



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**HAM PETROL TANKERLERİNDE
Volatile Organic Compound
(VOC) ETKİSİ**

**Gemi Emniyeti Açısından
Değerlendirme**

Hazal KAHRAMAN

DENİZ ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2025



**HAM PETROL TANKERLERİNDE VOC ETKİSİ
GEMİ EMNİYETİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRME**

Hazal KAHRAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DENİZ ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ŞUBAT 2025

Hazal KAHRAMAN tarafından hazırlanan ‘‘HAM PETROL TANKERLERİNDE VOC ETKİSİ GEMİ EMNİYETİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRME’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Turgay BATTAL

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Meltem EKEN

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ender YALÇIN

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 25/02/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Abdullah ÖZKAN
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü V.

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hazal KAHRAMAN

25/02/2025

HAM PETROL TANKERLERİNDE VOC ETKİSİ
GEMİ EMNİYETİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRME
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazal KAHRAMAN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Şubat 2025

ÖZET

Bu çalışma, ham petrol tankerlerinden kaynaklanan uçucu organik bileşiklerin (VOC) gemi emniyeti üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemektedir. VOC'ler, ham petrolün taşınması ve depolanması sırasında atmosfere yayılan, çevreye ve insan sağlığına zarar veren kimyasal maddelerdir. Bu kapsamda VOC emisyonları, tanker operasyonları sırasında gemi personelinin karşı karşıya kaldığı önemli bir tehlike olup, patlama ve yangın gibi ciddi güvenlik risklerine yol açabilmektedir. Bu çerçevede bu çalışm itibariyle VOC'lerin neden olduğu güvenlik sorunları ayrıntılı olarak analiz edilmekte, VOC'lerin maruz kalınma durumunda personel sağlığı ve gemi operasyonları üzerindeki olumsuz etkileri değerlendirilmektedir. Tüm bunlarla beraber çalışmada mevcut güvenlik standartları ve önleyici tedbirlerin etkinliği gözden geçirilerek, gemi emniyetini artırmaya yönelik çeşitli stratejiler önerilmektedir. Özellikle VOC emisyonlarını azaltmaya yönelik teknolojik çözümler (örneğin, gaz geri kazanım sistemleri ve kapalı sistem depolama) ile operasyonel yöntemler (gemi bakım ve havalandırma sistemlerinin düzenli olarak kontrol edilmesi gibi) detaylandırılarak bu çözümlerin gemi emniyeti üzerindeki olumlu katkıları ele alınmaktadır. Ayrıca VOC kaynaklı risklerin azaltılması ve gemi personelinin sağlığının korunması için uygulanabilecek yönetmelikler ve protokoller üzerine öneriler sunulmaktadır. Genel olarak VOC emisyonlarının yönetimi ve azaltılmasının gemi operasyonlarının güvenliği, çevreye verilen zararların sınırlandırılması ve gemi personelinin sağlığının korunması açısından ne denli kritik bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Bu doğrultuda VOC risklerini etkili bir şekilde yönetmenin, yalnızca gemi personelinin sağlığını değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de destekleyecek bir gereklilik olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Ham Petrol, Tanker, VOC Etkisi, Gemi Emniyeti
Sayfa Adedi : 110
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Turgay BATTAL

EVALUATION OF THE EFFECT OF VOC ON CRUDE OIL TANKERS
IN TERMS OF SHIP SAFETY
(M. Sc. Thesis)

Hazal KAHRAMAN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE

February 2025

ABSTRACT

It does comprehensive research on the influence of the volatile organic compounds emanating from the crude oil tankers on the safety of the ship. These chemical substances, during transportation and storage of crude oil, go into the atmosphere and harm the environment and human health. Within this context, VOC emissions pose a substantial threat to the personnel during tanker operations and thus create serious safety risks, such as explosion and fire. In this respect, the safety issues caused by VOCs are analyzed in more detail herein, while the negative impact of VOCs on personnel health and ship operations is evaluated in case of exposure. Among all of those, this study reviews the effectiveness of the existing safety standards and preventive measures, proposing various strategies to increase ship safety. In particular, it details technological solutions for the reduction of VOC emissions, such as gas recovery systems and closed system storage, and operational methods, such as regular inspection of ship maintenance and ventilation systems, while discussing their positive contribution to ship safety. In addition, it gives suggestions about the regulation and policies to be enforced that could diminish VOC risk such as protecting the health of people at work aboard ships. Thus, the regulation of emissions is one factor important for safe operation that may restrain environmental damage, along with prevention of human illness aboard vessels. In this respect, it is established that effective management of VOC risks is a development that is fundamentally important for environmental sustainability in addition to the health of the ship's personnel.

Keywords : Crude Oil, Tanker, VOC Effect, Ship Safety
Number of Pages : 110
Advisor : Assist. Prof. Dr. Turgay BATTAL

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında katkı ve desteklerini esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Turgay BATTAL'a ve eşim Uzakyol Kaptanı Derviş KAHRAMAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez sürecimde danışmanımın sağladığı yol gösterici fikirler, teşvik edici tavsiyeler ve değerli görüşleri, çalışmamın her aşamasında bana ışık tuttu. Bu süreçte gösterdikleri yardım ve anlayış, çalışmamın başarıya ulaşmasında büyük bir rol oynamıştır. Son olarak bu süreci benimle paylaşan ve bana destek olan tüm dostlarıma da şükranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|-----|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| TEŞEKKÜR..... | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ..... | ix |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | x |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER | 5 |
| 2.1. Ham Petrol Tankerlerinde VOC Emisyonları | 5 |
| 2.1.1. VOC nedir? | 5 |
| 2.1.2. VOC'un tanımı ve genel özellikleri..... | 6 |
| 2.1.3. VOC'un kimyasal yapısı ve türleri | 7 |
| 2.2. Ham Petrol Tankerlerinde VOC Kaynakları | 9 |
| 2.2.1. Ham petrolün fiziksel ve kimyasal özellikleri | 11 |
| 2.2.2. Yükleme ve boşaltma sürecinde voc salınımı..... | 13 |
| 2.3. VOC Emisyonlarının Ölçülmesi Ve İzlenmesi | 15 |
| 2.3.1. VOC ölçüm cihazları ve teknolojileri | 18 |
| 2.3.2. VOC konsantrasyonlarının izlenmesi yöntemleri | 21 |
| 2.4. VOC'nin Çevresel ve Sağlık Üzerindeki Etkileri..... | 23 |
| 2.4.1. VOC'un insan sağlığına etkileri | 26 |
| 2.4.2. VOC'un solunum sistemine zararları | 30 |
| 2.5. Gemi Emniyeti ve Riskler..... | 33 |
| 2.5.1. Gemi emniyeti kavramı..... | 33 |
| 2.5.2. Gemi emniyetinin temel prensipleri..... | 35 |
| 2.5.3. Gemi personeli için güvenlik protokolleri | 38 |
| 2.6. Ham Petrol Tankerlerinde Güvenlik Riskleri..... | 41 |
| 2.6.1. Ham petrolün yangınlık ve patlayıcılık özellikleri | 43 |
| 2.6.2. Yükleme ve boşaltma esnasında karşılaşılan riskler..... | 45 |
| 2.7. VOC Emisyonlarının Gemi Güvenliğine Olan Etkileri | 47 |
| 2.7.1. Patlayıcı atmosfer oluşumu riski..... | 48 |

| | |
|--|-----|
| 2.7.2. VOC'un yangın ve patlama olasılıklarına katkısı | 50 |
| 2.8. VOC Emisyonlarından Kaynaklanan Tehlikeler ve Kazalar | 51 |
| 2.8.1. Tarihsel kazalar ve VOC'nin rolü | 53 |
| 2.8.2. VOC emisyonlarından kaynaklanan yangın ve patlama olayları..... | 54 |
| 2.9. Uluslararası Düzenlemeler ve Önlemler | 56 |
| 2.9.1. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) düzenlemeleri | 56 |
| 2.9.2. MARPOL sözleşmesi ve voc düzenlemeleri | 57 |
| 2.9.3. IMO'nun Voc emisyonlarını azaltmaya yönelik kararları | 60 |
| 2.10. VOC Emisyonlarının Kontrolü İçin Uygulanan Standartlar..... | 61 |
| 2.10.1. VOC emisyonu sınır değerleri | 63 |
| 2.10.2. Kargo tankı kaplama malzemeleri ve VOC azaltma..... | 64 |
| 2.11. Gemi Güvenliği Açısından VOC Azaltma Yöntemleri | 65 |
| 2.11.1. Kapalı yükleme ve boşaltma sistemleri | 67 |
| 2.11.2. Yenilikçi havalandırma sistemleri ve teknolojileri..... | 68 |
| 3. YÖNTEM VE METOD | 71 |
| 3.1. Araştırmanın Metodu | 71 |
| 3.2. Evren ve Örneklem | 71 |
| 3.3. Veri Toplama Süreci | 72 |
| 3.4. Veri Analizi | 73 |
| 4. BULGULAR..... | 74 |
| 5. TARTIŞMA..... | 90 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 94 |
| KAYNAKLAR..... | 96 |
| EKLER..... | 101 |
| Ek 1: Anket Formu – Türkçe | 101 |
| Ek 2 : Anket Formu – İngilizce..... | 106 |

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge | Sayfa |
|--|-------|
| Çizelge 2.1. Ham Petrol Tankerlerinde VOC Türleri, Konsantrasyonları ve Sağlık Etkileri | 29 |
| Çizelge 4.1. Demografik Özelliklerin Dağılımı..... | 74 |
| Çizelge 4.2. Performans Göstergeleri Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri..... | 75 |
| Çizelge 4.3. Korelasyon Analizi Sonuçları | 77 |
| Çizelge 4.4. Yaş Gruplarına Göre Farklı Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Bağımsız Örneklem t-Testi Sonuçları | 78 |
| Çizelge 4.5. Cinsiyete Göre Farklı Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Bağımsız Örneklem t-Testi Sonuçları | 79 |
| Çizelge 4.6. Eğitim Düzeyine Göre Farklı Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Bağımsız Örneklem t-Testi Sonuçları | 81 |
| Çizelge 4.7. Toplam Denizcilik Tecrübesine Göre Farklı Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Bağımsız Örneklem t-Testi Sonuçları | 82 |
| Çizelge 4.8. Tanker Tecrübesine Göre Farklı Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Bağımsız Örneklem t-Testi Sonuçları | 84 |
| Çizelge 4.9. Mesleki Bilgiler / Professional Information Mevcut Pozisyon Current Position | 86 |
| Çizelge 4.9. (Devam): Mesleki Bilgiler / Professional Information Mevcut Pozisyon Current Position | 87 |
| Çizelge 4.10. Yeterlilik Belgesi Seviyesi Certificate of Competency Level..... | 88 |
| Çizelge 4.10. (Devam): Yeterlilik Belgesi Seviyesi Certificate of Competency Level | 89 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler | Açıklamalar |
|--------------------|---|
| n | Örneklem sayısı |
| ort. | Ortalama değer |
| p | Anlamlılık düzeyi (istatistiksel analizlerde kullanılmış) |
| r | Korelasyon katsayısı (istatistiksel analizlerde kullanılmış) |
| ss | Standart sapma |
| % | Yüzde işareti |
| Kısaltmalar | Açıklamalar |
| CEMS | Continuous Emission Monitoring System (Sürekli Emisyon İzleme Sistemi) |
| FID | Flame Ionization Detector (Alev İyonizasyon Dedektörü) |
| IARC | International Agency for Research on Cancer (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı) |
| IMO | International Maritime Organization (Uluslararası Denizcilik Örgütü) |
| ISM | International Safety Management (Uluslararası Güvenlik Yönetimi) |
| KKE | Kişisel Koruyucu Ekipman |
| KOAH | Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı |
| MARPOL | Marine Pollution (Deniz Kirliliği Uluslararası Sözleşmesi) |
| MSDS | Material Safety Data Sheet (Malzeme Güvenlik Bilgi Formu) |

| | |
|--------------|--|
| PID | Photo Ionization Detector (Foto İyonizasyon Dedektörü) |
| P/V | Pressure/Vacuum (Basınç/Vakum) |
| SMS | Safety Management System (Güvenlik Yönetim Sistemi) |
| SOLAS | Safety of Life at Sea (Denizde Can Güvenliği Uluslararası Sözleşmesi) |
| VOC | Volatile Organic Compound (Uçucu Organik Bileşik) |
| VRS | Vapor Recovery System (Buhar Geri Kazanım Sistemi) |



1. GİRİŞ

Deniz taşımacılığı, küresel enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla büyük ölçekli ham petrol ve türevlerinin taşınmasında hayati bir rol oynamaktadır. Ham petrol tankerleri, bu taşımacılık süreçlerinde geniş bir kullanım alanına sahip olmakta ve operasyonel süreçlerde ortaya çıkan bazı emisyonlar, ciddi emniyet ve sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Uçucu organik bileşikler (VOC), ham petrolün taşınması ve depolanması sırasında atmosfere salınan kimyasal maddeler arasında en dikkat çeken unsurlar arasında yer almaktadır. VOC'ler, hem çevreye hem de insan sağlığına zararlı etkiler göstermektedir. Ayrıca özellikle gemilerde yangın ve patlama gibi ciddi güvenlik risklerine yol açmaktadır. Bu durum, ham petrol tankerlerinde çalışan personelin emniyetini doğrudan etkilemekte ve denizcilik endüstrisinin karşılaştığı önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu konuyla ilişkili olarak Altun (2013) çalışmasında ham petrol tankerlerinde ham petrolle tank yıkama (COW - Crude Oil Washing) işleminin emniyetli bir şekilde optimize edilmesi ele alınmıştır. Bu çalışma, COW sürecinin tankerlerde güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi için gerekli yöntemleri incelemekte ve optimize edilmesi gereken alanları vurgulamaktadır. Çalışma, COW işleminin hem güvenlik hem de verimlilik açısından daha etkili bir şekilde yapılabilmesi için öneriler sunmaktadır.

Bu kapsamda bu çalışmanın temel amacı, ham petrol tankerlerinde meydana gelen VOC emisyonlarının gemi emniyeti üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Bu bağlamda VOC'lerin kaynakları, emisyon süreçleri ve bunların gemi operasyonları sırasında yarattığı tehlikeler ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Ayrıca mevcut güvenlik protokolleri, önleyici tedbirler ve VOC emisyonlarını azaltmaya yönelik teknolojiler incelenmekte, bu konuda yapılan çalışmalar literatür taramasıyla desteklenmektedir. Gemi emniyeti, denizcilik endüstrisi için kritik bir öneme sahip olup VOC emisyonlarının kontrol altına alınması ve etkili bir şekilde yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çerçevede Nordvik (2020) çalışmasında, ham petrol yükleme, taşınması ve boşaltılması sırasında VOC emisyonlarının ölçümü, karakterizasyonu ve simülasyonu üzerine bir yüksek lisans tezi hazırlanmıştır. Çalışma, Basra Körfezi'ndeki petrol taşıma süreçlerinden kaynaklanan VOC emisyonlarını detaylı bir şekilde incelemekte ve bu emisyonların çevresel etkilerini değerlendirmektedir.

Araştırma, VOC emisyonlarının yönetimi için geliştirilmiş yöntemler ve simülasyon teknikleri sunarak sektördeki uygulamaların iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Bu kapsamda genel olarak bu çalışmada VOC kaynaklı risklerin analiz edilmesi ve bu risklerin gemi emniyeti üzerindeki olası etkileri incelenerek deniz taşımacılığında emniyet seviyesinin artırılmasına yönelik çözüm önerileri sunulmaktadır.

Çalışmanın amacı

Bu çalışmanın amacı, ham petrol tankerlerinde meydana gelen uçucu organik bileşikler (VOC) emisyonlarının gemi emniyeti üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemektir. VOC'ler, gemi operasyonları sırasında ortaya çıkan potansiyel riskler arasında yer almakta ve hem gemi personelinin güvenliği hem de operasyonların bütünlüğü açısından ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Bu doğrultuda çalışmada VOC emisyonlarının kaynakları, bu emisyonların gemi içinde ve çevresinde nasıl bir risk ortamı yarattığı ve gemi güvenliği açısından doğrudan etkileri değerlendirilmektedir. Ayrıca mevcut uluslararası denizcilik düzenlemeleri ve standartları çerçevesinde VOC kaynaklı risklerin yönetilmesi ve azaltılması için uygulanan stratejiler analiz edilmektedir. Bu kapsamda bu alanda geliştirilmiş teknolojik çözümler ve operasyonel iyileştirmeler ele alınmaktadır. Son olarak gemi emniyetini sağlamak için alınması gereken önlemler ve VOC emisyonlarının minimize edilmesine yönelik öneriler sunularak ham petrol taşımacılığı yapan gemilerin güvenliğinin artırılmasına katkıda bulunulması hedeflenmektedir. Bu çalışmanın sonucunda ham petrol tankerlerindeki VOC emisyonlarının gemi güvenliği ve personel sağlığı üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması ve bu konuda uygulamalı çözümler geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın önemi

Denizcilik sektörü, küresel enerji tedarik zincirinin en önemli parçalarından birini oluşturmaktadır ve ham petrol taşımacılığı bu süreçte kritik bir rol oynamakta fakat ham petrol tankerlerinde taşınan yükler ve operasyonel süreçler, çeşitli emisyon sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Uçucu organik bileşikler (VOC) emisyonları, çevresel etkilerinin yanı sıra, gemi emniyeti ve personel sağlığı açısından da ciddi riskler taşımaktadır. VOC'ler, gemilerde patlama ve yangın gibi büyük kazalara yol açabilmekte, bu durum gemi güvenliğini doğrudan tehdit etmekte ve denizcilik endüstrisinde yüksek maliyetli sonuçlar doğurabilmektedir.

Bu çalışmanın önemi, ham petrol tankerlerinde ortaya çıkan VOC emisyonlarının gemi güvenliği üzerindeki etkilerini derinlemesine incelemesinden kaynaklanmaktadır.

Gemi operasyonlarının emniyetli bir şekilde yürütülebilmesi, hem personelin sağlığı hem de gemi ve çevrenin korunması açısından büyük önem taşımakta fakat mevcut literatürde VOC emisyonlarının gemi güvenliğine etkisi üzerine yapılan çalışmalar sınırlı olup bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu çalışma, bu alandaki boşluğu doldurmayı ve denizcilik sektöründe VOC kaynaklı risklerin yönetimi konusunda katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca bu çalışmada sunulacak analizler ve öneriler, denizcilik şirketlerine, gemi personeline ve deniz taşımacılığı düzenleyici kurumlarına pratik bilgiler sağlamakta ve gemi güvenliğini artırmaya yönelik tedbirlerin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Özellikle uluslararası denizcilik standartları çerçevesinde alınacak önlemlerle VOC emisyonlarının gemi güvenliği üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması mümkün olmaktadır. Bu bağlamda çalışma sadece akademik bir katkı sunmakla kalmayıp, aynı zamanda sektör uygulamalarına yönelik önemli sonuçlar ortaya koymaktadır.

Çalışmanın kapsamı

Bu çalışma, ham petrol tankerlerinde oluşan uçucu organik bileşikler (VOC) emisyonlarının gemi emniyeti üzerindeki etkilerini incelemek üzere planlanmaktadır. Bu kapsamda çalışmada VOC emisyonlarının kaynakları, bu emisyonların meydana geliş süreçleri ve bunların gemi operasyonları üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. VOC'lerin yangın, patlama ve personel sağlığı üzerindeki potansiyel riskleri, gemi emniyeti açısından kritik bir bakış açısıyla değerlendirilmektedir. Çalışma, öncelikli olarak VOC emisyonlarının gemilerde hangi süreçlerde ve nasıl meydana geldiğini açıklamayı hedeflemektedir. Bu bağlamda ham petrol taşımacılığı sırasında VOC salınımını etkileyen faktörler, tanker operasyonları ve yükleme-boşaltma süreçleri üzerinde durulmaktadır. Ayrıca VOC'lerin patlayıcı ortam oluşturma potansiyeli ve bu durumun gemi emniyetine yönelik tehditleri incelenmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında, mevcut uluslararası denizcilik düzenlemeleri ve VOC emisyonlarının azaltılmasına yönelik teknolojik ve operasyonel çözümler analiz edilmektedir. Bu kapsamda Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gibi denizcilik sektörü düzenleyici kurumlarının belirlediği standartlar, bu standartların gemi emniyeti üzerindeki etkileri ve uygulama alanları değerlendirilmektedir. Son olarak çalışma gemi personelinin VOC kaynaklı risklere karşı korunmasına yönelik önleyici tedbirleri de içermektedir.

Gemi içinde alınması gereken güvenlik önlemleri ve personelin maruz kalabileceği VOC seviyelerinin minimize edilmesi için geliştirilen teknolojiler ve operasyonel stratejiler detaylandırılmaktadır.

Çalışmanın kapsamı, hem gemi güvenliği hem de personel sağlığı açısından VOC'lerin yarattığı riskleri yönetmeye yönelik öneriler geliştirmekle sınırlı kalmaktadır.

Çalışmanın sınırlılıkları

Bu çalışma, ham petrol tankerlerinde meydana gelen uçucu organik bileşikler (VOC) emisyonlarının gemi emniyeti üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamakta olup belirli sınırlılıklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu çerçevede,

- Bu çalışmada kullanılan veri ve bilgiler, literatür taraması ve mevcut bilimsel kaynaklarla sınırlı kalmaktadır. Ham petrol tankerlerinde VOC emisyonlarına dair güncel ve kapsamlı saha verilerine erişim sınırlı olduğundan çalışma büyük ölçüde ikincil veri kaynaklarına dayanmaktadır. Saha çalışmalarının eksikliği, gerçek zamanlı verilerin değerlendirilmesi açısından bir sınırlılık yaratmaktadır.
- VOC emisyonlarını azaltmaya yönelik teknolojiler hızla gelişmektedir. Bu çalışmada incelenen teknolojik çözümler, mevcut durumda geçerli olan teknolojileri ve yöntemleri kapsamakta fakat denizcilik sektöründe ortaya çıkabilecek yeni teknolojik gelişmeler ve iyileştirmeler çalışma kapsamında değerlendirilememektedir. Gelecekteki teknolojik ilerlemeler bu çalışmanın sonuçlarını değiştirebilmektedir.
- Denizcilik sektöründe uluslararası düzenlemeler ve standartlar sürekli olarak güncellenmektedir. Bu çalışmada VOC emisyonlarıyla ilgili mevcut uluslararası düzenlemeler ele alınmakta olsa da ileride yürürlüğe girecek yeni düzenlemeler bu çalışmanın bulgularını etkileme potansiyeline sahip olmaktadır.
- Çalışma sadece ham petrol tankerlerine odaklanmakta olup farklı tipte gemilerde (örneğin kimyasal tankerler, LNG tankerleri) meydana gelebilecek VOC emisyonları ve bu gemilerde alınan emniyet tedbirleri değerlendirme dışı bırakılmaktadır. Bu sınırlama, diğer gemi türleriyle ilgili emisyon değerlendirmesinin kapsam dışında kalmasına neden olmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ham Petrol Tankerlerinde VOC Emisyonları

2.1.1. VOC nedir?

Uçucu organik bileşikler (VOC'ler), yüksek buhar basıncına sahip kimyasal bileşiklerdir ve normal atmosferik sıcaklıklarda hızla buharlaşarak havaya karışmaktadır. Bu bileşikler, genellikle petrol ürünleri, boyalar, çözücüler ve bazı endüstriyel işlemler sırasında atmosfere salınmaktadır. VOC'ler, organik karbon içerikli bileşikler olup çevresel kirlenmeye ve sağlık sorunlarına neden olan önemli kimyasallar arasında yer almaktadır. Atmosfere yayıldıklarında güneş ışığıyla tepkimeye girerek yüzey ozonu (smog) oluşturmaktadır. Tüm bunlarla beraber Başaran (2009) çalışmasında, Dilovası Çanağı'nda ozon prekürsörü olan NOx (nitrojen oksit) dağılımlarının incelenmesi yapılmıştır. Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma, bölgedeki hava kalitesini etkileyen NOx emisyonlarının kaynaklarını ve dağılımını değerlendirmektedir. Araştırma, ozon oluşumunu etkileyen bu emisyonların çevresel sağlık üzerindeki etkilerine de dikkat çekmektedir.

Bu durum, hem hava kirliliğine hem de insan sağlığına zarar verebilecek çeşitli olumsuz etkilerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Ham petrol tankerlerinde VOC emisyonları, genellikle ham petrolün yüklenmesi, boşaltılması ve taşınması sırasında meydana gelmektedir. Ham petrol, içeriğindeki organik bileşiklerin bir kısmını buhar fazına geçirebilmekte ve buharlaşan bu bileşikler, tankın üzerindeki hava boşluğuna yayılmaktadır (Altun, 2013). Yükleme veya boşaltma işlemleri sırasında tankların basınç değişiklikleri ile birlikte VOC'ler atmosfere salınmaktadır. Bu emisyonlar, yalnızca çevresel kirlilik yaratmakla kalmayıp aynı zamanda gemi içinde potansiyel patlama riski taşıyan yanıcı bir atmosfer oluşturmaktadır. Bu konuyla ilişkili olarak Baars (2002) çalışmasında, petrol tankerine ait "Erika" isimli geminin batması sonrası plaj temizliği, güneşlenme ve yüzme gibi aktivitelerin insan sağlığı üzerindeki riskleri değerlendirilmiştir. Çalışma, petrol sızıntısının yarattığı sağlık risklerini belirleyerek temizleme faaliyetlerinin güvenliği ve çevresel etkileri konusunda bilgi sunmaktadır. Araştırma, bu tür olayların insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerini ve risk değerlendirmelerinin önemini vurgulamaktadır.

Bu çerçevede VOC'ler, hidrokarbonlar, alkanlar, aromatik bileşikler ve oksijenli bileşikler gibi birçok farklı kimyasal yapıya sahip olabilmektedir.

Bu kimyasal yapılar, VOC'lerin doğası gereği oldukça reaktif ve tehlikeli olabilmelerine yol açmaktadır (Ahmed vd., 2023). Özellikle ham petrol taşıyan tankerlerdeki VOC emisyonları, gemi personelinin sağlığına zarar verebilmekte ve gemi emniyeti açısından ciddi riskler doğurabilmektedir. Bu nedenle VOC emisyonlarının yönetimi ve azaltılması, denizcilik sektöründe büyük bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada VOC'lerin ham petrol tankerlerinde oluşma süreçleri ve bunların gemi emniyeti üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmekte, VOC emisyonlarını kontrol altına almak için kullanılan mevcut yöntemler ve teknolojiler değerlendirilmektedir.

2.1.2. VOC'un tanımı ve genel özellikleri

VOC'ler, endüstriyel süreçlerden, fosil yakıtların taşınması ve işlenmesi gibi birçok kaynaktan atmosfere salınmaktadır. Yaygın VOC örnekleri arasında benzen, toluen, etilen, ksilen (BTEX bileşikleri), formaldehit ve asetaldehit gibi organik maddeler bulunmaktadır. Bu bileşikler, hem doğal kaynaklardan (örneğin bitkiler ve orman yangınları) hem de insan faaliyetlerinden (petrol ürünlerinin kullanımı, solventler, boya buharları, araç egzoz gazları) kaynaklanmaktadır (Akyar vd., 2023). Bu çerçevede Koca vd., (2013) çalışmasında Türkiye'deki ormanlık alanlardan kaynaklanan biyojenik uçucu organik bileşiklerin (BVOC) emisyon envanteri hazırlanmıştır. Bu çalışma, orman ekosistemlerinden yayılan BVOC'ların miktarını ve bu bileşiklerin hava kalitesi üzerindeki etkilerini incelemektedir. Araştırma, BVOC emisyonlarının yönetimi için temel veriler sağlamaktadır. VOC'lerin en belirgin özelliği, oda sıcaklığında hızla buharlaşabilmeleri ve havaya karışmalarıdır. Bu özellik, bu bileşiklerin taşınımı sırasında ve özellikle ham petrol tankerlerinde, emisyon oluşumuna neden olan temel faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. VOC'ler çevreye salındığında hava kirliliğine ve fotokimyasal duman olarak bilinen smog oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Akyuz ve Celik, 2015).

VOC'ler, özellikle güneş ışığıyla reaksiyona girerek troposferik ozonun oluşmasına ve hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Atmosferik koşullar altında hızla buharlaşabilmeleri nedeniyle ham petrol tankerlerinde özellikle yükleme ve boşaltma süreçlerinde yoğun VOC salınımlarına neden olmaktadır (Ancione vd., 2021). VOC'ler genellikle yanıcı maddeler olup belirli konsantrasyonlarda patlayıcı bir karışım oluşturabilmektedir. Bu özellik, VOC'leri gemi operasyonları sırasında büyük bir emniyet riski haline getirmektedir. VOC'ler, hem kısa hem de uzun vadede ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir.

Uzun süreli maruz kalma, solunum yolu hastalıkları, baş ağrıları ve bazı kanser türlerinin oluşum riskini artırmaktadır. Bu durum bağlamında Kaptı ve Ayrılmış (2016) çalışmasında ahşap esaslı levhalardan ayrılan formaldehit emisyonu ve organik uçucu bileşikler için yönetmelikler ve standartlar üzerinde durulmuştur. Bu çalışma, ahşap ürünlerin sağlık üzerindeki etkilerini değerlendirmekte ve emisyon standartlarının belirlenmesi ile ilgili güncel yönetmelikleri incelemektedir. Araştırma, formaldehit emisyonlarının kontrolü için önerilerde bulunmaktadır.

Çevre açısından da fotokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ozon tabakası hasarına ve hava kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu çerçevede VOC'ler yapısal olarak birçok farklı kimyasal grubu kapsamaktadır. Alkanlar, aromatikler, alkoller, aldehytler ve ketonlar VOC'lerin ana gruplarını oluşturmaktadır. Bu kimyasal çeşitlilik, VOC'lerin farklı reaktivite ve tehlike potansiyeline sahip olmasını sağlamaktadır (Altun, 2013 ; Ahmed vd., 2023). Ham petrol tankerlerinde VOC emisyonları, yükleme, boşaltma ve taşınma sırasında ham petrolün buharlaşmasıyla meydana gelmektedir. Tanklarda biriken buharlar, geminin çeşitli operasyonları sırasında atmosfere salınmaktadır. Bu durum, gemi emniyetini tehlikeye atmakta, çevresel ve sağlık açısından olumsuz etkiler doğurmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı VOC'lerin izlenmesi, kontrol altına alınması ve emisyonlarının minimize edilmesi, denizcilik sektöründe önemli bir güvenlik ve çevre yönetimi konusu haline gelmektedir (Akyar vd., 2023 ; Azkeskin, 2016).

