadır. 6., 11., 12., ve 13. sorular düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. 6. soruda LNG tank alanında yangın konusu incelenmiştir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru12 ise aynı evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki bilgiyi hatırlayamama

hatalarını değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 3., 4., 10., 14., 15. ve 20. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki bilgiyi hatırlayamama hatalarını incelemektedir. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 10. soruda bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise insan faktörü kaynaklı bilgiyi hatırlayamama hatası sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. Soru 20, havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. 2., 8., 9., ve 22. sorular çok yüksek riskli hatalar kategorisine dahil edilmiştir. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 9. soru bilgiyi hatırlayamama hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin insan kaynaklı seçim hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Katastrofik sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 5. ve 7. sorularda incelenmiştir. 5. Soru bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlalasılıdırında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte yazar tarafından oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı risk matris skoru 88 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.1.4 : Yazar tarafından oluşturulan seçim hataları risk matrisi

		ciddiyet				
olasılık		1	2	3	4	5
	1		6	11, 12	2, 4, 10, 13, 14,	5, 7, 8
	2		1		9	
	3					
	4					
	5					

Yazar tarafından oluşturulan seçim hataları risk matrisinde 3., 15., 16., 17., 18., 19., 20., 21. ve 22. sorular yer almamaktadır. Yapılan incelemeler sonucu bu soru gruplarında seçim hatası kaynaklı risk faktörü değerlendirilmemiştir. 6. soru çok düşük riskli seçim hatası kaynaklı soru grubuna dahil edilmiştir ve LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. 1., 11. ve 12. sorular düşük riskli hatalar kategorisine dahil edilmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında seçim hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise aynı evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki seçim hatalarını değerlendirmektedir. 2., 4., 10., 13. ve 14. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 10. soruda seçim hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 5., 7., 8. ve 9. sorularda incelenmiştir. 5. Soru seçim hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 9. soru seçim hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. Seçim hatası başlığı altında değerlendirilen sorular içinde katastrofik etki yaratabilecek bir soru bulunmamıştır ve seçim hatası kaynaklı risk matrisinin toplam skoru 55 olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.2.1.5 : Yazar tarafından oluşturulan kontrol hataları risk matris

olasılık	ciddiyet				
	1	2	3	4	5
1				10	
2			12	4, 15, 16, 17, 19, 22	5, 8, 21
3		6	11, 13, 18	3, 9, 14, 20	7
4		1		2	
5					

Yazar tarafından oluşturulan kontrol hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. 1. ve 6. sorulardaki kontrol hatası kaynaklı risklerin seviyesi düşük olarak değerlendirilmiştir. 1. soru tankın aşırı doldurulmasıyla ilgili olup 6. soru LNG tank alanında yangınla ilgilidir. 10., 11., 12., 13. ve 18. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. 10. Soruda kontrol hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise aynı evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki kontrol hatalarını değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 18. soruda evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu alınmaktadır. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 2., 3., 4., 9., 14., 15., 16., 17., 19., 20. ve 22. sorularda incelenmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki kontrol hatalarını incelemektedir. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 9. Soru kontrol hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise insan faktörü kaynaklı kontrol hatası sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin insan kontrol hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin insan kaynaklı kontrol hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Katastrofik sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 5., 7., 8., ve 21. sorularda incelenmiştir. 5. Soru kontrol hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. Soru 21 yakıt besleme devresine

destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. Değerlendirmelere istinaden yazar tarafından oluşturulan kontrol hatası kaynaklı risk matris skoru 208 olarak hesaplanmıştır.

5.2.2 Katılımcıların risk matrisleri

5.2.2.1 Çalışmaya katılan başmühendislerin risk matrisleri

Bu başlık altında çalışmaya katılan başmühendislerin verdikleri cevapların ortalama değerlerinden oluşturulmuş risk matrisleri açıklanacaktır.

Çizelge 5.2.2.1.1 : Başmühendislerin cevaplarıyla oluşturulan eylem hataları risk matrisi

olasılık	ciddiyet					
		1	2	3	4	5
1						
2				4, 11,12, 13, 14,18	1,3, 5, 7, 8, 10	6
3				9,15, 16,17,20	2, 19, 21, 22	
4						
5						

Çalışmaya katılan başmühendislerin verdiği cevaplarla oluşturulan eylem hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Çok düşük ve düşük risk değerlendirmesine sahip sorular bu tabloda yer almamaktadır. 4., 9., 11., 12., 13., 14., 15., 16., 17., 18., ve 20. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 9. Soru eylem hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise aynı evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki eylem hatalarını değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise insan faktörü kaynaklı eylem hatası sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları

değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 18. soruda evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu alınmaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 1., 2., 3., 5., 7., 8., 10., 19., 21. ve 22. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında eylem hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki eylem hatalarını incelemektedir. 5. Soru eylem hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. Soru 7’ de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8’de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 10. Soruda eylem hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin insan eylem hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin insan kaynaklı eylem hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. 6. Soru katastrofik etkileri olabilecek eylem hatası kaynaklı soru grubuna dahil edilmiştir ve LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmelere istinaden başmühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan eylem hatası kaynaklı risk matrisi skoru 187 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.1.2 : Başmühendislerin cevaplarıyla oluşturulan iletişim hataları risk matrisi

olasılık	ciddiyet				
	1	2	3	4	5
1			13, 14		
2		18	4,10, 11, 12, 15, 16, 17,19, 20	1,3, 5, 6, 7,8, 9, 21, 22	
3				2	
4					
5					

Çalışmaya katılan başmühendislerin verdiği cevaplarla oluşturulan iletişim hataları risk matrisinde bütün sorular yer olasalmaktadır. Çok düşük risk değerlendirmesine

sahip sorular bu tabloda yer almamaktadır. 13., 14., ve 18. sorular ise düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. 18. soruda ise evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu alınmaktadır. 4., 10., 11., 12., 15., 16., 17., 19. ve 20. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 10. Soruda iletişim hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise aynı evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki iletişim hatalarını değerlendirmektedir. Soru 15 ise insan faktörü kaynaklı iletişim hatası sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin iletişim hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 1., 2., 3., 5., 6., 7., 8., 9., 21. ve 22. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında iletişim hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki iletişim hatalarını incelemektedir. 5. Soru iletişim hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. 6. Soru LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 9. Soru iletişim hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin insan kaynaklı iletişim hatası sonucu

arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Bu başlık altında katastrofi etkisi olabilecek bir risk değerlendirilmemiştir. Değerlendirmelere istinaden başmühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan iletişim hatası kaynaklı risk matrisi skoru 148 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.1.3 : Başmühendislerin cevaplarıyla oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisi

	ciddiyet					
olasılık		1	2	3	4	5
	1			12, 13, 14	5	
	2		15, 18	4, 8, 10, 11, 16, 17, 20	1, 2, 3, 6, 7, 9, 19, 21, 22	
	3					
	4					
	5					

Çalışmaya katılan başmühendislerin verdiği cevaplarla oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Çok düşük risk değerlendirmesine sahip sorular bu tabloda yer almamaktadır. 12., 13., 14., 15., ve 18. Sorular ise düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Soru 12 ise aynı evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki bilgiyi hatırlayamama değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. 18. soruda ise evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu alınmaktadır. 4., 5., 8., 10., 11., 16., 17., ve 20. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. Soru 5 bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 10. Soruda bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu

oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 1., 2., 3., 6., 7., 9., 19., 21. ve 22. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki bilgiyi hatırlayamama hatalarını incelemektedir. 6. Soru LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. 9. Soru bilgiyi hatırlayamama hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin bilgiyi hatırlayamama hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin bilgiyi hatırlayamama hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Bu başlık altında katastrofi etkisi olabilecek bir risk değerlendirilmemiştir. Değerlendirmelere istinaden başmühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı risk matris skoru 135 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.1.4 : Başmühendislerin cevaplarıyla oluşturulan seçim hataları risk matris

olasılık	ciddiyet					
		1	2	3	4	5
1						
2			18	4,10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 19, 20, 21, 22	6
3						
4						
5						

Çalışmaya katılan başmühendislerin verdiği cevaplarla oluşturulan seçim hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Çok düşük risk değerlendirmesine sahip sorular bu tabloda yer almamaktadır. 18. Soru ise düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. 18. Soruda evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu

alınmaktadır. 4., 10., 11., 12., 13., 14., 15., 16., 17., ve 20. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 10. Soruda seçim hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise aynı evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki seçim hatalarını değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise seçim kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 1., 2., 3., 5., 7., 8., 9., 19., 20., 21. ve 22. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında seçim hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki seçim hatalarını incelemektedir. 5. Soruda seçim hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 9. Soru seçim hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin seçim hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin seçim hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. 6. Soru katastrofik etkileri olabilecek secim hatası kaynaklı soru grubuna dahil edilmiştir ve LNG tank odasında yangın çıkması durumu

olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmelere istinaden başmühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan seçim hatası kaynaklı risk matrisi skoru 156 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.1.5 : Başmühendislerin cevaplarıyla oluşturulan kontrol hataları risk matrisi

olasılık	ciddiyet					
		1	2	3	4	5
1						
2				4,11, 12,13, 14, 15,18	1,3, 5,7, 8,10,17,22	6,9
3				16,20	2,19,21	
4						
5						

Çalışmaya katılan başmühendislerin verdiği cevaplarla oluşturulan kontrol hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Çok düşük ve düşük risk değerlendirmesine sahip sorular bu tabloda yer almamaktadır. 4.,11., 12., 13., 14., 15., 16., 18., ve 20. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise aynı evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki seçim hatalarını değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise kontrol hatası kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 18. soruda ise evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu alınmaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek kontrol hataları 1., 2., 3., 5., 7., 8., 10., 17., 19., 21. ve 22. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında kontrol hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki kontrol hatalarını incelemektedir. 5.

Soruda kontrol hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. Soru 7’ de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8’de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 10. Soruda kontrol hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin kontrol hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin kontrol hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. 6. Ve 9. Sorular katastrofik etkileri olabilecek kontrol hatası kaynaklı soru grubuna dahil edilmiştir ve sırasıyla LNG tank odasında yangın çıkması durumu ve LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. Değerlendirmelere istinaden başmühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan kontrol hatası kaynaklı risk matrisi skoru 180 olarak hesaplanmıştır.

5.2.2.2 Çalışmaya katılan ikinci mühendislerin risk matrisleri

Bu başlık altında çalışmaya katılan ikinci mühendislerin verdikleri cevapların ortalama değerlerinden oluşturulmuş risk matrisleri açıklanacaktır.

Çizelge 5.2.2.2.1 : İkinci mühendislerin cevaplarıyla oluşturulan eylem hataları risk matrisi

	ciddiyet					
olasılık		1	2	3	4	5
1						
2				4, 9, 12	7,11,14, 15,16,20	3,6
3				10,18	5,8,13,17, 19,22	1, 2, 21
4						
5						

Çalışmaya katılan ikinci mühendislerin verdiği cevaplarla oluşturulan eylem hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Çok düşük ve düşük risk değerlendirmesine sahip sorular bu tabloda yer almamaktadır. 4., 9., 10., 12., ve 18.

sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 9. Soru eylem hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 10. Soruda eylem hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. Soru 12 ise basınçlandırma evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki eylem hatalarını değerlendirmektedir. 18. soruda evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu alınmaktadır. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 5., 7., 8., 11., 13., 14., 15., 16., 17., 19., 20. ve 22. sorularda incelenmiştir. 5. Soru eylem hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise eylem hatası kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin insan eylem hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin insan kaynaklı eylem hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. 1., 2., 3., 6. ve 21. Sorular katastrofik etkileri olabilecek eylem hatası kaynaklı soru grubuna dahil edilmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında eylem hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki eylem hatalarını incelemektedir. 6. Soru eylem hatası kaynaklı soru grubuna dahil edilmiş ve LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli

ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. Değerlendirmelere istinaden ikinci mühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan eylem hatası kaynaklı risk matrisi skoru 221 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.2.2 : İkinci mühendislerin cevaplarıyla oluşturulan iletişim hataları risk matrisi

olasılık	ciddiyet					
		1	2	3	4	5
1						
2				8, 9,11,15, 17,18, 19,20,	2,4, 5, 6, 7,13, 14,16,	
3				10,	1,3,12,21,22	
4						
5						

Çalışmaya katılan ikinci mühendislerin verdiği cevaplarla oluşturulan iletişim hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Çok düşük ve düşük risk değerlendirmesine sahip sorular bu tabloda yer almamaktadır. 8., 9., 10., 11., 15., 17., 18., 19., ve 20. Sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. Soru 8’de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. Soru 9 iletişim hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 10. Soruda iletişim hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 15 ise iletişim hatası kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 18. soruda ise evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu alınmaktadır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin iletişim hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 12., 13., 14., 16., 21., ve 22. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında iletişim hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki iletişim hatalarını incelemektedir. Soru

4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 5. Soru iletişim hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. 6. Soru LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 12 ise basınçlandırma evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki iletişim hatalarını değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin insan kaynaklı iletişim hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Bu başlık altında katastrofi etkisi olabilecek bir risk değerlendirilmemiştir. Değerlendirmelere istinaden ikinci mühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan iletişim hatası kaynaklı risk matrisi skoru 181 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.2.3 : İkinci mühendislerin cevaplarıyla oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisi

olasılık	ciddiyet				
	1	2	3	4	5
1					
2		9	4,10, 11,18,20	3,5, 6, 7,8,12, 13,14, 15, 16	
3			17,19	1, 2, 21, 22	
4					
5					

Çalışmaya katılan ikinci mühendisleri verdiği cevaplarla oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Çok düşük risk değerlendirmesine sahip sorular bu tabloda yer almamaktadır. 9. soru ise düşük riskli olarak değerlendirilmiştir ve bilgiyi hatırlayamama hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 4., 10., 11., 17., 18., 19., ve 20. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 10. Soruda bilgiyi hatırlayamama

hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 18. soruda ise evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu alınmaktadır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin bilgiyi hatırlayamama hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 1., 2., 3., 5., 6., 7., 8., 12., 13., 14., 15., 16., 21. ve 22. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki bilgiyi hatırlayamama hatalarını incelemektedir. Soru 5 bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. 6. Soru LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. Soru 12 ise basınçlandırma evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki bilgiyi hatırlayamama değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin bilgiyi hatırlayamama hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Bu başlık altında katastrofik etkisi olabilecek bir risk değerlendirilmemiştir. Değerlendirmelere istinaden ikinci mühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı risk matris skoru 180 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.2.4 : İkinci mühendislerin cevaplarıyla oluşturulan seçim hataları risk matrisi

olasılık	ciddiyet					
		1	2	3	4	5
1						
2			9, 10,	4,18,	3, 6, 7, 8,11,13, 14,15,	21,
3				12,17, 20,	1, 2,5,16, 19, 22	
4						
5						

Çalışmaya katılan ikinci mühendislerin verdiği cevaplarla oluşturulan seçim hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Çok düşük risk değerlendirmesine sahip sorular bu tabloda yer almamaktadır. 9. ve 10. Sorular ise düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. 9. Soru seçim hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 10. Soruda ise hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 4., 12., 17., 18., ve 20. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. Soru 12 ise basınçlandırma evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki seçim hatalarını değerlendirmektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 18. Soruda evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu alınmaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 1., 2., 3., 5., 6., 7., 8., 11., 13., 14., 15., 16., 19. ve 22. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında seçim hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki seçim hatalarını incelemektedir. 5. Soruda ise tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. 6. Soru LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün

fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise seçim kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin seçim hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin seçim hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Soru 21 ise katastrofik etkileri olan bir durum olarak değerlendirilmiş ve yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. Değerlendirmelere istinaden ikinci mühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan secim hatası kaynaklı risk matrisi skoru 193 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.2.5 : İkinci mühendislerin cevaplarıyla oluşturulan kontrol hataları risk matrisi

	ciddiyet					
olasılık		1	2	3	4	5
	1				8,	
	2			4,9, 10,12,18, 20	3,5, 6, 7,11, 13,14, 16, 21,22	
	3			17,19,	1, 2,15,	
	4					
	5					

Çalışmaya katılan ikinci mühendislerin verdiği cevaplarla oluşturulan kontrol hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Çok düşük ve düşük risk değerlendirmesine sahip sorular bu tabloda yer almamaktadır. 4., 8., 9., 10., 12., 17., 18., 19. ve 20. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 9. Soru kontrol hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 10. Soruda kontrol hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. Soru 12 ise basınçlandırma evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki seçim hatalarını değerlendirmektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine

hazırlanmıştır. 18. soruda ise evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanması konu alınmaktadır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin kontrol hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. Soruda ise havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek kontrol hataları 1., 2., 3., 5., 6., 7., 11., 13., 14., 15., 16., 21. ve 22. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında kontrol hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki kontrol hatalarını incelemektedir. 5. Soruda kontrol hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. 6. Soru LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise kontrol hatası kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin kontrol hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Bu başlık altında katastrofik etkisi olabilecek bir risk değerlendirilmemiştir. Değerlendirmelere istinaden ikinci mühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan kontrol hatası kaynaklı risk matris skoru 174 olarak hesaplanmıştır.

5.2.2.3 Çalışmaya katılan vardiya mühendislerinin risk matrisleri

Bu başlık altında çalışmaya katılan vardiya mühendislerinin verdikleri cevapların ortalama değerlerinden oluşturulmuş risk matrisleri açıklanacaktır.

Çizelge 5.2.2.3.1 : Vardiya mühendislerinin cevaplarıyla oluşturulan eylem hataları risk matrisi

olasılık	ciddiyet					
		1	2	3	4	5
1	18					
2			4, 11, 12, 13, 14, 15	1,10,16		
3				22	3,5,6,7,8, 17, 19, 20	
4				9	2,21	
5						

Çalışmaya katılan vardiya mühendislerinin verdiği cevaplarla oluşturulan eylem hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Soru 18 çok düşük risk değerlendirmesine sahiptir ve evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanmasını konu alınmaktadır. 4., 11., 12., 13., 14., ve 15. Sorular düşük risk değerlendirmesine sahip sorular grubunda yer almaktadır. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise basınçlandırma evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki eylem hatalarını değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise eylem hatası kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. 1., 9., 10., 16., ve 22. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında eylem hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 9. Soru eylem hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 10. Soruda ise hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin insan kaynaklı eylem hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 2., 3., 5., 6., 7., 8., 17., 19., 20. ve 21. sorularda incelenmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki eylem hatalarını incelemektedir. 5. Soru eylem hatası kaynaklı tanktan

LNG sızması durumunu ele almaktadır. 6. Soru ise LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 7’ de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8’de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin insan eylem hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. Bu başlık altında katastrofi etkisi olabilecek bir risk değerlendirilmemiştir. Değerlendirmelere istinaden vardiya mühendislerinin cevapları doğrultusunda oluşturulan eylem hatası kaynaklı risk matrisi skoru 192 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.3.2 : Vardiya mühendislerinin cevaplarıyla oluşturulan iletişim hataları risk matrisi

olasılık	ciddiyet					
		1	2	3	4	5
1	18					
2			11, 12, 13, 14, 15	4,10, 16		
3				22	3, 5,6,7,8,17, 19, 20,21	
4				9,	1,	2
5						

Çalışmaya katılan vardiya mühendislerinin verdiği cevaplarla oluşturulan iletişim hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Soru 18 çok düşük risk değerlendirmesine sahiptir ve evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanmasını konu alınmaktadır. 11., 12., 13., 14., ve 15. Sorular düşük risk değerlendirmesine sahip sorular grubunda yer almaktadır. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise basınçlandırma evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki iletişim hatalarını değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf

bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise iletişim hatası kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. 4., 9., 10., 16., ve 22. Sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 9. Soru iletişim hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 10. Soruda ise hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin insan kaynaklı iletişim hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 1., 3., 5., 6., 7., 8., 17., 19., 20., ve 21. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında iletişim hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki iletişim hatalarını incelemektedir. 5. Soru ise tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. 6. Soru LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin iletişim hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir ve bu başlık altında katastrofik etkisi olabilecek bir hata olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmelere istinaden vardiya mühendislerinin cevapları doğrultusunda oluşturulan iletişim hatası kaynaklı risk matris skoru 204 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.3.3 : Vardiya mühendislerinin cevaplarıyla oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisi

olasılık	ciddiyet					
		1	2	3	4	5
1	18	15				
2		4, 11, 12, 13, 14, 16	10			
3			22	2,3,5,6,7,8,17,19,20		
4			9	1,21		
5						

Çalışmaya katılan vardiya mühendislerinin verdiği cevaplarla oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. 15., ve 18. Sorular çok düşük risk değerlendirmesine sahiptir ve sırasıyla gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi ve evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanmasını konu alınmaktadır. 4., 11., 12., 13., 14., ve 16. Sorular düşük risk değerlendirmesine sahip sorular grubunda yer almaktadır. Soru 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise basınçlandırma evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki bilgiyi hatırlayamama değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 9., 10., ve 22. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. 9. Soru bilgiyi hatırlayamama hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. 10. Soruda ise hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin bilgiyi hatırlayamama hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 1., 2., 3., 5., 6., 7., 8., 17., 19., 20. ve 21. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki bilgiyi hatırlayamama hatalarını incelemektedir. Soru 5 ise tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. 6. Soru LNG tank odasında yangın

çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 7’ de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8’de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin bilgiyi hatırlayamama hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. Bu başlık altında katastrofik etkisi olabilecek bir risk değerlendirilmemiştir. Değerlendirmelere istinaden vardiya mühendislerinin cevapları doğrultusunda oluşturulan bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı risk matrisi skoru 194 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.3.4 : Vardiya mühendislerinin cevaplarıyla oluşturulan seçim hataları risk matrisi

olasılık	ciddiyet					
		1	2	3	4	5
1	18					
2			4,11,12, 13,14, 15	10, 16		
3				22	2,5,6,7,8, 17, 19, 20, 21	
4				9	1,3	
5						

Çalışmaya katılan vardiya mühendislerinin verdiği cevaplarla oluşturulan seçim hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Soru 18 çok düşük risk değerlendirmesine sahiptir ve evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanmasını konu alınmaktadır. 4., 11., 12., 13., 14., ve 15. Sorular düşük risk değerlendirmesine sahip sorular grubunda yer almaktadır. Soru 4’te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise basınçlandırma evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki seçim hatalarını değerlendirmektedir. 13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise seçim kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun

sonuçları tartışılmaktadır. 9., 10., 16., ve 22. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. 9. Soru seçim hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçağı durumunu konu almaktadır. 10. Soruda ise hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin seçim hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek durumlar 1., 2., 3., 5., 6., 7., 8., 17., 19., 20., ve 21. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında seçim hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki seçim hatalarını incelemektedir. 5. Soruda ise tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. 6. Soru LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 7' de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8'de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin seçim hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. soruda havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. Soru 21 ise yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. Bu başlık altında katastrofik etkisi olabilecek bir risk değerlendirilmemiştir. Değerlendirmelere istinaden ikinci mühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan seçim hatası kaynaklı risk matris skoru 198 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2.2.3.5 : Vardiya mühendislerinin cevaplarıyla oluşturulan kontrol hataları risk matrisi

		ciddiyet				
olasılık		1	2	3	4	5
	1	18				
	2		4, 11, 12, 13, 14, 15	9, 16	10	
	3				2,3,5,6,7, 8, 19, 20, 22	
	4			21	1, 17	
	5					

Çalışmaya katılan vardiya mühendislerinin verdiği cevaplarla oluşturulan kontrol hataları risk matrisinde bütün sorular yer almaktadır. Soru 18 çok düşük risk değerlendirmesine sahiptir ve evaporatörleri ısıtan sisteminin arızalanmasını konu almaktadır. 4., 11., 12., 13., 14., ve 15. Sorular düşük risk değerlendirmesine sahip sorular grubunda yer almaktadır. 4'te havalandırma sisteminde bulunan vakum kırıcı tapanın arızalanması durumu ele alınmaktadır. 11. soruda tank içi basınç üreten evaporatörün fazla çalışması durumu incelenmiştir. Soru 12 ise basınçlandırma evaporatörün yetersiz çalışması durumundaki seçim hatalarını değerlendirmektedir.

13. soruda ana makineye ve yakıt tüketicilerine gaz yakıt sağlanmasından sorumlu evaporatörün fazla çalışması durumunun sonuçları değerlendirilmektedir. 14. soruda gaz valf bloğunda oluşabilecek arızalar değerlendirilmiştir. Soru 15 ise kontrol hatası kaynaklı sebeplerden gaz filtresinin görevinin yerine getirememesi durumunun sonuçları tartışılmaktadır. 9., 16. ve 21. sorular yüksek riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilecek sorular olarak değerlendirilmektedir. 9. Soru kontrol hatası sebebiyle LNG tankının havalandırma sisteminden gaz kaçması durumunu konu almaktadır. Soru 16 gaz valf bloğunda yer alan blok valflerin arızalanması durumunu irdelemektedir. Soru 21 yakıt besleme devresine destek grupta bulunan gaz ve yangın tespit sisteminin yeterli ve gerekli çalışmaması durumunu incelemektedir. Çok yüksek riskli sonuçlara sebebiyet verebilecek kontrol hataları 1., 2., 3., 5., 6., 7., 8., 10., 17., 19., 20. ve 22. sorularda incelenmiştir. 1. soruda LNG tankının aşırı doldurulmasında kontrol hatası kaynaklı durumlar değerlendirilmiştir. 2. soru LNG devresindeki yüksek basınç oluşmasıyla ilgilidir. Soru 3 yakıt odası sızdırmaz kompartmanlar arası gaz kaçağı durumundaki kontrol hatalarını incelemektedir. 5. Soruda kontrol hatası kaynaklı tanktan LNG sızması durumunu ele almaktadır. 6.

Soru LNG tank odasında yangın çıkması durumu olarak değerlendirilmiştir. Soru 7’ de LNG tank bölmesinin bitişik alanlarında yangın çıkması durumu olarak belirlenmiştir. Soru 8’de tank bağlantıları arası LNG sızması durumu değerlendirilmektedir. 10. Soruda kontrol hatası kaynaklı hava kilitli alanlara yahut geminin diğer bölmelerine gaz kaçağı durumu irdelenmektedir. 17. soru gaz basınç kontrol valfinin arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçları değerlendirmek üzerine hazırlanmıştır. 19. soru yardımcı bir sistem olarak değerlendirilen nitrojen sisteminin kontrol hatası sonucu gerekli görevleri yerine getirememesi durumunun ciddiyetini ele almaktadır. 20. Soruda ise havalandırma sisteminin yeterli ve gerekli şekilde çalışmaması sonucunda oluşabilecek durumlar değerlendirilmiştir. 22. soruda yakıt besleme sistemine yardımcı bir sistem olan otomasyon sisteminin kontrol hatası sonucu arızalanması sonucu oluşabilecek sonuçlar değerlendirilmektedir. Bu başlık altında katastrofik etkisi olabilecek bir risk değerlendirilmemiştir. Değerlendirmelere istinaden ikinci mühendislerin cevapları doğrultusunda oluşturulan kontrol hatası kaynaklı risk matris skoru 197 olarak hesaplanmıştır.

5.3 Emniyet Kültürü Ölçeği Değerlendirilmesi

Bu çalışmada ABS tarafından geliştirilen emniyet kültürü ölçeği kullanılmıştır. Ölçeğin gemide çalışan personel için geliştirilmiş olan A, B ve C başlıklı soruları bu çalışmaya dahil edilmiştir.

Çizelge 5.3.1 : Emniyet kültürü skorları betimsel istatistik tablosu

		Betimleyici İstatistikler			
	Sayı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Deviasyon
emniyet_total	13	115	187	164.77	19.132
Geçerli sayı	13				

187 olarak belirlenmiştir. Ölçeğe verilen cevapların tanımlayıcı tablosu dikkate alındığında ortalama değer 164.77 olduğu görülmektedir. Ortalama değerlerden daha düşük veren personelin ulusal sularda Türk mürettebatla çalıştığı gözlenmiştir. Ortalama değerden daha yüksek cevap veren personelin ise Değerlendirmeler sonucunda en düşük emniyet ölçeği skoru 115, en yüksek skor ise çalıştığı şirket türünün uluslararası sularda yabancı mürettebatla operasyon yaptığı gözlemlenmiştir. Emniyet kültürü ölçeğine ortalama değerden daha yüksek cevap veren katılımcı grubunda başmühendislerin çoğunlukta olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.3.2 : Emniyet kültürü ölçeğine verilen cevapların ortalama değerleri.