2.1.3. VOC'un kimyasal yapısı ve türleri

VOC'lerin kimyasal yapısındaki bu çeşitlilik, onların reaktivitesini, sağlık ve çevre üzerindeki etkilerini ve fiziksel özelliklerini belirlemektedir. VOC'ler, genel olarak hidrokarbonlar, oksijen içeren bileşikler ve halojenlenmiş bileşikler gibi çeşitli kimyasal sınıflara ayrılmaktadır. Alifatik hidrokarbonlar, düz veya dallanmış zincirli yapıda karbon-hidrojen bağlarına sahip organik bileşiklerdir. En yaygın türleri arasında metan, etan, propan ve bütan bulunmaktadır. Alkanlar, tek bağlarla bağlanmış doymuş hidrokarbonlar olup alkenler ise çift bağ içeren doymamış hidrokarbonlardır (Başaran, 2009 ; Ancione vd., 2021).

Bu bileşikler, ham petrol tankerlerinde taşınan petrol ürünlerinin bir parçası olarak yükleme-boşaltma süreçlerinde atmosfere salınmaktadır. Alifatik hidrokarbonlar, yanıcı özelliklerinden dolayı gemi emniyeti açısından büyük riskler taşımaktadır. Ayrıca Ancione

vd., (2021) çalışmasında, rafinerilerde hidrokarbon yüklemesi sırasında uçucu organik bileşenlerin (VOC) emisyonlarının insan sağlığı üzerindeki riskleri incelenmiştir.

Çalışma, bu emisyonların çevresel etkilerini değerlendirerek özellikle sağlık açısından potansiyel tehlikeleri ortaya koymaktadır. Araştırma, VOC emisyonlarının kontrolü için gerekli önlemlerin alınmasının önemine dikkat çekmektedir.

Aromatik hidrokarbonlar, benzen halkası içeren ve genellikle daha yüksek toksisiteye sahip organik bileşikler olarak bilinmektedir. Benzen, toluen, ksilen (BTEX bileşikleri) gibi bileşikler, VOC'lerin bu sınıfına girmektedir. Aromatik hidrokarbonlar, kimyasal olarak oldukça kararlı olup, uzun süreli çevresel kirliliğe neden olabilmektedir (Azkeskin, 2016). Ayrıca solunum yoluyla maruz kalındığında ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu bileşikler, tanker operasyonlarında yaygın olarak bulunmakta ve havada yüksek konsantrasyonlarda biriktiğinde patlayıcı ortam yaratabilmektedir. Tüm bunlarla beraber alkol grubu, hidroksil (-OH) fonksiyonel grubu içeren bileşiklerden oluşmaktadır. Metanol, etanol ve bütanol gibi bileşikler bu sınıfa dahil olmaktadır (Aydin vd., 2024). Aldehitler ise bir karbonil grubuna (C=O) sahip olup formaldehit en bilinen örneklerdendir. Alkol ve aldehitler, hem endüstriyel işlemler sırasında hem de biyolojik süreçlerde doğal olarak oluşabilmektedir. VOC emisyonları sırasında bu bileşikler genellikle yan ürünler olarak atmosfere salınmaktadır. Alkol ve aldehitlerin özellikle göz ve solunum yolu tahrişine neden olabileme özellikleri bulunmaktadır. Bu çerçevede ketonlar, karbonil grubunun (C=O) iki karbon atomuna bağlandığı organik bileşikler olarak tanımlanmaktadır (Başaran, 2009). Aseton, bu sınıfa ait en bilinen bileşiklerden biridir. Ketonlar genellikle çözücülerde bulunmakta ve uçucu olduklarından VOC olarak atmosfere salınmaktadır. Bu durum bağlamında Choi vd., (2021) çalışmasında petrol tankerlerinden kaynaklanan uçucu organik bileşenlerin (VOC) geri kazanımında boş fiber membranların kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışma, bu membranların VOC geri kazanımındaki etkinliğini inceleyerek deniz taşımacılığındaki hava kalitesinin iyileştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Araştırma, tankerlerde VOC emisyonlarının kontrolü için yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır.

Gemi operasyonları sırasında bu bileşiklerin buharlaşarak atmosfere karışması mümkün olmaktadır. Organik asitler, karboksil grubu (-COOH) içeren organik bileşiklerdir. Formik asit ve asetik asit, bu sınıfa giren en yaygın bileşikler olarak bilinmektedir. Esterler ise bir organik asit ile bir alkolün tepkimesinden oluşan bileşiklerdir. Organik asitler ve esterler,

petrolün buharlaşması sırasında atmosfere yayılabilmekte ve VOC emisyonlarının bir parçası olabilmektedir (Baars, 2002). Özellikle esterler, karakteristik kokuları nedeniyle fark edilmektedir ve havada uzun süre kalabilmektedir.

Bu çerçevede halojen atomları (klor, flor, brom) içeren hidrokarbonlar bu sınıfa dahil edilmektedir. Trikloroetan, kloroform ve diklorometan gibi bileşikler halojenlenmiş hidrokarbonlara örnek teşkil etmektedir. Bu bileşikler, genellikle sanayi kaynaklı VOC emisyonlarının bir parçası olup, toksik etkileri oldukça yüksek olarak değerlendirilmektedir (Bahar ve Ay, 2021). Ayrıca bazı halojenlenmiş hidrokarbonlar ozon tabakasına zarar verebilecek nitelikte olabilmektedir. Bu kimyasal sınıflar, VOC'lerin çok çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmasına neden olmaktadır. VOC'lerin gemi operasyonlarındaki en büyük tehlikesi, bu bileşiklerin patlayıcı ve yanıcı bir atmosfer yaratabilmesi olarak öne çıkmaktadır (Bayazit ve Kaptan, 2023). Bunun yanı sıra solunmaları durumunda gemi personelinin sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilecek kimyasal türler olarak bilinmektedir. Dolayısıyla VOC'lerin kimyasal yapısının ve türlerinin doğru anlaşılması, ham petrol tankerlerinde gemi emniyetinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır (Bilgili, 2021).

2.2. Ham Petrol Tankerlerinde VOC Kaynakları

Ham petrol tankerlerinde uçucu organik bileşiklerin atmosfere salınımı, çeşitli operasyonel süreçlerden ve petrolün iç yapısında bulunan kimyasal bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Ham petrol, doğası gereği yüksek oranda uçucu bileşenler içermekte olup bu bileşenler tanker operasyonları sırasında çeşitli nedenlerle havaya karışabilmektedir. VOC emisyonları, çevreye ve gemi personelinin sağlığına zarar vermesinin yanı sıra gemi emniyetini tehdit eden riskler de barındırmaktadır (Bahar ve Ay, 2021 ; Aydın vd., 2024). Ham petrolün tanker depolarına yüklenmesi sırasında tanker içindeki hava ve petrolün üst kısmında kalan boşluk VOC'lerin ana kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Yükleme sırasında ham petrol depolara pompalanırken, içeriğindeki uçucu bileşikler hızla buharlaşarak tank başlığındaki hava ile karışmaktadır. Bu süreçte VOC'ler, basınç farklarından dolayı atmosfere salınabilmektedir. Yükleme süreci genellikle büyük hacimlerde gerçekleştiği için, emisyonlar bu aşamada en yüksek seviyelere ulaşmaktadır (Bayazit ve Kaptan, 2023 ; Akyuz ve Celik, 2015).

Ham petrolün tankerlerden boşaltılması sırasında da önemli miktarda VOC emisyonu gerçekleşmektedir. Boşaltma işlemi sırasında tankerdeki petrol seviyesi azaldıkça geride kalan VOC'ler buharlaşarak atmosfere yayılmaktadır. Ayrıca boşaltma sırasında tanklara giren hava, VOC'lerin havaya karışmasına neden olabilmektedir. Bu süreçte oluşan basınç değişiklikleri, emisyonların yoğunluğunu artırmaktadır (Bilgili, 2021; Baars, 2002).

Tankerlerdeki depoların düzenli olarak temizlenmesi ve bakım işlemleri sırasında da VOC emisyonları meydana gelmektedir. Temizleme işlemi sırasında tankta kalan ham petrol kalıntıları buharlaşarak VOC salınımına yol açmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda yapılan temizlik işlemleri, VOC emisyonlarını artırabilmektedir. Bu işlemler sırasında emisyonların kontrol altına alınması için uygun havalandırma ve güvenlik tedbirleri alınmazsa, emniyet riski daha da artmaktadır (Bicer ve Dincer, 2018). Tüm bunlarla beraber ham petrol, tankerle taşınma sırasında da buharlaşarak VOC emisyonlarına neden olabilmektedir. Petrolün içindeki hafif uçucu bileşenler, deniz sıcaklıkları ve çevresel koşulların etkisiyle sürekli olarak buharlaşabilmektedir. Ayrıca Boviatsis vd., (2022) çalışmasında, karbondioksit (CO₂), uçucu organik bileşikler (VOC) ve scrubber atık suyu (SO_x) gibi ortaya çıkan çevresel tehditlere yanıtın değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma, bu çevresel tehditlerin yönetimi için gerekli stratejileri belirlemekte ve farklı sektörlerde bu tehditlere karşı geliştirilen yanıtları analiz etmektedir. Araştırma, çevre koruma politikalarının geliştirilmesi için öneriler sunmaktadır.

Geminin denizde seyir halindeyken farklı iklim koşullarına maruz kalması ve sıcaklık değişiklikleri, VOC buharlaşmasını hızlandırmaktadır. Bu buharlar, tankın üzerindeki hava boşluğunda birikmekte ve tank basıncındaki değişikliklerle birlikte atmosfere salınabilmektedir. Bu bağlamda ham petrolün yüklenmesi veya boşaltılması sırasında gemi tanklarının havalandırılması gerekmektedir (Boviatsis vd., 2022). Bu süreçte tanklarda biriken VOC'ler dış ortama verilmektedir. Yükleme-boşaltma işlemlerinde uygun havalandırma yapılmadığında veya mevcut havalandırma sistemleri yetersiz kaldığında VOC'ler atmosfere yoğun bir şekilde yayılmaktadır. Bu nedenle havalandırma sürecinde emisyon kontrol teknolojilerinin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Modern tankerlerde VOC emisyonlarını azaltmak için buhar geri kazanım sistemleri kullanılmakta ama bu sistemlerin bulunmadığı ya da etkin bir şekilde çalışmadığı tankerlerde ham petrolün doğal buharlaşması sonucu oluşan VOC'ler kontrolsüz bir şekilde atmosfere yayılmaktadır (Beyaz ve Demiral, 2021). Geri kazanım sistemleri, VOC'lerin depolanmasını ve yeniden

kullanılmasını sağlamakta olup bu sistemlerin eksikliği emisyonların artmasına neden olabilmektedir.

Ham petrol tankerlerinde gerçekleştirilen kargo operasyonları, petrolün bir gemiden diğerine transfer edilmesi gibi işlemler sırasında da VOC emisyonları meydana gelmektedir. Bu transferler sırasında basınç farklılıkları ve sıvı hareketleri, VOC'lerin açığa çıkmasına neden olmaktadır.

Özellikle büyük hacimli transferlerde emisyonlar önemli seviyelere ulaşmaktadır (Büyük ve Bayer, 2022). Bu kaynaklar, ham petrol tankerlerinde VOC emisyonlarının nasıl meydana geldiğini ve operasyon süreçleri boyunca nasıl kontrol edilebileceğini anlamak açısından kritik öneme sahiptir. Ham petrol tankerlerindeki VOC kaynaklarının tespiti, emisyonların minimize edilmesi için alınacak tedbirlerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Gemi emniyeti ve çevresel koruma açısından VOC emisyonlarının kontrol altına alınması, denizcilik sektöründe büyük önem taşımaktadır.

2.2.1. Ham petrolün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Ham petrol, yer kabuğundan çıkarılan doğal bir fosil yakıt olup, hidrokarbonlar başta olmak üzere çeşitli organik bileşenlerin bir karışımından oluşmaktadır. Bu çerçevede Beyaz ve Demiral (2021) çalışmasında, mesleksi uçucu organik bileşik maruziyeti ve genotoksisite ilişkisi incelenmiştir. Çalışma, iş yerlerinde uçucu organik bileşenlere maruz kalmanın sağlık üzerindeki etkilerini ve bu bileşenlerin genetik hasar üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmektedir. Araştırma, mesleksi maruziyetlerin yönetimi ve bu konuda alınması gereken önlemler hakkında bilgi sunmaktadır. Ham petrolün içeriği ve özellikleri, çıkarıldığı bölgeye göre değişiklik gösterebilmekle birlikte, genel olarak fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından önemli ortak noktalara sahip bulunmaktadır (Boviatsis vd., 2022; Bicer ve Dincer, 2018). Ham petrolün yoğunluğu, kaynak yerine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterebilmekte ve genellikle düşük yoğunluklu (hafif) petrol ile yüksek yoğunluklu (ağır) petrol olarak sınıflandırılmaktadır. Yoğunluk ve viskozite, ham petrolün taşınabilirliğini ve buharlaşma eğilimini doğrudan etkileyen faktörler olarak öne çıkmaktadır. Hafif ham petrol, daha düşük viskoziteye sahip olup buharlaşma eğilimi daha yüksek bulunmakta ve dolayısıyla VOC emisyonlarına daha fazla katkıda bulunabilmektedir. Ağır ham petrol ise daha yüksek viskoziteye sahip olup, buharlaşma eğilimi daha düşük olabilmektedir (Büyük ve Bayer, 2022 ; Chang vd., 2014).

Ham petrolün buhar basıncı, onun uçuculuğunu belirleyen önemli bir faktör olarak dikkat çekmektedir. Yüksek buhar basıncına sahip ham petroller, daha kolay buharlaşmakta ve taşıma sırasında atmosfere daha fazla VOC yaymaktadır. Ham petrolün buhar basıncı, sıcaklık arttıkça yükselmekte; bu nedenle yüksek sıcaklık koşullarında taşınan ham petrol, daha fazla VOC emisyonuna neden olabilmektedir. Tanklarda oluşan buhar, basınçlı ortamda birikmekte ve yükleme, boşaltma gibi operasyonlarda atmosfere salınmaktadır.

Tüm bunlarla beraber ham petrolün rengi koyu kahverengiden siyaha kadar değişiklik gösterebilmekte ve genellikle opak bir sıvı formunda bulunmaktadır (Choi vd., 2021 ; Beyaz ve Demiral, 2021).

Renk, içerdiği hidrokarbonların ve diğer bileşenlerin türüne bağlı olarak değişiklik göstermekte olup kimyasal içeriği hakkında dolaylı bilgi vermekte fakat renk ve görünüm, VOC emisyonlarına doğrudan etki yapmamaktadır. Genel olarak ham petrol, kendine özgü güçlü bir kokuya sahip bulunmakta ve bu koku büyük ölçüde içindeki uçucu bileşiklerden kaynaklanmaktadır (Chang vd., 2014). Bu uçucu bileşikler, VOC'lerin bir kısmını oluşturmakta ve taşıma sırasında atmosfere yayılan buharların kokusu, personelin maruz kaldığı tehlikelerin göstergesi olabilmektedir. Özellikle aromatik hidrokarbonların (benzen, toluen, ksilen) güçlü kokuları, petrolün taşınması ve işlenmesi sırasında fark edilmektedir (Choi vd., 2021).

Ham petrolün ana bileşenleri, hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Bu hidrokarbonlar, alkanlar, alkenler, aromatik bileşikler ve siklik bileşikler gibi gruplara ayrılmaktadır. Alkanlar, ham petrolün ana bileşenlerinden olup, karbon ve hidrojen atomlarından oluşmaktadır. Hafif alkanlar (metan, etan, propan, butan), düşük molekül ağırlıkları nedeniyle daha uçucu olup VOC emisyonlarına büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır (Can ve Yay, 2014). Daha ağır hidrokarbonlar ise daha az uçucu olmasına rağmen taşınan petrolün içeriğine göre farklılık gösterebilmektedir. Bu çerçevede ham petrolde bulunan aromatik hidrokarbonlar, benzen, toluen ve ksilen (BTEX bileşikleri) gibi bileşiklerden oluşmakta olup, yüksek toksisiteleri ve çevreye zararlı etkileriyle bilinmektedir (Can ve Yay, 2014 ; Çakır, 2010). Aynı zamanda aromatik bileşikler güçlü VOC kaynakları olarak yükleme, boşaltma veya taşınma sırasında atmosfere salınmakta, hem gemi personeli için sağlık riskleri oluşturmakta hem de çevre kirliliğine katkı sağlamaktadır. Genel olarak ham petrolün bazı türleri, yüksek oranda sülfür içermektedir. Bu tür petrol, "asitik" olarak adlandırılmakta olup sülfür içeriği hem çevresel hem de operasyonel açıdan önemli bir faktör oluşturmaktadır. Sülfür bileşikleri, VOC

emisyonlarına katkıda bulunmakta ve yanıcı gazlar oluşturabilmektedir. Yüksek sülfürlü ham petrol, taşınırken daha fazla güvenlik riski yaratmakta çünkü sülfür bileşikleri patlayıcı gazlar oluşturabilmektedir. Tüm bunlarla beraber ham petrolde düşük miktarlarda azot ve oksijen içeren organik bileşikler de bulunabilmektedir (Dev vd., 2021 ; Dönmez, 1997). Bu bileşikler, petrolün işlenmesi sırasında ve tankerlerde taşınırken yan ürün olarak ortaya çıkarak VOC emisyonlarına katkıda bulunabilmektedir.

Azot ve oksijen içeren bileşikler, çevre ve sağlık açısından riskler taşımaktadır. Ham petrolde az miktarda metal iyonları (vanadyum, nikel, demir) ve inorganik maddeler de yer almakta olup doğrudan VOC'lerin uçuculuğunu etkilememekte ancak ham petrolün genel kimyasal yapısını ve işleme sürecini etkileyebilmektedir. Ayrıca Kurutaş (2009) çalışmasında bir metal endüstrisindeki çalışma ortamlarının iç hava kalitesi belirlenmiştir. Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma, metal endüstrisinde çalışanların maruz kaldığı hava kalitesi parametrelerini değerlendirmekte ve bu ortamların sağlık üzerindeki potansiyel etkilerini incelemektedir. Araştırma, iç hava kalitesinin iyileştirilmesi için önerilerde bulunmaktadır (Çakır, 2010).

Genel olarak ham petrolün fiziksel ve kimyasal özellikleri, VOC emisyonlarının ne ölçüde gerçekleşeceğini belirleyen temel faktörleri oluşturmaktadır. Yüksek uçuculuk, düşük viskozite ve yüksek buhar basıncı gibi özellikler, ham petrolün VOC emisyonlarını artıran faktörler arasında yer almaktadır. Hafif hidrokarbonlar ve aromatik bileşikler, taşınma ve depolama süreçlerinde önemli miktarda VOC yayılmasına neden olmaktadır. Ayrıca petrolün sıcaklık ve basınç gibi dış koşullara tepkisi, VOC emisyonlarının yoğunluğunu artırabilmektedir.

2.2.2. Yükleme ve boşaltma sürecinde voc salınımı

Ham petrol tankerlerinde uçucu organik bileşiklerin (VOC) atmosfere salınmasının en yoğun yaşandığı süreçler, yükleme ve boşaltma operasyonları olmaktadır. Bu süreçler sırasında ham petrolün tanker depolarına transfer edilmesi veya tanklardan çıkarılması, tank içindeki basınç ve sıcaklık dengelerini etkilemekte ve ham petrolün içeriğindeki uçucu bileşenlerin buharlaşmasına neden olmaktadır. Yükleme ve boşaltma sırasında oluşan bu VOC salınımları, hem çevresel kirlenme hem de gemi emniyeti açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Ham petrolün tanker depolarına yüklenmesi sırasında önemli miktarda VOC emisyonu meydana gelmektedir (Dev vd., 2021). Yükleme işlemi sırasında, ham petrol

depolara pompalanırken depoların üst kısmında kalan boşluk, yani tank başlığı, VOC'lerin biriktiği alan olmaktadır. Ham petrol, doğal olarak uçucu bileşenler içermekte ve bu bileşenler tankın içine doldukça hızla buharlaşarak bu boşlukta birikmektedir. Yükleme sırasında tanktaki basınç artışı, bu VOC'lerin atmosfere kaçmasına neden olmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda ve hızlı yükleme süreçlerinde buharlaşma hızlanmakta ve VOC salınımı artmaktadır. Tüm bunlarla beraber Karbasian vd., (2017) çalışmasında, ham petrol yükleme sürecinde uçucu organik bileşiklerin (VOC) oluşumunu azaltmak için yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

Bu çalışma, yükleme sürecinde VOC emisyonlarının kontrolü için önerilen yöntemlerin etkinliğini incelemektedir. Araştırma, geliştirilen yöntemin uygulama potansiyelini ve çevresel faydalarını ortaya koymaktadır.

Ham petrolün depoları yüklenmesi sırasında tank içindeki basınç önemli ölçüde artmaktadır. Bu basınç artışı, buhar haline gelen VOC'lerin tankın dışına doğru itilmeye zorlanmasına neden olmaktadır. Yükleme işlemi sırasında tankın havalandırılması gerekse de, uygun olmayan havalandırma veya yetersiz buhar geri kazanım sistemleri, bu basınçlı VOC buharlarının kontrolsüz bir şekilde atmosfere yayılmasına yol açmaktadır. Yükleme sırasında tanklarda biriken buharların dışarıya salınmasını engellemek amacıyla modern tankerlerde buhar geri kazanım sistemleri kullanılmakta ama bu sistemlerin etkin bir şekilde çalışmadığı durumlarda yükleme sırasında atmosfere yoğun VOC salınımı gerçekleşmektedir (Dağdeviren, 2024). Uygun havalandırma ve geri kazanım önlemlerinin alınmaması, gemi personelinin sağlık riski altında kalmasına ve çevresel kirliliğin artmasına neden olmaktadır. Tüm bunlarla beraber Tokuşlu (2019) çalışmasında İstanbul Boğazı'nda gemi kaynaklı hava emisyonlarının analizi yapılmış ve bu emisyonların çevresel etkileri ortaya konulmuştur. Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışma, boğazda gerçekleşen gemi trafiğinin hava kalitesi üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemekte ve bu konuda alınması gereken önlemleri tartışmaktadır. Araştırma, gemi kaynaklı hava emisyonlarının yönetimi için öneriler sunmaktadır.

Tüm bunlarla beraber ham petrolün depolardan çıkarılması sırasında, petrol seviyesi düştükçe tanklara hava girmesi gerekmektedir. Bu hava, tank başlığında biriken VOC'lerle karışarak atmosfere salınabilmektedir. Yükleme sürecindeki gibi, boşaltma sırasında da tank içindeki basınç ve hava akışı VOC emisyonlarını tetikleyen temel unsurlar olmaktadır. Ham petrolün boşaltılmasından sonra tanklarda kalan hafif hidrokarbonlar ve uçucu organik

bileşikler, tankın havalandırılması sırasında atmosfere yayılabilmektedir (Demirel, 2012). Tanklarda kalan bu VOC'lerin bir kısmı buharlaşmış durumda olduğu için, boşaltma süreci boyunca emisyonlar devam etmektedir. Özellikle düşük basınç ve yüksek sıcaklık koşullarında bu emisyonlar artış göstermektedir.

Ham petrol tankerlerinin boşaltma işlemi sırasında dış ortam sıcaklığı ve tank içindeki sıcaklık farklılıkları, VOC salınımlarını artırmaktadır. Sıcaklık arttıkça petrolün içindeki uçucu bileşenler daha hızlı buharlaşmakta ve buharlaşan bu bileşenler tank içindeki hava boşluğunda birikmektedir. Boşaltma sırasında bu biriken buharlar dış ortama yayılmakta ve VOC emisyonları artmaktadır (Dönmez, 1997).

Boşaltma sırasında kullanılan basınçlı sistemler de VOC emisyonlarını etkileyebilmektedir. Basınç altında yapılan boşaltma işlemleri, VOC'lerin tanktan hızlı bir şekilde dışarıya atılmasına neden olmaktadır. Basınçlı sistemlerde uygun geri kazanım yöntemlerinin kullanılmaması, emisyonların kontrolsüz bir şekilde atmosfere yayılmasına yol açmaktadır. Genel olarak yükleme ve boşaltma süreçlerinde oluşan VOC salınımlarını kontrol altına almak, gemi emniyeti ve çevre koruma açısından büyük bir öneme sahip olmaktadır. Modern tankerlerde buhar geri kazanım sistemleri, emisyonların kontrol altına alınmasında etkili bir yöntem olmaktadır (Erik, 2015). Ayrıca uygun havalandırma sistemleri ve emisyon izleme teknolojileri kullanılarak bu süreçlerde atmosfere yayılan VOC miktarı minimize edilebilmektedir. VOC emisyonlarının kontrol altına alınması, yalnızca çevresel koruma açısından değil, aynı zamanda gemi personelinin maruz kaldığı sağlık risklerini azaltmak ve patlayıcı atmosferlerin oluşumunu engellemek için de gerekli olmaktadır.

2.3. VOC Emisyonlarının Ölçülmesi Ve İzlenmesi

Ham petrol tankerlerinde oluşan uçucu organik bileşiklerin emisyonları, gemi emniyeti, personel sağlığı ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik riskler taşımaktadır. Bu durumla bağlantılı olarak Ahmed vd., Chen (2023) çalışmasında yeşil amonyakla çalışan çok büyük tanker gemilerinin çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma, gelecekte karbon emisyonlarını azaltma hedefiyle geliştirilen yeşil amonyak teknolojisinin, deniz taşımacılığında çevresel sürdürülebilirliğe katkılarını analiz etmektedir. Araştırma, yeşil amonyakla çalışan gemilerin çevre üzerindeki olumlu etkilerini ve bu teknolojinin küresel deniz taşımacılığı sektörüne olası katkılarını ele almaktadır. Bu nedenle VOC emisyonlarının ölçülmesi ve izlenmesi, denizcilik sektöründe hem yasal düzenlemelere uyum sağlamak hem

de emniyet standartlarını karşılamak için hayati öneme sahip olmaktadır (Erik, 2015 ; Gürsoy, 2004). VOC emisyonlarının etkin bir şekilde ölçülmesi ve izlenmesi, emisyon miktarının belirlenmesi, risklerin doğru şekilde yönetilmesi ve azaltıcı önlemlerin geliştirilmesi için gereklilik teşkil etmektedir.

VOC emisyonlarının doğru bir şekilde ölçülmesi, gemide gerçekleştirilen operasyonlarda emisyon seviyelerinin belirlenmesi ve ilgili risklerin tespit edilmesi için ilk adımı oluşturmaktadır. Gaz kromatografisi, VOC emisyonlarının ölçümünde yaygın olarak kullanılan laboratuvar tabanlı bir teknik olarak öne çıkmaktadır (Fetisov vd., 2022). Bu yöntemde tank içinde veya çevresinde bulunan gaz örnekleri alınarak bileşenlerinin ayrıştırılması ve analiz edilmesi sağlanmaktadır.

Gaz kromatografisi, VOC bileşenlerini atomik düzeyde ayırabildiği için oldukça hassas ve güvenilir bir yöntem olmakta fakat taşınabilir versiyonlarının sınırlı olması nedeniyle gemi operasyonları sırasında anlık ölçümler yapmak yerine genellikle laboratuvar analizleri için tercih edilmektedir. Alev iyonizasyon dedektörleri, VOC emisyonlarının ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan taşınabilir bir yöntem olarak bilinmektedir. Bu cihazlar, organik bileşiklerin bir alev içinde iyonize edilmesiyle ortaya çıkan sinyalleri ölçerek VOC miktarını tespit etmektedir. FID'ler, özellikle ham petrol tankerlerinde yerinde ölçüm yapılmasına olanak tanımakta ve gemi operasyonları sırasında emisyon seviyelerinin gerçek zamanlı izlenmesine imkan sağlamaktadır. Bu yöntem, düşük maliyetli ve hızlı ölçüm sağladığı için tercih edilmektedir (Fetisov vd., 2022 ; Güzel vd., 2018).

Kütle spektrometrisi, VOC bileşenlerinin moleküler kütlelerine dayalı olarak ayrıştırılması ve tanımlanması için kullanılan hassas bir analiz yöntemi olarak öne çıkmaktadır. GC-MS kombinasyonu, VOC emisyonlarının kaynağını ve türünü belirlemek için sıkça kullanılmaktadır. Bu yöntem, özellikle karmaşık karışımların analizi için oldukça faydalı olmakta ama kütle spektrometresi gemi operasyonları sırasında yerinde ölçüm yapmak için uygun olmadığından, genellikle laboratuvar ortamında kullanılmaktadır. VOC emisyonlarının izlenmesi için taşınabilir dedektörler yaygın olarak tercih edilmektedir (Gürsoy, 2004). Bu cihazlar, hızlı sonuçlar vermekte ve kolay taşınabilir olmaları nedeniyle gemi personeli tarafından operasyonlar sırasında kullanılabilir. Bu cihazlar genellikle fotoiyonizasyon dedektörleri (PID) veya alev iyonizasyon dedektörleri (FID) ile donatılmakta olup tanklardan yayılan VOC'leri hızlı bir şekilde tespit etmektedir. Portatif

cihazlar, gemide düzenli ölçümler yapmak ve emisyon seviyelerinin sürekli kontrolünü sağlamak için ideal olmaktadır (Güzel vd., 2018).

Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında ortaya çıkan VOC'lerin atmosfere salınmasını ölçmek için baca gazı analizörleri kullanılmaktadır. Bu cihazlar, gemide kullanılan egzoz sistemlerinden yayılan gazları analiz ederek VOC emisyon seviyelerini belirlemektedir. Baca gazı analizörleri, emisyon kontrolüne yönelik gemi içi sistemlerin etkinliğini değerlendirmede de fayda sağlamaktadır. VOC emisyonlarının ölçülmesinin yanı sıra sürekli izlenmesi, gemi operasyonlarında emniyetin ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından önem taşımaktadır. İzleme sistemleri, emisyon seviyelerini sürekli olarak takip ederek kritik durumlarda müdahale edilmesine olanak tanımaktadır (İşlek, 2010). Bu çerçevede sürekli emisyon izleme sistemleri (CEMS), gemilerdeki VOC emisyonlarının anlık olarak izlenmesini sağlayan entegre sistemler olarak işlev görmektedir.

Bu sistemler, VOC emisyonlarını sürekli olarak ölçen sensörler ve analiz cihazları ile donatılmış bulunmaktadır. CEMS, gemi operasyonları sırasında emisyon seviyelerinin belirlenen sınırların üzerine çıkması durumunda otomatik olarak uyarı vermekte ve operasyonel değişiklikler yapılmasını sağlamaktadır (İşlek, 2010 ; Kaptı ve Ayrılmış, 2016). Bu sistemler, uluslararası denizcilik düzenlemelerine uyum sağlamak açısından kritik rol oynamaktadır. Ayrıca belirtmek gerekir ki Kim vd., (2019) çalışmasında Kore'deki taksiler ve gemiler içindeki parçacık maddesi, karbondioksit ve VOC konsantrasyonları ile risk değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma, bu araçların iç ortamında hava kalitesi üzerine yapılan ölçümleri değerlendirerek maruz kalınan kirleticilerin sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini analiz etmektedir. Araştırma, hava kalitesinin iyileştirilmesi için önerilerde bulunmaktadır.

Gemi operasyonları sırasında VOC emisyonlarının düzenli olarak izlenmesi ve verilerin kaydedilmesi, uzun vadeli analizler için önem taşımaktadır. İzleme sistemleri, hem gemi personelinin hem de gemi sahiplerinin emisyon seviyelerini sürekli olarak takip etmelerine ve gerekli önlemleri almalarına yardımcı olmaktadır (Kaptı ve Ayrılmış, 2016). Bu veriler, çevresel denetimler ve yasal düzenlemelere uyum açısından da kullanılabilir. Tüm bunlarla beraber gemi personeli, VOC emisyonlarının izlenmesi için periyodik olarak taşınabilir VOC ölçüm cihazları kullanarak tanklarda ve çevresinde ölçümler yapmaktadır. Bu ölçümler, özellikle operasyon sırasında anlık değişiklikleri tespit etmek ve gemi içindeki emisyon seviyelerini sürekli kontrol altında tutmak için önem taşımaktadır. Periyodik ölçümler, gemi güvenliği ve personelin maruz kalma seviyelerinin yönetimi açısından etkili

bir izleme yöntemi sunmaktadır. Bu durum bağlamında Topaloğlu (2013) çalışmasında, ticari gemilerin karbondioksit emisyon etkileri değerlendirilmiş ve analizi gerçekleştirilmiştir. Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışma, ticari gemilerin operasyonlarının karbon salınımı üzerindeki etkilerini ortaya koymakta ve bu emisyonların azaltılması için stratejiler geliştirmektedir. Araştırma, deniz taşımacılığındaki karbondioksit emisyonlarının kontrolüne yönelik önemli bilgiler sunmaktadır. Denizcilik sektöründe VOC emisyonlarının izlenmesi, uluslararası denizcilik düzenlemeleri çerçevesinde zorunlu hale getirilmektedir. Uluslararası denizcilik örgütü (IMO) tarafından belirlenen kurallar, gemilerin VOC emisyonlarını kontrol altında tutmaları ve sürekli izlemeleri gerektiğini vurgulamaktadır (Keskin, 2006). IMO'nun MARPOL Ek VI düzenlemeleri, gemilerde emisyonların izlenmesi ve raporlanmasına yönelik standartları içermektedir. Ayrıca bazı bölgelerde daha sıkı düzenlemeler ve emisyon limitleri uygulanmakta olup gemi sahiplerinin bu kurallara uyum sağlaması gerekmektedir.

2.3.1. VOC ölçüm cihazları ve teknolojileri

Ham petrol tankerlerinde uçucu organik bileşiklerin (VOC) emisyonlarını doğru bir şekilde ölçmek, gemi güvenliği ve çevre koruma açısından kritik önem taşımaktadır. VOC emisyonlarının miktarını ve türlerini belirlemek için farklı cihazlar ve teknolojiler kullanılmaktadır. Bu cihazlar, sahada hızlı ve güvenilir ölçümler yapmayı sağlamak ve operasyonel süreçlerin VOC salınımını kontrol etmek için hayati önem taşımaktadır. VOC ölçüm cihazları ve teknolojileri, taşınabilir cihazlardan laboratuvar analizlerine kadar geniş bir yelpazede çeşitlilik göstermektedir (Koca vd., 2013). Alev iyonizasyon dedektörleri (FID), VOC emisyonlarını ölçmede en yaygın kullanılan cihazlardan biridir. FID, organik bileşiklerin bir alev içinde iyonize edilmesiyle oluşan elektrik akımını ölçerek emisyon miktarını belirlemektedir. Ayrıca Hu vd., (2020) çalışmasında Kanada sularında transit halindeki petrol tankerlerinden kaynaklanan yükleme sırasında uçucu organik bileşenlerin (VOC) emisyonları simüle edilmiştir. Bu çalışma, emisyonların miktarını ve bu emisyonların çevresel etkilerini değerlendirmekte ve tanker operasyonlarının hava kalitesi üzerindeki etkilerine dair bilgiler sunmaktadır. Araştırma, VOC emisyonlarının yönetimi için önerilerde bulunmaktadır.

Gemi operasyonları sırasında alınan hava numunesi, hidrojen ve hava karışımıyla bir alevde yakılmakta ve organik bileşikler yanarken iyonlar oluşturarak bir elektrik akımı meydana getirmektedir. Elektrik akımının büyüklüğü, numunedeki VOC miktarını göstermektedir.

FID'ler yüksek hassasiyete sahip olup geniş bir VOC yelpazesini tespit edebilmektedir. Sahada taşınabilir versiyonları bulunduğundan gemi operasyonlarında gerçek zamanlı ölçümler yapılmasına olanak tanımaktadır (Keskin, 2006 ; Kurutaş, 2009). Hem düşük maliyetli hem de hızlı sonuçlar sunmaktadır. Dezavantajları bağlamında sadece organik bileşikler tespit edebilmekte, inorganik bileşikler hakkında bilgi vermemektedir. Ayrıca hidrojen gazı gerektirdiği için bazı operasyonel kısıtlamalar oluşturmaktadır. Fotoiyonizasyon dedektörleri (PID), VOC emisyonlarının ölçülmesinde kullanılan bir diğer taşınabilir cihazdır. PID, ultraviyole (UV) ışığı kullanarak organik bileşikleriyonize etmekte ve iyonlaşma sonucunda ortaya çıkan elektrik akımını ölçerek VOC konsantrasyonunu belirlemektedir. PID cihazları, farklı dalga boylarındaki UV ışınları kullanarak çeşitli VOC türlerini tespit edebilmektedir. Çok geniş bir VOC yelpazesi üzerinde hassas ölçümler yapılabilmektedir (Koca vd., 2013 ; Karbasian vd., 2017). Taşınabilir olması, sahada pratik kullanım sağlamakta ve hızlı, gerçek zamanlı sonuçlar vermektedir.

Dezavantajları bağlamında yüksek yoğunluktaki VOC'ler PID'nin ölçüm kapasitesini aşabilmektedir. Belirli VOC türlerinin ölçüm hassasiyeti, kullanılan UV ışık kaynağının dalga boyuna bağlı olmaktadır.

Gaz kromatografisi (GC), VOC'leri bileşenlerine ayırarak analiz eden ileri düzey bir ölçüm yöntemi olarak kullanılmaktadır. GC, genellikle laboratuvar ortamında kullanılmakla birlikte sahada kullanılan taşınabilir versiyonları da mevcut olmaktadır. Gaz kromatografisinde, hava numunesi bir kolondan geçirilmekte ve VOC bileşenleri ayrılarak ayrı ayrı analiz edilmektedir. Bu yöntem, VOC bileşenlerinin kimyasal yapısını detaylı bir şekilde ortaya çıkarmaktadır. Avantajları bağlamında VOC'lerin bileşenlerine ayrılması sayesinde yüksek hassasiyet ve doğruluk sağlamaktadır (Kim vd., 2019 ; Kum, 2005). Karmaşık VOC karışımlarının analizinde etkili olmakta ve VOC türlerinin kesin kimyasal analizini yapabilmektedir. Dezavantajları çerçevesinde laboratuvar ortamında kullanılmak için daha uygun olmakta, sahada kullanımı daha zor olmaktadır. Taşınabilir versiyonlar sınırlı analiz kapasitesine sahip olabilmekte ve analiz süresi diğer cihazlara göre daha uzun olmaktadır. Bu çerçevede kütle spektrometrisi (MS), VOC bileşenlerinin kütlelerine göre ayrıştırılarak analiz edilmesini sağlayan ileri düzey bir teknoloji olarak kullanılmaktadır. Gaz kromatografisi ile kombinasyon halinde (GC-MS) kullanıldığında VOC türleri kesin olarak tanımlanabilmektedir (Kurutaş, 2009). MS cihazı, molekülleri iyonize etmekte ve bu iyonları kütle-yük oranlarına göre ayırarak bileşenlerin kimyasal yapısını tespit etmektedir.

Avantajları çerçevesinde VOC bileşenlerinin kimyasal yapısını yüksek doğrulukla analiz edebilmekte ve en karmaşık bileşen karışımlarını bile çözümleyebilmektedir. Hem düşük hem de yüksek molekül ağırlıklı bileşenleri tespit etme kapasitesine sahip olmaktadır. Dezavantajları bağlamında sahada kullanımı zor olmakta, genellikle laboratuvar ortamında kullanılmaktadır (Karbasian vd., 2017). Cihaz maliyeti yüksek olmakta ve operatör eğitimi gerektirmektedir. Analiz süresi uzun olabilmektedir. Baca gazı analizörleri, özellikle gemi egzoz sistemlerinden yayılan VOC emisyonlarını ölçmek için kullanılmaktadır. Bu cihazlar, baca gazlarındaki VOC konsantrasyonunu analiz ederek atmosfere salınan organik bileşiklerin miktarını belirlemektedir. Baca gazı analizörleri genellikle gemilerin baca çıkışlarına yerleştirilen sabit cihazlar olarak çalışmakta ve sürekli emisyon izleme sağlamaktadır (Kim vd., 2019). Avantajları çerçevesinde sürekli ve anlık VOC emisyon takibi sağlamak ve gemide kullanılan diğer egzoz emisyonlarıyla birlikte VOC'lerin de ölçülmesini mümkün kılmaktadır. Çevresel düzenlemelere uyum için gerekli verilerin toplanmasına yardımcı olmaktadır.

Dezavantajları bağlamında yalnızca baca gazlarındaki VOC'leri ölçmekte, tank içi VOC'ler hakkında bilgi vermemektedir. Cihaz kurulumu ve bakımı maliyetli olabilmektedir. Bu süreç bağlamında Gürsoy (2004) çalışmasında, enerjide toplumsal maliyetler ve temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi üzerine bir değerlendirme yapılmıştır. Bu kitap, enerji üretim süreçlerinin sağlık ve çevre üzerindeki etkilerini incelemekte ve temiz enerji kaynaklarının toplum için sağladığı faydaları tartışmaktadır. Araştırma, enerji politikalarının sürdürülebilirlik açısından yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini önermektedir.

Genel olarak infrared spektroskopisi, VOC'lerin moleküler yapısındaki titreşimler sonucunda yayılan infrared ışınımını ölçerek çalışan bir teknoloji olarak kullanılmaktadır. VOC bileşenleri, belirli frekanslardaki infrared ışınlarını emmekte ve bu emilim spektrumları, bileşenlerin kimyasal yapısını belirlemeye yardımcı olmaktadır. IR spektroskopisi, sahada taşınabilir cihazlar olarak kullanılabilen sistemlerle VOC ölçümlerinde etkili olabilmektedir. Avantajları bağlamında hem organik hem de inorganik bileşenleri tespit edebilmekte, taşınabilir versiyonları mevcut olup sahada kullanıma uygun olmaktadır. Hızlı ve doğru sonuçlar vermektedir (Kum, 2005). Dezavantajları kapsamında sadece IR spektrumuna duyarlı bileşenleri tespit edebilmekte ve bazı VOC türlerini analiz etmekte sınırlı olmaktadır. Diğer yöntemlere göre maliyetli olabilmektedir. Bu çerçevede sürekli emisyon izleme sistemleri (CEMS), VOC emisyonlarının sürekli olarak izlenmesini

sağlayan gelişmiş sistemlerdir. Bu sistemler, VOC ölçüm sensörleriyle donatılmış olup gemi operasyonları sırasında emisyon seviyelerini anlık olarak ölçmekte ve kaydetmektedir. CEMS, gemi operasyonlarının emisyon limitleri dahilinde tutulmasını sağlamak için kritik bir araç olmaktadır (Haglund, 2008). Avantajları kapsamında sürekli izleme sağlamak ve anlık emisyon değişikliklerini takip etmektedir. Otomatik raporlama ve alarm sistemleriyle donatılabilmektedir. Uluslararası düzenlemelere uyum için kritik veriler sunmaktadır. Dezavantajları bağlamında kurulum ve bakım maliyetleri yüksek olmakta ve taşınabilirlik sınırlı olup genellikle sabit sistemler olarak kullanılmaktadır (Hu vd., 2020).

2.3.2. VOC konsantrasyonlarının izlenmesi yöntemleri

Ham petrol tankerlerinde uçucu organik bileşiklerin (VOC) konsantrasyonlarının sürekli izlenmesi, gemi emniyeti ile çevresel ve yasal düzenlemelere uyum açısından büyük önem taşımaktadır. VOC konsantrasyonlarının izlenmesi, bu zararlı bileşiklerin maruz kalma seviyelerini belirlemek, oluşabilecek tehlikeleri önceden tespit etmek ve gerekli müdahaleleri zamanında yapmak için gereklilik göstermektedir (Haglund, 2008 ; Lafçi ve Öztekin, 2020).

Tüm bunlarla beraber Güzel vd., (2018) çalışmasında, sularda bulunan uçucu organik bileşenler ve bunların sağlık üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu makalede su kaynaklarındaki uçucu organik bileşenlerin türleri, maruziyet yolları ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Araştırma, bu bileşenlerin su kalitesi ve halk sağlığı açısından önemli riskler taşıdığını vurgulamaktadır.

Bu süreçte kullanılan izleme yöntemleri, yerinde (sürekli) ve periyodik izleme tekniklerini içermektedir. Bu çerçevede sürekli emisyon izleme sistemleri (CEMS), gemilerde VOC konsantrasyonlarının anlık ve sürekli izlenmesini sağlamaktadır (Hu vd., 2020 ; Martens vd., 2023). CEMS, geminin farklı noktalarına yerleştirilen sensörler aracılığıyla VOC'lerin konsantrasyonunu sürekli olarak ölçmekte ve bu ölçümleri gemi kontrol merkezine ileterek anlık izleme sağlamaktadır. Bu sistemler, VOC emisyonlarının yasal düzenlemeler çerçevesinde izlenmesi ve raporlanması için kullanılmaktadır. Sürekli ve anlık izleme sağlayarak VOC emisyonlarının anında tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Otomatik uyarı ve alarm sistemleriyle entegre edilerek tehlikeli seviyelere ulaşıldığında hızlı müdahale imkanı sunmaktadır. Düzenli veri kaydı yaparak uzun vadeli analiz ve raporlama süreçlerine katkı sağlamakta ama yüksek kurulum ve bakım maliyetleri bulunmaktadır ve sistemler

genellikle sabit olduğundan taşınabilirlik açısından sınırlıdır. Ayrıca periyodik kalibrasyon ve bakım gerektirmektedir (Lafçi ve Öztekin, 2020).

Taşınabilir VOC izleme cihazları, gemi personelinin tankların içinde veya çevresinde periyodik olarak VOC konsantrasyonlarını ölçmesine olanak tanımaktadır. Bu cihazlar, genellikle fotoiyonizasyon dedektörleri (PID) veya alev iyonizasyon dedektörleri (FID) teknolojisini kullanmaktadır. Taşınabilir cihazlar, hızlı ve anlık ölçümler sağlamak ve personelin tehlikeli VOC seviyelerine karşı önlemler almasına yardımcı olmaktadır (Lee ve Chang, 2014). Taşınabilir olmaları sayesinde geminin farklı noktalarında kolayca kullanılabilir. Anlık sonuçlar vererek tehlikeli VOC seviyelerinin hızla tespit edilmesine olanak tanımakta ama sürekli izleme sağlamamakta, yalnızca ölçüm yapılan anda bilgi vermekte ve periyodik kullanımla sınırlı kalmaktadır. Ayrıca kullanıcının her defasında manuel ölçüm yapmasını gerektirmektedir (Lee vd., 2013).

Baca gazı izleme sistemleri, geminin egzoz sistemlerinden çıkan gazlardaki VOC konsantrasyonlarını sürekli olarak izlemektedir. Bu sistemler, VOC'lerin atmosfere ne kadar yayıldığını belirlemek ve düzenlemelere uyum sağlamak için kullanılmaktadır. Baca gazı izleme sistemleri, egzoz gazı örneklerini alarak VOC konsantrasyonlarını analiz etmekte ve emisyon verilerini kaydetmektedir (Lee ve Chang, 2014 ; Lee vd., 2013).

Egzoz gazlarındaki VOC emisyonlarını sürekli olarak izlemekte ve raporlamakta fakat yalnızca baca gazlarındaki VOC'leri izlemekte, diğer emisyon kaynaklarını kapsamamaktadır. Kurulum ve bakım maliyetleri yüksek olup sensörlerin düzenli kalibrasyon ve bakım gereksinimi bulunmaktadır (Martens vd., 2023).

Yerinde izleme istasyonları, geminin belirli alanlarına kurulan sabit cihazlar aracılığıyla VOC konsantrasyonlarını izleyen sistemleri içermektedir. Bu istasyonlar, genellikle tank başlıkları, havalandırma sistemleri ve operasyonel alanlar gibi VOC emisyonlarının yoğun olduğu yerlerde yer almaktadır. Sabit izleme istasyonları, VOC seviyelerini sürekli izleyerek gemi kontrol sistemlerine veri sağlamaktadır (Mihajlovic vd., 2016). VOC emisyonlarının yoğun olduğu alanlarda sürekli izleme sağlamak ve sabit, güvenilir veri kaydı yapmakta ama yalnızca sabit alanlarda izleme yapmakta, hareket kabiliyeti bulunmamakta ve yüksek kurulum maliyetlerine sahiptir. Düzenli bakım ve kalibrasyon gerektirmektedir (Mihajlovic vd., 2016; Nordvik, 2020).

Uluslararası düzenlemelere uyum sağlamak amacıyla gemilerde VOC konsantrasyonlarının izlenmesi ve raporlanması zorunlu hale gelmektedir. Emisyon izleme ve raporlama sistemleri, gemideki VOC emisyonlarının sürekli kaydını tutmakta ve çevresel denetimlere uyum sağlamak için düzenli olarak raporlar oluşturmaktadır (Nordvik, 2020). Bu sistemler, genellikle sürekli emisyon izleme sistemleri (CEMS) ile entegre çalışarak VOC verilerinin uluslararası denizcilik örgütlerine (IMO, MARPOL) iletilmesini sağlamaktadır. Düzenlemelere uyum sağlayarak gerekli raporların otomatik olarak oluşturulmasını sağlamak, VOC izleme verilerinin uzun vadeli kaydını tutmakta ve analiz imkanı sunmaktadır. Çevresel ve yasal denetim süreçlerinde büyük kolaylık sağlamak ancak yüksek maliyetli sistemler olup sürekli bakım gerektirmektedir. Sadece izleme ve raporlama amacıyla kullanılarak doğrudan müdahale sağlamamaktadır (Rajabi vd., 2020). Gemi personeli tarafından yapılan periyodik izleme, VOC konsantrasyonlarının manuel olarak belirli aralıklarla ölçülmesi ve kaydedilmesini içermektedir. Bu yöntemde taşınabilir VOC ölçüm cihazları kullanılarak tanklar, havalandırma sistemleri ve geminin diğer operasyonel alanlarındaki VOC seviyeleri ölçülmektedir. Sürekli izleme sağlansa da belirli zaman aralıklarında VOC konsantrasyonlarının izlenmesine olanak tanımaktadır. Gemi personelinin periyodik olarak VOC ölçümlerini yapmasına olanak tanımakta, düşük maliyetli ve pratik bir yöntem sunmakta ama sürekli izleme sağlamamakta, yalnızca periyodik veriler sunmakta ve ölçümlerin doğruluğu operatör becerisine bağlı olmaktadır. Gemi personelinin her defasında manuel ölçüm yapması gerektiğinden zaman alıcı olmaktadır (Rajabi vd., 2020 ; Rudd ve Hill, 2001).

2.4. VOC'nin Çevresel ve Sağlık Üzerindeki Etkileri

Ham petrol tankerlerinde oluşan VOC emisyonları, operasyon süreçlerinden kaynaklanarak atmosfere salınmakta ve doğrudan çevre kirliliğine, insan sağlığının zarar görmesine ve küresel hava kalitesinin düşmesine yol açmaktadır. Bu bölümde, VOC'nin çevresel etkileri, insan sağlığına olan zararları ve bu etkilerin minimize edilmesi için alınabilecek önlemler incelenmektedir (Rudd ve Hill, 2001). VOC'ler, atmosferde güneş ışığı ile etkileşime girerek çeşitli kimyasal reaksiyonlara neden olmakta ve bunun sonucunda hava kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır. VOC emisyonları, nitrojen oksitlerle (NO_x) birleştiğinde güneş ışığı altında fotokimyasal reaksiyonlara girerek yüzey ozonu (troposferik ozon) oluşumuna neden olmaktadır. Yüzey ozonu, atmosferin alt katmanlarında oluşmakta ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkiler yaratmaktadır. Aynı zamanda fotokimyasal duman (smog)

oluşumunun da ana kaynağıdır. Smog, büyük şehirlerde ve sanayi bölgelerinde ciddi hava kirliliğine yol açmakta ve tarım arazilerindeki bitki örtüsüne, ormanlara ve ekosistemlere zarar vermektedir (Sağlamtimur-Doğan ve Subaşı, 2018). Akyar vd., (2023) çalışmasında ise gemilerden kaynaklanan hava kirliliğinin risk değerlendirmesi için yenilikçi bir Hata Modları ve Etkileri Analizi (FMEA) yaklaşımı geliştirilmiştir. Çalışma, gemi kaynaklı hava kirliliğinin çevresel etkilerini değerlendirmekte ve bu etkileri azaltmak amacıyla uygulanabilecek stratejileri önermektedir. FMEA yöntemi kullanılarak yapılan analiz, gemi emisyonlarının risklerini belirlemekte ve çevre dostu çözümler sunmaktadır.

Ham petrol tankerlerinden yayılan VOC'ler, özellikle kıyı bölgelerinde smog oluşumuna katkıda bulunabilmektedir. Bazı VOC'ler, atmosferdeki uzun ömürleri nedeniyle sera gazı etkisi yaratmakta ve küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır. VOC'ler, metan gibi daha güçlü sera gazlarının oluşumuna da katkı sağlamak ve dünya genelinde sıcaklık artışlarına ve iklim değişikliğine yol açan temel faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu çerçevede VOC'ler, atmosferde sülfür dioksit (SO₂) ve nitrojen oksitlerle (NO_x) birleşerek asit yağmuru oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Sağlamtimur-Doğan ve Subaşı, 2018 ; Satır, 2007). Asit yağmurları, su kaynakları, toprak ve bitki örtüsü üzerinde yıkıcı etkilere sahip olup ekosistem dengesini bozmakta ve su kaynaklarına karışarak içme suyu kaynaklarını kirletmektedir. Ham petrol tankerlerinden yayılan VOC'ler bu süreçte önemli bir rol oynamaktadır.

VOC'ler, atmosferde parçalandıklarında çeşitli kimyasal bileşiklere dönüşmekte ve hava kirliliğine doğrudan katkıda bulunarak ekosistemlerin hassas dengesini bozmaktadır. Bu durum, bitkilerin fotosentez sürecini engelleyebilmekte ve tarım ürünlerine zarar verebilmektedir (Sonawane vd., 2023 ; Tamaddoni vd., 2014). Genel olarak VOC'ler solunduğunda özellikle uzun süreli maruz kalma durumunda solunum sistemi üzerinde ciddi hasarlara yol açmaktadır. Yüksek seviyelerde VOC'lere maruz kalmak, astım, bronşit, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) gibi solunum yolu hastalıklarına neden olmaktadır. Ayrıca VOC'lerin yüzey ozonu oluşturma potansiyeli de solunum yolu rahatsızlıklarını artırmakta ve akciğer fonksiyonlarını zayıflatmaktadır. Ham petrol tankerlerinde çalışan personel, VOC'lere maruz kaldığında bu tür hastalıklara yakalanma riski taşımaktadır. Bazı VOC'ler, merkezi sinir sistemi üzerinde toksik etkilere sahip olabilmektedir (Satır, 2007). Benzen ve toluen gibi aromatik bileşikler, uzun süreli maruz kalma durumunda baş ağrısı, baş dönmesi, konsantrasyon kaybı ve sinir sistemi hasarına neden olmaktadır. Özellikle

tankerlerde yoğun VOC maruziyeti altında çalışan personelin iş performansı ve genel sağlığı olumsuz etkilenmektedir. Bazı VOC'ler, özellikle benzen gibi bileşikler, uluslararası kanser araştırma ajansı (IARC) tarafından kanserojen olarak sınıflandırılmaktadır. Uzun süre benzen gibi VOC'lere maruz kalmak, lösemi ve diğer kanser türlerine yakalanma riskini artırmaktadır (Sonawane vd., 2023). Ham petrol tankerlerindeki personelin VOC emisyonlarına uzun süre maruz kalması, kanser riski açısından önemli bir tehlike oluşturmaktadır. VOC'ler, gözlerde ve ciltte tahrişe neden olmaktadır. Yüksek VOC konsantrasyonlarına maruz kalan kişilerde gözlerde sulanma, kızarıklık ve cilt tahrişi yaygın olarak görülmektedir. Ham petrol tankerlerinde çalışan personelin korunmasız olarak VOC'lere maruz kalması, bu tür alerjik reaksiyonlara ve tahrişlere yol açabilmektedir (Tozar ve Güzel, 2012 ; Tokuşlu, 2019).

Bazı VOC'ler, hamile kadınlar üzerinde zararlı etkiler yaratmakta ve doğmamış çocuklarda gelişimsel bozukluklara neden olmaktadır. VOC'lere maruz kalan hamile kadınlarda düşük yapma riski artabilmekte ve doğumsal anomaliler görülebilmektedir. Bu nedenle, hamilelik döneminde VOC'lere maruz kalmaktan kaçınılması önem taşımaktadır (Tamaddoni vd., 2014). Ham petrol tankerlerinde VOC emisyonlarını azaltmak için buhar geri kazanım sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler, yükleme ve boşaltma sırasında oluşan VOC'leri atmosfere salmadan önce geri kazanmakta ve yeniden kullanılmak üzere depolamaktadır.

Bu konu bağlamında Akyuz ve Celik (2015) çalışmasında, ham petrol tankerlerinde gaz boşaltma işlemi sırasında kritik operasyonel tehlikeleri değerlendirmek için bulanık DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma, gaz boşaltma sürecinde ortaya çıkan tehlikeleri belirleyerek, bu tehlikelerin birbirleriyle olan ilişkilerini analiz etmektedir. Bulanık DEMATEL yöntemi ile yapılan analiz, güvenlik iyileştirmeleri için öncelikli alanların belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

Böylece emisyonlar minimize edilerek hem çevresel hem de sağlık üzerindeki riskler azaltılmaktadır. Bu çerçevede gemi operasyonları sırasında etkili havalandırma ve filtrasyon sistemlerinin kullanılması, VOC'lerin konsantrasyonunu azaltmada kritik rol oynamaktadır. Yeterli havalandırma ve filtrasyon, VOC'lerin gemi personeli tarafından solunmasını engelleyebilmekte ve sağlık risklerini azaltmaktadır (Tozar ve Güzel, 2012). Gemi personelinin VOC maruziyetini azaltmak için uygun kişisel koruyucu ekipman (KKE) kullanması önem taşımaktadır. Solunum maskeleri, koruyucu gözlükler ve uygun kıyafetler, personelin VOC'lere karşı korunmasını sağlamakta ve sağlık risklerini minimize etmektedir.

Emisyonların insan sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirmede kullanılan önemli yöntemlerden biri de Tehlike Katsayısı (Hazard Quotient - HQ) metodolojisidir. Yalçın ve Süner (2020) çalışmalarında, HQ değerinin belirli bir kirleticie maruz kalma seviyesinin referans doz değerine oranı olarak hesaplandığını ve 1'den büyük olması durumunda sağlık riski olduğunu belirtmişlerdir. Ham petrol tankerlerinde VOC emisyonlarının yoğunluğu göz önüne alındığında, bu metodoloji gemi personeli için sağlık risklerinin değerlendirilmesinde önem teşkil etmektedir. Yalçın ve Süner (2020), feribot operasyonlarında SO₂, NO₂ ve NO gibi uçucu bileşiklerin bir yıllık periyotta HQ değerlerinin risk seviyesini aştığını ve bu durumun solunum felci, karaciğer, akciğer, dalak ve kan hasarı, solunum ve CNS rahatsızlıkları ile uzun vadede kanser gibi sağlık sorunlarına yol açabileceğini tespit etmişlerdir. Bu metodoloji, ham petrol tankerlerindeki VOC emisyonlarının değerlendirilmesinde de benzer şekilde uygulanabilir.

Ayrıca gemi personeline düzenli olarak VOC'lerin zararları ve korunma yöntemleri hakkında eğitim verilmesi, maruziyeti azaltmak için kritik bir adım oluşturmaktadır. Gemi operasyonlarında yapılan denetimlerle emisyonların kontrol edilmesi ve güvenlik önlemlerinin sürekli olarak uygulanması sağlanmaktadır (Tokuşlu, 2019).