Soru 1:	4.6	Soru 11:	3.9	Soru 21:	4.2	Soru 31:	4.3
Soru 2:	3.3	Soru 12:	4.3.3	Soru 22:	4	Soru 32:	3.9
Soru 3:	4	Soru 13:	4.2	Soru 23:	4.1	Soru 33:	4
Soru 4:	4.6	Soru 14:	4.2	Soru 24:	4.1	Soru 34:	4.3
Soru 5:	4.4	Soru 15:	4.4	Soru 25:	3.7	Soru 35:	4.2
Soru 6:	3.63.6	Soru 16:	4.5	Soru 26:	4	Soru 36:	4.2
Soru 7:	3.6	Soru 17:	3.6	Soru 27:	4.2	Soru 37:	4.1
Soru 8:	3.9	Soru 18:	4.1	Soru 28:	4.3	Soru 38:	4.2
Soru 9:	3.2	Soru 19:	4	Soru 29:	4	Soru 39:	4.3
Soru 10:	3.1	Soru 20:	4	Soru 30:	4.4	Soru 40:	4.4

Yukarıda verilen tabloda emniyet kültürü ölçeğine soru bazında verilen cevapların 2 uluslu mürettebatta dil farklılıkları güvenlik açısından bir tehdit oluşturmaz.” yargısı değerlendirilmiştir ve 3.2 ortalama ile en düşük cevap ortalamalarından biri 9. Soruda gözlemlenmiştir. Soru 10 “Farklı kültürlerden gelen mürettebat üyelerinin performansları arasında bir fark bulunmamaktadır.” olgusunun değerlendirilmesidir ve cevap ortalaması en düşük soru bu sorudur. 17. Soruda mürettebatın çalışma/dinlenme döngüsüne uymasının beklentisi ölçülmüştür ve 3.6 ortalama skorla düşük ortalamalardan birisi de bu soruda gözlemlenmiştir. 25. Soru şirketin anonim raporlama sistemiyle ilgilidir ve katılımcıların bu soruya verdikleri cevap ortalaması 3.7 olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.3.3 : Katılımcıların demografik özelliklerinin betimsel istatistik tablosu

Betimleyici İstatistik Tablosu					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Yaş	13	1	4	2.00	1.080
Cinsiyet	13	0	0	.00	.000
Medeni durum	13	0	1	.54	.519
Çocuk sahibi olma	13	0	1	.46	.519
Eğitim seviyesi	13	1	3	2.08	.494
rütbe	13	1	3	2.31	.855
LNG sertifikası	13	0	1	.92	.277
Aylık gelir	13	0	5	3.69	1.548
Şirket türü	13	0	3	1.23	.832
Valid N (listwise)	13				

Yukarıdaki tabloda katılımcıların demografik özellikleri gösterilmektedir. Bu çalışmaya 13 Türk denizci katılmış olup katılımcıların yaş ortalaması 32-38 arasındadır. Katılımcıların tamamı erkektir. Katılımcıların çoğunluğu evlidir fakat çoğunluğun çocuğu bulunmamaktadır. Katılımcı popülasyonunun büyük çoğunluğu lisans mezunudur. Neredeyse bütün katılımcılar LNG yakıtlı bir gemiye katılmadan önce ilgili sertifikaları alıklarını beyan etmişlerdir. Katılımcıların büyük bir çoğunluğunun maaşları 6.000-10.000 dolar arasındadır. Geneli ise uluslararası şirketlerde yabancı mürettebatla çalışmaktadır.

Çizelge 5.3.4 : Korelasyon tablosu.

Korelasyon Tablosu								
Yaş	Pearson Correlation	Yaş	Çocuk Medeni durumu	Çocuk sahibi olma	Eğitim seviyesi	rütbe	Emniyet_total	Sherpa_total
		1	.743**	.892**	.313	.632*	.464	-.623*
	Sig. (2-tailed)		.004	<.001	.298	.021	.110	.023
	N	13	13	13	13	13	13	13
Medeni durum	Pearson Correlation	.743**	1	.857**	.150	.723**	.324	-.469
	Sig. (2-tailed)	.004		<.001	.624	.005	.280	.106
	N	13	13	13	13	13	13	13
Çocuk sahibi olma	Pearson Correlation	.892**	.857**	1	.501	.593*	.423	-.572*
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001		.081	.033	.150	.041
	N	13	13	13	13	13	13	13
Eğitim seviyesi	Pearson Correlation	.313	.150	.501	1	.137	.382	-.194
	Sig. (2-tailed)	.298	.624	.081		.656	.198	.525
	N	13	13	13	13	13	13	13
rütbe	Pearson Correlation	.632*	.723**	.593*	.137	1	.443	-.504
	Sig. (2-tailed)	.021	.005	.033	.656		.130	.079
	N	13	13	13	13	13	13	13
Emniyet_total	Pearson Correlation	.464	.324	.423	.382	.443	1	-.340
	Sig. (2-tailed)	.110	.280	.150	.198	.130		.256
	N	13	13	13	13	13	13	13
Sherpa_total	Pearson Correlation	-.623*	-.469	-.572*	-.194	-.504	-.340	1
	Sig. (2-tailed)	.023	.106	.041	.525	.079	.256	
	N	13	13	13	13	13	13	13

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

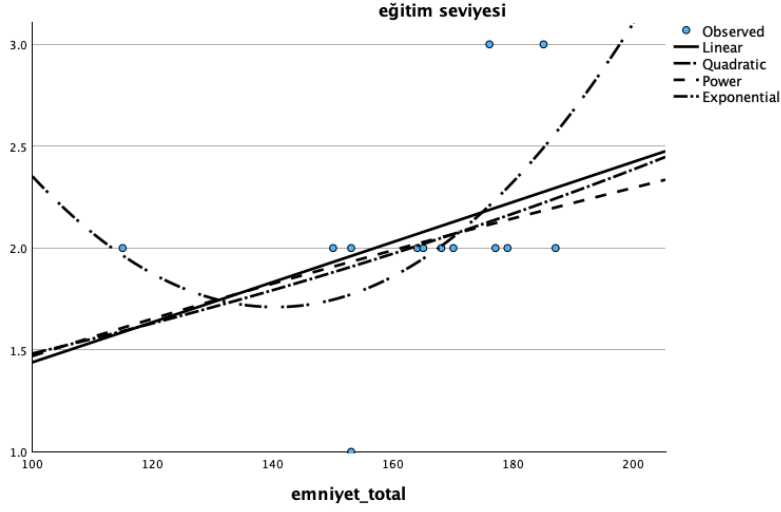
Korelasyon tablosu katılımcıların demografik özellikleri ile risk değerlendirme ve emniyet kültürü skorları arasında anlamlı ilişkiler olup olmadığını gözlemlemek üzere hazırlanmıştır. Katılımcıların yaşları, medeni durumları ve çocuk sahibi olmaları arasında anlamlı ve ciddi bir ilişki gözlenmiştir, katılımcıların yaşları arttıkça evli olma ve çocuk sahibi olma olasılıkları artmaktadır. Beklendiği üzere yaş ve rütbe arasında da anlamlı bir ilişki görülmektedir. SHERPA risk skorunun da yaş kriteri ile negatif anlamlı ve güçlü bir ilişki içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla daha genç katılımcıların risk değerlendirmelerinde daha yüksek değerler aldığı gözlemlenmiştir. Çocuk sahibi olan katılımcıların ise risk matrislerini toplam skorlarının daha düşük olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 5.3.5 : Korelasyon tablosu.

Korelasyon Tablosu					
		Emniyet_total	sherpa_total	Aylık gelir	Şirket türü
safety_total	Pearson Correlation	1	-.340	.526	-.211
	Sig. (2-tailed)		.256	.065	.489
	N	13	13	13	13
sherpa_total	Pearson Correlation	-.340	1	-.488	-.018
	Sig. (2-tailed)	.256		.091	.953
	N	13	13	13	13
Aylık gelir	Pearson Correlation	.526	-.488	1	.189
	Sig. (2-tailed)	.065	.091		.536
	N	13	13	13	13
Şirket türü	Pearson Correlation	-.211	-.018	.189	1
	Sig. (2-tailed)	.489	.953	.536	
	N	13	13	13	13

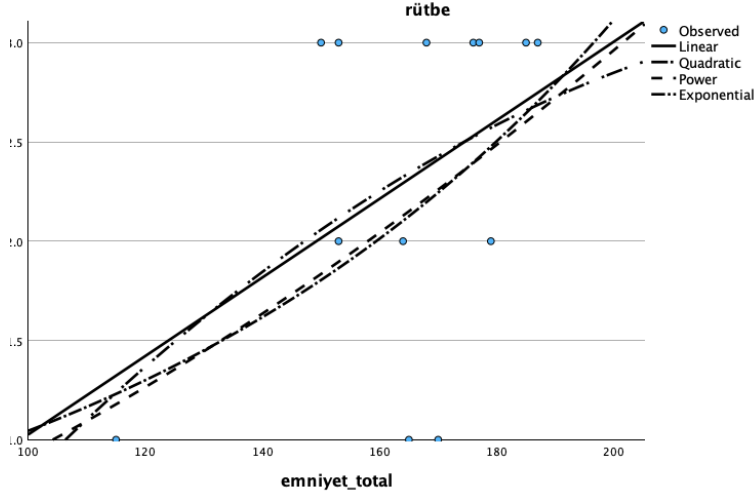
Yukarıdaki tabloda risk matris skoru ve emniyet kültürü ölçek skorlarının aylık gelir ve çalışıla şirket türü ile ilişkileri incelenmiştir. Korelasyon analizi sonuçlarına göre şirket türü ve aylık gelir seviyelerinin emniyet kültürü ölçeği skoru ve risk matris skoru ile anlamlı ilişkiler kurmadığı gözlemlenmiştir.

Şekil 5.3.1 : Eğitim seviyesi ve emniyet kültürü ölçeği regresyon grafiği



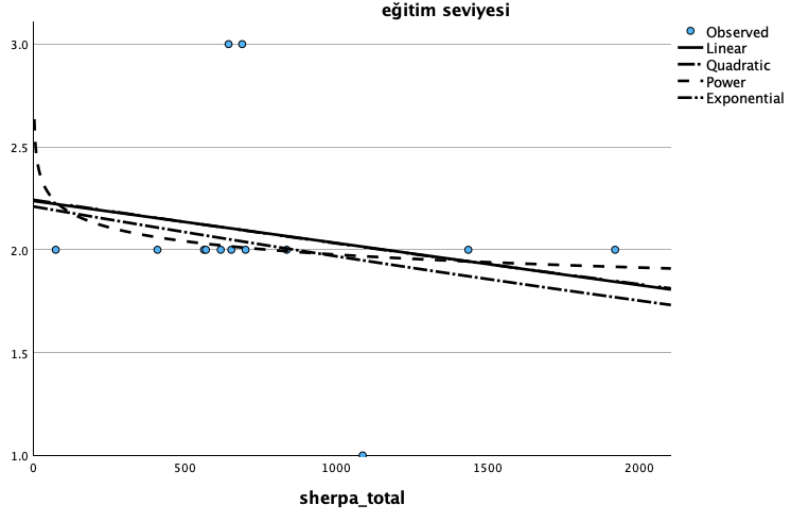
Şekil 5.3.1’de eğitim seviyesinin emniyet kültürü ölçeği skoruna etkisi regresyon analizi ile incelenmektedir. Grafiksel inceleme yapılırken farklı modelleme yöntemlerinden yararlanılmıştır ve bu yöntemler doğrusal, ikinci dereceden, güç ve üstel modelleme yöntemleridir. Tüm modelleme yöntemlerinde katılımcının eğitim seviyesi yükseldikçe emniyet kültürü ölçeğini skorunun da yükseldiği gözlemlenmiştir.

Şekil 5.3.2 : Katılımcının rütbesi ve emniyet kültürü ölçeği regresyon grafiği



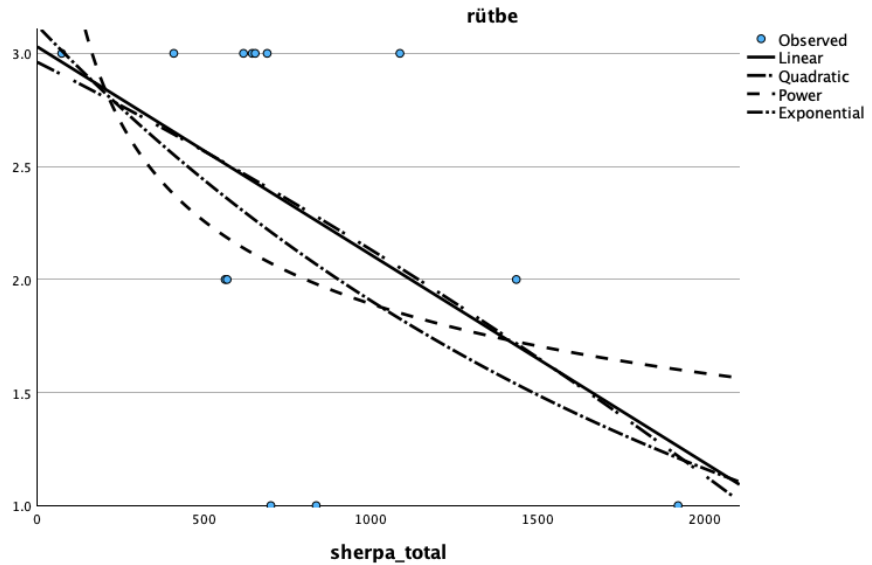
Şekil 5.3.2’de katılımcının rütbesinin emniyet kültürü ölçeği skoruna etkisi regresyon analizi ile incelenmektedir. Grafiksel inceleme yapılırken farklı modelleme yöntemlerinden yararlanılmıştır ve bu yöntemler doğrusal, ikinci dereceden, güç ve üstel modelleme yöntemleridir. Tüm modelleme yöntemlerinde katılımcının rütbesi yükseldikçe emniyet kültürü ölçeğini skorunun da yükseldiği gözlemlenmiştir.

Şekil 5.3.3 : Katılımcının eğitim seviyesi ve risk skoru regresyon grafiği



Şekil 5.3.3’de eğitim seviyesinin katılımcıların risk skoruna etkisi regresyon analizi ile incelenmektedir. Grafiksel inceleme yapılırken farklı modelleme yöntemlerinden yararlanılmıştır ve bu yöntemler doğrusal, ikinci dereceden, güç ve üstel modelleme yöntemleridir. Tüm modelleme yöntemlerinde eğitim seviyesi azaldıkça risk skorunun da azaldığı gözlemlenmiştir fakat bazı modelleme yöntemlerinde sınırlı bir düşüş trendi gözlemlenmektedir.