2.4.1. VOC'un insan sağlığına etkileri

Uçucu organik bileşikler (VOC'ler), ham petrol tankerlerinde taşınan ve operasyonlar sırasında atmosfere salınan kimyasal maddeler olarak, insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu bileşikler, hem kısa süreli maruziyetlerde akut sağlık sorunlarına neden olmakta, hem de uzun süreli maruziyetlerde kronik hastalıklara ve diğer ciddi sağlık risklerine yol açmaktadır. VOC'lerin sağlık üzerindeki etkileri, solunum, sinir sistemi ve genel vücut fonksiyonları üzerinde tahribat yaratmaktadır. VOC'ler, solunum sistemi üzerinde özellikle zararlı etkiler yaratmaktadır (Topaloğlu, 2013). Bu bileşikler solunduğunda akciğgerlere ve bronşlara doğrudan zarar vermekte ve çeşitli solunum yolu rahatsızlıklarına yol açmaktadır. VOC'lere uzun süre maruz kalmakta olan bireylerde astım semptomları kötüleşmekte ve bronşit gibi kronik solunum yolu hastalıklarının gelişmesine neden olmaktadır. Özellikle kapalı alanlarda yüksek VOC konsantrasyonlarına maruz kalmak, akciğerlerde inflamasyona yol açarak bu hastalıkların oluşum riskini artırmaktadır (Van vd., 2019). Yüksek seviyelerde VOC'ler kısa sürede solunduğunda, akut solunum yolu tahrişi meydana gelmektedir.

Bu durum, öksürük, boğaz ağrısı, nefes darlığı ve akciğerlerde yanma hissi gibi semptomlara neden olmaktadır. Özellikle gemi personeli, yetersiz havalandırma koşullarında bu tür semptomlara maruz kalmaktadır. VOC maruziyeti, zamanla KOAH gelişimine neden olmaktadır. KOAH, solunum yollarında daralma ve hava akışında kısıtlanma ile karakterize edilen ilerleyici bir hastalık olarak özellikle uzun yıllar boyunca yüksek VOC seviyelerine maruz kalan gemi personelinde görülmektedir. Ayrıca belirtmek gerekir ki Tamaddoni vd., (2014) çalışmasında, ham petrol tankerlerinden kaynaklanan VOC emisyonlarının deneysel olarak incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, VOC emisyonlarının karakterizasyonunu ve bu emisyonların çevresel etkilerini değerlendirmekte, emisyonların kontrolü için potansiyel yöntemleri araştırmaktadır. Araştırma, tanker operasyonları sırasında çevresel koruma önlemlerinin önemini vurgulamaktadır.

Bazı VOC'ler, merkezi sinir sistemi üzerinde toksik etkilere sahip olmaktadır. Özellikle aromatik hidrokarbonlar (benzen, toluen, ksilen) gibi bileşikler, sinir sistemi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. VOC maruziyeti, özellikle kısa süreli yoğun maruziyet durumlarında baş ağrısı ve baş dönmesine neden olmaktadır (Van vd., 2019 ; Topaloğlu, 2013). Gemi personelinin yükleme veya boşaltma işlemleri sırasında VOC buharlarına maruz kalması, bu semptomların hızla ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Uzun süre VOC'lere maruz kalmak, beyin fonksiyonlarını etkileyerek konsantrasyon kaybına ve dikkat eksikliğine yol açmaktadır. Bu durum, iş performansında düşüşe ve güvenlik risklerinin artmasına neden olmaktadır. Yüksek dozda VOC'lere maruz kalmak, merkezi sinir sisteminde kalıcı hasarlara neden olmaktadır. Bu tür sinir sistemi bozuklukları, hafıza kaybı, zihinsel fonksiyonların bozulması ve motor becerilerde zayıflama gibi ciddi sonuçlara yol açmaktadır (Varlık, 2011 ; Yazır ve Yay, 2022).

Bazı VOC bileşikleri, kanserojen olarak sınıflandırılmakta ve uzun süreli maruziyet bu bileşiklere bağlı kanser riskini artırmaktadır. Özellikle benzen gibi VOC bileşikleri, kansere yol açma potansiyeline sahip zararlı kimyasallar olarak öne çıkmaktadır. Benzen gibi bazı VOC bileşikleri, kemik iliğinde hasara neden olarak lösemi ve diğer kanser türlerinin gelişmesine yol açmaktadır. Ham petrol tankerlerinde çalışan ve VOC maruziyeti yaşayan gemi personelinde bu risk oldukça yüksek olmaktadır. Bazı VOC'ler, ciltle doğrudan temas ettiğinde cilt kanseri riskini artırmaktadır. Bu durumla beraber Lafçi ve Öztekin (2020) çalışmasında, arama/kurtarma gemilerindeki can kurtarma faaliyetlerinde L tipi matris yöntemi ile risk değerlendirmesi yapılmıştır.

Çalışma, bu yöntemle risklerin belirlenmesi ve yönetilmesi üzerine odaklanmakta, kurtarma operasyonlarının güvenliğini artırmak amacıyla öneriler sunmaktadır.

VOC'lerin insan sağlığına olan etkilerinin değerlendirilmesinde kantitatif risk değerlendirme yöntemleri kritik bir öneme sahiptir. Yalçın ve Süner (2020) tarafından geliştirilen yaklaşımda, Tehlike Katsayısı (HQ) kullanılarak emisyonların sağlık riskleri belirlenmiştir. HQ değeri, maruz kalınan emisyon değerinin referans doz sınırına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu değer 1'den büyük olması durumunda, ilgili emisyonun sağlık açısından risk oluşturduğu kabul edilmektedir.

$$HQ = C \times IR \times ET \times EF \times ED / (AT \times BW \times RfD)$$

Burada;

C: Kirleticinin konsantrasyonu (mg/m^3)

IR: Solunum hızı ($m^3/saat$)

ET: Maruz kalma süresi (saat/gün)

EF: Maruz kalma sıklığı (gün/yıl)

ED: Maruz kalma süresi (yıl)

AT: Ortalama maruz kalma süresi (ED yıl \times EF gün/yıl)

BW: Vücut ağırlığı (kg)

RfD: Günlük maruz kalma tahmini ($mg/kg-gün$)

Ham petrol tankerlerinde çalışan personelin VOC emisyonlarına maruz kalma süreleri ve yoğunlukları göz önüne alındığında, bu metodoloji ile risk değerlendirmesi yapılması, sağlık koruma önlemlerinin planlanmasında önemli bir temel oluşturur. Bu metodoloji, ham petrol tankerlerindeki VOC emisyonlarının değerlendirilmesinde de benzer şekilde uygulanabilir. Aşağıdaki tabloda konsantrasyon değerleri Tamaddoni vd. (2014), Dev vd. (2021) ve Hu vd. (2020) çalışmalarından elde edilmiştir. RfD değerleri EPA IRIS ve WHO kaynaklarından alınmıştır. HQ değerleri, yetişkin bir denizci için (70 kg vücut ağırlığı, $0.83 m^3/saat$ solunum hızı, günde 8 saat, yılda 6 ay kontrat düşünülerek 180 gün maruz kalma) hesaplanmıştır. Benzen (HQ=34.3), SO_2 (HQ=9.0) ve NO_2 (HQ=3.1) için hesaplanan HQ değerleri 1'in üzerindedir, bu da bu maddelere maruz kalan gemi personelinin önemli sağlık riskleri altında

olduğunu göstermektedir. Benzen için HQ değerinin çok yüksek olması, özellikle dikkat çekicidir ve gemi personeline uzun vadede kan kanseri riskini artırabilir.

Ayrıca, benzer etki mekanizmalarına sahip kirleticiler için toplam sağlık riski, Tehlike İndeksi (HI) kullanılarak değerlendirilebilir. Örneğin, solunum sistemi üzerinde etkili olan VOC'ler için toplam tehlike indeksi:

$$HISolunum=HQSO_2+HQNO_2+HQNO=9.0+3.1+0.5=12.6$$

Bu değer, ham petrol tankerlerinde çalışan personelin solunum sistemi açısından yüksek bir kümülatif risk altında olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2.1. Ham Petrol Tankerlerinde VOC Türleri, Konsantrasyonları ve Sağlık Etkileri

| VOC Türü | Ortalama Konsantrasyon (mg/m ³) | RfD (mg/kg-gün) | HQ Değeri | Kısa Dönem Etkileri | Uzun Dönem Etkileri | Etkilenen Sistemler |
|-----------------|---|-----------------|-----------|--|--|-----------------------|
| Benzen | 9.2 | 0.004 | 34.3 | Baş ağrısı, baş dönmesi, gözlerde yanma | Kemik iliği hasarı, lösemi | Kan, İmmün sistem |
| Toluen | 13.5 | 0.08 | 2.5 | Yorgunluk, bilinç bulanıklığı, konuşma bozukluğu | Nörolojik bozukluklar, bellek kaybı | Merkezi sinir sistemi |
| Ksilen | 7.4 | 0.2 | 0.6 | Göz ve boğaz irritasyonu, koordinasyon kaybı | Karaciğer ve böbrek hasarı | Karaciğer, böbrekler |
| SO ₂ | 8.5 | 0.014 | 9.0 | Öksürük, nefes darlığı, göğüs ağrısı | Kronik bronşit, astım şiddetlenmesi | Solunum sistemi |
| NO ₂ | 4.2 | 0.02 | 3.1 | Göz ve solunum yolu irritasyonu | Akciğer hasarı, bağışıklık zayıflaması | Solunum sistemi |
| NO | 3.5 | 0.1 | 0.5 | Solunum güçlüğü, solunum yolları irritasyonu | Solunum yolu hastalıkları | Solunum sistemi |

VOC'lerin insan sağlığı üzerindeki etkileri, genellikle konsantrasyon ve maruz kalma süresine bağlı olarak artar. Akut etkiler genellikle yüksek konsantrasyonlara kısa süreli

maruz kalmadan kaynaklanırken, kronik etkiler düşük konsantrasyonlara uzun süreli maruz kalma sonucunda ortaya çıkar. Ham petrol tankerlerindeki personelin genellikle uzun dönemli çalışma koşullarında bulunduğu düşünüldüğünde, kronik etkilerin riskleri daha belirgindir.

Uzun süre cilt yoluyla VOC'lere maruz kalan bireylerde cilt kanseri görülme ihtimali yükselmektedir. VOC'ler, göz ve cilt üzerinde de tahriş edici etkiler yaratmaktadır. Gemi personeli, VOC'lerin doğrudan buharlarına veya sıvı formlarına maruz kaldığında gözlerde ve ciltte irritasyona neden olmaktadır. VOC buharları gözlerde kızarıklık, sulanma ve yanma hissine yol açmaktadır. Özellikle yoğun VOC buharına maruz kalma durumlarında, gözlerde ciddi tahriş meydana gelmektedir (Varlık, 2011). VOC'lerle doğrudan temas ciltte tahrişe neden olarak dermatit gibi cilt rahatsızlıklarına yol açmaktadır. Bazı bireylerde VOC'lere karşı alerjik reaksiyonlar gelişmekte ve bu da ciltte kızarıklık, kaşıntı ve şişmeye neden olmaktadır. VOC maruziyeti, hamile kadınlar ve gelişimsel süreçte olan bebekler üzerinde ciddi riskler oluşturmaktadır. Ham petrol tankerlerinde çalışan hamile kadınlar, VOC'lere maruz kaldığında hem kendileri hem de doğmamış çocukları üzerinde olumsuz etkiler görülmektedir. Bazı VOC bileşikleri, hamile kadınlarda düşük yapma riskini artırmaktadır. Bu süreçle ilişkili olarak Lee ve Chang (2014) çalışmasında, VOC (uçucu organik bileşik) geri kazanım sürecinin güvenlik sistemleri tasarımı HAZOP (Hazard and Operability Study) ve LOPA (Layer of Protection Analysis) yöntemleri kullanılarak ele alınmıştır. Bu makalede VOC geri kazanım süreçlerinin güvenliğini artırmak amacıyla risk analizi ve güvenlik katmanlarının belirlenmesi üzerinde durulmaktadır. Çalışma, güvenlik sistemlerinin tasarımında bu yöntemlerin nasıl entegre edilebileceğine dair öneriler sunmaktadır. Bu nedenle hamile kadınların VOC maruziyetinden kaçınması büyük önem taşımaktadır. VOC'ler, gelişimsel süreçteki bebeklerin sinir ve organ gelişiminde sorunlara yol açmaktadır. Anne karnında VOC'lere maruz kalan bebeklerde doğumsal anomaliler ve nörolojik bozukluklar görülmektedir. VOC'lere uzun süreli maruziyet, sadece kısa vadeli sağlık sorunlarına yol açmamakta, aynı zamanda kronik hastalıkların gelişme riskini de artırmaktadır (Varlık, 2011). Uzun süreli VOC maruziyeti, bağışıklık sistemini zayıflatarak, hormonal dengesizliklere yol açmakta ve genel sağlığı olumsuz etkilemektedir.

2.4.2. VOC'un solunum sistemine zararları

Uçucu organik bileşikler (VOC), solunum sistemi üzerinde ciddi zararlara yol açabilen kimyasal maddeler olarak tanımlanmaktadır. VOC'lerin gemi operasyonları sırasında

atmosfere salınması, özellikle kapalı ve yetersiz havalandırma olan alanlarda solunduğunda, gemi personelinin solunum sağlığını önemli ölçüde etkilemektedir.

Solunum yolu üzerinden alınan VOC'ler, akut ve kronik solunum rahatsızlıklarına yol açarak hem kısa hem de uzun vadeli sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Yılmaz, 2019). VOC'ler, özellikle yüksek konsantrasyonlarda solunduğunda solunum yollarında akut tahrişe neden olmaktadır. Bu durum, VOC'lerin buharlaşarak hava yollarına nüfuz etmesi sonucunda meydana gelmektedir. VOC buharlarına maruz kalma, boğazda yanma hissi ve tahrişe neden olarak öksürük ve boğazda kuruluk gibi semptomlarla kendini göstermektedir. Yoğun VOC maruziyeti, solunum yollarında daralmaya neden olarak nefes darlığına yol açmaktadır. Özellikle astım gibi önceden var olan solunum yolu rahatsızlığı olan kişilerde bu semptom daha da şiddetli olabilmektedir (Altun, 2013).

VOC'lerin solunması, burun mukozasında tahrişe neden olarak burun akıntısı, tıkanıklık ve sürekli hapşırma gibi belirtilere yol açmaktadır. Ayrıca VOC'ler gözde de tahrişe neden olarak göz sulanması ve yanma hissi yaratmaktadır. VOC'ler, astımı tetikleyici ve kötüleştirici etkiye sahip olmaktadır. Astımlı bireyler, VOC'lere maruz kaldıklarında solunum yollarında bronş daralması ve astım atağı yaşayabilmektedir (Ahmed vd., 2023). Bu bağlamda VOC'lerin solunması, astım hastalarında aniden astım atağına yol açmaktadır. Bu durum, nefes darlığı, göğüste sıkışma hissi ve hırıltılı solunum ile kendini göstermektedir. Astım hastalarının VOC içeren ortamlarda çalışması bu tür atakların sıklaşmasına neden olmaktadır. Uzun süreli VOC maruziyeti, solunum yollarında kronik inflamasyona yol açarak astım semptomlarının kötüleşmesine ve akciğer fonksiyonlarının bozulmasına neden olmaktadır (Akyar vd., 2023).

VOC maruziyeti, özellikle uzun süreli ve yüksek dozlarda olduğunda, bronşit ve KOAH gibi kronik solunum hastalıklarının gelişimine katkıda bulunmaktadır. Kısa süreli yoğun VOC maruziyeti, bronşlarda tahrişe neden olarak akut bronşit gelişimine yol açmaktadır. Bu durumda, öksürük, balgam üretimi, göğüs ağrısı ve nefes almada zorluk gibi semptomlar ortaya çıkmaktadır. VOC'lerin uzun süreli maruziyeti, solunum yollarında kronik inflamasyona neden olarak kronik bronşit gelişimine katkıda bulunmaktadır (Akyuz ve Celik, 2015). Kronik bronşit, özellikle sigara içenler veya daha önce akciğer hastalığı olan bireylerde daha yaygın görülmektedir. VOC maruziyeti, KOAH gibi ciddi ve ilerleyici akciğer hastalıklarına yol açmaktadır. KOAH, solunum yollarında daralma, hava keseciklerinin (alveoller) zarar görmesi ve akciğer fonksiyonlarının kalıcı olarak

bozulmasıyla karakterize edilmektedir. Gemi personelinin, VOC emisyonlarına uzun süreli maruz kalması, KOAH gelişme riskini artırmaktadır (Ancione vd., 2021).

KOAH semptomları arasında nefes darlığı, kronik öksürük ve balgam üretimi yer almaktadır. Ayrıca Lee vd., (2013) çalışmasında, ham petrol yükleme işlemlerinde VOC geri kazanımı ve yeniden kullanımının çok hedefli optimizasyonu incelenmiştir. Bu çalışma, VOC emisyonlarının azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması amacıyla çeşitli stratejilerin optimizasyonunu araştırmaktadır. Araştırma, hem çevresel etkileri azaltmayı hem de ekonomik faydaları artırmayı hedefleyen çözümler sunmaktadır.

Bazı VOC'ler, akciğer kanseri gelişme riskini artıran kanserojen özelliklere sahip bulunmaktadır. Özellikle benzen gibi VOC bileşenleri, uzun süreli maruziyet durumunda akciğer dokularında hasara yol açarak kanser gelişimini tetiklemektedir. Kanserojen VOC'ler, solunum yolları üzerinden akciğerlere ulaştığında hücrelerde DNA hasarına neden olmaktadır. Bu durum, akciğer hücrelerinin kontrolsüz bir şekilde çoğalmasına yol açarak kanser oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Akciğer kanseri riski, VOC maruziyetine uzun süre boyunca maruz kalan kişilerde daha yüksek olmaktadır (Altun, 2013 ; Ahmed vd., 2023). Gemi personeli, ham petrol tankerlerindeki operasyonlar sırasında bu zararlı bileşiklere sürekli maruz kaldığında, akciğer kanseri riski önemli ölçüde artmaktadır. Tüm bunlarla beraber Martens vd., (2023) çalışmasında ham petrol tankerlerinden kaynaklanan VOC emisyonlarının kontrolü üzerine bir inceleme yapılmıştır. Bu çalışma, VOC emisyonlarının yönetimi için geliştirilen çeşitli kontrol stratejilerini ve teknolojilerini değerlendirmekte ve bu alandaki en iyi uygulamaları ortaya koymaktadır. Araştırma, tanker operasyonlarında emisyon kontrolünün önemini vurgulamaktadır.

Tüm bunlarla beraber VOC'lere uzun süreli maruziyet, zamanla akciğer fonksiyonlarında kalıcı zayıflamaya yol açmaktadır. VOC'ler, akciğerlerin hava değişim kapasitesini azaltarak oksijen alımını zorlaştırmaktadır. Akciğer fonksiyonlarındaki bu zayıflama, yaşam kalitesinin düşmesine ve günlük aktivitelerin yerine getirilmesinde zorluklara neden olmaktadır (Akyar vd., 2023 ; Azkeskin, 2016). VOC'lere maruz kalmak, akciğerlerdeki hava yollarını daraltarak solunumu zorlaştırmaktadır. Bu durum, özellikle efor sarf edilen işlerde ve fiziksel aktivitelerde nefes darlığına neden olmaktadır. VOC'ler, akciğer dokularında iltihaplanmaya ve kalıcı hasara neden olarak oksijenin kana aktarılmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum, yorgunluk, baş dönmesi ve genel zayıflık hissine yol açmaktadır (Başaran, 2009 ; Ancione vd., 2021). VOC maruziyeti, çocuklar üzerinde de

ciddi solunum problemlerine yol açmaktadır. Çocuklar, solunum sistemleri gelişim aşamasında olduğundan VOC'lerin zararlarına daha açık hale gelmektedir (Azkeskin, 2016). Çocuklar, VOC'lere maruz kaldıklarında astım geliştirme riski taşımaktadır.

Bu risk, hamilelik döneminde VOC'lere maruz kalan annelerin çocuklarında da artmaktadır. VOC maruziyeti, çocuklarda sık sık solunum yolu enfeksiyonlarına yol açmaktadır. Bu enfeksiyonlar, özellikle bağışıklık sistemi zayıf olan çocuklarda ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir.

2.5. Gemi Emniyeti ve Riskler

2.5.1. Gemi emniyeti kavramı

Gemi emniyeti, deniz taşımacılığında gemi operasyonlarının güvenli bir şekilde yürütülmesi, gemi personelinin, yükün ve çevrenin korunması için alınan tüm önlemleri kapsamaktadır. Gemi emniyeti, sadece kazaları önlemekle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda denizde operasyon yapan gemilerin ulusal ve uluslararası denizcilik düzenlemelerine uyum sağlamasını da içermektedir. Emniyetin sağlanması, hem gemi operasyonlarının verimli ve güvenli bir şekilde yürütülmesini hem de olası risklerin azaltılmasını amaçlamaktadır (Aydın vd., 2024). Bu bağlamda gemi emniyeti kavramı, insan sağlığını, geminin teknik güvenliğini, çevresel etkileri ve denizcilik faaliyetleri sırasında karşılaşılabilecek çeşitli tehlikeleri ele almaktadır.

Gemi emniyeti, denizcilik endüstrisinde güvenli operasyonlar için bir dizi önemli unsura dayanmaktadır. Bu unsurların her biri, denizde meydana gelebilecek kazaların ve tehlikelerin en aza indirilmesi için hayati öneme sahip olmaktadır. Gemi emniyetinde en kritik unsurlardan biri gemi personeli'dir. Gemi mürettebatının yeterli eğitime sahip olması, uluslararası denizcilik kurallarına hâkimiyeti ve acil durumlar karşısında hazırlıklı olması, gemi emniyetinin sağlanmasında belirleyici olmaktadır (Aydın vd., 2024). Personelin bilinçli ve dikkatli olması, tehlikeli durumların önceden fark edilip önlenmesine katkı sağlamaktadır. Gemi emniyetinin bir diğer önemli unsuru, geminin teknik bakımının düzenli olarak yapılması ve geminin operasyon sırasında gerekli donanıma sahip olmasıdır. Bu, geminin ana sistemlerinin (motorlar, yönlendirme sistemleri, havalandırma sistemleri) düzenli olarak kontrol edilmesini ve gerekli bakım işlemlerinin yapılmasını içermektedir. Gemi emniyeti

açısından uygun şekilde bakımı yapılmayan gemiler, denizde ciddi kazalara ve teknik arızalara neden olabilmektedir (Baars, 2002).

Gemi emniyeti kavramı, yalnızca insan ve yük güvenliğini değil, aynı zamanda çevresel güvenliği de içermektedir. Gemilerden kaynaklanan kirleticilerin (örneğin VOC emisyonları, atık sular, yakıt sızıntıları) kontrol altına alınması, çevreye zarar vermemek ve deniz ekosistemini korumak açısından kritik öneme sahiptir.

Bu bağlamda gemi operasyonları sırasında çevre dostu uygulamalar ve uluslararası düzenlemelere uyum büyük önem taşımaktadır (Bahar ve Ay, 2021). Gemi emniyeti kavramı, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından belirlenen standartlar ve kurallar çerçevesinde şekillenmektedir. IMO, denizcilik sektöründe uluslararası bir otorite olarak, gemilerin güvenli operasyonlarını sağlamak, deniz çevresini korumak ve insan sağlığını güvence altına almak için çeşitli düzenlemeler geliştirmektedir. SOLAS, gemi emniyeti ile ilgili en önemli uluslararası düzenlemelerden birini oluşturmaktadır. Bu sözleşme, gemi yapısal güvenliği, yangın güvenliği, can kurtarma donanımları ve gemi operasyonları için gerekli emniyet standartlarını belirlemektedir. Bu konu bağlamında Büyük ve Bayer (2022) çalışmasında tanker gemilerinde kargo işlemleri esnasındaki yangın risklerinin kök sebeplerinin tespiti ve bow-tie yöntemi ile analizi yapılmıştır. Çalışma, yangın risklerini belirleyerek, bu risklerin yönetiminde etkili stratejiler geliştirmek amacıyla kök neden analizi ve risk değerlendirme yöntemleri sunmaktadır. Araştırma, tanker gemilerinde kargo işlemleri sırasında güvenliğin artırılması için önerilerde bulunmaktadır.

SOLAS, gemi emniyetinin uluslararası boyutta uyumlu bir şekilde uygulanmasını sağlamayı amaçlamaktadır. IMO'nun bir diğer önemli düzenlemesi olan MARPOL, gemilerden kaynaklanan çevresel kirliliğin önlenmesine yönelik kuralları içermektedir (Bayazit ve Kaptan, 2023). MARPOL, petrol sızıntıları, kimyasal maddeler, atık su deşarjları ve hava kirliliği gibi gemilerden kaynaklanan kirliliklerin azaltılması için belirli standartlar getirmektedir. Ayrıca Chang vd., (2014) çalışmasında, petrol sızıntılarının sonuçları üzerine kapsamlı bir inceleme yapılmış ve bu olayların yönetimi için bir çerçeve geliştirilmiştir. Çalışma, petrol sızıntılarının ekosistemler üzerindeki etkilerini ve bu tür olaylarla başa çıkmak için planlama süreçlerini ele almaktadır. Araştırma, petrol sızıntılarına yönelik stratejilerin belirlenmesinde bilimsel verilerin önemini vurgulamaktadır.

VOC emisyonlarının kontrolü de MARPOL düzenlemeleri kapsamında yer almaktadır. Bu çerçevede ISM Kodu, gemi operasyonları sırasında emniyetli bir yönetim sisteminin nasıl kurulması gerektiğine ilişkin kurallar içermektedir. Bu kod, gemi sahiplerine ve işletmecilerine, gemi operasyonlarını güvenli bir şekilde yürütmeleri ve çevresel riskleri azaltmaları için sorumluluklar yüklemektedir. Gemi emniyeti, denizcilik endüstrisinde kazaların, can ve mal kayıplarının ve çevresel felaketlerin önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Gemi emniyeti, gemi mürettebatı ve yolcuların hayatını korumak için kritik bir öneme sahip olmaktadır (Bilgili, 2021).

Emniyet standartlarına uyulmaması durumunda, gemide meydana gelebilecek kazalar can kayıplarına ve ciddi yaralanmalara yol açabilmektedir. Genel olarak gemilerden kaynaklanan kirlilik, deniz ekosistemleri üzerinde geri dönülemez zararlara yol açabilmektedir. Özellikle ham petrol tankerlerinden kaynaklanan petrol sızıntıları ve VOC emisyonları, çevreye büyük zarar verebilmektedir. Gemi emniyeti, bu tür çevresel felaketlerin önlenmesi için gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamaktadır. Gemi kazaları ve teknik arızalar, gemi sahipleri ve işletmecileri için büyük maddi kayıplara neden olabilmektedir. Gemi emniyeti, bu tür risklerin azaltılması ve operasyonların güvenli bir şekilde yürütülmesi ile mali kayıpların önüne geçilmesine yardımcı olmaktadır. Genel olarak Kum (2005) çalışmasında petrol tankerlerinde risk değerlendirmesi yapılmıştır. Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma, tanker operasyonlarında karşılaşılan riskleri belirlemekte ve bu risklerin yönetimi için önerilen stratejileri incelemektedir. Araştırma, güvenlik önlemlerinin artırılması ve risklerin azaltılması için pratik çözümler sunmaktadır.

2.5.2. Gemi emniyetinin temel prensipleri

Gemi emniyeti, gemi operasyonlarının güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde yürütülmesini sağlamak amacıyla oluşturulmuş prensiplere dayanmaktadır. Bu prensipler, mürettebatın can güvenliğini, gemi, yük ve çevrenin korunmasını amaçlayan sistematik bir yaklaşımı ifade etmektedir. Gemi emniyetinin sağlanması, uluslararası denizcilik düzenlemeleri çerçevesinde belirlenen kurallara uyum ve gemi operasyonlarının en iyi uygulamalarla gerçekleştirilmesini gerektirmektedir. Bu çerçevede gemi emniyetinin en önemli prensiplerinden biri proaktif risk yönetimi olmaktadır. Bu yaklaşım, meydana gelebilecek kazaların ve tehlikelerin önceden tespit edilmesi, risklerin değerlendirilmesi ve bunlara karşı önleyici tedbirlerin alınmasını içermektedir (Bahar ve Ay, 2021 ; Aydın vd., 2024). Proaktif risk yönetimi, sadece kazalar meydana geldikten sonra değil, potansiyel risklerin daha

gerçekleşmeden önce azaltılması için gerekli adımların atılmasını sağlamaktadır. Gemi operasyonlarında karşılaşılabilecek tehlikelerin detaylı bir şekilde analiz edilmesi, bu risklerin hangi durumlarda ortaya çıkabileceğinin belirlenmesi ve gemi operasyonlarını nasıl etkileyebileceğinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Gemi üzerinde kurulacak tehlike tespit ve uyarı sistemleri, olası risklerin anında fark edilmesini sağlamaktadır (Bayazit ve Kaptan, 2023 ; Akyuz ve Celik, 2015).

Bu sistemler, yangın algılama, gaz kaçağı izleme ve gemi sistemlerindeki arızaları anında tespit edebilen teknolojiye dayalı güvenlik mekanizmalarını içermektedir.

Gemi emniyetinin en önemli unsurlarından biri, gemi personelinin emniyet konusunda yeterli bilgiye ve farkındalığa sahip olmasıdır. Mürettebatın tüm üyeleri, gemi operasyonlarının gerektirdiği emniyet prosedürleri konusunda eğitilmeli ve acil durumlar karşısında hazırlıklı olmalıdır. Gemi personelinin denizcilik emniyet kurallarını öğrenmesi, uluslararası denizcilik düzenlemelerine uyum sağlaması ve acil durumlara yönelik doğru müdahale yöntemlerini bilmesi için düzenli olarak eğitimler düzenlenmektedir (Bilgili, 2021; Baars, 2002). Mürettebatın olası acil durumlarda koordineli ve hızlı bir şekilde hareket edebilmesi için tatbikatlar yapılmaktadır. Yangın tatbikatları, can kurtarma operasyonları ve tehlike anında tahliye tatbikatları, personelin kriz anlarında etkin bir şekilde müdahale edebilmesi için kritik öneme sahip olmaktadır (Bicer ve Dincer, 2018).

Gemi emniyetinin sürdürülebilirliği, geminin ve ekipmanlarının düzenli bakımı ve denetimi ile sağlanmaktadır. Teknik arızaların önceden tespit edilmesi ve önlenmesi için gemi ekipmanlarının, makine sistemlerinin ve emniyet donanımlarının düzenli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Gemi üzerinde bulunan tüm sistemlerin (motor, elektrik, havalandırma, can kurtarma donanımları, yangın söndürme sistemleri vb.) düzenli bakım programlarına tabi tutulması ve her operasyon öncesinde teknik kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Bakım programları, geminin operasyonel ömrünü uzatırken emniyeti artırmaktadır (Boviatsis vd., 2022). Uluslararası denizcilik düzenlemelerine uygunluk sağlamak ve gemi emniyetini güvence altına almak amacıyla bağımsız denetim kuruluşları tarafından yapılan denetimler önem taşımaktadır. Bu denetimler, geminin teknik emniyetini doğrulamakta ve emniyet standartlarına uyumlu olduğunu gösteren sertifikasyon sağlamaktadır. Bu çerçevede gemi emniyetinin temel prensiplerinden biri de acil durumlara karşı hazırlıklı olmak ve bu tür durumlarda hızlı ve etkili bir müdahale gerçekleştirmektedir (Beyaz ve Demiral, 2021). Acil durum hazırlığı, gemi personelinin kriz anlarında koordine

hareket etmesini sağlamak ve can kaybını önlemektedir. Her gemide yangın, gaz kaçağı, deniz kazası veya teknik arıza gibi durumlar karşısında uygulanacak acil durum planlarının hazırlanması gerekmektedir. Bu planlar, personelin hangi görevleri üstleneceğini ve nasıl müdahale edeceğini belirlemektedir. Gemi üzerinde acil durumlarda kullanılacak tahliye ve can kurtarma ekipmanlarının (can kurtarma botları, yangın söndürme tüpleri, acil durum alarmları) her an kullanıma hazır durumda olması zorunlu olmaktadır (Büyük ve Bayer, 2022).

Bu ekipmanlar, düzenli olarak kontrol edilmekte ve her personelin bu ekipmanları nasıl kullanacağını öğrenmesi sağlanmaktadır. Genel olarak gemi emniyeti, ulusal ve uluslararası denizcilik düzenlemeleri çerçevesinde belirlenmiş kurallara uyum sağlamayı gerektirmektedir. Bu düzenlemeler, gemi operasyonlarının güvenli bir şekilde yürütülmesi için standartlar oluşturmakta ve gemilerin uluslararası sulara çıkabilmesi için zorunlu kılınan sertifikaları almasını sağlamaktadır. SOLAS, gemilerin yapısal güvenliğini ve deniz kazalarına karşı emniyetli olmasını sağlamak için gerekli düzenlemeleri içeren en önemli uluslararası sözleşme olmaktadır (Boviatis vd., 2022; Bicer ve Dincer, 2018). SOLAS kurallarına uyum, geminin operasyonel güvenliğini ve mürettebatın korunmasını güvence altına almaktadır. Gemilerden kaynaklanan çevresel kirliliği önlemek için oluşturulmuş olan MARPOL sözleşmesi, gemilerin çevreye zararlı madde salınımlarını kontrol altına almak amacıyla oluşturulmaktadır. Tüm bunlarla beraber Haglind (2008) çalışmasında, gaz ve buhar türbini kombinasyon döngülerinin büyük gemiler için ana güç kaynakları olarak kullanımını üzerine bir inceleme yapılmıştır. Bu makalede tür sistemlerin arka planı, tasarım gereksinimleri ve uygulama alanları ele alınmaktadır. Çalışma, gaz ve buhar türbinlerinin kombinasyonunun enerji verimliliği açısından sağladığı avantajları ve gemi tasarımına etkilerini incelemektedir. VOC emisyonlarının yönetimi de MARPOL düzenlemeleri kapsamında değerlendirilmekte olup çevreye zarar vermeden güvenli gemi operasyonlarının sağlanmasına katkı sunmaktadır. Tüm bunlarla beraber gemi emniyetinin sağlanmasında etkili iletişim ve koordinasyon büyük bir önem taşımaktadır. Mürettebat üyeleri, gemi operasyonları sırasında sürekli olarak koordineli bir şekilde çalışmakta ve herhangi bir tehlike durumunda etkili iletişim kurarak duruma müdahale etmektedir (Büyük ve Bayer, 2022 ; Chang vd., 2014). İletişim ve koordinasyonun gemi emniyeti üzerindeki etkisi, personelin kriz anlarında bilgi akışını hızlıca sağlaması ve gemi kaptanı ile koordineli hareket etmesi sayesinde artmaktadır.

2.5.3. Gemi personeli için güvenlik protokolleri

Gemi emniyeti, gemi personelinin tüm operasyonlarda güvenli bir şekilde çalışabilmesi için uygulanan çeşitli güvenlik protokollerine bağlı olmaktadır. Bu protokoller, gemideki tüm görevlerin emniyetli bir şekilde yerine getirilmesini sağlamakta, kaza risklerini en aza indirmekte ve acil durumlarda doğru müdahalede bulunabilmek için hayati önem taşımaktadır. Gemi personeli için oluşturulan güvenlik protokolleri, her bir mürettebat üyesinin görevine uygun şekilde düzenlenmekte ve uluslararası denizcilik kurallarına uyumlu olarak belirlenmektedir (Choi vd., 2021 ; Beyaz ve Demiral, 2021).

Gemi operasyonları sırasında personelin güvenliğini sağlamak amacıyla kişisel koruyucu ekipman (KKE) kullanımı zorunlu olmaktadır. Bu ekipmanlar, personelin fiziksel, kimyasal veya çevresel tehlikelerden korunmasını sağlamaktadır. Gemi güvertesi veya makine dairesi gibi riskli bölgelerde çalışırken, baş yaralanmalarını önlemek için kask kullanılması zorunlu olmaktadır (Chang vd., 2014). Özellikle uçucu organik bileşikler (VOC), duman, toz veya kimyasal maddelerle çalışırken solunum yollarını korumak için uygun solunum maskeleri kullanılmaktadır. Bu süreçle ilişkili olarak Azkeskin (2016) çalışmasında, gemi inşaatı sektöründe gürültü ve toz maruziyeti değerlendirilmiştir. Uzmanlık tezi olarak hazırlanan bu çalışma, gemi inşaatı sürecinde çalışanların gürültü ve toz maruziyetinin sağlık üzerindeki etkilerini incelemekte ve bu maruziyetin kontrolü için öneriler sunmaktadır. Çalışma, sektörde çalışanların sağlığını korumak amacıyla uygun iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin alınmasının gerekliliğini vurgulamaktadır.

Kaynak yapma, kimyasallarla çalışma veya yüksek basınçlı su kullanma gibi tehlikeli işlemler sırasında gözleri korumak için koruyucu gözlük veya yüz siperlikleri kullanılmaktadır. Kimyasal maddelerle temas riski olan işlerde veya ağır yük taşıma işlemlerinde, eldivenler ve uygun koruyucu giysiler giyilmesi gerekmektedir (Choi vd., 2021). Güvertede veya makine dairesinde çalışırken ayak yaralanmalarını önlemek için çelik burunlu ve kaymaz tabanlı emniyet ayakkabıları giyilmektedir. Bu konuyla ilişkili olarak Tozar ve Güzel (2012) çalışmasında Türk boğazları için bir gemi risk modeli önerisi geliştirilmiştir. Bu makalede boğazlar üzerindeki gemi trafiğinin risklerini değerlendirmek amacıyla modelin oluşturulması, uygulanabilirliği ve potansiyel faydaları incelenmektedir. Çalışma, Türk boğazlarındaki deniz güvenliğini artırmak için önerilen risk modelinin önemini vurgulamaktadır.

Gemi operasyonlarında tehlikeli alanlarda ve maddelerle çalışırken belirli güvenlik protokollerine uyulması gerekmektedir. Bu protokoller, gemi personelinin kimyasal maddeler, yanıcı gazlar veya patlayıcı ortamlarda güvenli bir şekilde çalışabilmesini sağlamaktadır. Uçucu organik bileşiklerin salındığı ortamlarda çalışırken uygun solunum koruyucuları takılmakta ve ortamın yeterince havalandırıldığından emin olunmaktadır (Can ve Yay, 2014). Ayrıca VOC'lerin patlayıcı atmosfer oluşturma riskine karşı tankların yakınında alevli araçlar kullanılmamakta ve kıvılcım oluşturan faaliyetlerden kaçınılmaktadır. Bu durum çerçevesinde Aydın vd., (2024) çalışmasında tanker yükleme işlemlerinde yağ dökülmesi riskinde insan hatası değerlendirilmiştir.

Çalışma, yükleme operasyonları sırasında ortaya çıkan insan hatalarının olası çevresel etkilerini ve bu hataların yağ dökülmesi riskini artırma potansiyelini analiz etmektedir. Araştırma, insan hatalarını minimize etmek için uygulanabilecek stratejileri belirlemekte ve güvenli yükleme uygulamalarının önemini vurgulamaktadır. Kimyasal maddelerin bulunduğu veya taşındığı alanlarda çalışan personel, bu maddelerin güvenli kullanımı ve taşınması konusunda eğitilmekte, kimyasal madde güvenlik bilgi formları (MSDS) kullanılmakta ve uygun koruyucu ekipmanlar takılmaktadır (Can ve Yay, 2014 ; Çakır, 2010). Yüksek sıcaklık, basınç veya yanıcı gazların bulunduğu makine dairesinde çalışırken, personel sadece yetkili personelin girebileceği sınırlı alanlara dikkat etmekte ve güvenlik kurallarına titizlikle uymaktadır.

Yangın güvenliği, gemi operasyonlarında en kritik güvenlik konularından biri olmaktadır. Gemi üzerinde meydana gelebilecek yangınlar, hızlı bir şekilde yayılabilmekte ve büyük zararlar doğurabilmektedir. Gemi üzerindeki yangın söndürme ekipmanlarının (yangın söndürücüler, yangın hortumları, su sis sistemleri vb.) yerini ve nasıl kullanılacağını bilmek her personelin sorumluluğunda olmaktadır. Gemi üzerinde yangın algılama sistemlerinin (duman dedektörleri, ısı sensörleri) düzgün çalıştığından emin olunmakta ve personel bu sistemlerin alarm sinyallerine uygun şekilde nasıl tepki vereceğini bilmektedir (Dev vd., 2021 ; Dönmez, 1997). Bu çerçevede her gemi, yangın anında uygulanacak bir acil durum müdahale planına sahip olmaktadır. Bu plan, yangının nerede başladığına bağlı olarak personelin nasıl hareket edeceğini, hangi ekipmanın kullanılacağını ve yangının nasıl kontrol altına alınacağını belirlemektedir. Acil durumlar (yangın, deniz kazası, gemi arızası vb.) sırasında gemi personelinin hızlı ve koordine bir şekilde hareket etmesi hayati önem taşımaktadır. Acil durum protokolleri, personelin bu tür durumlarda nasıl davranması

gerektiğini ve hangi adımları atması gerektiğini net bir şekilde belirlemektedir (Çakır, 2010). Tüm bunlarla beraber personel, düzenli olarak yapılan acil durum tatbikatlarına katılmakta ve yangın, tahliye, ilk yardım gibi durumlarda ne yapacağını öğrenmektedir. Tatbikatlar, kriz anında personelin stres altında nasıl hareket edeceğini öğrenmesini sağlamaktadır. Gemi üzerinde bulunan can kurtarma botları, can yelekleri ve acil durum sinyal ekipmanları her zaman erişilebilir durumda olmakta ve personelin bu ekipmanları nasıl kullanacağını bilmesi zorunlu olmaktadır. Her mürettebat üyesi, acil tahliye anında toplanma alanını ve kurtarma prosedürlerini bilmektedir (Dev vd., 2021).

Gemi üzerindeki güvenlik iletişimi, tüm operasyonlar sırasında mürettebatın koordineli bir şekilde çalışmasını ve olası risklere karşı hızlı tepki verebilmesini sağlamaktadır.

İletişim protokolleri, gemi personelinin operasyon sırasında ve acil durumlarda doğru bilgi akışını sağlayarak risklerin önüne geçmesine yardımcı olmaktadır (Dağdeviren, 2024). Gemi personeli, gemi içi iletişim sistemlerini (radyo, telsiz, dahili telefon sistemleri) etkin bir şekilde kullanabilmekte ve acil durum frekanslarını bilmektedir. Olası bir acil durumda tüm mürettebat hızlı ve net bir şekilde haberleşmektedir. Gemi kaptanı, gemi emniyetinin sağlanmasından birinci derecede sorumlu kişi olmaktadır. Tüm güvenlik ve emniyetle ilgili kararlar kaptan tarafından verilmekte, bu nedenle mürettebatın kaptanla sürekli ve etkili bir iletişim içinde olması gerekmektedir. Gemi personelinin sağlığını korumak ve iş kazalarını önlemek için iş sağlığı ve güvenliği protokollerine uyulması zorunlu olmaktadır. Ayrıca belirtmek gerekir ki İşlek (2010) çalışmasında, tersanelerde ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi ve OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi uygulamaları üzerine bir yüksek lisans tezi hazırlanmıştır. Çalışma, tersanelerde çevre yönetimi ve iş sağlığı güvenliği uygulamalarının entegrasyonunu değerlendirerek bu sistemlerin etkinliğini ve uygulama zorluklarını incelemektedir. Araştırma, tersane işletmelerinin çevresel ve sağlık güvenliği standartlarını karşılaması için öneriler sunmaktadır. Bu protokoller, hem gemi üzerindeki günlük operasyonlar sırasında hem de acil durumlar esnasında personelin güvenliğini sağlamaya yönelik prosedürleri içermektedir (Demirel, 2012). Bu çerçevede gemi üzerinde ağır yük taşıma, uzun süre ayakta çalışma veya sürekli tekrarlanan hareketler yapma gibi işlerde, ergonomik çalışma koşullarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Personelin çalışma sırasında doğru duruş teknikleri uygulaması ve yaralanma riskini azaltmak için uygun ekipman kullanması sağlanmaktadır. Denizcilik operasyonları, uzun saatler çalışma gerektirebilmektedir. Yorgunluk, iş kazalarına ve dikkat kaybına neden olabilmekte, bu

nedenle personelin çalışma saatlerinin düzenlenmesi ve yeterli dinlenme süresi verilmesi iş güvenliği açısından önemli olmaktadır (Demirel, 2012 ; Dağdeviren, 2024).

2.6. Ham Petrol Tankerlerinde Güvenlik Riskleri

Ham petrol tankerleri, gemi operasyonları sırasında hem mürettebat hem de çevre açısından çeşitli güvenlik riskleri barındıran gemi türleri olmaktadır. Taşınan ham petrolün kimyasal yapısı, operasyonel süreçler ve çevresel faktörler, bu risklerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ham petrol tankerleri, taşıdıkları yüksek miktarda yanıcı ve uçucu maddeler nedeniyle yangın, patlama, çevre kirliliği ve personel sağlığı gibi birçok güvenlik riskine maruz kalabilmektedir. Ham petrol, yüksek oranda yanıcı ve patlayıcı özelliklere sahip bileşikler içermektedir. Bu durum, hem tanker operasyonları hem de ham petrolün depolanması sırasında yangın ve patlama risklerini artırmaktadır (Dönmez, 1997).

Uçucu organik bileşikler (VOC), ham petrolün taşınması ve depolanması sırasında buharlaşarak geminin tank başlıklarında birikebilmektedir. VOC'lerin yüksek konsantrasyona ulaşması, oksijenle birleştiğinde patlayıcı bir ortam oluşturabilmektedir. Yetersiz havalandırma, kıvılcım veya alev kaynağı bulunması durumunda bu VOC'ler patlama riski taşımaktadır. VOC'ler ayrıca yangın riskini de artırmakta çünkü buharlaşan bu bileşikler düşük alev alma noktalarına sahip olmaktadır. Ham petrol depolama tanklarında gaz birikmesi, tehlikeli bir atmosfer oluşturabilmektedir (Erik, 2015). Bu gazların tankların havalandırılmaması durumunda patlayıcı karışımlar oluşturma riski bulunmaktadır. Tankların düzenli olarak gaz ölçümü yapılmalı ve havalandırma sistemleri sürekli olarak çalıştırılmalıdır (Erik, 2015 ; Gürsoy, 2004).

Ham petrol tankerlerinde herhangi bir açık alev kaynağı (kaynak işlemleri, sigara içme vb.) ciddi bir tehlike yaratmaktadır. Tankerlerin yanıcı buharlarla dolu olduğu göz önünde bulundurulursa, herhangi bir kıvılcım veya açık alev kaynağı, hızla büyük bir yangına veya patlamaya neden olabilmektedir. Ham petrol tankerlerinde meydana gelebilecek kazalar, çevreye büyük çapta zarar verebilecek petrol sızıntılarına yol açabilmektedir. Ham petrol, deniz ekosistemleri üzerinde yıkıcı etkilere sahip olmakta ve deniz yaşamı, su kalitesi ve kıyı bölgeleri için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Fetisov vd., 2022).

Tanker kazaları, tankların hasar görmesi veya boru sistemlerinde oluşan arızalar nedeniyle ham petrolün denize dökülmesine neden olabilmektedir. Denize dökülen petrol, geniş

alanlara yayılabilmekte ve hem deniz ekosistemine hem de sahil şeridinde zarar verebilmektedir. Bu tür sızıntılar, deniz canlılarının ölümüne, su kalitesinin bozulmasına ve uzun vadeli çevresel hasarlara yol açabilmektedir. Ham petrol tankerlerinde kirlilik kontrol sistemlerinin yetersiz olması veya bu sistemlerin doğru şekilde çalışmaması, çevresel felakete neden olabilmektedir. Sızıntı önleyici ekipmanların kirlilik bariyerlerinin ve temizlik donanımlarının düzenli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir (Fetisov vd., 2022 ; Güzel vd., 2018). Bu durumla bağlantılı olarak Bayazit ve Kaptan (2023) çalışmasında, gemi operasyonlarından kaynaklanan kirlilik riskinin bow-tie tabanlı bulanık Bayesian ağı ile değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, gemi faaliyetlerinin çevresel etkilerini analiz ederek kirliliği önlemek için gerekli önlemleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Bow-tie yöntemi kullanılarak yapılan analiz, gemi operasyonlarının risk yönetimi için yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır.

Ham petrol tankerlerinde çalışan mürettebat, çeşitli kimyasal maddelere ve tehlikeli koşullara maruz kalmaktadır. VOC'ler, hidrokarbonlar ve diğer zararlı kimyasal maddeler, mürettebatın sağlığını olumsuz etkilemektedir. VOC'lere uzun süreli maruz kalma, solunum yolu tahrişlerine, astım, bronşit ve hatta KOAH gibi kronik solunum yolu hastalıklarına yol açabilmektedir. Mürettebat, ham petrolün taşınması ve depolanması sırasında bu maddelere maruz kalabilmekte ve bu da ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Yetersiz havalandırma, bu riskleri artırmaktadır (Gürsoy, 2004).

Ham petrol ve uçucu maddelerle doğrudan temas, mürettebatın cildinde tahrişe ve alerjik reaksiyonlara neden olabilmektedir. Ayrıca VOC'lerin buharları gözlerde tahrişe ve yanma hissine yol açabilmektedir. Bu tür riskler, kişisel koruyucu ekipmanların (KKE) kullanılmaması durumunda daha da artmaktadır. Ham petrol tankerlerinde yapılan uzun saatler süren işler, mürettebatın yorgunluğa bağlı olarak iş kazaları yaşama riskini artırabilmektedir. Yorgunluk, dikkat kaybına, reflekslerde yavaşlamaya ve iş kazalarına yol açarak personel güvenliğini tehlikeye sokmaktadır (Güzel vd., 2018). Bu çerçevede ham petrolün tankerlerden yüklenmesi ve boşaltılması sırasında çeşitli operasyonel riskler ortaya çıkabilmektedir. Bu süreçler, ham petrolün özelliklerinden dolayı dikkatli bir şekilde yapılmakta ve emniyetli operasyon protokollerine uyulması gerekmektedir. Ham petrolün tankerlerden yüklenmesi ve boşaltılması sırasında kullanılan basınçlı sistemlerde meydana gelebilecek arızalar, petrolün kontrolsüz bir şekilde yayılmasına ve kazalara neden olabilmektedir (İşlek, 2010). Basınç artışları, boru hatlarında sızıntılara yol açabilmekte ve

bu da hem çevre hem de mürettebat için tehlike yaratmaktadır. Genel olarak yükleme veya boşaltma öncesinde tankların gazdan arındırılması işlemi sırasında yeterli havalandırmanın sağlanmaması, patlama ve yangın risklerini artırabilmektedir. VOC'lerin tank içinde birikmesi, bu işlemlerde kullanılan ekipmanların doğru çalışmaması durumunda ciddi riskler doğurmaktadır. Ham petrol tankerlerinde kullanılan makinelerin ve ekipmanların arızalanması, operasyonel güvenliği tehlikeye atabilmektedir. Bu tür arızalar, hem kazalara hem de maddi kayıplara neden olabilmektedir. Gemi motorları, jeneratörler ve diğer teknik ekipmanlar arızalandığında gemi operasyonları durabilmekte ve tehlikeli durumlar ortaya çıkabilmektedir (İşlek, 2010 ; Kaptı ve Ayrılmış, 2016). Özellikle deniz ortasında meydana gelen makine arızaları, hem mürettebat hem de geminin kendisi için büyük riskler taşımaktadır. Gemi üzerindeki elektrik sistemlerinde meydana gelebilecek arızalar, yangınlara, sistemlerin kapanmasına veya operasyonel aksamalara yol açabilmektedir.

Elektrik sistemlerinin düzenli olarak kontrol edilmesi ve bakımlarının yapılması, bu tür arızaların önlenmesi için kritik önem taşımaktadır. Ham petrol tankerleri, açık denizlerde sert hava ve deniz koşullarına maruz kalabilmektedir (Kaptı ve Ayrılmış, 2016). Bu koşullar, gemi manevralarını zorlaştırmakta ve gemi emniyetini tehdit edebilmektedir. Fırtınalı havalar ve büyük dalgalar, geminin dengesini bozarak kazalara yol açabilmektedir. Geminin devrilme riski, geminin kötü hava koşullarına karşı hazırlıklı olmaması durumunda daha da artmaktadır. Sis, yağmur ve fırtına gibi koşullar, görüş mesafesini azaltarak navigasyon hatalarına yol açabilmektedir. Düşük görüş koşullarında yapılan manevralar, çarpışma riskini artırmaktadır.

2.6.1. Ham petrolün yanıcılık ve patlayıcılık özellikleri

Ham petrol, yüksek yanıcılık ve patlayıcılık özellikleri taşıyan bir fosil yakıt türü olmaktadır. Bu özellikler, ham petrolün kimyasal bileşimi ve fiziksel durumu ile doğrudan ilişkili olmaktadır. Yanıcı ve patlayıcı özellikler, ham petrol tankerlerinde taşınan bu yakıtın güvenliği açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Ham petrol, içinde bulunan hafif hidrokarbonların varlığı nedeniyle oldukça yanıcı olmaktadır. Yanıcılık, bir maddenin ısı ve oksijenle etkileşime girerek alev alabilme kapasitesi anlamına gelmektedir (Keskin, 2006). Ham petrolün alev alma noktası, bu yakıtın buharlarının alevle temas ettiğinde yanmaya başladığı sıcaklık olmaktadır. Genellikle ham petrolün alev alma noktası 40 °C ile 60 °C arasında değişmektedir. Düşük alev alma noktasına sahip ham petrol, sıcak hava koşullarında

kolayca alev alabilmekte ve bu durum, tanker üzerinde ciddi bir yangın riski yaratmaktadır (Koca vd., 2013).

Ham petrol, yüksek buhar basıncına sahip olan ve düşük sıcaklıklarda buharlaşabilen bir madde olmaktadır. Buharlaşma sırasında, ham petrol buharları havaya karışarak yanıcı bir karışım oluşturmaktadır. Bu buharlar, alev alma noktasının altındaki sıcaklıklarda bile patlayıcı bir atmosfer yaratabilmektedir. Buharlaşma hızı, sıcaklık ve basınca bağlı olarak artmakta, bu nedenle, yükleme ve boşaltma süreçlerinde buharların kontrol altına alınması gerekmektedir. Ham petrol buharları, belirli bir hava oranıyla karıştığında patlayıcı bir ortam oluşturabilmektedir. Yanıcı buharların havadaki konsantrasyonu, %1 ile %7 arasında olduğunda, bu karışım alev alabilmektedir (Keskin, 2006 ; Kurutaş, 2009). Bu nedenle ham petrol tankerlerinde buhar birikiminin önlenmesi ve havalandırma sistemlerinin etkin bir şekilde çalıştırılması son derece önemli olmaktadır. Patlayıcılık, bir maddenin yanma sırasında hızla genişleyerek büyük bir basınç oluşturması ve bu basıncın patlama şeklinde sonuçlanması anlamına gelmektedir.

Ham petrol, belirli koşullar altında patlayıcı özellikler gösterebilmektedir. Patlayıcılık özelliklerini etkileyen faktörler arasında uçucu bileşenlerin varlığı, yüksek sıcaklık ve basınç yer almaktadır (Koca vd., 2013 ; Karbasian vd., 2017). Ham petrol, uçucu bileşenler içerdiği için yüksek buhar basıncına sahip olmaktadır. Tank başlıklarında biriken buharlar, basınçlı bir ortam oluşturabilmekte ve bu basınç, buhar karışımının patlayıcı bir ortam oluşturmasına neden olabilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda ve basınç altında, bu buharlar aniden genişleyerek patlama riskini artırmaktadır (Kim vd., 2019 ; Kum, 2005).

Ham petrol buharları, açık alev, kıvılcım veya ısı kaynaklarıyla temas ettiğinde hızlı bir şekilde alev alabilmektedir. Bu durum, patlayıcı bir atmosferin oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Gemi üzerindeki açık alev kaynaklarının bulunması, tanklardaki buharların patlamasına neden olabilecek en büyük tehlikelerden biri olmaktadır. Ham petrol tankerlerinde yükleme ve boşaltma süreçleri sırasında meydana gelen patlayıcı ortamlar, yangın ve patlama risklerini artırmaktadır. Bu durum, mürettebatın güvenliği için ciddi bir tehdit oluşturmakta olup patlama sonrası oluşabilecek yangınlar, geminin yapısına ve çevreye büyük zararlar verebilmektedir. Bu çerçevede ham petrolün yanıcılık ve patlayıcılık özellikleri nedeniyle gemi operasyonlarında çeşitli güvenlik önlemleri alınması gerekmektedir (Kurutaş, 2009). Ham petrol yükleme ve boşaltma sırasında buharların kontrol altına alınması için buhar geri kazanım sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler,

havaya salınan VOC buharlarını yakalayıp yeniden kullanılmasına olanak tanımaktadır. Gemi üzerinde açık alev kaynaklarının (kaynak, sigara içme vb.) kullanılmaması gerekmekte olup, yanıcı ve patlayıcı maddelerin olduğu alanlarda bu tür faaliyetlerin yasaklanması sağlanmaktadır. Gemi üzerinde yangın güvenliği ekipmanlarının (yangın söndürücüler, su sis sistemleri) etkin bir şekilde çalışır durumda olması ve personelin bu ekipmanları nasıl kullanacağını bilmesi gerekmektedir. Tüm bunlarla beraber gemi personeline, yanıcı ve patlayıcı maddelerle ilgili eğitimler verilmekte ve yangın tatbikatları düzenlenmektedir (Karbasiyan vd., 2017). Bu tatbikatlar, acil durumlarda personelin hızlı ve etkin bir şekilde müdahale edebilmesine yardımcı olmaktadır.

2.6.2. Yükleme ve boşaltma esnasında karşılaşılan riskler

Ham petrol tankerlerinde yükleme ve boşaltma işlemleri, gemi operasyonlarının en kritik aşamalarından biri olmaktadır ve bu süreçler sırasında birçok güvenlik riski ortaya çıkmaktadır.

Yükleme ve boşaltma işlemleri, büyük miktarda yanıcı ve uçucu maddelerin taşınmasını içerdiği için, bu süreçler sırasında dikkat edilmesi gereken önemli hususlar bulunmaktadır. Yükleme ve boşaltma sırasında ham petrolün yüzeyine çıkan uçucu organik bileşikler (VOC), atmosfere karışarak hava kirliliğine yol açabilmektedir (Kim vd., 2019). Yükleme sırasında ham petrol tanklara dolarken, içindeki uçucu bileşenler buharlaşarak tank başlıklarında birikmektedir. Bu buharlar, yükleme süreci sırasında açığa çıkarak havaya karışmakta ve VOC emisyonlarına neden olmaktadır. Yükleme işlemi sırasında yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında buharlaşma hızı artmaktadır. Yükleme sırasında tank başlıklarında biriken VOC'ler, belirli bir yoğunluğa ulaştığında patlayıcı bir atmosfer oluşturabilmektedir. Yetersiz havalandırma, bu riskleri artırarak yangın veya patlama tehlikesine yol açabilmektedir (Kum, 2005).

Yükleme ve boşaltma işlemleri, yanıcı ve patlayıcı maddelerin taşınmasını içerdiği için yangın ve patlama riskleri önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında açık alev veya kıvılcım kaynaklarının bulunması, yanıcı buharların alev almasına neden olabilmektedir (Haglund, 2008). Bu durum, hem mürettebat hem de gemi için ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Yükleme ve boşaltma sırasında kullanılan ekipmanların hatalı çalışması, petrolün kontrolsüz bir şekilde yayılmasına ve dolayısıyla yangın veya patlamaya neden olabilmektedir. Boru hatlarında meydana gelen sızıntılar veya arızalar, bu tür riskleri

artırmaktadır. Yükleme sırasında boru hatlarında veya bağlantılarda meydana gelebilecek sızıntılar, ham petrolün denize dökülmesine neden olabilmektedir. Bu tür kazalar, deniz ekosistemleri üzerinde ciddi etkilere yol açmakta ve deniz yaşamına zarar verebilmektedir. Boşaltma sırasında oluşan atıkların yanlış yönetimi, çevre kirliliğine neden olabilmektedir. Kimyasal atıkların uygun şekilde depolanmaması veya bertaraf edilmemesi, ciddi çevresel sorunlara yol açabilmektedir (Hu vd., 2020). Bu konuyla ilişkili olarak Bilgili (2021) çalışmasında alternatif deniz yakıtlarının yaşam döngüsü perspektifinden karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma, çeşitli alternatif yakıtların çevresel etkilerini, ekonomik verimliliklerini ve sürdürülebilirliklerini incelemekte ve bu yakıtların deniz taşımacılığındaki potansiyel uygulamalarını analiz etmektedir. Araştırma, deniz taşımacılığında çevre dostu alternatiflerin kullanımının artırılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında kullanılan ekipmanların arızalanması, ciddi kazalara yol açabilmektedir. Yükleme ve boşaltma sırasında kullanılan boru hatları ve valfler, aşırı basınç, aşınma veya yanlış kullanım nedeniyle arızalanabilmektedir.