Şekil 5.3.4 : Katılımcının rütbesi ve risk skoru regresyon grafiği



Şekil 5.3.4’de katılımcıların rütbealarının risk skoruna etkisi regresyon analizi ile incelenmektedir. Grafiksel inceleme yapılırken farklı modelleme yöntemlerinden yararlanılmıştır ve bu yöntemler doğrusal, ikinci dereceden, güç ve üstel modelleme

yöntemleridir. Tüm modelleme yöntemlerinde rütbe azaldıkça risk skorunun da drastik bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.



6. TARTIŞMA

SHERPA yöntemi izlenilerek oluşturulan risk matrislerinde yazar tarafından uzmanlarla beyin fırtınası yöntem ve gemi projelerine istinaden oluşturulan matris ile katılımcıların rütbeleri arasında ciddi farklılıklar gözlenmiştir. Eylem hataları yazar tarafından 130 puanlık bir seviyede değerlendirilirken başmühendislerce 187, ikinci mühendislerce 221 ve vardiya mühendislerince 192 puan olarak değerlendirilmiştir. Eylem hataları matrisinde 1. Sorudan kaynaklanan farklılıklar şu şekildedir; bu soru yaza tarafından düşük riskli, başmühendisler tarafından çok yüksek riskli, 2. Mühendisler tarafından katastrofik derecede riskli ve vardiya mühendisleri tarafından ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. LNG tankının aşırı doldurmasının ciddi risk olarak değerlendirilmemesinin sebebi sistem üzerinde hem mekanik hem otomasyonlu kontrol mekanizmalarının bulunmasıdır. Tankta aşırı doldurma olduğu zaman öncelikle otomasyon sistemi devreye girecek ve tankta bulunan LNG'yi boşaltacak, otomasyon sistem devreye girmezse mekanik yaylı acil durum tahliye valfleri devreye girecek ve atmosfere LNG salınımı olacaktır. 2 . soru yazar, başmühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi, ikinci mühendisler tarafından katastrofik olarak değerlendirilmiştir. Bu durum un sebebi, LNG devresindeki aşırı basıncın sistem bileşenlerine zara vererek kapalı mahale sızıntı yapabilecek olması ve personel yaralanmasına sebebiyet verebilecek oluşudur. 3. Soru yaza tarafından ciddi riskli, başmühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi riskli ve ikinci mühendisler tarafından katastrofik etkili olarak değerlendirilmiştir. Tanklar arasındaki boşluklar LNG sızıntısı durumu yazar tarafından ciddi riskli değerlendirilmesinin sebebi bu hata kategorisinde insan hatası ve eylem hatası etkisi oldukça azdır. 4. Soru yazar, bahmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından ciddi riskli fakat vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun ciddi riskli eylem hatası olarak değerlendirilmesinin sebebi sistemdeki eylem hatası kaynaklı aşırı basıncın bu hatanın ortaya çıkmasında etkili oluşudur. 5. Soru tüm katılımcılar ve yazar tarafından çok ciddi bir eylem hatası türü olarak değerlendirilmiştir. 6. Soru yazar tarafından düşük riskli, başmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından katastrofik, vardiya mühendisleri

tarafından ise çok ciddi bir eylem hatası olarak değerlendirilmiştir. Yazar tarafından düşük riskli olarak değerlendirilmesinin nedeni tank bölmesinde yangın çıkması durumunda insan eylem hatası etkisinin düşük olması ve bu alanın otomasyonlu ve mekanik pek çok sistemle yangına karşı korunuyor olmasıdır. 7. Soru yazar tarafından katastrofik; başmühendisler, ikinci mühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi eylem hatası olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebepleri LNG yakıt odasında bitişik bölmelerde çıkan yangınların hızla tüm devreleri ve diğer gemi bileşenlerini etkileyerek geminin batmasına kadar gidebilecek risklere sebebiyet vermesidir. 8. Soru tüm katılımcılar ve yazar tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Tank bağlantıları arası LNG sızıntısı durumunda eylem hatası az olsa da sonuçların ciddiyetinden dolayı böyle bir değerlendirme yapılmıştır. Soru 9 katılımcılar tarafından ciddi bir risk olarak değerlendirilirken yazar tarafından çok ciddi bir risk olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi LNG'nin havalandırmadan kaçmasının ciddi çevresel hasarlara, yangın ve patlama riskine ve personel yaralanmasına yol açabilecek oluşudur. Soru 10 yazar, ikinci mühendisler ve vardiya mühendislerince ciddi bir risk olarak değerlendirilirken baş mühendisler tarafından çok ciddi risk olarak değerlendirilmiştir. Her ne kadar bu durum personel yaralanması ve yangın gibi durumlara sebebiyet verebilecek olsa da yedekli sistemlerle önlemler alınmış olması riskin ciddiyetini düşürmektedir. 11. Soru yazar ve başmühendisler tarafından ciddi riskli, ikinci mühendisler tarafından çok ciddi riskli ve vardiya mühendisleri tarafından ise düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Yazar tarafından basınçlandırma evaporatörünün fazla çalışmasının ciddi riskli olarak değerlendirilme sebebi tank içi fazla basınçtan dolayı atmosfere LNG salınmasına ve personel yaralanmasına sebebiyet verebilecek oluşudur. Soru 12 vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilirken, diğer katılımcılar ve yazar tarafından ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi basınçlandırma evaporatörünün yetersiz çalışmasında eylem hatasının yüksek olması ve bu durumun tank içinde vakum etkisi yaratarak fiziksel hasara sebebiyet verebilecek olmasıdır. 13. Soru yazar ve başmühendisler tarafından ciddi, ikinci mühendisler tarafından çok ciddi fakat vardiya mühendisler tarafından düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Gaz sağlayıcı evaporatörün fazla çalışmasında eylem hatası oranının yüksek olması ve bu duru sonucu havalandırmadan LNG atılabilmesi durumu bu riskin ciddi olarak değerlendirilmesine sebebiyet vermiştir. 14. Soru yazar ve ikinci mühendisler tarafından çok ciddi, başmühendisler tarafından ciddi

fakat vardiya mühendisleri tarafından düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Yakıt tüketicilerine gaz sağlayan evaporatörün yetersiz çalışması yakıt sağlanamama durumuna sebebiyet verip makineyi tahrik gücünden yoksun bırakabileceğinden çok ciddi bir durum olarak değerlendirilmiştir. 15. Soru yazar ve başmühendisler tarafından ciddi, ikinci mühendisler tarafından çok ciddi fakat vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin sebebi gaz yakıt filtresinin arızası sonucu yakıt besleme şeması aksayacak olsa da bu durumdaki eylem hatası faktörü oldukça sınırlıdır. Soru 16 yazar, başmühendisler ve vardiya mühendislerince ciddi fakat ikinci mühendislerce çok ciddi bir risk olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi blok valfin arızalanmasının ciddi sonuçlar doğurabilecek olması fakat burada eylem hatası faktörünün sınırlı olmasıdır. 17. Soru başmühendislerce ciddi, diğer katılımcılar ve yazar tarafından ise çok ciddi bir risk olarak değerlendirilmiştir. Gaz basınç kontrol valfinin arızalanmasında eylem hatası az olsa mevcut olup bu hata sonucunda fiziksel hasarlar ve yaralanmalara sebebiyet verilebilir. Soru 18 vardiya mühendislerince çok düşük riskli, yazar tarafından düşük riskli fakat başmühendisler ve ikinci mühendislerce ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Evaporatörleri ısıtan sistemin arızasında eylem hatasının sınırlı olması riskin düşük olarak değerlendirilmesine sebebiyet vermiştir. 19. Soru yazar tarafından ciddi, katılımcılar tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi nitrojen sisteminin arızalanmasında eylem hatası oranının düşük olmasıdır. 20. Soru başmühendislerce ciddi, diğer katılımcılar ve yazar tarafından çok ciddi olarak değerlendirilmiştir. Havalandırma sisteminin arızası gaz yakıtın geminin farklı yerlerine sızmasına ve yangın, patlama ve yaralanma gibi risklere sebebiyet verebilmektedir. Soru 21 ikinci mühendislerce katastrofik, yazar ve diğer katılımcılar tarafından ise çok ciddi bir risk olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi gaz ve yangın sisteminin çalışmaması sonucu gemide batmaya kadar gidebilecek durumlar olmasıdır fakat bu sistemde hatası oranı düşüktür. 22. Soru yazar, başmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilirken vardiya mühendislerince ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin temel sebebi otomasyon sistemi arızalarının gemide pek çok farklı bileşen etkileyerek karmaşık riskler doğurabilecek olmasıdır.

İletişim hataları yazar tarafından 68 puanlık bir seviyede değerlendirilirken başmühendislerce 148, ikinci mühendislerce 181 ve vardiya mühendislerince 204

puan olarak değerlendirilmiştir. İletişim hataları matrisinde 1. Sorudan kaynaklanan farklılıklar şu şekildedir; bu soru yaza tarafından düşük riskli, diğer katılımcılar tarafından ise çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. LNG tankının aşırı doldurmasının ciddi risk olarak değerlendirilmemesinin sebebi sistem üzerinde hem mekanik hem otomasyonlu kontrol mekanizmalarının bulunmasıdır. Tankta aşırı doldurma olduğu zaman öncelikle otomasyon sistemi devreye girecek ve tankta bulunan LNG'yi boşaltacak, otomasyon sistem devreye girmezse mekanik yaylı acil durum tahliye valfleri devreye girecek ve atmosfere LNG salınımı olacaktır ve bu süreçlerde iletişim faktörü sınırlıdır. 2 . soru yazar, başmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından çok ciddi, vardiya mühendisleri tarafından katastrofik olarak değerlendirilmiştir. Bu durum un sebebi, LNG devresindeki aşırı basıncın sistem bileşenlerine zara vererek kapalı mahale sızıntı yapabilecek olması ve personel yaralanmasına sebebiyet verebilecek oluşudur. 3. Soru yaza tarafından ciddi riskli, başmühendisler, vardiya mühendisleri ve ikinci mühendisler tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Tanklar arasındaki boşluklar LNG sızıntısı durumu yazar tarafından ciddi riskli değerlendirilmesinin sebebi bu hata kategorisinde insan hatası ve iletişim hatası etkisinin oldukça az olmasıdır. 4. Soru yazar, başmühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından ciddi riskli fakat ikinci mühendislerince çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun ciddi riskli iletişim hatası olarak değerlendirilmesinin sebebi sistemdeki iletişim hatası kaynaklı aşırı basıncın bu hatanın ortaya çıkmasında etkili oluşudur. 5. Soru tüm katılımcılar ve yazar tarafından çok ciddi bir iletişim hatası türü olarak değerlendirilmiştir. 6. Soru yazar tarafından çok düşük riskli, başmühendisler, ikinci mühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından ise çok ciddi bir iletişim hatası olarak değerlendirilmiştir. Yazar tarafından çok düşük riskli olarak değerlendirilmesinin nedeni tank bölmesinde yangın çıkması durumunda iletişim hatası etkisinin düşük olması ve bu alanın otomasyonlu ve mekanik pek çok sistemle yangına karşı korunuyor olmasıdır. 7. Soru yazar ve tüm katılımcılar tarafından çok ciddi iletişim hatası olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebepleri LNG yakıt odasında bitişik bölmelerde çıkan yangınların hızla tüm devreleri ve diğer gemi bileşenlerini etkileyerek geminin batmasına kadar gidebilecek risklere sebebiyet vermesidir. 8. Soru ikinci mühendislerce ciddi, diğer katılımcılar ve yazar tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Tank bağlantıları arası LNG sızıntısı durumunda iletişim hatası az olsa da sonuçların ciddiyetinden dolayı böyle bir değerlendirme yapılmıştır. Soru

9 yaza ve başmühendislerce çok ciddi, ikinci mühendis ve vardiya mühendislerince ciddi bir risk olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi LNG'nin havalandırmadan kaçmasının ciddi çevresel hasarlara, yangın ve patlama riskine ve personel yaralanmasına yol açabilecek oluşudur. Soru 10 yazar ve tüm katılımcılar tarafından ciddi risk olarak değerlendirilmiştir. Her ne kadar bu durum personel yaralanması ve yangın gibi durumlara sebebiyet verebilecek olsa da yedekli sistemlerle önlemler alınmış olması riskin ciddiyetini düşürmektedir. 11. Soru yazar ve vardiya mühendisleri tarafından düşük riskli, ikinci mühendisler ve başmühendislerce ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Yazar tarafından basınçlandırma evaporatörünün fazla çalışmasının düşük riskli olarak değerlendirilme sebebi buradaki iletişim hatası faktörünün az olmasıdır. Soru 12 yazar ve vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilirken, başmühendislerce ciddi fakat ikinci mühendislerce çok ciddi risk olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi basınçlandırma evaporatörünün yetersiz çalışmasında iletişim hatası etkisinin düşük olmasıdır. 13. Soru yazar tarafından ciddi, başmühendisler ve vardiya mühendisler tarafından düşük, ikinci mühendislerce ise çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Gaz sağlayıcı evaporatörün fazla çalışmasında iletişim hatası etkisi olması ve bu durum sonucu havalandırmadan LNG atılabilmesi bu riskin ciddi olarak değerlendirilmesine sebebiyet vermiştir. 14. Soru yazar tarafından ciddi, ikinci mühendisler tarafından çok ciddi, başmühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Yakıt tüketicilerine gaz sağlayan evaporatörün yetersiz çalışması yakıt sağlanamama durumuna sebebiyet verip makineyi tahrik gücünden yoksun bırakabileceğinden ciddi bir durum olarak değerlendirilmiştir. 15. Soru başmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından ciddi, vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 15. Soruda iletişim hatası olarak dikkate alınabilecek bir bileşen tespit etmemiştir. Soru 16 başmühendisler ve vardiya mühendislerince ciddi fakat ikinci mühendislerce çok ciddi bir risk olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 16. Soruda iletişim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 17. Soru başmühendisler ve ikinci mühendislerce ciddi, vardiya mühendislerince çok ciddi olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 17. Soruda iletişim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. Soru 18 vardiya mühendislerince çok düşük riskli, yazar ve başmühendislerce düşük riskli fakat ikinci mühendislerce ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Evaporatörleri ısıtan sistemin

arızasında iletişim hatasının sınırlı olması riskin düşük olarak değerlendirilmesine sebebiyet vermiştir. 19. Soru yazar tarafından çok düşük, başmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından ciddi fakat vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi nitrojen sisteminin arızalanmasında iletişim hatası oranının düşük olmasıdır. 20. Soru başmühendisler ve ikinci mühendislerce ciddi, vardiya mühendislerince çok ciddi olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 20. Soruda iletişim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. Soru 21 tüm katılımcılar tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 21. Soruda iletişim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 22. Soru başmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilirken vardiya mühendislerince ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 22. Soruda iletişim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir.