Bu tür arızalar, petrol sızıntılarına ve yangın riskine yol açabilmektedir. Pompa sistemlerinin arızalanması, yükleme veya boşaltma işlemlerinin durmasına ve dolayısıyla zaman kaybına neden olabilmektedir. Bu durum, operasyonel gecikmelere ve ek maliyetlere yol açmaktadır (Haglund, 2008 ; Lafçi ve Öztekin, 2020). Yükleme ve boşaltma işlemlerinde insan hataları, genellikle büyük kazaların nedenlerinden biri olmaktadır. Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında personelin dikkat dağınıklığı veya yeterli bilgiye sahip olmaması, hatalı hareketlere neden olabilmektedir. Bu tür hatalar, sızıntılara, yangınlara veya diğer tehlikeli durumlara yol açabilmektedir. Yükleme ve boşaltma esnasında ekip üyeleri arasındaki iletişim eksiklikleri, kritik anlarda yanlış anlaşılmalara ve hatalara neden olabilmektedir. Bu nedenle etkili iletişim protokollerinin oluşturulması önemli olmaktadır (Hu vd., 2020 ; Martens vd., 2023). Bu çerçevede yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında hava ve deniz koşulları da önemli bir risk faktörü olmaktadır. Fırtınalı hava, rüzgar ve yüksek dalgalar, yükleme ve boşaltma işlemlerini zorlaştırabilmektedir. Bu tür koşullarda yapılan işlemler, geminin dengesi üzerinde olumsuz etkilere yol açmakta ve mürettebatın güvenliğini tehdit edebilmektedir. Sis, yağmur veya fırtına gibi durumlar, görüş mesafesini azaltarak yükleme ve boşaltma işlemlerinin güvenliğini tehlikeye atmaktadır.

2.7. VOC Emisyonlarının Gemi Güvenliğine Olan Etkileri

Uçucu organik bileşikler (VOC), ham petrol tankerlerinde taşınan ve yükleme-boşaltma işlemleri sırasında atmosfere salınan önemli kimyasal maddeler arasında yer almaktadır. VOC emisyonları, yalnızca çevre kirliliğine neden olmakla kalmayıp aynı zamanda gemi güvenliği açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. VOC'lerin buharlaşması ve tank başlıklarında birikmesi, havadaki belirli bir yoğunluğa ulaştığında patlayıcı bir atmosfer yaratabilmektedir (Lafçi ve Öztekin, 2020). Bu durum, açık alev veya kıvılcım kaynaklarının varlığında büyük bir patlama riski taşımaktadır. Yükleme ve boşaltma sırasında dikkat edilmezse bu patlayıcı ortamlar ciddi kazalara yol açabilmektedir.

VOC'ler, alev alma noktasının düşük olması nedeniyle kolayca yanabilir. Yangın, hem mürettebatın sağlığı hem de geminin yapısı için büyük tehdit oluşturmaktadır. Yükleme ve boşaltma esnasında oluşan yangınlar, hızlı bir şekilde yayılabilmekte ve kontrol altına alınamazsa felakete neden olabilmektedir. Solunum yollarına zarar verebilecek bu maddeler, gemi güvenliğini dolaylı yoldan etkileyebilmektedir.

VOC'lere maruz kalan mürettebat, baş ağrısı, göz tahrişi, nefes darlığı ve solunum yolu hastalıkları gibi sağlık sorunları yaşayabilmektedir (Lee ve Chang, 2014). Sağlık sorunları, personelin çalışma kapasitesini etkileyerek gemi operasyonlarının güvenliğini azaltabilmektedir. VOC'lere maruz kalma, konsantrasyon kaybına ve dikkat dağınıklığına yol açarak mürettebatın iş performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durum, acil durumlarda yanlış kararlar alınmasına ve kazalara neden olabilmektedir. Bu çerçevede VOC emisyonları, geminin teknik sistemleri üzerinde de olumsuz etkiler yaratabilmektedir. VOC'ler, gemideki bazı malzemelere zarar verebilmektedir. Özellikle metal ve plastik parçalar, bu kimyasallara maruz kaldığında zamanla aşınabilmekte veya bozulabilmektedir. Bu tür hasarlar, geminin güvenlik sistemlerini etkileyebilmektedir. VOC'lerin yayılması, geminin yangın güvenliği sistemlerini olumsuz etkileyebilmektedir. Yangın algılama ve söndürme sistemleri, VOC buharlarının varlığında etkisiz hale gelebilmekte, bu da yangın riskinin artmasına neden olmaktadır (Lee vd., 2013). Genel olarak VOC emisyonları, acil durum müdahale protokollerinin etkinliğini de olumsuz etkileyebilmektedir. Yangın veya patlama durumunda VOC emisyonlarının yüksek olduğu alanlarda acil durum ekipmanlarının kullanımı tehlikeli hale gelebilmektedir. Bu durum, mürettebatın acil durum müdahale becerilerini olumsuz etkileyerek gecikmelere yol açabilmektedir. VOC emisyonlarının yarattığı tehditler göz önünde bulundurulmadığında, acil durum planları

yetersiz kalabilmektedir. Bu tür durumlar, yangın veya patlama anında personelin paniğe kapılmasına ve etkin bir müdahalede bulunamamasına yol açabilmektedir (Lee vd., 2013).

Gemi operasyonları sırasında meydana gelen kirlilik, çevreye zarar vermekte ve geminin itibarını zedeleyebilmektedir. Çevresel sorunlar, denizcilik şirketlerinin itibarını etkileyebilmekte, bu da uzun vadede iş kaybına neden olabilmektedir. Bununla beraber Bicer ve Dincer (2018) çalışmasında, hidrojen ve amonyakla çalışan transokyanik deniz araçlarının çevresel etki kategorileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma, bu alternatif enerji kaynaklarının çevre üzerindeki olası etkilerini incelemekte ve hidrojen ile amonyakla çalışan sistemlerin sürdürülebilirlik açısından avantajlarını vurgulamaktadır. Araştırma, deniz taşımacılığında kullanılan yakıtların çevresel etkilerini analiz ederek, bu alandaki yenilikçi çözümlerin önemini ortaya koymaktadır. VOC emisyonlarının kontrol altına alınmaması, uluslararası ve yerel düzenlemelere uyumsuzluk yaratabilmektedir. Bu durum, gemi operasyonlarının durdurulmasına veya ağır cezalara yol açabilmektedir. Tüm bunlarla beraber VOC emisyonlarına karşı alınacak önlemler ve müdahale yöntemleri hakkında personelin yetersiz bilgiye sahip olması, güvenlik risklerini artırmaktadır.

Yetersiz eğitim, mürettebatın bu tür durumlarda nasıl davranacağını bilmemesine neden olmaktadır (Martens vd., 2023). VOC emisyonlarının etkili bir şekilde izlenmesi ve kontrol edilmesi, yönetim tarafından yeterince dikkate alınmadığında ciddi güvenlik riskleri doğurabilmektedir. Gemi sahipleri ve yöneticileri, bu tür risklerin yönetimi konusunda aktif rol üstlenmelidir.

2.7.1. Patlayıcı atmosfer oluşumu riski

Ham petrol tankerlerinde gerçekleştirilen yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında, uçucu organik bileşiklerin (VOC) buharlaşması sonucu patlayıcı atmosfer oluşumu riski önemli bir tehlike olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu risk, hem gemi personelinin güvenliği hem de geminin genel emniyeti açısından kritik öneme sahiptir. Patlayıcı atmosfer, belirli bir yoğunluğa ulaşan yanıcı buharların havadaki oksijenle birleşmesi sonucu meydana gelmektedir (Mihajlovic vd., 2016).

Patlayıcı atmosfer, iki ana bileşenin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bunlar yanıcı gaz veya buhar ve yeterli miktarda oksijen şeklindedir. Ham petrol, taşıma sırasında yüksek sıcaklık ve düşük basınç koşullarında buharlaşabilmekte olup bu durum, tank başlıklarında

VOC'lerin birikmesine yol açmaktadır. Buharlaşma süreci, yükleme ve boşaltma sırasında hızlanarak yüksek miktarda yanıcı buharın atmosfere salınmasına neden olmaktadır. Yanıcı buharların havadaki konsantrasyonu belirli bir seviyeye ulaştığında patlayıcı bir karışım oluşturmaktadır. Yanıcı buharların konsantrasyonu %1 ile %7 arasında olduğunda bu karışım alev alabilmektedir. Yükleme ve boşaltma sırasında bu karışımın oluşma olasılığı artmaktadır. Çevresel koşullar (sıcaklık, basınç), patlayıcı atmosferin oluşumunu etkileyebilmektedir. Yüksek sıcaklık, buharlaşmayı artırarak yanıcı buharların konsantrasyonunu yükseltebilmektedir (Mihajlovic vd., 2016; Nordvik, 2020). Ayrıca düşük basınçlı ortamlarda buharların daha kolay genişlemesi patlayıcı bir atmosfer oluşturma riskini artırmaktadır. Bu kapsamda patlayıcı atmosferin en belirgin tehlikesi, alev alması ve yangına neden olmasıdır. Yangınlar, geminin yapısına, mürettebatın güvenliğine ve çevreye büyük zararlar verebilmektedir. Yangının hızlı bir şekilde yayılması, acil durumlarda müdahale yeteneklerini kısıtlayabilmektedir. Patlayıcı bir atmosferin varlığı, insan hatalarını ve dikkatsizlikleri artırabilmekte, yangın veya patlama durumunda panik ve kargaşa, daha büyük kazaların yaşanmasına yol açabilmektedir. Patlayıcı atmosfer oluşumunu önlemek ve yönetmek, gemi güvenliği açısından hayati öneme sahiptir (Nordvik, 2020). Yükleme ve boşaltma sırasında etkili havalandırma sistemlerinin kullanılması, tank başlıklarında biriken yanıcı buharların atmosfere yayılmasını önlemektedir.

Havalandırma, hava akışını artırarak patlayıcı atmosferin oluşumunu engellemektedir. Yükleme ve boşaltma sırasında ortaya çıkan VOC buharlarının kontrol altına alınması için buhar geri kazanım sistemleri kullanılmalıdır. Bu sistemler, buharların havaya salınmadan önce toplanmasını sağlamak ve çevresel etkileri azaltmaktadır. Gemi personeline patlayıcı atmosferin riskleri ve bu risklerle başa çıkma yöntemleri hakkında eğitim verilmesi gerekmektedir (Rajabi vd., 2020). Eğitimler, personelin acil durumlarda nasıl davranması gerektiğini ve hangi önlemleri alması gerektiğini anlamalarına yardımcı olmaktadır. Tüm bunlarla beraber yükleme ve boşaltma sırasında açık alev veya kıvılcım kaynaklarının bulunmaması sağlanmalıdır. Bu, patlayıcı atmosferin alev almasını önlemek için kritik bir önlem olarak öne çıkmaktadır. Gemide patlayıcı atmosfer oluşumunu sürekli olarak izleyen sistemlerin kurulması, risklerin zamanında tespit edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu sistemler, VOC konsantrasyonlarını anlık olarak izleyerek mürettebatı uyarabilmektedir. Patlayıcı atmosfer oluşumu durumunda acil durum prosedürlerinin hazırlanması ve personelin bu prosedürler hakkında bilgilendirilmesi önem arz etmektedir (Rajabi vd., 2020).

; Rudd ve Hill, 2001). Acil durum planları, mürettebatın hızlı ve etkili bir şekilde hareket etmesine olanak tanımaktadır.

2.7.2. VOC'un yangın ve patlama olasılıklarına katkısı

Uçucu organik bileşikler (VOC), ham petrol tankerlerinde taşınan ve yükleme-boşaltma süreçlerinde atmosfere salınan zararlı maddeler olarak gemi güvenliği açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Bu bileşiklerin yanıcı ve patlayıcı özellikleri, hem fiziksel özelliklerinden hem de operasyonel koşullardan kaynaklanmaktadır. VOC'ler, ham petrolün taşınması ve depolanması sırasında buharlaşarak havaya karışmakta ve bu durum, yanıcı buharların birikmesine, dolayısıyla yangın ve patlama riskinin artmasına neden olmaktadır (Rudd ve Hill, 2001). VOC'lerin alev alma noktası genellikle düşük seviyelerde olduğundan bu buharlar normal çalışma sıcaklıklarında bile alev alabilmektedir. Alev alma noktası belirli bir sıcaklığa ulaştığında buharların yanma riski doğmakta ve VOC'ler, belirli koşullar altında hava ile birleştiğinde patlayıcı bir karışım oluşturabilmektedir. Bu durum, hem gemi personeli hem de çevre için ciddi tehlikeler yaratabilmektedir. Yanıcı buharların hava ile karıştığı durumlarda belirli bir yoğunluk aralığında (genellikle %1 ile %7) patlayıcı karışımlar oluşmaktadır. Bu karışımlar, alev veya kıvılcım kaynakları ile temas ettiğinde yangın ve patlama riskini artırmaktadır (Sağlamtimur-Doğan ve Subaşı, 2018).

Genel olarak VOC'lerin tanklarda birikmesi, bu gazların belirli bir yoğunluğa ulaşması ile patlayıcı bir ortam yaratmaktadır.

Yetersiz havalandırma ve doğru işleme prosedürlerinin uygulanmaması, bu tür birikimlerin meydana gelmesine sebep olabilmektedir. Tüm bunlarla beraber Rajabi vd., (2020) çalışmasında ham petrol işleme sürecinden kaynaklanan uçucu organik bileşenlerin (VOC) emisyonları incelenmiş ve küresel emisyon envanteri ile çevresel salınım değerlendirilmiştir. Bu makalede VOC emisyonlarının kaynakları, miktarları ve çevresel etkileri kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır. Araştırma, dünya genelinde VOC emisyonlarının yönetimi için stratejiler ve öneriler sunmaktadır.

VOC emisyonlarının yangın ve patlama olasılıklarına katkısı, yükleme ve boşaltma işlemlerinin nasıl gerçekleştirildiğine de bağlı olmaktadır. Yükleme ve boşaltma sırasında yeterli havalandırmanın sağlanmaması, VOC'lerin birikmesine ve dolayısıyla patlayıcı atmosferin oluşmasına yol açmaktadır. Geminin iç mekanlarının düzenli olarak

havalandırılması, bu riski azaltmak için önem taşımaktadır. Yükleme ve boşaltma süreçlerinde kullanılan ekipmanların (boru hatları, pompa sistemleri) düzgün çalışmaması, sızıntılara ve buharların kontrolsüz bir şekilde atmosfere salınmasına neden olabilmektedir. Bu tür durumlar, patlama ve yangın riskini artırmaktadır (Sağlamtimur-Doğan ve Subaşı, 2018 ; Satır, 2007). Tüm bunlarla beraber VOC'lerin yanıcı ve patlayıcı özellikleri, açık alev veya kıvılcım kaynaklarının varlığıyla birleştiğinde tehlikeli durumlar yaratabilmektedir. Yükleme ve boşaltma sırasında gemideki açık alev kaynakları (kaynak, sigara içme vb.), yanıcı buharların alev almasına neden olabilmektedir. Bu durum, patlayıcı bir atmosferin hızla yanmasına yol açabilmektedir. Elektrik sistemlerinde meydana gelen kıvılcımlar veya statik elektrik de yanıcı buharların alev almasına neden olabilmekte, yükleme işlemleri sırasında elektrikli aletlerin dikkatli kullanılması gerekmektedir (Sonawane vd., 2023 ; Tamaddoni vd., 2014). Bu çerçevede VOC'lerin yangın ve patlama olasılıklarına katkısının yönetilmesi, etkili yangın güvenliği önlemlerinin alınmasını gerektirmektedir. Gemi üzerindeki yangın algılama ve söndürme sistemlerinin düzenli olarak kontrol edilmesi ve etkin bir şekilde çalıştığından emin olunması gerekmektedir. Yangın anında bu sistemlerin hızlı bir şekilde devreye girmesi, olası felaketleri önleyebilmektedir. Yangın veya patlama riskine karşı hazırlıklı olmak için acil durum planlarının oluşturulması ve personelin bu planlar hakkında eğitim alması önem taşımaktadır. Acil durum tatbikatları, mürettebatın bu tür durumlarda nasıl hareket etmesi gerektiğini öğretmektedir (Satır, 2007).

2.8. VOC Emisyonlarından Kaynaklanan Tehlikeler ve Kazalar

VOC emisyonları, hem çevre hem de insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olmasının yanı sıra, yangın, patlama ve diğer kazalara yol açabilecek riskler taşımaktadır.

VOC'lerin yanıcı ve patlayıcı özellikleri, ham petrol tankerlerinde büyük tehlikeler yaratmaktadır. Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında bu kimyasalların birikmesi, yangın ve patlama risklerini artırmaktadır. Yükleme ve boşaltma sırasında, VOC buharlarının alev alması yangın kazalarının meydana gelmesine neden olmaktadır. Yangın, hem mürettebatın hayatını tehdit etmekte hem de geminin yapısına zarar vermektedir (Sonawane vd., 2023). Yangın kontrol altına alınmadığında hızlı bir şekilde yayılmakta ve büyük hasarlara yol açabilmektedir. Patlayıcı bir atmosferin oluşması, açık alev veya kıvılcım kaynakları ile birleştiğinde, patlamalara neden olabilmektedir. Patlamalar, geminin yapısını ciddi şekilde etkileyebilmekte ve can kaybına yol açabilmektedir. VOC emisyonlarının havadaki

yoğunluğu belirli bir seviyeye ulaştığında bu durum patlayıcı bir ortam yaratmaktadır (Sonawane vd., 2023).

Genel olarak VOC emisyonları, çevresel kirliliği artırarak deniz ekosistemlerine zarar vermektedir. Bu durum, hem doğa hem de insan sağlığı üzerinde ciddi etkilere yol açmaktadır. Ham petrol tankerlerinden kaynaklanan sızıntılar, deniz suyu ile temas ettiğinde su kirliliğine neden olmaktadır. Su kaynaklarının kirlenmesi, deniz yaşamına zarar vermekte ve içme suyu kaynaklarını tehdit etmektedir. VOC'ler, deniz ekosistemlerinde kalıcı hasar yaratabilmektedir. VOC emisyonları, atmosfere salındığında hava kirliliğini artırmaktadır. Hava kalitesinin bozulması, insan sağlığını tehdit eden solunum yolu hastalıklarına ve diğer sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Tamaddoni vd., 2014). Özellikle VOC'lerin yüzey ozonu oluşturması, hava kirliliği ile bağlantılı sağlık sorunlarını artırmaktadır. VOC'lere uzun süre maruz kalmak, astım, bronşit ve diğer solunum yolu hastalıklarına neden olmaktadır. Mürettebat, yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında bu maddelere maruz kalmakta ve bu durum sağlık sorunlarına yol açmaktadır. VOC'lerin etkisi, kısa vadeli sağlık sorunlarının yanı sıra uzun vadeli kronik hastalıklara da yol açabilmektedir. Kanserojen özellikler taşıyan bazı VOC'ler, kanser riskini artırmaktadır. VOC emisyonlarının neden olduğu yangın ve patlama riskleri, gemi güvenliği protokollerinin ve acil durum yönetim planlarının önemini artırmaktadır (Tozar ve Güzel, 2012).

VOC'lerin yarattığı riskler, acil durum müdahale planlarının yetersiz olması durumunda ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Yangın veya patlama anında personelin paniğe kapılması, doğru müdahale edememesi ve zarar görmesine neden olabilmektedir. VOC'lerin etkisiyle yangın güvenliği sistemlerinin düzgün çalışmaması durumunda acil müdahaleler etkisiz hale gelebilmektedir. Yangın algılama ve söndürme sistemlerinin bakımsız kalması, bu sistemlerin etkinliğini azaltmaktadır.

Bu çerçevede VOC emisyonlarının neden olduğu tehlikeler, denizcilik sektöründe ekonomik kayıplara ve itibar sorunlarına yol açabilmektedir. Bu durumla bağlantılı olarak Bahar ve Ay (2021) çalışmasında, genetiği değiştirilmiş mısır üretiminin ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma, genetiği değiştirilmiş mısırın üretim maliyetleri, piyasa talebi ve potansiyel ekonomik yararları üzerinde durmaktadır. Araştırma, GDO'lu mısırın tarımsal üretimde sağladığı avantajların yanı sıra, bu üretimin sürdürülebilirlik ve ekonomik etkileri hakkında kapsamlı bilgiler sunmaktadır.

Yangın, patlama veya çevresel kirlilik kazaları, gemi sahipleri için büyük maddi kayıplara neden olmaktadır. Onarım maliyetleri, tazminat talepleri ve hukuki süreçler, işletmelerin mali durumunu olumsuz etkilemektedir. VOC emisyonları nedeniyle meydana gelen kazalar, denizcilik şirketlerinin itibarını zedeleyebilmektedir. Çevreye zarar vermek, şirketlerin itibarını sarsmakta ve müşteri kaybına yol açmaktadır (Tokuşlu, 2019). Tüm bunlarla beraber VOC emisyonlarının neden olduğu tehlikelerin yönetilmesi için çeşitli önlemler alınması gerekmektedir. Gemi üzerindeki VOC emisyonlarının izlenmesi ve kontrolü için düzenli denetimlerin yapılması önem taşımaktadır. Bu denetimler, tehlikeli durumların erken tespit edilmesine ve gerekli önlemlerin alınmasına olanak tanımaktadır. Gemi personeline VOC emisyonlarının tehlikeleri ve bu tehlikelerle başa çıkma yöntemleri hakkında eğitim verilmesi gereklidir. Eğitimler, mürettebatın acil durumlarda hızlı ve etkili bir şekilde hareket etmesine yardımcı olmaktadır (Topaloğlu, 2013).

2.8.1. Tarihsel kazalar ve VOC'nin rolü

Tarih boyunca ham petrol tankerlerinde meydana gelen kazalar, genellikle VOC emisyonlarının etkileriyle ilişkilendirilmektedir. Bu kazalar, hem insan hayatına hem de çevreye ciddi zararlar vermektedir. VOC'lerin bu tür kazalardaki rolü, onların yanıcı ve patlayıcı özellikleri ile doğrudan bağlantılıdır. Amoco Cadiz, 1978 yılında Fransa'nın Brest açıklarında yaşanan büyük bir tanker kazası olarak dikkat çekmektedir. Kazanın temel nedenlerinden biri, geminin yetersiz yükleme prosedürleri ve bakım eksiklikleri olmaktadır. Kazanın ardından geminin tanklarından yaklaşık 220,000 ton ham petrol denize dökülmüş ve bu olayın ardından meydana gelen VOC emisyonları çevreye ciddi zararlar vermektedir. Denize dökülen petrol, yerel ekosistemleri büyük ölçüde etkileyerek bölgedeki hava kalitesini bozmaktadır.

VOC'lerin buharlaşması sonucu artan hava kirliliği, balıkçılığı ve turizmi olumsuz etkilemektedir (Van vd., 2019). Amoco Cadiz kazası sırasında deniz yüzeyinde oluşan yanıcı buharlar, yangın ve patlama riski yaratmakta, bu durum kurtarma çalışmalarını zorlaştırmakta ve acil durum müdahalelerinin etkinliğini azaltmaktadır. 1989 yılında Alaska kıyılarında meydana gelen Exxon Valdez kazası, tarihin en büyük petrol sızıntılarından biri olarak kaydedilmektedir. Kazanın ardından geminin tanklarından yaklaşık 41 milyon litre ham petrol denize dökülmüş ve kazadan sonra buharlaşan petrol büyük miktarda VOC'nin atmosfere salınmasına neden olmaktadır. Bu emisyonlar, hava kalitesinin düşmesine ve çevredeki yaşam alanlarının zarar görmesine yol açmaktadır. Exxon Valdez kazası, deniz

ekosisteminde kalıcı hasara neden olurken VOC'lerin havada oluşturduğu kirlilik, bölgedeki canlıların sağlığını tehdit etmekte ve habitatlarını tahrip etmektedir. Deepwater Horizon, 2010 yılında Meksika Körfezi'nde meydana gelen bir petrol platformu kazası olarak tarihin en büyük deniz petrol sızıntılarından biri olarak kaydedilmektedir. Kazanın ardından yaklaşık 4.9 milyon varil petrol denize dökülmekte ve VOC'ler bu süreçte önemli bir rol oynamaktadır. Kazanın meydana geldiği sırada VOC emisyonları yüksek seviyelere ulaşmakta ve platform üzerinde patlayıcı bir atmosfer oluşturarak yangın riskini artırmaktadır (Van vd., 2019 ; Topaloğlu, 2013). VOC'lerin atmosfere salınması, hava kalitesini olumsuz etkileyerek denizde meydana gelen sızıntı ekosistemler üzerinde kalıcı zararlara yol açmakta ve bölgedeki canlıların sağlığını tehdit etmektedir. Tarih boyunca yaşanan bu kazalar, VOC emisyonlarının denizcilik endüstrisinde taşıdığı riskleri net bir şekilde ortaya koymaktadır. VOC'lerin yanıcı ve patlayıcı özellikleri, güvenlik protokollerinin ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Yükleme ve boşaltma işlemlerinde dikkat edilmesi gereken prosedürler, kazaların önlenmesi için kritik rol oynamaktadır. Bu çerçevede kazaların önlenmesi için gemi personeline yönelik eğitim ve bilinçlendirme faaliyetleri büyük önem taşımaktadır (Varlık, 2011 ; Yazır ve Yay, 2022). VOC emisyonları hakkında bilgi sahibi olmak, mürettebatın acil durumlara daha etkin başa çıkmasına yardımcı olmaktadır. VOC'lerin çevreye olan etkileri, denizcilik endüstrisinin çevre koruma standartlarını sıkılaştırması gerektiğini göstermektedir. Yasal düzenlemelere uyum sağlamak ve önleyici tedbirler almak, çevresel felaketlerin önlenmesine katkıda bulunmaktadır.

2.8.2. VOC emisyonlarından kaynaklanan yangın ve patlama olayları

VOC emisyonlarının neden olduğu yangın ve patlama olayları, geçmişte birçok kazaya ve can kaybına yol açmaktadır. VOC emisyonları, yükleme ve boşaltma sırasında havada yoğunlaşarak tank başlıklarında birikme eğiliminde olmaktadır.

Bu buharlar, oksijenle birleştiğinde yanıcı bir ortam oluşturmaktadır. Yetersiz havalandırma, bu riskleri artırarak yangın tehlikesini çoğaltmaktadır. Yangın olayları genellikle açık alev veya kıvılcım kaynakları ile başlamaktadır. Yükleme ve boşaltma esnasında kaynak işlemleri veya diğer alevli aktiviteler buharların alev almasına neden olabilmektedir. VOC'lerin yüksek alev alma noktası, bu riskin ciddiyetini artırmaktadır (Varlık, 2011 ; Yazır ve Yay, 2022). Genel olarak yanıcı buharların hava ile birleşmesi, belirli bir yoğunluğa ulaştığında patlayıcı bir karışım oluşturabilmektedir. Bu durum, alev kaynağı ile temas ettiğinde büyük bir patlamaya neden olabilmektedir. VOC'lerin bu özelliği, tanker operasyonları sırasında

ciddi tehlikeler yaratmaktadır. Düşük hava sıcaklıkları ve yüksek basınç gibi dış koşullar, VOC'lerin patlayıcı karışım oluşturma olasılığını artırabilmektedir. Yükleme ve boşaltma sırasında meydana gelen basınç dalgalanmaları, bu tür bir patlama riskini yükseltebilmektedir. Bununla beraber Rudd ve Hill (2001) çalışmasında Avrupa Birliği'nde gemilerin yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında VOC emisyonlarını azaltmaya yönelik tedbirler değerlendirilmiştir. AEAT/ENV/R/0469 raporu olarak yayımlanan bu çalışmada, mevcut emisyon seviyeleri ve bu seviyelerin düşürülmesine yönelik önerilen teknikler ve politikalar üzerinde durulmaktadır. Araştırma, gemi operasyonlarında çevresel etkilerin azaltılması için pratik çözümler sunmaktadır.

Geçmişte yaşanan bazı önemli yangın ve patlama olayları, VOC emisyonlarının risklerini net bir şekilde ortaya koymaktadır. 1991 yılında Belçika'nın Haven kentinde meydana gelen olayda bir ham petrol tankerinin yükleme esnasında tanklarından biri patlamıştır. VOC buharlarının birikmesi sonucu gerçekleşen bu patlama, gemide yangına yol açmakta ve çevrede büyük hasara neden olmaktadır (Yazır ve Yay, 2022). Olay sonucunda birçok kişi yaralanmakta ve çevre kirliliği meydana gelmektedir. 2009 yılında ABD'nin güney kıyısındaki bir petrol platformunda meydana gelen yangın, yükleme işlemleri sırasında VOC emisyonlarının birikmesiyle tetiklenmekte fakat alev kaynakları, VOC buharlarının alev almasına neden olarak yangının hızla yayılmasına yol açmaktadır. Bu çerçevede VOC emisyonlarından kaynaklanan yangın ve patlama olayları, hem insan sağlığına hem de çevreye ciddi zararlar verebilmektedir. Yangın ve patlama olayları, mürettebatın hayatını tehdit etmektedir. Bu tür kazalar, ciddi yaralanmalara ve can kayıplarına yol açabilmektedir. Yangın anında paniğe kapılan personel, etkili bir müdahalede bulunamamakta ve bu durum kazaların ciddiyetini artırmaktadır (Yılmaz, 2019).