Bilgiyi hatırlayamama hataları yazar tarafından 88 puanlık bir seviyede değerlendirilirken başmühendislerce 135, ikinci mühendislerce 180 ve vardiya mühendislerince 194 puan olarak değerlendirilmiştir. Bilgiyi hatırlayamama hataları matrisinde 1. Sorudan kaynaklanan farklılıklar şu şekildedir; bu soru yaza tarafından çok düşük riskli, diğer katılımcılar tarafından ise çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. LNG tankının aşırı doldurmasının çok düşük riskli olarak değerlendirilmesinin sebebi sistem üzerinde hem mekanik hem otomasyonlu kontrol mekanizmalarının bulunmasıdır ve bu hata türünün etkisinin çok düşük olmasıdır. Tankta aşırı doldurma olduğu zaman öncelikle otomasyon sistemi devreye girecek ve tankta bulunan LNG'yi boşaltacak, otomasyon sistem devreye girmezse mekanik yaylı acil durum tahliye valfleri devreye girecek ve atmosfere LNG salınımı olacaktır. 2 . soru başmühendisler, ikinci mühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 2. Soruda bilgiyi hatırlayamama hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 3. Soru yazar tarafından ciddi riskli, başmühendisler, vardiya mühendisleri ve ikinci mühendisler tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Tanklar arasındaki boşluklar LNG sızıntısı durumu yazar tarafından ciddi riskli değerlendirilmesinin sebebi bu hata kategorisinde insan hatası ve bilgiyi hatırlayamama hatası etkisinin oldukça az olmasıdır. 4. Soru yazar, başmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından ciddi riskli fakat vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu

durumun ciddi riskli bilgiyi hatırlayamama hatası olarak değerlendirilmesinin sebebi sistemdeki bilgiyi hatırlayamama hatası kaynaklı aşırı basıncın bu hatanın ortaya çıkmasında etkili oluşudur. 5. Yazar tarafından katastrofik, başmühendislerce ciddi, ikinci mühendisler ve vardiya mühendislerince çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi tanktan LNG sızması durumuna bilgiyi hatırlayama hatasının etkisidir. 6. Soru yazar tarafından düşük riskli, başmühendisler, ikinci mühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından ise çok ciddi bir bilgiyi hatırlayamama hatası

gibi durumlara sebebiyet verebilecek olsa da yedekli sistemlerle önlemler alınmış olması riskin ciddiyetini düşürmektedir. 11. Soru yazar ve vardiya mühendisleri tarafından düşük riskli, ikinci mühendisler ve başmühendislerce ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Yazar tarafından basınçlandırma evaporatörünün fazla çalışmasının düşük riskli olarak değerlendirilme sebebi buradaki bilgiyi hatırlayamama hatası faktörünün sınırlı olmasıdır. Soru 12 yazar, başmühendisler ve vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilirken, ikinci mühendislerce çok ciddi risk olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi basınçlandırma evaporatörünün yetersiz çalışmasında bilgiyi hatırlayamama hatasının etkisinin düşük olmasıdır. 13. Soru yazar, başmühendisler ve vardiya mühendisler tarafından düşük, ikinci mühendislerce ise çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Gaz sağlayıcı evaporatörün fazla çalışmasında bilgiyi hatırlayamama hatası etkisinin sınırlı olması ve bu değerlendirmeye sebebiyet vermiştir. 14. Soru yazar tarafından ciddi, ikinci mühendisler tarafından çok ciddi, başmühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Yakıt tüketicilerine gaz sağlayan evaporatörün yetersiz çalışması yakıt sağlanamama durumuna sebebiyet verip makineyi tahrik gücünden yoksun bırakabileceğinden ciddi bir durum olarak değerlendirilmiştir. 15. Soru başmühendislerce düşük riskli, vardiya mühendislerince çok düşük riskli fakat yazar ve ikinci mühendislerce çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi gaz filtresinin arızalanması sonucu oluşabilecek durumların ciddiyeti ve bu durumlardaki bilgiyi hatırlayamama hatasının etkisidir. Soru 16 başmühendislerce ciddi riskli, vardiya mühendislerince düşük riskli ve ikinci mühendislerce çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 16. Soruda bilgiyi hatırlayamama hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 17. Soru başmühendisler ve ikinci mühendislerce ciddi,

vardiya mühendislerince çok ciddi olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 17. Soruda bilgiyi hatırlayamama hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. Soru 18 vardiya mühendislerince çok düşük riskli, başmühendislerce düşük riskli fakat ikinci mühendislerce ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 18. Soruda bilgiyi hatırlayamama hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 19. Soru başmühendisler ve vardiya mühendislerince çok ciddi riskli, ikinci mühendisler tarafından ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 19. Soruda bilgiyi hatırlayamama hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 20. Soru yazar, başmühendisler ve ikinci mühendislerce ciddi, vardiya mühendislerince çok ciddi olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun temel sebebi havalandırma sistemi kaynaklı arızalardaki bilgiyi hatırlayamama hatasının etkisi ve arızalar sonucu oluşabilecek durumların ciddiyetidir. Soru 21 tüm katılımcılar tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 21. Soruda bilgiyi hatırlayamama hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 22. Soru yazar, başmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilirken vardiya mühendislerince ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun temel sebebi otomasyon sistemi arızalarının gemiye etkisi ve bu arızaların oluşmasında bilgiyi hatırlayamama hatasının rolüdür.

Seçim hataları yazar tarafından 55 puanlık bir seviyede değerlendirilirken başmühendislerce 156, ikinci mühendislerce 193 ve vardiya mühendislerince 198 puan olarak değerlendirilmiştir. Seçim hataları matrisinde 1. Sorudan kaynaklanan farklılıklar şu şekildedir; bu soru yaza tarafından düşük riskli, diğer katılımcılar tarafından ise çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. LNG tankının aşırı doldurmasının düşük riskli olarak değerlendirilmesinin sebebi sistem üzerinde hem mekanik hem otomasyonlu kontrol mekanizmalarının bulunmasıdır ve bu hata türünün etkisinin çok düşük olmasıdır. Tankta aşırı doldurma olduğu zaman öncelikle otomasyon sistemi devreye girecek ve tankta bulunan LNG'yi boşaltacak, otomasyon sistem devreye girmezse mekanik yaylı acil durum tahliye valfleri devreye girecek ve atmosfere LNG salınımı olacaktır. 2 . soru başmühendisler, ikinci mühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilirken yazar tarafından ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun temel sebebi LNG devresinde aşırı basınç durumuna etki eden seçim hatalarıdır. 3. Soru başmühendisler, vardiya mühendisleri ve ikinci mühendisler

tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 3. Soruda seçim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 4. Soru yazar, başmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından ciddi riskli fakat vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun ciddi riskli seçim hatası olarak değerlendirilmesinin sebebi sistemdeki seçim hatası kaynaklı aşırı basıncın bu hatanın ortaya çıkmasında etkili oluşudur. 5. soru Yazar ve tüm katılımcılar tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi tanktan LNG sızması durumuna seçim hatasının etkisidir. 6. Soru yazar tarafından çok düşük riskli, başmühendislerce katastrofik, ikinci mühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından ise çok ciddi bir seçim hatası olarak değerlendirilmiştir. Yazar tarafından çok düşük riskli olarak değerlendirilmesinin nedeni tank bölmesinde yangın çıkması durumunda seçim hatası etkisinin düşük olması ve bu alanın otomasyonlu ve mekanik pek çok sistemle yangına karşı korunuyor olmasıdır. 7. Soru yazar ve tüm katılımcılar tarafından çok ciddi seçim hatası olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebepleri LNG yakıt odasında bitişik bölmelerde çıkan yangınların hızla tüm devreleri ve diğer gemi bileşenlerini etkileyerek geminin batmasına kadar gidebilecek risklere sebebiyet vermesidir. 8. Soru yazar ve tüm katılımcılar tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Tank bağlantıları arası LNG sızıntısı durumuna seçim hatasının etkisi ve durumun sonuçların ciddiyetinden dolayı böyle bir değerlendirme yapılmıştır. Soru 9 yazar ve başmühendislerce çok ciddi, ikinci mühendislerce düşük riskli ve vardiya mühendislerince ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi LNG'nin havalandırmadan kaçmasının ciddi çevresel hasarlara, yangın ve patlama riskine ve personel yaralanmasına yol açabilecek oluşudur. Soru 10 yazar, başmühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından ciddi risk olarak değerlendirilirken ikinci mühendislerce düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durum personel yaralanması ve yangın gibi durumlara sebebiyet verebilecek seçim hatası kaynaklı riskler içermektedir. 11. Soru yazar ve vardiya mühendisleri tarafından düşük riskli, ikinci mühendislerce çok ciddi ve başmühendislerce ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Yazar tarafından basınçlandırma evaporatörünün fazla çalışmasının düşük riskli olarak değerlendirilme sebebi buradaki seçim hatası faktörünün sınırlı olmasıdır. Soru 12 yazar ve vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilirken, başmühendisler ve ikinci mühendislerce ciddi risk olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi basınçlandırma evaporatörünün yetersiz

çalışmasında seçim hatasının etkisinin düşük olmasıdır. 13. Soru yazar ve başmühendisler tarafından ciddi riskli, ikinci mühendislerce ise çok ciddi riskli ve vardiya mühendisleri tarafından düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Gaz sağlayıcı evaportatörün fazla çalışmasında seçim hatasının etkili olması ve bu değerlendirmeye sebebiyet vermiştir. 14. Soru yazar ve başmühendisler tarafından ciddi, ikinci mühendisler tarafından çok ciddi ve vardiya mühendisleri tarafından düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Yakıt tüketicilerine gaz sağlayan evaporatörün yetersiz çalışması yakıt sağlanamama durumuna sebebiyet verip makineyi tahrik gücünden yoksun bırakabileceğinden ciddi bir durum olarak değerlendirilmiştir. 15. Soru başmühendislerce ciddi riskli, ikinci mühendislerce çok ciddi ve vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 15. Soruda seçim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. Soru 16 başmühendislerce ve vardiya mühendislerince ciddi riskli ve ikinci mühendislerce çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 16. Soruda seçim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 17. Soru başmühendisler ve ikinci mühendislerce ciddi, vardiya mühendislerince çok ciddi olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 17. Soruda seçim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. Soru 18 vardiya mühendislerince çok düşük riskli, başmühendislerce düşük riskli fakat ikinci mühendislerce ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 18. Soruda seçim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 19. Soru katılımcılar tarafından çok ciddi riskli değerlendirilmiştir. Fakat yazar 19. Soruda seçim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 20. Soru başmühendisler ve vardiya mühendislerince çok ciddi, ikinci mühendislerce ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 20. Soruda seçim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. Soru 21 başmühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi riskli, ikinci mühendisler tarafından katastrofik olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 21. Soruda seçim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir. 22. Soru başmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilirken vardiya mühendislerince ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Fakat yazar 22. Soruda seçim hatası olarak değerlendirilebilecek bir bileşen tespit etmemiştir.

Kontrol hataları yazar tarafından 208 puanlık bir seviyede değerlendirilirken başmühendislerce 180, ikinci mühendislerce 174 ve vardiya mühendislerince 197 puan olarak değerlendirilmiştir. kontrol hataları matrisinde 1. Sorudan kaynaklanan farklılıklar şu şekildedir; bu soru yazar tarafından düşük riskli fakat başmühendisler, ikinci mühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. LNG tankının aşırı doldurmasının ciddi risk olarak değerlendirilmemesinin sebebi sistem üzerinde hem mekanik hem otomasyonlu kontrol mekanizmalarının bulunmasıdır. Tankta aşırı doldurma olduğu zaman öncelikle otomasyon sistemi devreye girecek ve tankta bulunan LNG'yi boşaltacak, otomasyon sistem devreye girmezse mekanik yaylı acil durum tahliye valfleri devreye girecek ve atmosfere LNG salınımı olacaktır. 2 . soru yazar ve tüm katılımcılar tarafından çok ciddi olarak değerlendirilmiştir. Bu durum un sebebi, LNG devresindeki aşırı basıncın sistem bileşenlerine zarar vererek kapalı mahale sızıntı yapabilecek olması ve personel yaralanmasına sebebiyet verebilecek oluşudur. 3. Soru yazar ve tüm katılımcılar tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Tanklar arasındaki boşluklar LNG sızıntısı durumu yazar tarafından çok ciddi riskli değerlendirilmesinin sebebi bu hata kategorisinde insan hatası ve kontrol hatası etkisi oldukça fazladır. 4. Soru yazar tarafından çok ciddi riskli, başmühendisler ve ikinci mühendisler tarafından ciddi riskli fakat vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun çok ciddi riskli kontrol hatası olarak değerlendirilmesinin sebebi sistemdeki kontrol hatası kaynaklı aşırı basıncın bu hatanın ortaya çıkmasında etkili oluşudur. 5. Soru tüm katılımcılar tarafından çok ciddi, yazar tarafından ise katastrofik bir kontrol hatası türü olarak değerlendirilmiştir. 6. Soru yazar tarafından düşük riskli, başmühendisler tarafından katastrofik, ikinci mühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından ise çok ciddi bir kontrol hatası olarak değerlendirilmiştir. Yazar tarafından katastrofik olarak değerlendirilmesinin nedeni tank bölmesinde yangın çıkması durumuna kontrol hatalarının etkisidir. 7. Soru yazar tarafından katastrofik; başmühendisler, ikinci mühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi eylem hatası olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebepleri LNG yakıt odasında bitişik bölmelerde çıkan yangınların hızla tüm devreleri ve diğer gemi bileşenlerini etkileyerek geminin batmasına kadar gidebilecek risklere sebebiyet vermesidir. 8. Soru yazar tarafından katastrofik, başmühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi riskli, ikinci mühendislerce ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Tank bağlantıları arası

LNG sızıntısı durumunda kontrol hatası oldukça yüksektir ve sonuçların da ciddiyetinden dolayı böyle bir değerlendirme yapılmıştır. Soru 9 yazar tarafından çok ciddi, başmühendisler tarafından katastrofik fakat ikinci mühendisler ve vardiya mühendislerince ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi LNG'nin havalandırmadan kaçmasının ciddi çevresel hasarlara, yangın ve patlama riskine ve personel yaralanmasına yol açabilecek oluşudur. Soru 10 yazar ve ikinci mühendisler tarafından ciddi bir risk olarak değerlendirilirken başmühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi risk olarak değerlendirilmiştir. Her ne kadar bu durum personel yaralanması ve yangın gibi durumlara sebebiyet verebilecek olsa da yedekli sistemlerle önlemler alınmış olması riskin ciddiyetini düşürmektedir. 11. Soru yazar ve başmühendisler tarafından ciddi riskli, ikinci mühendisler tarafından çok ciddi riskli ve vardiya mühendisleri tarafından ise düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Yazar tarafından basınçlandırma evaporatörünün fazla çalışmasının ciddi riskli olarak değerlendirilme sebebi tank içi fazla basınçtan dolayı atmosfere LNG salınmasına ve personel yaralanmasına sebebiyet verebilecek oluşudur. Soru 12 vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilirken, diğer katılımcılar ve yazar tarafından ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi basınçlandırma evaporatörünün yetersiz çalışmasında kontrol hatasının yüksek olması ve bu durumun tank içinde vakum etkisi yaratarak fiziksel hasara sebebiyet verebilecek olmasıdır. 13. Soru yazar ve başmühendisler tarafından ciddi, ikinci mühendisler tarafından çok ciddi fakat vardiya mühendisler tarafından düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Gaz sağlayıcı evaporatörün fazla çalışmasında kontrol hatası oranının yüksek olması ve bu duru sonucu havalandırmadan LNG atılabilmesi durumu bu riskin ciddi olarak değerlendirilmesine sebebiyet vermiştir. 14. Soru yazar ve ikinci mühendisler tarafından çok ciddi, başmühendisler tarafından ciddi fakat vardiya mühendisleri tarafından düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Yakıt tüketicilerine gaz sağlayan evaporatörün yetersiz çalışması yakıt sağlanamama durumuna sebebiyet verip makineyi tahrik gücünden yoksun bırakabileceğinden çok ciddi bir durum olarak değerlendirilmiştir. 15. Soru yazar ve ikinci mühendisler tarafından çok ciddi, başmühendisler tarafından ciddi fakat vardiya mühendislerince düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin sebebi gaz yakıt filtresinin arızası sonucu yakıt besleme şeması aksayacak olması ve bu duruma kontrol hatasının etkisidir. Soru 16 yazar ve ikinci mühendislerce çok ciddi, başmühendisler ve vardiya

mühendislerince ise ciddi bir risk olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi blok valfin arızalanmasının ciddi sonuçlar doğurabilecek olması olmasıdır. 17. Soru yazar, başmühendisler ve vardiya mühendislerince çok ciddi riskli, ikinci mühendislerce ise ciddi bir risk olarak değerlendirilmiştir. Gaz basınç kontrol valfinin arızalanmasında kontrol hatası mevcut olup bu hata sonucunda fiziksel hasarlar ve yaralanmalara meydana gelebilir. Soru 18 vardiya mühendislerince çok düşük riskli, yazar, başmühendisler ve ikinci mühendislerce ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Evaporatörleri ısıtan sistemin arızasında kontrol hatasının etkisinin yüksek olması böyle değerlendirilmesine sebebiyet vermiştir. 19. Soru yazar, başmühendisler ve vardiya mühendisleri tarafından çok ciddi, ikinci mühendisler tarafından ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi nitrojen sisteminin arızalanmasında kontrol hatası oranının yüksek olmasıdır. 20. Soru başmühendis ve ikinci mühendislerce ciddi, vardiya mühendisleri ve yazar tarafından çok ciddi olarak değerlendirilmiştir. Havalandırma sisteminin arızası gaz yakıtın geminin farklı yerlerine sızmasına ve yangın, patlama ve yaralanma gibi risklere sebebiyet verebilmektedir. Soru 21 yazar tarafından katastrofik, başmühendisler v ikinci mühendislrce çok ciddi fakat vardiya mühendislerince ciddi bir risk olarak değerlendirilmiştir. Bu durumun sebebi gaz ve yangın sisteminin çalışmaması sonucu gemide batmaya kadar gidebilecek durumlar olmasıdır ve bu sistemde kontrol hatası oranı yüksektir. 22. Soru yazar ve tüm katılımcılar tarafından çok ciddi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin temel sebebi otomasyon sistemi arızalarının gemide pek çok farklı bileşen etkileyerek karmaşık riskler doğurabilecek olması ve bu duruma kontrol hatalarının etkisidir.

Emniyet kültürü ölçeği sonuçlarının değerlendirilmesine istinaden ortalama cevapların düşük çıktığı soruların geminin seyir emniyeti açısından oldukça kritik olduğu gözlemlenmiştir. Katılımcıların skorları arasındaki kritik farklar bu konunun önemini gözler önüne sermektedir. Aynı kültürden gelen ve aynı ülkenin eğitim perspektifine göre eğitim alan bireylerin emniyet kültürü açısından bu kadar farklı değerlendirmeler yapmasının altında çalıştıkları şirketlerin politikaları yahut eğitim merkezlerinin emniyet kavramına bakış açıları etkili olmuş olabilir. Eğitim seviyesi ve emniyet kültürü sonuçlarının regresyon grafiğine istinaden bu iki faktörün bir doğru orantı grafiği çizdiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla lisans sonrası farklı eğitim seviyelerinde eğitime devam eden katılımcıların emniyet politikaları açısından

daha gelişmiş şirketleri tercih ettikleri yahut bireysel emniyet farkındalıklarını attırarak içinde bulundukları ortamı şekillendirme eğiliminde oldukları sonucuna varılabilir. Fakat SHERPA skorları ile eğitim seviyesi arasında regresyon analizine göre ters orantılı bir model gözlenmesi risk yönetim açısından eğitim kurumlarının istenilen seviyeye henüz ulaşamadığının göstergesi olabilir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

IMO kurallarının teşviki ile günümüzde alternatif yakıt teknolojilerine ilgi ve yatırımların arttığını söylemek mümkündür. Sektörel olarak LNG'nin en hazır bulunan yakıt olması, bu konudaki çalışmaların hızlanmasına vesile olmuştur. LNG taşıyan gemilerin tanktan buharlaşan gazı uzunca bir süredir konvansiyonel yakıtlarla birlikte kullanıyor olmaları, sektörün LNG'ye yönelik sempatisinin artmasına yol açmıştır. Fakat, LNG'nin kriyojenik depolama gerektiren bir yakıt oluşu, gazının boğucu özellikler göstermesi ve düşük parlama noktasına sahip olması gibi özellikleri bu tarz gemilerdeki risk seviyelerinin artmasına sebebiyet vermiştir. Bu duruma istinaden LNG'li gemilerde çalışmak için özel eğitimler geliştirilmiştir. Halihazırda IMO politikalarının en önemli bileşenlerinden olan emniyet kültürü ve risk yönetiminin önemi LNG gemilerinde artmaktadır. Güncel literatürün de denizcilik özelinde en sık üzerinde durduğu konuların başında risk yönetimi ve emniyet kültürü gelmektedir. Otonom sistemlerin gemilere entegrasyonun artmasıyla günümüz denizcileri pek de hazır ve alışık olmadıkları türden bir dönüşüme tanıklık etmektedirler. Öyle ki, denizcilik risklerinin yüksek ciddiyet seviyelerinde olması gemi insanlarının emniyet ve risk farkındalıklarının önemini bir kez daha vurgulamaktadır. Literatüre istinaden, gemilerde otomasyon sistemlerine duyulan fazla güvenin teknolojik körlüklere ve pek çok zincirleme hataya da yol açtığı bilinmektedir. Tüm bunlara istinaden bu tezin ilk aşamasında gemi projeleri ve beyin fırtınası yöntem ile uzman görüşlerinden elde edilen bilgilere dayanılarak LNG-çift yakıtlı gemilerin yakıt besleme sistemleri incelenmiş ve ortak bileşenler içeren bir yakıt besleme şeması oluşturulmuştur. HTA yöntemini kullanan SHERPA metodu ile de bu sistemin işleyişinde etkili olabilecek insan hataları belirlenmiş ve SHERPA hata kategorizasyonuna istinaden sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sonrasında elde edilen veriler ve ABS'in emniyet kültürü ölçeği bir anket formuna dönüştürülerek katılımcılara iletilmiştir.

Katılımcılardan gelen cevaplar doğrultusunda gerekli değerlendirmeler yapılarak risk matrisleri, hata ve emniyet skorları ve bu verilerin analizleri ile ilgili tezin bulgular

ve tartışma bölümü oluşturulmuştur. En dikkat çeken sonuçların başında yazar ve katılımcıların matrisleri arasındaki büyük farklar gelmektedir. Bu durum denizcilerin ortak bir risk yaklaşımı olmadığı yönündeki savı destekler niteliktedir. Eylem hataları özelinde ikinci mühendislerin en yüksek risk skoru ortalamasına sahip olması, görev tanımı açısından bu rütbedeki çalışanların makine dairesindeki sorunlarla birebir operasyonel olarak ilgilenen paydaşlardan olmalarıyla ilgili olabilir. Fakat, gemi sistemlerinde bazı riskler için alınan önlemlerin katılımcıların eylem hatası matrisine yansımaması denizcilik regülasyonları ve gelecek çalışmalar için düşündürücü bir sonuç olarak dikkat çekti. İletişim, bilgiyi hatırlayamama ve seçim hatalarının yazarın matrisinden hayli yüksek skorlarda olması geminin işleyişinde dikkat edilmesi gereken önemli unsurlar olduğuna dikkat çekmiştir. Emniyet kültürü ölçeğinde de yer alan ilişkili soruların düşük puanlarla değerlendirilmesi mürettebat arasından beklenenden yüksek iletişim hataları olduğunun göstergesi olabilir. Otomasyon sistemlerinin gemide kullanım alanlarının artmasıyla kontrol hatalarının artması ve yüksek skorlu hata kategorilerinden biri olması beklenirken katılımcıların değerlendirmesinde böyle bir yansıma görülmemiştir. Bu durumun sebepleri güncel gemilerdeki otomasyon seviyesinin beklenenden düşük olması sebebiyle personelin sınırlı bilgi sahibi olması, personelin otomasyona fazla güvenmesi sebebiyle gerekli hataları yakalayamaması yahut mürettebatın otomasyon sistemleri konusunda yeterince bilgi sahibi olmaması olabilir. Her halükârda yeterince otomasyon farkındalığının olmaması bu konudaki insan hatalarına davetiye çıkarmaktadır.

Günümüzde artan otomasyon ve gelişen teknolojilerle denizciliğin riskleri de değişmektedir. Literatürde de vurgulanan denizcilikte risk yönetimi ve emniyet farkındalığının önemi bu gelişmelerle artmaktadır. Denizciliğin ekonomik sürdürülebilirliğin temellerinden olduğu dikkate alınırsa, gemi insanlarının eğitim ve farkındalıklarının da emniyetli denizciliğin en önemli bileşenlerinden olduğu göz ardı edilmemelidir. IMO her ne kadar standartlaştırılmış müfredatlar, ders içerikleri ve sertifika programları için mesai harcasa da bu çalışmanın çıktıları göz önüne alındığında henüz yeterli olgunlaşmanın gerçekleşmediği görülmektedir. Ulusak denizcilik politikalarının da denizcilik eğitiminde oldukça önemli olduğu düşünülürse, farklı ülkelerden farklı farkındalık seviyelerinde denizcilerin çıkması kaçınılmazdır fakat bu durum yüksek riskli operasyonlar için önemli zafiyetlere

kucak açmaktadır. Dolayısıyla bütün bileşenlerin global çapta ortak aksiyonlar alması denizciliğin geleceği için elzemdir.





KAYNAKLAR

- 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships.** (n.d.). <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/2023-imo-strategy-on-reduction-of-ghg-emissions-from-ships.aspx>
- Adams, V.** (1990). Possible fuel cell applications for ships and submarines. *Journal of Power Sources*, 29(1–2), 181–192. [https://doi.org/10.1016/0378-7753\(90\)80018-9](https://doi.org/10.1016/0378-7753(90)80018-9)
- Adjekum, D., Keller, J., Walala, M., Young, J., Christensen, C., & DeMik, R.** (2015). Cross-Sectional assessment of safety culture perceptions and safety behavior in collegiate aviation programs in the United States. *International Journal of Aviation Aeronautics and Aerospace*. <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2015.1074>
- Akalp, G., Aytac, S., Yamankaradeniz, N., Cankaya, O., Gokce, A., & Tufekci, U.** (2015). Perceived Safety Culture and Occupational Risk Factors among women in Metal Industries: A Study in Turkey. *Procedia Manufacturing*, 3, 4956–4963. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.640>
- Al-Aboosi, F. Y., El-Halwagi, M. M., Moore, M., & Nielsen, R. B.** (2021). Renewable ammonia as an alternative fuel for the shipping industry. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 31, 100670. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2021.100670>
- Al-Enazi, A., Okonkwo, E. C., Bicer, Y., & Al-Ansari, T.** (2021). A review of cleaner alternative fuels for maritime transportation. *Energy Reports*, 7, 1962–1985. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.03.036>
- Aleksandrov, A., Devisilov, V., & Ivanov, M.** (2016). A role of education system in creation of safety culture. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*. <https://doi.org/10.3303/cet1653036>
- Allianz Türkiye. (t.y.). Yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları nelerdir?** Allianz. https://www.allianz.com.tr/tr_TR/seninle-guzel/yenilenebilir-ve-yenilenemez-enerji-kaynaklari-nelerdir.html
- Alternative Fuels Data Center: Fuel Properties comparison.** (n.d.). <https://afdc.energy.gov/fuels/properties?fuels=GS,DS,BD,LPG,CNG,LNG,ETH,ME,HY,ELEC>
- Alternative Fuels Data Center: Natural gas laws and incentives in Arkansas.** (n.d.). <https://afdc.energy.gov/fuels/laws/NG?state=AR>
- American Bureau of Shipping.** (2014, February). *Leading indicators of safety performance: Guidance notes*. https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/188_safety/leading-indicators-gn-feb14.pdf