Yangın ve patlama olayları, çevre kirliliğine neden olmaktadır. Yangın sırasında ortaya çıkan duman ve VOC emisyonları, hava kalitesini bozmakta, ayrıca patlama sonucunda denize sızan petrol deniz ekosistemlerine kalıcı zararlar verebilmektedir. Yangın ve patlama olayları, geminin yapısına zarar vererek büyük maddi kayıplara yol açabilmektedir. Onarım maliyetleri, tazminatlar ve iş durdurma süreleri, denizcilik şirketlerinin finansal durumunu olumsuz etkilemektedir (Altun, 2013). Tüm bunlarla beraber yükleme ve boşaltma sırasında etkili havalandırma sistemlerinin kullanılması, VOC'lerin havada birikmesini önlemektedir. Bu sistemler, buharların hızlı bir şekilde dışarı atılmasını sağlayarak patlayıcı atmosferin oluşumunu engellemektedir. Gemi üzerindeki yangın güvenliği ekipmanlarının ve

sistemlerinin düzenli olarak denetlenmesi ve bakımlarının yapılması, bu ekipmanların etkinliğini artırmaktadır. Gemi personeline yangın güvenliği ve acil durum müdahaleleri konusunda eğitim verilmesi gerekmektedir. Tatbikatlar, mürettebatın acil durumlarda nasıl hareket edeceğini öğrenmesine yardımcı olmaktadır (Altun, 2013).

2.9. Uluslararası Düzenlemeler ve Önlemler

2.9.1. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) düzenlemeleri

Uluslararası denizcilik örgütü (IMO), denizcilik güvenliğini artırmak, çevre kirliliğini önlemek ve deniz taşımacılığına yönelik uluslararası standartlar geliştirmek amacıyla kurulmuş bir Birleşmiş Milletler kuruluşu olarak faaliyet göstermektedir. IMO, gemilerin emniyetli ve çevre dostu bir şekilde işletilmesi için gerekli düzenlemeleri ve yönergeleri belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. IMO, deniz güvenliği, çevre koruma ve deniz taşımacılığı ile ilgili uluslararası standartlar oluşturmakta ve bu standartlar, tüm üye devletler tarafından kabul edilmesi ve uygulanması gereken kurallar ve prosedürler içermektedir (Akyar vd., 2023). IMO, denizcilik sektörü için eğitim ve bilinçlendirme programları düzenlemekte, bu programlar aracılığıyla personelin deniz emniyeti ve çevre koruma konularında bilgi sahibi olmasını sağlamaktadır. Ayrıca üye devletler arasında işbirliği ve iletişimi teşvik etmekte ve bu işbirliği, denizcilik güvenliğini artırmak ve çevresel etkileri azaltmak için gereklilik göstermektedir.

IMO, ham petrol tankerlerinde VOC emisyonlarının kontrolü ve yönetimi için önemli düzenlemeler geliştirmektedir. "Denizden Gelen Kirliliği Önleme Uluslararası Sözleşmesi" olarak bilinen MARPOL, denizcilik faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel kirliliği azaltmaya yönelik kapsamlı kurallar içermekte olup VOC emisyonlarını MARPOL'un hava kirliliği ile ilgili düzenlemeleri (MARPOL Annex VI) kapsamında ele almaktadır (Akyuz ve Celik, 2015). Bu düzenlemeler, gemilerden salınan kirletici gazların sınırlandırılmasını ve kontrol edilmesini sağlamaktadır. "Denizde Can Güvenliği Uluslararası Sözleşmesi" (SOLAS), gemi güvenliğini artırmaya yönelik önemli düzenlemeler içermekte, gemilerde yangın güvenliği, can kurtarma donanımları ve yükleme-boşaltma prosedürleri gibi konularda standartlar belirlemede ve VOC'lerin neden olduğu yangın ve patlama risklerinin yönetilmesi, SOLAS düzenlemeleri çerçevesinde değerlendirilmektedir. Bu kapsamda Çakır (2010) çalışmasında, iş ve işçi sağlığı açısından iş yeri kirleticileri üzerine bir yüksek lisans tezi hazırlanmıştır. Çalışma, iş yerlerinde karşılaşılan kirletici maddelerin sağlığa etkilerini

ve bu kirleticilere maruziyetin işçi sağlığı üzerindeki sonuçlarını incelemektedir. Araştırma, iş sağlığı ve güvenliği alanında alınması gereken önlemler ve stratejiler hakkında bilgi sunmaktadır.

Petrol tankerleri ve terminalleri için uluslararası güvenlik kılavuzu olan ISGOTT ise ham petrol tankerlerinin güvenli işletimi ve çevresel etkilerin azaltılması amacıyla rehberlik etmektedir. Bu çerçevede IMO, gemilerde buhar geri kazanım sistemlerinin (VRS) kullanılmasını teşvik etmekte, bu sistemlerin yükleme ve boşaltma sırasında oluşan VOC buharlarını kontrol altına alarak atmosfere salınımını azaltmasını önermektedir (Akyuz ve Celik, 2015). Aynı zamanda IMO tankerlerin havalandırma sistemlerinin etkin bir şekilde çalıştırılmasını önermekte, yetersiz havalandırmanın VOC'lerin birikmesine ve patlayıcı atmosferin oluşmasına yol açabileceğine dikkat çekmekte, bu nedenle düzenli denetimlerin yapılması ve sistemlerin etkinliğinin sağlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca belirtmek gerekir ki Varlık (2011) çalışmasında, VOC (uçucu organik bileşenler) boya sistemleri ve AB katılım sürecinde Türkiye mevzuatının uyumlaştırılması üzerine bir inceleme yapılmıştır. Çalışma, Türkiye'nin AB mevzuatına uyum sürecinde VOC'ların yönetimi ve bu alandaki düzenlemelerin önemini ele almaktadır. Araştırma, çevresel sürdürülebilirlik ve sağlık koruma açısından gerekli düzenlemelerin gerekliliğini vurgulamaktadır.

IMO, gemi personeline VOC emisyonları ve bu emisyonların riskleri konusunda eğitim verilmesini teşvik etmekte, eğitimlerin personelin VOC'lere karşı alması gereken önlemleri ve acil durum müdahale planlarını anlamalarına katkı sağladığını belirtmektedir. IMO, denizcilik endüstrisinde sürdürülebilirlik ve güvenliğin sağlanması için sürekli olarak düzenlemelerini güncellemektedir (Akyuz ve Celik, 2015). Gelecekteki hedefleri arasında VOC emisyonlarının azaltılmasına yönelik daha sıkı düzenlemeler getirmek, alternatif yakıtların kullanımı için standartlar oluşturmak ve denizcilik sektöründe çevresel etkileri azaltmaya yönelik yeni teknolojilerin geliştirilmesini desteklemek bulunmaktadır.

2.9.2. MARPOL sözleşmesi ve voc düzenlemeleri

MARPOL (Denizden Gelen Kirliliği Önleme Uluslararası Sözleşmesi), denizcilik faaliyetlerinden kaynaklanan çevre kirliliğini önlemek amacıyla oluşturulmuş en önemli uluslararası düzenlemelerden biri olarak kabul edilmektedir. 1973 yılında kabul edilip 1978'deki protokollerle güncellenen MARPOL, özellikle ham petrol ve diğer tehlikeli

maddelerin taşınmasında karşılaşılabilecek çevresel riskleri azaltmayı hedeflemektedir. Bu sözleşme, VOC emisyonlarının yönetimi konusunda da önemli düzenlemeler içermektedir (Akyar vd., 2023 ; Azkeskin, 2016). Bu çerçevede MARPOL, gemilerden kaynaklanan atıkların, petrol ve diğer zararlı maddelerin denizlere salınımını önlemeyi amaçlayarak deniz ekosistemlerinin korunmasına ve sürdürülebilir deniz taşımacılığının sağlanmasına katkı sunmaktadır. Bununla beraber Keskin (2006) çalışmasında gemilerden kaynaklanan atıkların kontrolü kapsamında liman atık kabul tesisinin ve Ambarlı Limanı'nın durumu incelenmiştir. Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma, gemi atıklarının yönetimi, limanlarda uygulanan atık kabul süreçleri ve bu süreçlerin etkinliğini değerlendirmektedir. Araştırma, limanlarda atık yönetim sistemlerinin iyileştirilmesi için öneriler sunmaktadır.

Sözleşme, deniz kirliliği konusunda uluslararası işbirliğini teşvik etmekte ve üye devletler arasında bilgi alışverişini desteklemektedir. Aynı zamanda deniz kirliliği ile mücadelede net bir yasal çerçeve oluşturarak gemi sahipleri ve işletmecileri için uyulması gereken kurallar ve standartlar belirlemektedir (Başaran, 2009 ; Ancione vd., 2021). Genel olarak MARPOL Sözleşmesi, yedi ayrı ekten oluşmakta olup her ek, belirli bir kirlilik türü ile ilgili düzenlemeleri kapsamaktadır. Tüm bu süreç bağlamında Sağlamtimur-Doğan ve Subaşı (2018) çalışmasında dünya ve Türkiye'de gemilerden kaynaklanan deniz kirliliği ve atık kabul tesisleri ele alınmıştır. Bu çalışma, deniz kirliliği ile ilgili genel bir perspektif sunmakta ve yönetim stratejileri ile öneriler geliştirmektedir. Araştırma, deniz kirliliğinin önlenmesi ve atık yönetiminin iyileştirilmesi için önemli bilgiler sağlamaktadır.

MARPOL Ek VI Hava Kirliliğini Önleme Hakkında Düzenlemeler, gemilerden kaynaklanan hava kirliliğini kontrol etmeyi amaçlamaktadır. Bu ek, gemilerin atmosfere saldıgı kirleticilerin sınırlandırılması ve kontrol edilmesine yönelik kurallar içermekte ve VOC emisyonlarını da bu kapsamda ele almaktadır. Tüm bunlarla beraber MARPOL Ek VI, VOC emisyonlarının yönetimi için bir dizi öneri ve düzenleme sunmaktadır. MARPOL, ham petrol tankerlerinde buhar geri kazanım sistemlerinin kullanımını teşvik etmekte, bu sistemlerin yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında oluşan VOC buharlarını kontrol altına alarak havaya salınımını azaltmasını öngörmektedir. Bu durum çerçevesinde Dev vd., (2021) çalışmasında bir ham petrol tankerinde yükleme işlemleri sırasında VOC emisyonlarının simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma, yükleme sürecinde ortaya çıkan uçucu organik bileşenlerin emisyon seviyelerini değerlendirmekte ve bu emisyonların yönetimi için

öneriler sunmaktadır. Araştırma, deniz taşımacılığında VOC emisyonlarının azaltılması için simülasyon tekniklerinin kullanımının önemini vurgulamaktadır.

VRS'ler, havalandırma sistemleri ile entegre çalışarak VOC'lerin birikmesini önlemektedir. MARPOL Ek VI, gemilerin belirli kirletici gazların (özellikle VOC) emisyonlarını sınırlayan kurallar belirlemekte, böylece gemilerin denizlerdeki faaliyetleri sırasında havaya saldıgı kirletici maddelerin kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır (Azkeskin, 2016). Ayrıca VOC emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması için gereklilikler getirerek gemilerin emisyon seviyelerini düzenli olarak izlemelerini ve bu verileri ilgili otoritelerle paylaşmalarını zorunlu kılmaktadır. Bu uygulama, emisyonların kontrol altına alınmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum bağlamında Satır (2007) çalışmasında Türk limanlarında gemilerden oluşan deniz kirliliğini önleme amacıyla MARPOL 73/78 gerekliliklerine uygun atık alım tesislerinin kurulması, işletimi ve yönetimi için bir model geliştirilmiştir. Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışma, atık alım tesislerinin etkin bir şekilde nasıl yönetilebileceğine dair kapsamlı bilgiler sunmakta ve Türkiye'de deniz kirliliğini önlemeye yönelik stratejiler geliştirmektedir. Araştırma, MARPOL konvansiyonunun uygulamalarının iyileştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. MARPOL Sözleşmesi'nin etkin bir şekilde uygulanması, üye devletlerin sorumluluğunda bulunmaktadır. Her ülke, kendi yasalarına entegre ederek MARPOL düzenlemelerine uymak zorundadır. Aynı zamanda gemi işletmecileri ve sahipleri de MARPOL'un getirdiği yükümlülöklere uymakla yükümlüdür. MARPOL'a taraf ölkeler, gemilerdeki emisyon kontrol sistemlerinin etkinliğini denetlemekte ve uygunluk kontrolü yapmaktadır (Aydin vd., 2024).

Bu denetimler, VOC emisyonlarının kontrol edilmesi ve çevreye zarar verilmesinin önlenmesi açısından önem arz etmektedir. Gemi personeline MARPOL düzenlemeleri ve VOC emisyonları hakkında eğitim verilmesi gerekmekte olup bu eğitimler, personelin bu konuda bilgi sahibi olmasını ve alınacak önlemleri etkin bir şekilde uygulamasını sağlamaktadır. Ayrıca Yılmaz (2019) çalışmasında, "Yeşil-Eko Liman Yaklaşımı"nın deniz ticareti ve lojistik sektörüne katkıları üzerinde durulmuştur. Türkiye ve AB'deki uygulamaların karşılaştırıldığı bu çalışma, çevre dostu liman uygulamalarının sektördeki etkilerini analiz etmekte ve bu uygulamaların sürdürülebilirlik açısından faydalarını ortaya koymaktadır. Araştırma, yeşil liman uygulamalarının benimsenmesinin önemini vurgulamaktadır. Tüm bunlarla beraber MARPOL, denizcilik endüstrisinde çevresel korumanın sağlanması için sürekli olarak güncellenmekte ve geliştirilmekte olan bir

sözleşme olarak gelecekte de etkisini sürdürmektedir. Gelecek hedefleri arasında VOC emisyonlarının azaltılması için daha sıkı düzenlemelerin getirilmesi, yeni teknolojilerin teşvik edilmesi ve alternatif yakıtların kullanımının desteklenmesi bulunmaktadır.

2.9.3. IMO'nun Voc emisyonlarını azaltmaya yönelik kararları

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), denizcilik sektöründe çevre kirliliğinin önlenmesi ve VOC emisyonlarının azaltılması amacıyla bir dizi karar ve öneri geliştirmiştir. Bu kararlar, gemi işletmecileri ve devletlerin, denizlerdeki hava kalitesini iyileştirmek ve deniz taşımacılığının çevresel etkilerini azaltmak için alması gereken önlemleri kapsamaktadır. IMO, VOC emisyonlarını azaltma hedeflerini belirleyerek bu hedeflere ulaşmak için gerekli stratejileri oluşturmaktadır (Başaran, 2009). Genel olarak IMO, denizcilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan VOC emisyonlarının sınırlandırılması için hedefler belirlemekte olup bu hedefler, özellikle yükleme ve boşaltma süreçlerinde VOC salınımının minimize edilmesini amaçlamaktadır. IMO, deniz taşımacılığı kaynaklı hava kirliliğinin azaltılması için stratejiler geliştirmekte ve bu stratejilerin uygulanmasını teşvik etmektedir. Bu hedefler, global ölçekte hava kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu çerçevede VOC emisyonlarını kontrol etmek için MARPOL Sözleşmesi'nin Ek VI'sinin güncellenmesi, IMO'nun önemli bir kararı olarak öne çıkmaktadır (Baars, 2002). Bu ek, gemilerdeki emisyonları düzenleyen ve kontrol eden güncel kuralları içermekte olup yükleme ve boşaltma sırasında VOC emisyonlarının azaltılmasına yönelik ek düzenlemeler de bu kapsamda yer almaktadır. Bununla beraber Van vd., (2019) çalışmasında, son IMO (Uluslararası Denizcilik Örgütü) düzenlemelerinin deniz yakıtı rafinaj süreçleri ve gemi emisyonları üzerindeki küresel etkileri incelenmiştir.

Bu makalede yeni düzenlemelerin deniz taşımacılığındaki çevresel etkileri ve bu düzenlemelere uyum sağlama süreçleri analiz edilmektedir. Araştırma, deniz yakıtı standartlarının sıkılaştırılmasının, gemi emisyonlarını azaltmadaki rolünü vurgulamaktadır. IMO, gemilerin VOC emisyonlarını kontrol etmek için yönetim planları geliştirmelerini teşvik etmekte, bu planlar gemilerin belirli süreçlerdeki emisyonlarını izlemelerine ve azaltmalarına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda IMO, gemilerde buhar geri kazanım sistemlerinin (VRS) kullanımını teşvik etmekte ve bu sistemlerin, yükleme ve boşaltma sırasında oluşan VOC buharlarını kontrol altına alarak atmosfere salınımını azaltmasını desteklemektedir. VRS, VOC'lerin çevresel etkilerini minimize etmek için etkili bir araç olarak görülmektedir. Ayrıca IMO, denizcilik sektöründe çevre dostu yakıt alternatiflerinin

geliştirilmesi ve kullanılmasını teşvik ederek VOC emisyonlarını azaltmaya katkıda bulunmakta ve gemi işletmelerinin çevresel etkilerini minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Gemi personeline yönelik eğitim programları düzenlenmesi, VOC emisyonları ve bunların tehlikeleri konusunda farkındalığı artırmayı hedeflemekte olup eğitimler, personelin bu konuda bilgi sahibi olmasını ve etkili müdahale yöntemlerini öğrenmesini sağlamaktadır. IMO, üye ülkeler arasında bilgi paylaşımını ve deneyim alışverişini teşvik ederek VOC emisyonlarının kontrolü konusunda uluslararası işbirliğini güçlendirmektedir (Bahar ve Ay, 2021). Gemi işletmecilerinin VOC emisyonlarını düzenli olarak izlemeleri ve bu verileri IMO ve ilgili otoritelere raporlamaları gerekmektedir, bu sistem emisyonların kontrol altına alınmasını ve etkili önlemlerin alınmasını sağlamaktadır. Bu çerçevede IMO, üye devletlerin VOC emisyonları ile ilgili kurallara uyumunu denetlemekte ve bu denetimler, gemilerin emisyon kontrol sistemlerinin etkinliğini artırmaktadır (Bayazit ve Kaptan, 2023).

2.10. VOC Emisyonlarının Kontrolü İçin Uygulanan Standartlar

Uçucu organik bileşikler (VOC) emisyonlarının kontrolü, denizcilik sektöründe çevresel koruma ve insan sağlığının güvence altına alınması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, çeşitli uluslararası ve yerel standartlar geliştirilmiş ve uygulanmış bulunmaktadır. Tüm bunlarla beraber Sonawane vd., (2023) çalışmasında rafinerilerdeki uçucu organik bileşenlerin (VOC) emisyonlarının değerlendirilmesi ve azaltma stratejileri üzerine odaklanılmıştır. Bu makalede VOC emisyonlarının kaynakları ve bu emisyonların kontrolü için geliştirilen stratejiler detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Araştırma, rafineri süreçlerinin çevresel etkilerinin azaltılması için öneriler sunmaktadır.

Bu bağlamda MARPOL (Denizden Gelen Kirliliği Önleme Uluslararası Sözleşmesi), denizcilik faaliyetlerinden kaynaklanan çevre kirliliğini önlemek amacıyla oluşturulmuş önemli bir düzenleme olarak öne çıkmaktadır. MARPOL Ek VI, gemilerin belirli kirletici gazların (özellikle VOC) emisyonlarını sınırlayan düzenlemeler içermekte ve bu sınırlar, gemilerin denizlerdeki faaliyetleri sırasında havaya saldıgı kirletici maddelerin kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır (Bilgili, 2021).MARPOL, gemilerde buhar geri kazanım sistemlerinin (VRS) kullanılmasını teşvik etmekte olup bu sistemler, yükleme ve boşaltma sırasında oluşan VOC buharlarını kontrol altına alarak atmosfere salınımını azaltmaktadır. Genel olarak ISO 14001, çevre yönetim sistemlerinin geliştirilmesine yönelik uluslararası bir standart olarak organizasyonların çevresel etkilerini kontrol etmelerine ve VOC

emisyonlarını azaltmalarına yardımcı olmaktadır. Bu standart, organizasyonların çevre koruma politikaları geliştirmesini ve bu politikalar doğrultusunda hedefler belirlemesini teşvik etmekte, VOC emisyonlarının kontrolünü bu politikaların bir parçası olarak ele almaktadır (Bahar ve Ay, 2021 ; Aydın vd., 2024). Tüm bunlarla beraber Mihajlović vd., (2016) çalışmasında, petro kimya nehir barge taşımacılığındaki uçucu organik bileşikler (VOC) politikası inovasyonu incelenmiştir. Bu makalede VOC emisyonlarının azaltılması amacıyla geliştirilen politikaların etkinliği ve uygulama süreçleri ele alınmaktadır. Çalışma, çevresel etkileri azaltma ve sürdürülebilir taşımacılık için yeni stratejilerin nasıl oluşturulabileceğine dair öneriler sunmaktadır.

Standart, organizasyonların çevresel performanslarını izlemelerini ve sürekli iyileştirmeyi hedeflemelerini gerektirmekte, VOC emisyonlarının izlenmesi bu süreçte önemli bir rol oynamaktadır. Tüm bunlarla beraber OHSAS 18001 (Occupational Health and Safety Assessment Series) ve ISO 45001, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerini kapsayan standartlar olarak organizasyonların iş yerindeki riskleri değerlendirmelerini ve VOC emisyonları gibi tehlikeleri yönetmelerini gerektirmekte, gemi personelinin sağlığını korumak için gerekli önlemlerin alınmasını sağlamaktadır (Bayazit ve Kaptan, 2023 ; Akyuz ve Celik, 2015). Standartlar, çalışanların VOC emisyonları ve bu emisyonların sağlık üzerindeki etkileri konusunda eğitilmesini teşvik etmekte olup bu eğitimler, personelin güvenli bir çalışma ortamında çalışmasını sağlamaktadır. Bu çerçevede MARPOL ve ISO standartlarının yanı sıra birçok ülke, kendi yasaları ve düzenlemeleri aracılığıyla VOC emisyonlarını kontrol etmekte olup ülkeler, gemi faaliyetlerinin çevresel etkilerini değerlendirmek için yasal düzenlemeler geliştirmiş bulunmaktadır.

VOC emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması, bu değerlendirmelerin bir parçası olarak öne çıkmaktadır (Bilgili, 2021; Baars, 2002). Bazı ülkeler, denizcilik endüstrisinde VOC emisyonlarını kontrol etmek için daha sıkı yerel yönetmelikler uygulamakta ve bu düzenlemeler, çevre kirliliğinin önlenmesine yönelik yerel ihtiyaçları karşılamaktadır. Genel olarak gemi sahipleri ve işletmecileri, VOC emisyonlarını yönetmek için gemi emisyon yönetim planları geliştirmekle yükümlü bulunmakta olup bu planlar, VOC emisyonlarının kontrolüne yönelik stratejiler geliştirilmesini sağlamaktadır (Bicer ve Dincer, 2018). Stratejiler, yükleme ve boşaltma işlemlerinde alınacak önlemleri ve kullanılacak ekipmanları kapsamakta ve planlar, VOC emisyonlarının düzenli olarak izlenmesi ve bu verilerin ilgili

otoritelere raporlanmasını gerektirmektedir. Bu uygulama, emisyonların kontrol altına alınmasına katkı sağlamaktadır (Boviatsis vd., 2022).

2.10.1. VOC emisyonu sınır değerleri

Uçucu organik bileşikler emisyonlarının kontrolü, denizcilik sektöründe çevresel koruma ve insan sağlığının güvence altına alınması açısından hayati önem taşımaktadır. VOC emisyonlarına yönelik sınır değerleri, bu zararlı gazların atmosfere salınımını azaltmak amacıyla belirlenmiş bulunmaktadır. Bu bağlamda VOC emisyon sınır değerleri, uluslararası düzenlemeler, ulusal yasalar ve bilimsel araştırmalar doğrultusunda belirlenmektedir (Beyaz ve Demiral, 2021). MARPOL Ek VI, VOC emisyonlarının kontrolü için uluslararası düzeyde kabul edilen sınır değerlerini içermekte olup gemilerin yükleme ve boşaltma süreçleri sırasında salınım yapabileceği VOC miktarını sınırlandırarak çevre kirliliğini azaltmayı hedeflemektedir. Ülkeler, kendi çevresel koşullarına ve ihtiyaçlarına göre VOC emisyonu için farklı sınır değerleri belirleyebilmekte, bu sınırlar ise yerel hava kalitesi standartlarına uyum sağlamak amacıyla oluşturulmuş bulunmaktadır. Tüm bunlarla beraber MARPOL ve diğer düzenlemeler çerçevesinde belirlenen VOC emisyon sınır değerleri, genellikle yükleme ve boşaltma sırasında ölçülen VOC konsantrasyonları üzerinden değerlendirilmektedir (Büyük ve Bayer, 2022). VOC'lerin havadaki konsantrasyonu, genellikle %1 ile %7 arasında değiştiğinde patlayıcı bir karışım oluşturmakta, bu nedenle yükleme ve boşaltma sırasında bu karışımın bu oranlar içinde kalması önem arz etmektedir. VOC emisyonlarının düzenli olarak izlenmesi ve belirli bir seviyede tutulması gerekmekte olup yükleme sırasında VOC konsantrasyonunun belirlenen sınır değerlerin altında olması beklenmektedir.

VOC emisyonlarının sınırlandırılması, deniz ekosistemlerinin korunmasına yardımcı olmaktadır.

VOC'lerin havaya salınımının azaltılması, hava kalitesinin iyileşmesine ve deniz yaşamının zarar görmemesine katkı sağlamaktadır. İnsan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması, VOC emisyonlarının kontrolü ile mümkün olmaktadır. Belirlenen sınır değerlerinin uygulanması, mürettebatın sağlığını korumakta ve solunum yolu hastalıkları gibi sağlık sorunlarını azaltmaktadır (Boviatsis vd., 2022; Bicer ve Dincer, 2018). VOC emisyon sınır değerlerinin belirlenmesi, gemi sahipleri ve işletmecileri için yasal gerekliliklerin karşılanması açısından önem taşımaktadır. Bu sınırlar, ulusal ve uluslararası

düzenlemelere uyum sağlamak için gereklilik arz etmektedir. Bu kapsamda VOC emisyonlarının sınır değerlerine uygunluğunun izlenmesi ve raporlanması, düzenleyici otoritelerin denetim mekanizması için kritik bir adım olarak değerlendirilmektedir. Gemi işletmecileri, yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında VOC emisyonlarının sınır değerlere uygunluğunu sağlamak için düzenli denetimler gerçekleştirmektedir. Bu denetimler, emisyonların kontrol altında tutulmasını sağlamakta olup VOC emisyonlarının izlenmesi ve bu verilerin ilgili otoritelere raporlanması, yasal yükümlülüklerin yerine getirilmesi açısından gereklilik arz etmektedir. Bu süreç, emisyon kontrol sistemlerinin etkinliğini artırmaktadır (Büyük ve Bayer, 2022 ; Chang vd., 2014).

2.10.2. Kargo tankı kaplama malzemeleri ve VOC azaltma

Ham petrol tankerlerinde kullanılan kargo tankı kaplama malzemeleri, VOC emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Doğru kaplama malzemelerinin seçimi ve uygulanması, hem emisyonları kontrol etme hem de geminin güvenliğini artırma açısından kritik önem taşımaktadır. Kargo tanklarının iç yüzeylerinde kullanılan kaplama malzemeleri, VOC emisyonlarını etkileyen çeşitli faktörleri belirlemektedir. Kaplama malzemeleri, tank içindeki ham petrolün buharlaşmasını azaltarak VOC emisyonlarının kontrolüne yardımcı olmaktadır. Yüksek kaliteli kaplama malzemeleri, buharların dışarıya çıkmasını engelleyerek tank başlıklarında birikimini önlemektedir (Choi vd., 2021 ; Beyaz ve Demiral, 2021). Kargo tankı kaplama malzemeleri, ham petrolün kimyasal yapısına dayanıklı olmalı ve kimyasal etkileşimler sonucunda bozulmamalıdır. Uygun kaplama malzemeleri, tankların ömrünü uzatırken aynı zamanda VOC emisyonlarının azalmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum bağlamında Yazır ve Yay (2022) çalışmasında, kimyasal tanker gemilerinde emniyet ekipmanlarını kullanan personelin yeterliği değerlendirilmiştir. Bu makalede emniyet ekipmanlarının etkin kullanımı için personelin eğitim düzeyi ve yeterlilikleri incelenmekte ve bu konuda öneriler sunulmaktadır. Araştırma, deniz güvenliğini artırmak için eğitim ve yeterlilik standartlarının önemini vurgulamaktadır.

Genel olarak epoksi tabanlı kaplamalar, mükemmel kimyasal direnç ve dayanıklılık sunmaktadır. Bu tür kaplamalar, VOC'lerin tank iç yüzeyinden buharlaşmasını azaltarak emisyonları kontrol altında tutmaktadır. Poliüretan kaplamalar, esnekliği ve dayanıklılığı sayesinde kargo tanklarında tercih edilmektedir (Choi vd., 2021 ; Beyaz ve Demiral, 2021). VOC emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olan bu kaplamalar, tankın iç yüzeyindeki pürüzlülüğü en aza indirerek buharlaşmayı kontrol etmektedir. Seramik kaplamalar, yüksek

sıcaklık ve kimyasal direnç göstermektedir. Bu kapsamda Demirel (2012) çalışmasında yüzey kirliliğinin gemi direnci üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma, yüzey kirliliğinin gemilerin hidrodinamik performansına olan olumsuz etkilerini ve bu etkilerin azaltılması için alınabilecek önlemleri araştırmaktadır. Araştırma, gemi operasyonlarının verimliliğini artırmak amacıyla yüzey temizliği ve bakımının önemini vurgulamaktadır.