- American Bureau of Shipping.** (2022, July). *Sustainability whitepaper: LNG as marine fuel*. <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/sustainability-whitepaper-lng-as-marine-fuel.pdf>
- Andersson, K., Brynolf, S., Hansson, J., & Grahn, M.** (2020). Criteria and decision support for a sustainable choice of alternative marine fuels. *Sustainability*, 12(9), 3623. <https://doi.org/10.3390/su12093623>
- Andrei, D., Grech, M. R., Griffin, M., & Neal, A.** (2020). Assessing the determinants of safety culture in the maritime industry. *International Journal of Maritime Engineering*, 162(A4).
- Annett, J.** (2003). Hierarchical task analysis. In *Human factors and ergonomics* (pp. 17–35). <https://doi.org/10.1201/9781410607775.ch2>
- Assessment of selected alternative fuels and technologies in shipping.** (n.d.). DNV. <https://www.dnv.com/maritime/publications/alternative-fuel-assessment-download/>
- Assembly** **29th** **session.** (n.d.). <https://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/pages/assembly-29th-session.aspx?>
- Assailly, J.** (2015). Road safety education: *What works?* *Patient Education and Counseling*, 100, S24–S29. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2015.10.017>
- Bach, H., Bergek, A., Bjørgum, Ø., Hansen, T., Kenzhegalieva, A., & Steen, M.** (2020). Implementing maritime battery-electric and hydrogen solutions: A technological innovation systems analysis. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 87, 102492. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102492>
- Bari, S., & Esmaeil, M. M.** (2009). Effect of H₂/O₂ addition in increasing the thermal efficiency of a diesel engine. *Fuel*, 89(2), 378–383. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.08.030>
- Bhattacharya, Y.** (2015). Measuring Safety Culture on Ships Using Safety Climate: A Study among Indian Officers. *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 3, 51–70. <https://doi.org/10.1016/j.enavi.2015.12.006>
- Bilgili, L.** (2021). Comparative assessment of alternative marine fuels in life cycle perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110985. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110985>
- Bridgwater, A.** (2003). Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*, 91(2–3), 87–102. [https://doi.org/10.1016/s1385-8947\(02\)00142-0](https://doi.org/10.1016/s1385-8947(02)00142-0)
- Brynolf, S., Baldi, F., & Johnson, H.** (2016). Energy efficiency and fuel changes to reduce environmental impacts. In *Springer eBooks* (pp. 295–339). https://doi.org/10.1007/978-3-662-49045-7_10
- Cepeda, M. a. F., Pereira, N. N., Kahn, S., & Caprace, J.** (2019). A review of the use of LNG versus HFO in maritime industry. *Marine Systems & Ocean Technology*, 14(2–3), 75–84. <https://doi.org/10.1007/s40868-019-00059-y>

- Chen, P., Zhang, Z., Huang, Y., Dai, L., & Hu, H.** (2022). Risk assessment of marine accidents with Fuzzy Bayesian Networks and causal analysis. *Ocean & Coastal Management*, 228, 106323. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106323>
- Chowdhury, M. N., Shafi, S., Arzaman, A. F. M., Teoh, B. A., Kadhim, K. A., Salamun, H., Kadir, F. K. A., Said, S., Kadir, K. A., Embong, A. M., Aziz, N. a. A., & Haz, M.** (2024). Navigating Human Factors in Maritime Safety: A review of risks and improvements in engine rooms of Ocean-Going vessels. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.18280/ijssse.140101>
- Christiansen, M., Hellsten, E., Pisinger, D., Sacramento, D., & Vilhelmsen, C.** (2019). Liner shipping network design. *European Journal of Operational Research*, 286(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.09.057>
- Christodoulou, A., & Cullinane, K.** (2022). Potential alternative fuel pathways for compliance with the ‘FuelEU Maritime Initiative.’ *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 112, 103492. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103492>
- Claxton, G., Hosie, P., & Sharma, P.** (2022). Toward an effective occupational health and safety culture: A multiple stakeholder perspective. *Journal of Safety Research*, 82, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.04.006>
- Climate action and clean air in shipping.** (n.d.). <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/decarbonization%20and%20clean%20air%20in%20shipping.aspx>
- Cohen, J.** (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- CSRC Content Editor.** (n.d.). *risk - Glossary* | CSRC. <https://csrc.nist.gov/glossary/term/risk>
- De Winter, J., & Dodou, D.** (2010). The Driver Behaviour Questionnaire as a predictor of accidents: A meta-analysis. *Journal of Safety Research*, 41(6), 463–470. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2010.10.007>
- Definition Examples of Safety Culture and Overlap with Safety Climate.** (n.d.). <https://www.cdc.gov/niosh/learning/safetyculturehc/module-1/4.html>
- Demirel, E., & Bayer, D.** (2015). IMPROVEMENT OF SAFETY EDUCATION AND TRAINING FOR SEAFARING OFFICERS -GEMİ ZABİTLERİNİN GÜVENLİK EĞİTİM VE ÖĞRETİMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(55). <https://doi.org/10.17755/esosder.73120>
- Deniz, C., & Zincir, B.** (2015). Environmental and economical assessment of alternative marine fuels. *Journal of Cleaner Production*, 113, 438–449. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.089>
- Dere, C.** (2023). Hydrogen fueled engine technology, adaptation, and application for marine engines. In *Energy, environment, and sustainability* (pp. 45–63). https://doi.org/10.1007/978-981-99-1677-1_4

- DENİZCİ ÜLKE TÜRKİYE DÜNYADA 12. SIRADA.** (n.d.). T.C. Ulaştırma Ve Altyapı Bakanlığı. <https://www.uab.gov.tr/haberler/denizci-ulke-turkiye-dunyada-12-sirada>
- Ditchburn, S., & David, D.** (2006). Understanding major accident hazard management: The more you know, the more you know you don't know. In *Institution of Chemical Engineers Symposium Series* (Vol. 151, p. 861). Institution of Chemical Engineers.
- El Amin, B. B. M., & Bouhafs, M.** (2024). A systematic approach to reducing and predicting human error: SHERPA is a model. *Ilkogretim Online*, 23(4), 482–490
- Environmental performance.** (n.d.). DNV. [https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/environmental-performance/#:~:text=LNG%20as%20fuel%20can%20significantly,S Ox%2C%20particulate%20matter%20\(PM\)](https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/environmental-performance/#:~:text=LNG%20as%20fuel%20can%20significantly,S Ox%2C%20particulate%20matter%20(PM))
- Embrey, D. E.** (1986). SHERPA: A systematic human error reduction and prediction approach (pp. 184–193). *American Nuclear Society*.
- Erol, S., & Başar, E.** (2014). The analysis of ship accident occurred in Turkish search and rescue area by using decision tree. *Maritime Policy & Management*, 42(4), 377–388. <https://doi.org/10.1080/03088839.2013.870357>
- Fabiano, B., Currò, F., Reverberi, A. P., & Pastorino, R.** (2007). A statistical study on temporary work and occupational accidents: Specific risk factors and risk management strategies. *Safety Science*, 46(3), 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.05.004>
- Fabiano, B., Pettinato, M., Currò, F., & Reverberi, A. P.** (2022). A field study on human factor and safety performances in a downstream oil industry. *Safety Science*, 153, 105795. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105795>
- Fan, S., Zhang, J., Blanco-Davis, E., Yang, Z., & Yan, X.** (2020). Maritime accident prevention strategy formulation from a human factor perspective using Bayesian Networks and TOPSIS. *Ocean Engineering*, 210, 107544. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107544>
- Fit for 55: Delivering on the proposals.** (n.d.). European Commission. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals_en#:~:text=Under%20the%20European%20Climate%20Law,fit%20to%20meet%20this%20target.
- Fivga, A., Speranza, L. G., Branco, C. M., Ouadi, M., & Hornung, A.** (2019). A review on the current state of the art for the production of advanced liquid biofuels. *AIMS Energy*, 7(1), 46–76. <https://doi.org/10.3934/energy.2019.1.46>

- Flin, R., Mearns, K., O'Connor, P., & Bryden, R.** (2000). Measuring safety climate: identifying the common features. *Safety Science*, 34(1–3), 177–192. [https://doi.org/10.1016/s0925-7535\(00\)00012-6](https://doi.org/10.1016/s0925-7535(00)00012-6)
- Formela, K., Neumann, T., & Weintrit, A.** (2019). Overview of definitions of maritime safety, safety at sea, navigational safety and safety in general. *TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 13(2), 285–290. <https://doi.org/10.12716/1001.13.02.03>
- Fossil.** (n.d.). Energy.gov. <https://www.energy.gov/fossil>
- Fu, Z., Lu, L., Zhang, C., Xu, Q., Zhang, X., Gao, Z., & Li, J.** (2023). Fuel cell and hydrogen in maritime application: A review on aspects of technology, cost and regulations. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 57, 103181. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103181>
- Gabedava, G., & Hu, Y.** (2025). Enhancing maritime safety through linguistic analysis: a case study of communication failures in maritime accidents. *WMU Journal of Maritime Affairs*. <https://doi.org/10.1007/s13437-025-00371-y>
- Gawlik-Kobylińska, M.** (2021). Can Security and Safety Education Support Sustainability? Lessons Learned from Poland. *Sustainability*, 13(4), 1747. <https://doi.org/10.3390/su13041747>
- Gerede, E.** (2006). Havacılık emniyeti ve havacılık güvenliği kavramları arasındaki ilişki ve farkların belirlenmesine yönelik bir araştırma. *İşletme İktisadi Enstitüsü Dergisi Yönetim*, 17(54), 26–37.
- Giddey, S., Badwal, S. P. S., Munnings, C., & Dolan, M.** (2017). Ammonia as a renewable energy transportation media. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(11), 10231–10239. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b02219>
- Gilbert, P., Walsh, C., Traut, M., Kesieme, U., Pazouki, K., & Murphy, A.** (2017). Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels. *Journal of Cleaner Production*, 172, 855–866. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.165>
- Guldenmund, F.** (2000). The nature of safety culture: a review of theory and research. *Safety Science*, 34(1–3), 215–257. [https://doi.org/10.1016/s0925-7535\(00\)00014-x](https://doi.org/10.1016/s0925-7535(00)00014-x)
- Guntzburger, Y., Pauchant, T. C., & Tanguy, P. A.** (2016). Ethical Risk Management Education in Engineering: A Systematic Review. *Science and Engineering Ethics*, 23(2), 323–350. <https://doi.org/10.1007/s11948-016-9777-y>
- Hansson, J., Brynolf, S., Fridell, E., & Lehtveer, M.** (2020). The Potential role of ammonia as Marine Fuel—Based on energy systems modeling and Multi-Criteria Decision analysis. *Sustainability*, 12(8), 3265. <https://doi.org/10.3390/su12083265>
- Harahap, F., Nurdawati, A., Conti, D., Leduc, S., & Urban, F.** (2023). Renewable marine fuel production for decarbonised maritime

- shipping: Pathways, policy measures and transition dynamics. *Journal of Cleaner Production*, 415, 137906. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137906>
- Harris, D., Stanton, N. A., Marshall, A., Young, M. S., Demagalski, J., & Salmon, P.** (2005). Using SHERPA to predict design-induced error on the flight deck. *Aerospace Science and Technology*, 9(6), 525–532. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2005.04.002>
- He, A., Xu, S., & Fu, G.** (2012). Study on the basic problems of safety culture. *Procedia Engineering*, 43, 245–249. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.042>
- Herdzik, J.** (2021). Decarbonization of Marine Fuels—The future of shipping. *Energies*, 14(14), 4311. <https://doi.org/10.3390/en14144311>
- Hero, M., Vidmar, P., Vlačič, P., & Perkovič, M.** (2025). Limiting greenhouse gas emissions in the maritime transport sector. *Transportation Research Procedia*, 83, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.02.022>
- Hipol, A. J. V.** (2022). *Enhancing safety culture through maritime education and training: The Maritime Academy of Asia and the Pacific model (Master's thesis)*. World Maritime University, Malmö, Sweden. Retrieved from https://commons.wmu.se/all_dissertations/2142/
- Hsu, S. H., Lee, C., Wu, M., & Takano, K.** (2010). The influence of organizational factors on safety in Taiwanese high-risk industries. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23(5), 646–653. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.06.018>
- Hsu, S., Lee, M., & Chang, Y.** (2023). Application of rough set theory and Bow-Tie analysis to Maritime safety Analysis Management: A case study of Taiwan ship collision incidents. *Applied Sciences*, 13(7), 4239. <https://doi.org/10.3390/app13074239>
- Hussain, U., Shoukat, M. H., & Haider, M. S.** (2019). Analysis of safety awareness, accident prevention and implementation of behavior based safety program in energy utility. In *2019 6th International Conference on Frontiers of Industrial Engineering (ICFIE)* (pp. 84–88). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICFIE.2019.8907683>
- Iannaccone, T., Landucci, G., Tugnoli, A., Salzano, E., & Cozzani, V.** (2020). Sustainability of cruise ship fuel systems: Comparison among LNG and diesel technologies. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121069. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121069>
- IBM Corp.** (2022). *IBM SPSS Statistics for macOS (Version 29.0)* [Computer software]. IBM Corp.
- IMO's work to cut GHG emissions from ships.** (n.d.). <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>
- Imtiaz, M., Munsif, A., Nayan, D., & Dei, S.** (2014). Systematic human error reduction and prediction approach while drilling. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(12), 808–813.

- International Chamber of Shipping.** (n.d.). *Global supply and demand for seafarers*. International Chamber of Shipping. <https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/shipping-and-world-trade-global-supply-and-demand-for-seafarers/>
- International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW).** (n.d.). <https://www.imo.org/en/ourwork/humanelement/pages/stcw-conv-link.aspx>
- İstanbul Teknik Üniversitesi.** (n.d.). *OBS – Ders Programı*. İstanbul Teknik Üniversitesi Öğrenci Bilgi Sistemi. <https://obs.itu.edu.tr/public/DersProgram>
- Jung, M.** (2021). Examining perceptual differences in maritime safety climate: A case study of Korean seafarers. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4), 381. <https://doi.org/10.3390/jmse9040381>
- Kamis, A. S., Fuad, A. F. A., Saadon, M. S. I., & Fadzil, M. N.** (2020). THE IMPACT OF BASIC TRAINING ON SEAFARERS' SAFETY KNOWLEDGE, ATTITUDE AND BEHAVIOUR. *Journal of Sustainability Science and Management*, 15(6), 137–158. <https://doi.org/10.46754/jbsd.2020.08.012>
- Karatuğ, Ç., Ceylan, B. O., Ejder, E., & Arslanoğlu, Y.** (2023). Investigation and examination of LNG, methanol, and ammonia usage on marine vessels. In *Energy, environment, and sustainability* (pp. 65–85). https://doi.org/10.1007/978-981-99-1677-1_5
- Konvansiyonel Enerji Anabilim Dalı.** (n.d.). Enerji Enstitüsü. <https://enerji.itu.edu.tr/egitim/anabilim-dallari/konvansiyonel-enerji-anabilim-dali>
- Kim, K., Roh, G., Kim, W., & Chun, K.** (2020). A preliminary study on an alternative ship propulsion system fueled by ammonia: Environmental and economic assessments. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(3), 183. <https://doi.org/10.3390/jmse8030183>
- Law, L., Foscoli, B., Mastorakos, E., & Evans, S.** (2021). A comparison of alternative fuels for shipping in terms of lifecycle energy and cost. *Energies*, 14(24), 8502. <https://doi.org/10.3390/en14248502>
- Liu, M., Li, C., Koh, E. K., Ang, Z., & Lam, J. S. L.** (2019). Is methanol a future marine fuel for shipping? *Journal of Physics Conference Series*, 1357, 012014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1357/1/012014>
- Li, S., Tan, E. C. D., Dutta, A., Snowden-Swan, L. J., Thorson, M. R., Ramasamy, K. K., Bartling, A. W., Brasington, R., Kass, M. D., Zaines, G. G., & Hawkins, T. R.** (2022). Techno-economic analysis of sustainable biofuels for marine transportation. *Environmental Science & Technology*, 56(23), 17206–17214. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c03960>
- LNG powers unprecedented year for orders of alternative-fuelled vessels.** (2025, January 10). DNV. <https://www.dnv.com/news/lng-powers-unprecedented-year-for-orders-of-alternative-fuelled-vesselss/>

- MacFarlane, D. R., Cherepanov, P. V., Choi, J., Suryanto, B. H., Hodgetts, R. Y., Bakker, J. M., Vallana, F. M. F., & Simonov, A. N. (2020).** A roadmap to the ammonia economy. *Joule*, 4(6), 1186–1205. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.04.004>
- Mackenzie, K., Such, E., Norman, P., & Goyder, E. (2019).** Sitting less at work: a qualitative study of barriers and enablers in organisations of different size and sector. *BMC Public Health*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7148-8>
- Martin, J., Neumann, A., & Ødegård, A. (2023).** Renewable hydrogen and synthetic fuels versus fossil fuels for trucking, shipping and aviation: A holistic cost model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 186, 113637. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113637>
- McKinlay, C. J., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2021).** Route to zero emission shipping: Hydrogen, ammonia or methanol? *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(55), 28282–28297. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.066>
- Melnyk, O., & Onyshchenko, S. (2022).** Navigational safety assessment based on Markov-Model approach. *Pomorstvo*, 36(2), 328–337. <https://doi.org/10.31217/p.36.2.16>
- Mentes, A., & Mollaahmetoglu, E. (2022).** A resilient approach of safety assessment for confined space operations on FPSO units. *Ocean Engineering*, 252, 111141. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111141>
- Minteer, S. (2011).** Biochemical production of other bioalcohols: biomethanol, biopropanol, bioglycerol, and bioethylene glycol. In *Elsevier eBooks* (pp. 258–265). <https://doi.org/10.1533/9780857090492.2.258>
- Moreno, F. C., Gonzalez, J. R., Muro, J. S., & Maza, J. G. (2022).** Relationship between human factors and a safe performance of vessel traffic service operators: A systematic qualitative-based review in maritime safety. *Safety Science*, 155, 105892. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105892>
- Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13. (n.d.).** [https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/nitrogen-oxides-\(nox\)-%E2%80%93regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/nitrogen-oxides-(nox)-%E2%80%93regulation-13.aspx)
- Nas, S. (2015).** The definitions of safety and security. *Journal of ETA Maritime Science*, 3(2), 53–54. <https://doi.org/10.5505/jems.2015.42713>
- Nævestad, T., Hesjevoll, I. S., & Elvik, R. (2021).** How can regulatory authorities improve safety in organizations by influencing safety culture? A conceptual model of the relationships and a discussion of implications. *Accident Analysis & Prevention*, 159, 106228. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106228>
- Perna, A., Jannelli, E., Di Micco, S., Romano, F., & Minutillo, M. (2023).** Designing, sizing and economic feasibility of a green hydrogen supply chain for maritime transportation. *Energy Conversion and*

- Management*, 278, 116702.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116702>
- Principles of minimum Safe Manning.** (n.d.).
<https://www.imo.org/en/ourwork/humanelement/pages/principlesonsafemanning.aspx>
- Prussi, M., Scarlat, N., Acciaro, M., & Kosmas, V.** (2021). Potential and limiting factors in the use of alternative fuels in the European maritime sector. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125849.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125849>
- Prussi, M., Laveneziana, L., Testa, L., & Chiaramonti, D.** (2022). Comparing e-Fuels and electrification for decarbonization of Heavy-Duty transports. *Energies*, 15(21), 8075.
<https://doi.org/10.3390/en15218075>
- Pyć, D.** (2020). Maritime safety culture as a condition for sustainable shipping. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej W Szczecinie*.
<https://doi.org/10.17402/400>
- Renewable Energy Directive.** (n.d.). Energy.
https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en
- Roberts, S. E., Nielsen, D., Kotłowski, A., & Jaremin, B.** (2014). Fatal accidents and injuries among merchant seafarers worldwide. *Occupational Medicine*, 64(4), 259–266. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqu017>
- Rony, Z. I., Mofijur, M., Hasan, M., Rasul, M., Jahirul, M., Ahmed, S. F., Kalam, M., Badruddin, I. A., Khan, T. Y., & Show, P.** (2023). Alternative fuels to reduce greenhouse gas emissions from marine transport and promote UN sustainable development goals. *Fuel*, 338, 127220. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127220>
- safety.** (2025). <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/safety>
- Safety & Security - EMSA - European Maritime Safety Agency.** (n.d.).
<https://www.emsa.europa.eu/we-do/safety.html>
- Safety Management System (SMS).** (2024, August 2). Federal Aviation Administration. <https://www.faa.gov/about/initiatives/sms>
- Sagot, B., Giraudier, G., Decuniac, F., Lefebvre, L., Miquel, A., & Thomas, A.** (2025). On-Board measurement of emissions on a dual fuel LNG powered cruise ship: a sea trial study. *Atmospheric Environment X*, 100313. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2025.100313>
- Sari, N. D. P., Tuswan, T., Muttaqie, T., Soetardjo, M., Murwatono, N. T. T. P., Utina, R., Yuniati, Y., Prabowo, N. a. R., & Misbahudin, S.** (2023). Critical Overview and challenge of Representative LNG-Fuelled ships on potential GHG emission reduction. *Evergreen*, 10(3), 1792–1808.
<https://doi.org/10.5109/7151729>
- Sattler, G.** (2000). Fuel cells going on-board. *Journal of Power Sources*, 86(1–2), 61–67. [https://doi.org/10.1016/s0378-7753\(99\)00414-0](https://doi.org/10.1016/s0378-7753(99)00414-0)

- Sayin, C. (2010). Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol–diesel blends. *Fuel*, 89(11), 3410–3415. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.02.017>
- Schinas, O., & Butler, M. (2016). Feasibility and commercial considerations of LNG-fueled ships. *Ocean Engineering*, 122, 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.04.031>
- Schroer, M., Panagakos, G., & Barfod, M. B. (2022). An evidence-based assessment of IMO’s short-term measures for decarbonizing container shipping. *Journal of Cleaner Production*, 363, 132441. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132441>
- Schulz, J. (2003). AIR–SEA INTERACTION | Freshwater flux. In *Elsevier eBooks* (pp. 75–84). <https://doi.org/10.1016/b0-12-227090-8/00066-x>
- Senders, J. W., & Moray, N. P. (2020). Human error: In *CRC Press eBooks*. <https://doi.org/10.1201/9781003070375>
- Shamsul, N., Kamarudin, S., Rahman, N., & Kofli, N. (2014). An overview on the production of bio-methanol as potential renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 578–588. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.024>
- Shi, J., Zhu, Y., Feng, Y., Yang, J., & Xia, C. (2023). A prompt decarbonization pathway for shipping: green hydrogen, ammonia, and methanol production and utilization in marine engines. *Atmosphere*, 14(3), 584. <https://doi.org/10.3390/atmos14030584>
- Short-term GHG reduction measure.** (n.d.). <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/short-term-ghg-reduction-measure.aspx#:~:text=The%20measure%20consists%20of%20combined,%25%2C%20compared%20to%202008%20levels.>
- SOx • PM regulations | ClassNK - English.** (n.d.). <https://www.classnk.or.jp/hp/en/activities/statutory/soxpm/index.html>
- SOLAS.** (n.d.). <https://www.imo.org/en/knowledgecentre/conferencesmeetings/pages/solas.aspx>
- Stallard, E. (2025, April 11). *Global breakthrough agreement to tackle shipping emissions.* <https://www.bbc.com/news/articles/c20xxv22wl9o>
- Stamoudis, N., Chryssakis, C., & Kaiktsis, L. (2013). A two-component heavy fuel oil evaporation model for CFD studies in marine Diesel engines. *Fuel*, 115, 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.06.035>
- Stanton, N. A. (2004). Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA). In *CRC Press eBooks* (pp. 394–403). <https://doi.org/10.1201/9780203489925-48>
- Stanton, N. A., Salmon, P., Harris, D., Demagalski, J., Marshall, A., Waldmann, T., & Dekker, S. (2019). Predicting pilot error: Assessing the performance of SHERPA. In *Human-centered computing* (pp. 587–591). CRC Press.

- Svanberg, M., Ellis, J., Lundgren, J., & Landälv, I.** (2018). Renewable methanol as a fuel for the shipping industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 1217–1228. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.058>
- Şenkal, O., Kanık, R., Sezgin, M. E., & Şenkal, Ö. A.** (2021). Occupational health and safety education at inclusive vocational schools in Turkey. *SAGE Open*, 11(4). <https://doi.org/10.1177/21582440211067239>
- Teymourzadeh, E., Mehdizadeh, P., Yaghoubi, M., & Firoozjaie, I. T.** (2023). Assessment and Reduction of Human Error using SHERPA Technique in Chemotherapy Department of a Large Military Hospital. *Iranian Journal of Nursing and Midwifery Research*, 28(4), 426–429. https://doi.org/10.4103/ijnmr.ijnmr_382_21
- THE 17 GOALS** | Sustainable Development. (n.d.). <https://sdgs.un.org/goals>
- Torres, Y., Nadeau, S., & Landau, K.** (2021). Application of SHERPA (Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach) as an alternative to predict and prevent human error in manual assembly. In *Lecture notes in networks and systems* (pp. 445–453). https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7_56
- Tsujimura, T., & Suzuki, Y.** (2017). The utilization of hydrogen in hydrogen/diesel dual fuel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(19), 14019–14029. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.152>
- Uflaz, E., Celik, E., Aydin, M., Erdem, P., Akyuz, E., Arslan, O., Kurt, R. E., & Turan, O.** (2022). An extended human reliability analysing under fuzzy logic environment for ship navigation. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 15(2), 189–209. <https://doi.org/10.1080/18366503.2022.2025687>
- Üstündağ, Y. E.** (2016). Demiryollarında Emniyet ve Güvenlik. *Demiryolu Mühendisliği*, 3, 27–29. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/517137>
- Van Biert, L., Godjevac, M., Visser, K., & Aravind, P.** (2016). A review of fuel cell systems for maritime applications. *Journal of Power Sources*, 327, 345–364. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.07.007>
- Van Hoecke, L., Laffineur, L., Campe, R., Perreault, P., Verbruggen, S. W., & Lenaerts, S.** (2021). Challenges in the use of hydrogen for maritime applications. *Energy & Environmental Science*, 14(2), 815–843. <https://doi.org/10.1039/d0ee01545h>
- Verhelst, S., Turner, J. W., Sileghem, L., & Vancoillie, J.** (2018). Methanol as a fuel for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 70, 43–88. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.10.001>
- Vinnem, J. E., Hestad, J. A., Kvaløy, J. T., & Skogdalen, J. E.** (2010). Analysis of root causes of major hazard precursors (hydrocarbon leaks) in the Norwegian offshore petroleum industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(11), 1142–1153. <https://doi.org/10.1016/j.res.2010.06.020>

- Von Thaden, T. L., & Gibbons, A. M.** (2008). *The safety culture indicator scale measurement system (SCISMS)* (Final Report No. 1, pp. 1–57). National Technical Information Service.
- Wärtsilä.** (n.d.). Creating optimal LNG storage solutions. *Wartsila.com*. <https://www.wartsila.com/insights/article/creating-optimal-lng-storage-solutions>
- Walker, A.** (2013). Outcomes associated with breach and fulfillment of the psychological contract of safety. *Journal of Safety Research*, 47, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2013.08.008>
- Wang, Y., & Wright, L. A.** (2021). A Comparative review of alternative fuels for the maritime sector: economic, technology, and policy challenges for clean energy implementation. *World*, 2(4), 456–481. <https://doi.org/10.3390/world2040029>
- Wang, J., Zhou, Y., Zhuang, L., Shi, L., & Zhang, S.** (2021b). Study on the critical factors and hot spots of crude oil tanker accidents. *Ocean & Coastal Management*, 217, 106010. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.106010>
- Xing, H., Stuart, C., Spence, S., & Chen, H.** (2021). Alternative fuel options for low carbon maritime transportation: Pathways to 2050. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126651. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126651>
- Xu, L., Xu, S., Bai, X., Repo, J. A., Hautala, S., & Hyvönen, J.** (2023). Performance and emission characteristics of an ammonia/diesel dual-fuel marine engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 185, 113631. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113631>
- Xuecai, X., Shifei, S., Gui, F., Xueming, S., Jun, H., Qingsong, J., & Zhao, S.** (2022). Accident case data–accident cause model hybrid-driven coal and gas outburst accident analysis: Evidence from 84 accidents in China during 2008–2018. *Process Safety and Environmental Protection*, 164, 67–90. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.05.048>
- Zincir, B., Deniz, C., & Tunér, M.** (2019). Investigation of environmental, operational and economic performance of methanol partially premixed combustion at slow speed operation of a marine engine. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1006–1019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.044>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Aysel Çamcı

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2023, Boğaziçi Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Temel Eğitim Bölümü
- **Önlisans** : 2025, Galatasaray Üniversitesi, Denizcilik Meslek Yüksekokulu, Gemi Makineleri İşletme Programı
- **Yüksek Lisans** : 2025, İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Çalışmaları Anabilim Dalı, Denizcilik Çalışmaları Programı

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

- **Camcı, A., Bolat F.** 2025. Importance of Safety Awareness and Safety Culture Onboard with Alternative Fuels. Paper presented at International Graduate Research Symposium, Istanbul Technical University, 12-14 May 2025, İstanbul, Türkiye.