Ham petrol tankerlerinde kullanılmaları, VOC emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu kaplamalar, tank iç yüzeyinin dayanıklılığını artırarak buharlaşmayı azaltmaktadır. Bununla beraber kaplama malzemeleri, tank iç yüzeyinin pürüzlülüğünü azaltarak buharlaşmayı kontrol etmektedir. Düzgün yüzeyler, ham petrol buharlarının havaya karışmasını engelleyerek emisyonları düşürmektedir. Kaplama malzemeleri, tank içindeki sıcaklığı kontrol altında tutarak buharlaşmayı azaltabilmektedir. Düşük sıcaklık, buharlaşma hızını etkileyerek VOC emisyonlarının azalmasına katkı sağlamaktadır. Uygun kaplama malzemeleri, ham petrol ile kimyasal etkileşimi önleyerek tank içindeki buharlaşmayı azaltmaktadır (Choi vd., 2021). Bu, VOC'lerin salınımını kontrol etmek için önem taşımaktadır. Tüm bunlarla beraber kargo tankı kaplama malzemelerinin etkinliği, doğru uygulama ve bakım süreçlerine bağlı bulunmaktadır. Kaplama malzemelerinin uygulanması, uzman ekipler tarafından yapılmalıdır. Uygulama sırasında dikkat edilmesi gereken faktörler arasında yüzey hazırlığı, sıcaklık ve nem kontrolü yer almaktadır. Kargo tankı kaplamalarının düzenli olarak kontrol edilmesi ve bakımlarının yapılması gerekmektedir (Can ve Yay, 2014). Aşınma veya hasar durumunda, kaplamaların onarılması veya yenilenmesi VOC emisyonlarının kontrolü açısından kritik bir adım teşkil etmektedir. Bu çerçevede kargo tankı kaplama malzemeleri, VOC emisyonlarının azaltılması için önemli bir rol oynamaktadır. Doğru malzeme seçimi ve uygun uygulama teknikleri, denizcilik sektöründe çevre koruma ve sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kaplama malzemeleri, hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlayarak gemi işletmecilerine ve çevreye katkıda bulunmaktadır (Can ve Yay, 2014 ; Çakır, 2010).

2.11. Gemi Güvenliği Açısından VOC Azaltma Yöntemleri

Uçucu organik bileşikler (VOC), ham petrol tankerlerinde ve diğer denizcilik uygulamalarında önemli güvenlik tehditleri oluşturmaktadır. VOC emisyonlarının azaltılması, hem çevresel koruma hem de gemi güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Buhar geri kazanım sistemleri, VOC emisyonlarını kontrol etmek için en etkili yöntemlerden

biri olmaktadır. VRS, yükleme ve boşaltma sırasında oluşan VOC buharlarını toplayarak havaya salmak yerine geri kazanmaktadır. Tüm bunlarla beraber Can ve Yay (2014) çalışmasında biyogenik uçucu organik bileşiklerin emisyonlarının mevsimlere göre değişiminin uydu verileri desteğiyle belirlenmesi ele alınmıştır. Bu çalışma, biyogenik emisyonların mevsimsel değişimini inceleyerek, çevresel etkilerini analiz etmektedir. Araştırma, uydu verilerinin kullanımı ile bu emisyonların zaman içindeki değişimlerini daha iyi anlamayı amaçlamaktadır. Bu sistem, VOC buharlarının tank içinde yeniden kullanılmasına olanak tanımaktadır. Tüm bunlarla beraber VRS'nin kullanılması, atmosfere salınan VOC miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu durum, patlayıcı atmosfer oluşumunu engelleyerek geminin güvenliğini artırmaktadır. Etkin havalandırma sistemleri, VOC emisyonlarını azaltmak ve gemi güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahip olmaktadır (Dev vd., 2021 ; Dönmez, 1997). Havalandırma sistemleri, tanklardaki VOC buharlarının etkin bir şekilde dışarı atılmasını sağlamalıdır. Bu, havadaki yanıcı buharların yoğunluğunu azaltarak patlayıcı karışım riskini düşürmektedir. Gelişmiş otomatik havalandırma sistemleri, tank içindeki VOC seviyelerini sürekli izleyerek gerektiğinde havalandırmayı otomatik olarak başlatmaktadır. Bu tür sistemler, insan müdahalesine olan ihtiyacı azaltarak güvenliğini artırmaktadır. Tüm bunlarla beraber Dönmez (1997) çalışmasında petrol ve kimyasal madde tanker atık alım tesislerinin kapasite ve yer seçimi model araştırması yapılmıştır. Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışma, tankerlerin atıklarının yönetimi için uygun tesislerin tasarımını ve yerleşimini değerlendirmekte, bu süreçte dikkate alınması gereken faktörleri analiz etmektedir. Araştırma, atık yönetiminde etkin çözümler geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Gemi personelinin VOC emisyonları ve bunların riskleri hakkında bilgi sahibi olması, emisyonların kontrolü açısından önem taşımaktadır. Personelin VOC emisyonlarının tehlikeleri, yangın güvenliği ve acil durum müdahaleleri konularında eğitilmesi gerekmektedir. Bu eğitimler, personelin olası risklere karşı hazırlıklı olmasını sağlamaktadır (Çakır, 2010).

Acil durum tatbikatları, mürettebatın VOC emisyonlarının neden olduğu yangın veya patlama durumunda hızlı ve etkili bir şekilde nasıl müdahale edeceğini öğrenmesini sağlamaktadır. Tatbikatlar, mürettebatın koordinasyonunu artırarak güvenliğini güçlendirmektedir. Tüm bunlarla beraber gemi üzerinde etkin yangın algılama sistemlerinin kurulması, VOC emisyonlarının neden olduğu yangınların erken tespit edilmesine olanak

tanımaktadır. Bu sistemler, mürettebatı hızlı bir şekilde uyararak etkili bir müdahale yapılmasını sağlamaktadır (Dev vd., 2021). Yangın söndürme sistemlerinin (yangın söndürücüler, su sis sistemleri vb.) etkinliği düzenli olarak kontrol edilmelidir. Yangın güvenliği ekipmanlarının kullanılabilir durumda olması, acil durumlarda müdahale şansını artırmaktadır. Kargo tanklarında kullanılacak kaplama malzemeleri, VOC'lere karşı kimyasal dayanıklılığı yüksek olan ve buharlaşmayı en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır (Dağdeviren, 2024). Uygun kaplama malzemeleri, tankların iç yüzeyindeki VOC buharlarının yoğunluğunu azaltmaktadır. Kaplama malzemelerinin düzenli olarak kontrol edilmesi ve bakımlarının yapılması, emisyonların azaltılmasında etkili olmaktadır. Aşınmış veya hasar görmüş kaplamaların onarılması, VOC emisyonlarının kontrol altında tutulmasına yardımcı olmaktadır. Bu kapsamda denizcilik sektöründe VOC emisyonlarının azaltılması için yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması önem taşımaktadır. Gelişmiş izleme sistemleri, VOC emisyon seviyelerini sürekli olarak izleyerek mürettebatı anında uyarabilmektedir. Bu tür sistemler, sorunların zamanında tespit edilmesine ve müdahale edilmesine olanak tanımaktadır (Demirel, 2012).

2.11.1. Kapalı yükleme ve boşaltma sistemleri

Kapalı yükleme ve boşaltma sistemleri, denizcilik endüstrisinde VOC emisyonlarının azaltılmasına yönelik en etkili yöntemlerden biri olmaktadır. Bu sistemler, yükleme ve boşaltma işlemlerinin daha güvenli ve çevre dostu bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Kapalı sistemlerin kullanımı, hem VOC emisyonlarının kontrolünü sağlamada hem de yangın ve patlama risklerini azaltmada kritik bir rol oynamaktadır (Demirel, 2012 ; Dağdeviren, 2024). Bu çerçevede kapalı yükleme ve boşaltma sistemleri, ham petrol ve diğer sıvı yüklerin gemiye veya gemiden transfer edilmesi sırasında buharlaşmayı minimize etmek için tasarlanmış kapalı bir sistem olmaktadır. Kapalı boru hatları, yükleme ve boşaltma işlemleri için özel olarak tasarlanmış kapalı boru hatları kullanılmaktadır. Bu boru hatları, yükün güvenli bir şekilde taşınmasını sağlarken, buharların atmosfere salınımını önlemektedir.

Kapalı sistemler, yükleme ve boşaltma sırasında havalandırma işlemlerini de kontrol etmektedir. Bu sistemler, tank başlıklarındaki buharların emilmesini ve atmosfere salınımını engelleyerek VOC emisyonlarını azaltmaktadır (Dönmez, 1997).

Kapalı sistemler, yükleme ve boşaltma sırasında oluşan VOC buharlarının %95 oranında kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bu durum, çevre kirliliğinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Kapalı sistemler, yanıcı buharların dışarı çıkmasını engelleyerek patlayıcı atmosferin oluşma riskini azaltmaktadır. Bu, gemi güvenliğini artıran önemli bir faktör olmaktadır. Kapalı yükleme ve boşaltma sistemleri, deniz ekosistemlerini korumak için etkili bir yöntem olmaktadır. Bu sistemlerin kullanımı, su ve hava kalitesinin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Kapalı sistemler, yükleme ve boşaltma işlemlerini daha hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır (Erik, 2015). Bu, zaman tasarrufu sağlarken işletme maliyetlerini de azaltmaktadır. Tüm bunlarla beraber kapalı yükleme ve boşaltma sistemlerinin etkinliği, doğru uygulama ve teknik özelliklerin dikkate alınmasına bağlı olmaktadır. Kapalı sistemlerin tasarımı, yükleme ve boşaltma süreçlerine uygun olmalıdır. Bu, sistemin güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır (Erik, 2015 ; Gürsoy, 2004). Kapalı sistemlerin düzenli olarak bakım ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Aşınma veya hasar durumunda sistemin onarılması VOC emisyonlarının kontrol altında tutulmasına yardımcı olmaktadır. Kapalı sistemlerde kullanılacak yeni teknolojilerin geliştirilmesi, emisyonların azaltılması konusunda daha etkili çözümler sunabilmektedir. Bu teknolojiler, sistemlerin verimliliğini artırarak VOC emisyonlarının kontrolünü daha da iyileştirebilmektedir (Fetisov vd., 2022). Uluslararası düzenleyici otoritelerin kapalı sistemlerin kullanımını teşvik eden daha fazla düzenleme ve standart geliştirmesi beklenmektedir. Bu, denizcilik endüstrisinde çevresel koruma için önemli bir adım olmaktadır.

2.11.2. Yenilikçi havalandırma sistemleri ve teknolojileri

Denizcilik endüstrisinde VOC emisyonlarının kontrolü ve gemi güvenliğinin artırılması amacıyla geliştirilen yenilikçi havalandırma sistemleri, önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında oluşan VOC buharlarının etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır. Yenilikçi havalandırma teknolojileri, hem çevresel koruma hem de geminin güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahip olmaktadır. Bu bağlamda Erik (2015) çalışmasında petrol tanker kazalarının neden olduğu çevre kirliliği ele alınmıştır. Bu makalede petrol tankerlerinin kazalarının çevresel etkileri, kirliliğin boyutları ve bu kirliliğin ekosistemler üzerindeki uzun vadeli sonuçları incelenmektedir.

Çalışma, kazaların önlenmesi ve çevresel koruma önlemleri hakkında öneriler sunarak deniz taşımacılığı sektöründe güvenliğin artırılmasının önemini vurgulamaktadır.

Yenilikçi havalandırma sistemleri, VOC emisyonlarının kontrolünü artırmak ve güvenli bir çalışma ortamı sağlamak amacıyla tasarlanmış gelişmiş havalandırma çözümleri olmaktadır. Aktif havalandırma sistemleri, tanklardaki VOC buharlarının sürekli olarak izlenmesi ve kontrol edilmesi için tasarlanmış bulunmaktadır. Ayrıca Fetisov vd., (2022) çalışmasında VOC ve CO2 emisyonlarının düzenlenmesi ve düşük karbonlu enerji sistemleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışma, petrol ve gaz endüstrisindeki çevresel sorunlara odaklanarak, iklim değişikliğine dayanıklı enerji sistemlerinin geliştirilmesi için gerekli önlemleri ve stratejileri değerlendirmektedir. Araştırma, emisyon yönetiminin sürdürülebilir enerji çözümleri için kritik bir unsur olduğunu vurgulamaktadır.

Yenilikçi havalandırma sistemleri, VOC seviyelerini sürekli olarak izleyen sensörlerle donatılmış bulunmaktadır. Bu sensörler, tanktaki buhar seviyelerini anlık olarak izleyerek, gerektiğinde havalandırma işlemlerini otomatik olarak başlatmaktadır. Bu sistemler, VOC buharlarının havaya salınımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Otomatik kontrol mekanizmaları, buharların birikmesini önleyerek emisyonları minimize etmektedir. Yenilikçi havalandırma sistemleri, tank başlıklarındaki VOC yoğunluğunu kontrol altına alarak patlayıcı atmosfer oluşumunu engellemektedir. Bu durum, geminin güvenliğini artırmakta ve acil durumları önlemektedir (Fetisov vd., 2022). Gelişmiş havalandırma sistemleri, enerji verimliliği sağlamak amacıyla optimize edilmiş bulunmaktadır. Enerji tasarrufu sağlayarak işletme maliyetlerini düşürmektedir. Tüm bunlarla beraber yenilikçi havalandırma sistemlerinin etkinliği, doğru uygulama ve teknik özelliklerin dikkate alınmasına bağlı olmaktadır. Bu bağlamda Dağdeviren (2024) çalışmasında petrol faaliyetlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı üzerine bir yüksek lisans tezi hazırlanmıştır. Çalışma, özellikle rafinerilerde yenilenebilir enerji entegrasyonunun faydalarını incelemekte ve bu entegrasyonun çevresel ve ekonomik etkilerini değerlendirmektedir. Araştırma, yenilenebilir enerji kaynaklarının petrol sektöründeki uygulamaları için örnek çalışmalar sunarak sürdürülebilir enerji çözümleri geliştirmeye yönelik önerilerde bulunmaktadır.

Yenilikçi havalandırma sistemleri, modüler bir yapıya sahip olabilmektedir. Bu durum, sistemin geminin ihtiyaçlarına göre kolayca uyarlanabilmesini sağlamak ve farklı gemi türleri için özelleştirilebilir çözümler sunmaktadır. Havalandırma sistemleri, otomatik kontrol mekanizmaları ile donatılmış bulunmaktadır.

Bu sistemler, VOC seviyelerini anlık olarak izlemekte ve gerekli durumlarda havalandırmayı başlatmakta, böylece insan müdahalesine olan ihtiyacı azaltmaktadır (Gürsoy, 2004). Bu çerçevede yenilikçi havalandırma sistemleri, denizcilik endüstrisinde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması için önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojiler, sistemlerin verimliliğini artırarak VOC emisyonlarının kontrolünü daha da iyileştirebilmektedir (Güzel vd., 2018). Uluslararası düzenleyici otoriteler, yenilikçi havalandırma sistemlerinin kullanımını teşvik eden daha fazla düzenleme ve standart geliştirmeyi amaçlayabilmektedir. Bu durum, denizcilik endüstrisinde çevresel koruma için önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir (İşlek, 2010).



3. YÖNTEM VE METOD

3.1. Araştırmanın Metodu

Bu çalışma, betimsel nitel araştırma (descriptive qualitative research) deseni esas alınarak tasarlanmıştır. Betimsel araştırma deseni (descriptive research design), bir durumun mevcut koşulları altında detaylı bir şekilde incelenmesini ve bu durumla ilişkili unsurların derinlemesine değerlendirilmesini hedefleyen bir yöntemdir. Araştırma kapsamında ham petrol tankerlerinde uçucu organik bileşiklerin (VOC) gemi emniyeti üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda konuya ilişkin ulusal ve uluslararası literatürde mevcut bilgilerin kapsamlı bir şekilde incelenmesiyle teorik altyapı oluşturulmuştur. Aynı zamanda denizcilik sektöründe aktif olarak çalışan profesyonellerden birincil veriler toplanarak teorik bilgilerin pratik uygulamalarla desteklenmesi sağlanmıştır. Betimsel nitel araştırma deseni, özellikle denizcilik sektörü gibi uygulama ağırlıklı bir alanda karmaşık süreçlerin ve ilişkilerin incelenmesine olanak tanımaktadır. VOC emisyonlarının hem gemi operasyonları üzerindeki etkileri hem de emniyet açısından doğurabileceği riskler, bu yöntemle ele alınmıştır. Çalışmanın genel çerçevesi, literatür taraması sonucunda elde edilen bilgilerin sentezi ve sektör temsilcileriyle yapılan görüşmelerle oluşturulmuş, bu doğrultuda mevcut durumu açıklayıcı bir model geliştirilmiştir. Araştırma, alanyazında yer alan teorik bilgi ile sektörel deneyimin bir araya getirilmesiyle, VOC'nin gemi emniyetine olan etkilerinin daha somut ve kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamayı hedeflemiştir.

Bu süreçte VOC yönetimine ilişkin mevcut politika, prosedür ve uygulamalar ele alınarak hem bireysel hem de sektörel düzeyde farkındalık yaratılması amaçlanmıştır. Ayrıca araştırma bulgularının, sektördeki mevcut emniyet standartlarının geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

3.2. Evren ve Örneklem

Bu çalışmanın evrenini, VOC emisyonları ve gemi emniyeti konularında bilgi ve deneyime sahip olan denizcilik sektöründe yetkilileri oluşturmaktadır. Bu kapsamda ham petrol tankerlerinde çalışan gemi adamları, gemi işletme yetkilileri, denizcilik sektöründe faaliyet gösteren uzmanlar ve VOC yönetimiyle ilgili karar alma süreçlerinde görev alan yetkililer evrenin temel bileşenleridir. Ayrıca ulusal ve uluslararası düzeyde faaliyet gösteren

denizcilik kuruluşları, VOC yönetimiyle ilgili yasal düzenlemeler ve rehber dokümanlar da bu evrenin teorik boyutunu oluşturan kaynaklar arasında yer almaktadır. VOC emisyonlarının gemi emniyetine olan etkilerinin detaylı bir şekilde incelenmesi amacıyla, çalışmanın evreni geniş bir perspektifte ele alınmıştır.

Bu geniş kapsam, hem operasyonel düzeyde karşılaşılan sorunların hem de bu sorunlara yönelik uygulamaların bütüncül bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntem, VOC etkilerinin gemi emniyetine olan etkileri konusunda hem teorik hem de pratik bilgi sahibi olan bireylerden maksimum veri elde edilmesini sağlamaktadır. Araştırma sürecinde örneklem grubunun belirlenen konudaki bilgi birikimi ve deneyimleri dikkate alınarak VOC'nin operasyonel süreçlerdeki etkilerinin hem teorik hem de pratik boyutlarının aydınlatılması hedeflenmiştir.

3.3. Veri Toplama Süreci

Bu çalışmada veri toplama süreci, çalışmanın temel amacına uygun olarak iki ana yöntemle yapılandırılmıştır. Bunlar literatür taraması ve saha çalışmalarıdır. Verilerin toplanmasında hem ikincil hem de birincil veri kaynaklarına başvurulmuştur. Bu süreçte VOC emisyonlarının gemi emniyetine etkilerini anlamak ve detaylandırmak için çok yönlü bir yaklaşım benimsenmiştir. Literatür taraması, araştırmanın teorik temelini oluşturmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte VOC emisyonları, gemi emniyeti ve denizcilik sektörüne yönelik ulusal ve uluslararası yayınlar sistematik bir şekilde incelenmiştir. VOC yönetimi, gemi emniyeti ve operasyonel riskler üzerine yayımlanan akademik çalışmalar incelenmiştir. Özellikle uluslararası dergilerde yayımlanmış makaleler, küresel düzeyde uygulanan politikalar ve en iyi uygulamalar hakkında bilgi sağlamıştır.

Denizcilik sektöründe VOC emisyonları ve gemi güvenliği ile ilgili hazırlanmış teknik raporlar incelenmiştir. Bu raporlar, sahadaki uygulamalar ve karşılaşılan zorluklar hakkında detaylı bilgi sunmuştur. Denizcilik sektöründe VOC yönetimine ilişkin yasal çerçeveyi belirlemek amacıyla ulusal ve uluslararası düzenlemeler analiz edilmiştir. Özellikle Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) yayımladığı yönetmelikler ve protokoller taranmıştır. Literatür taramasından elde edilen bulgular, araştırmanın anket ve görüşme çalışmalarına temel oluşturmuş, veri toplama sürecinin kapsamını şekillendirmiştir. Ayrıca literatürdeki boşlukların belirlenmesi, araştırmanın özgün katkılarını geliştirmek için yol gösterici olmuştur.

Araştırmanın birincil verileri, ham petrol tankerlerinde çalışan gemi adamları, gemi işletmecileri ve denizcilik sektöründeki uzmanlarla gerçekleştirilen anketler ve görüşmeler yoluyla toplanmıştır. Anket çalışmaları, gemi adamları, işletmeciler ve uzmanlardan veri toplamak amacıyla hazırlanmıştır. Anketlerde yer alan sorular, VOC emisyonlarının operasyonel süreçlere etkisi, gemi emniyetine yönelik riskler ve mevcut yönetim uygulamalarına odaklanmıştır.

Anket soruları, alanyazın taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda geliştirilmiştir. Sorular, hem açık uçlu hem de kapalı uçlu ifadeler içermekte olup, katılımcıların bireysel görüşlerini ve deneyimlerini detaylı olarak aktarmalarına olanak tanımıştır. VOC yönetimi ve gemi emniyetine ilişkin daha detaylı bilgi elde etmek amacıyla, sektör profesyonelleriyle birebir görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmeler, yarı yapılandırılmış formatta gerçekleştirilmiş ve katılımcıların deneyimleri ile önerileri derinlemesine incelenmiştir.

3.4. Veri Analizi

Araştırma sürecinde toplanan veriler, hem nitel hem de nicel analiz yöntemleri kullanılarak sistematik bir şekilde değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde literatür taramasından elde edilen bilgiler ile birincil veri kaynaklarından sağlanan bulgular birleştirilmiş ve VOC'nin gemi emniyetine etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Anket çalışmasından elde edilen veriler, betimsel analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Veriler kategorilere ayrılarak, frekans ve yüzde dağılımları hesaplanmıştır. Anket sonuçları, VOC etkilerinin farklı operasyonel alanlardaki yansımalarını anlamak için Çizelgeler ve grafiklerle görselleştirilmiştir. Anketlerden elde edilen genel eğilimler, VOC emisyonlarının gemi emniyetine etkilerini belirlemek için yorumlanmıştır. Metinler, tematik bir yaklaşımla analiz edilerek ortak konular ve sorun alanları belirlenmiştir.

Özellikle VOC'nin operasyonel süreçlere etkisi, risk faktörleri, karşılaşılan zorluklar ve önerilen iyileştirme yöntemleri üzerinde durulmuştur. Betimsel analiz ve içerik analizi sonuçları bir araya getirilerek, VOC emisyonlarının gemi emniyetine etkileri bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Bu süreçte, teorik bilgi ve pratik deneyimler arasındaki bağlantılar kurulmuş, sektörel iyileştirme önerileri geliştirilmiştir.

4. BULGULAR

Çizelge 4.1. Demografik Özelliklerin Dağılımı

| | Minimum | Maximum | ort | ss | n | % |
|--|---------|---------|-------|------|----|------|
| Yaş / Age | 20,00 | 52,00 | 30,65 | 7,41 | | |
| | | | | | 28 | 54,9 |
| Yaş / Age | | | | | 23 | 45,1 |
| | | | | | | |
| Cinsiyet / Gender | | | | | 15 | 29,4 |
| | | | | | 36 | 70,6 |
| | | | | | 5 | 9,8 |
| | | | | | 2 | 3,9 |
| Eğitim / Education | | | | | 41 | 80,4 |
| | | | | | 3 | 5,9 |
| Toplam Denizcilik Tecrübesi: ___ yıl (Total Maritime Experience: ___ years) | 1,00 | 25,00 | 7,27 | 6,03 | | |
| Toplam Denizcilik Tecrübesi: ___ yıl (Total Maritime Experience: ___ years) | | | | | 27 | 52,9 |
| | | | | | 24 | 47,1 |
| Tanker Tecrübesi: ___ yıl (Tanker Experience: ___ years) | 1,00 | 24,00 | 5,59 | 5,40 | | |
| | | | | | 34 | 66,7 |
| Tanker Tecrübesi: ___ yıl (Tanker Experience: ___ years) | | | | | 17 | 33,3 |

Katılımcıların yaşları 20 ile 52 arasında değişmekte olup, ortalama yaş 30,65'tir (ss = 7,41). Katılımcıların %54,9'u 30 yaşın altında, %45,1'i ise 31 yaş ve üzerindedir. Bu sonuç, katılımcıların çoğunluğunun genç bireylerden oluştuğunu göstermektedir. Cinsiyet dağılımı incelendiğinde, katılımcıların %29,4'ü kadın, %70,6'sı erkektir. Bu dağılım, denizcilik sektöründe erkek katılımcıların ağırlıklı olduğunu ortaya koymaktadır. Eğitim düzeyleri

açısından, katılımcıların %9,8'i lise mezunu, %3,9'u ön lisans mezunu, %80,4'ü lisans mezunu ve %5,9'u yüksek lisans mezunudur. Çoğunluğun lisans mezunu olduğu görülmektedir, bu da katılımcıların akademik olarak iyi bir altyapıya sahip olduklarını göstermektedir. Katılımcıların toplam denizcilik tecrübesi 1 yıl ile 25 yıl arasında değişmekte olup, ortalama tecrübe 7,27 yıldır (ss = 6,03). Katılımcıların %52,9'u 5 yıl ve daha az deneyime sahipken, %47,1'i 6 yıl ve üzeri deneyime sahiptir. Bu sonuç, örneklem grubunun yarısından fazlasının nispeten kısa süreli bir deneyime sahip olduğunu göstermektedir. Tanker tecrübesi açısından, katılımcıların deneyim süreleri 1 yıl ile 24 yıl arasında değişmekte olup, ortalama tanker tecrübesi 5,59 yıl olarak bulunmuştur (ss = 5,40). Katılımcıların %66,7'sinin tanker tecrübesi 5 yıl ve altındayken, %33,3'ünün 6 yıl ve üzeri tanker tecrübesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, katılımcıların çoğunluğunun tanker operasyonlarında sınırlı bir deneyime sahip olduğunu göstermektedir.

Çizege 4.2. Performans Göstergeleri Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri

| | Minimum | Maximum | Ort. | ss |
|--|---------|---------|-------|-------|
| 1. Son 12 aydaki VOC ile ilgili olay sayısı: | 0,00 | 12,00 | 1,75 | 2,67 |
| 2. VOC eğitimi almış personel yüzdesi: | 0,00 | 100,00 | 33,63 | 38,76 |
| 3. Başarıyla tamamlanan VOC denetim sayısı: | 0,00 | 98,00 | 8,75 | 21,57 |
| 4. Zamanında yapılan kalibrasyon yüzdesi: | 0,00 | 100,00 | 44,10 | 37,92 |
| 5. Raporlanan ramak kala olay sayısı: | 0,00 | 60,00 | 6,18 | 12,32 |
| 6. Düzeltici faaliyet tamamlanma oranı: | 0,00 | 100,00 | 30,04 | 37,67 |
| 7. Limit üstü VOC ölçüm sayısı: | 0,00 | 100,00 | 13,98 | 28,70 |
| 8. Acil durum tatbikatı başarı oranı: | 0,00 | 100,00 | 38,84 | 41,37 |
| 9. Planlı bakım tamamlanma yüzdesi: | 0,00 | 100,00 | 47,29 | 42,54 |
| 10. VOC prosedür uygunsuzluk sayısı: | 0,00 | 99,00 | 8,14 | 20,11 |
| 11. Gaz dedektörlerinde tespit edilen arıza sayısı : | 0,00 | 68,00 | 4,45 | 12,73 |
| 12. KKD uygunsuzluğu tespit sayısı: | 0,00 | 100,00 | 11,08 | 27,48 |

Son 12 aydaki VOC ile ilgili olay sayısı değişkeni, minimum 0 ve maksimum 12 olarak belirlenmiş, ortalama 1,75 (ss = 2,67) olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç, VOC olaylarının genel olarak düşük sıklıkta raporlandığını göstermektedir. VOC eğitimi almış personel yüzdesi minimum %0 ve maksimum %100 arasında değişmektedir. Ortalama değer %33,63 (ss = 38,76) olup, VOC eğitimi almış personel oranının geniş bir varyasyona sahip olduğu ve bazı durumlarda hiç eğitim alınmadığı gözlemlenmiştir. Başarıyla tamamlanan VOC denetim sayısı, minimum 0 ve maksimum 98 arasında değişmekte olup, ortalama 8,75 (ss = 21,57) olarak hesaplanmıştır. Bu durum, tamamlanan denetim sayılarında önemli ölçüde farklılık bulunduğunu göstermektedir. Zamanında yapılan kalibrasyon yüzdesi, minimum %0 ve maksimum %100 arasında bir aralık göstermektedir. Ortalama değer %44,10 (ss = 37,92) olup, kalibrasyon uygulamalarında zamanında tamamlama oranının oldukça değişken olduğu anlaşılmaktadır. Raporlanan ramak kala olay sayısı, minimum 0 ve maksimum 60 arasında değişmekte ve ortalama 6,18 (ss = 12,32) olarak belirlenmiştir.

Bu sonuç, ramak kala olay raporlamalarının genellikle düşük düzeyde olduğunu göstermektedir. Düzeltici faaliyet tamamlanma oranı, minimum %0 ve maksimum %100 arasında değişmekte olup, ortalama %30,04 (ss = 37,67) olarak hesaplanmıştır. Bu oran, düzeltici faaliyetlerin genellikle düşük seviyelerde tamamlandığını göstermektedir. Limit üstü VOC ölçüm sayısı, minimum 0 ve maksimum 100 arasında bir aralık göstermektedir. Ortalama değer 13,98 (ss = 28,70) olup, limit üstü ölçüm olaylarının bazı durumlarda yoğunlaştığını göstermektedir.

Acil durum tatbikatı başarı oranı, minimum %0 ve maksimum %100 arasında değişmekte ve ortalama %38,84 (ss = 41,37) olarak bulunmuştur. Bu durum, tatbikat başarı oranlarının geniş bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. Planlı bakım tamamlanma yüzdesi, minimum %0 ve maksimum %100 arasında değişmekte olup, ortalama %47,29 (ss = 42,54) olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, bakım süreçlerinde tamamlanma oranlarının çeşitli koşullara göre farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. VOC prosedür uygunsuzluk sayısı, minimum 0 ve maksimum 99 arasında değişmekte ve ortalama 8,14 (ss = 20,11) olarak tespit edilmiştir. Bu durum, uygunsuzluk sayılarında önemli varyasyonlar olduğunu göstermektedir. Gaz dedektörlerinde tespit edilen arıza sayısı, minimum 0 ve maksimum 68 arasında değişmekte olup, ortalama 4,45 (ss = 12,73) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, arıza tespitlerinin genel olarak düşük sıklıkta olduğunu göstermektedir. KKD (Kişisel Koruyucu Donanım) uygunsuzluğu tespit sayısı, minimum 0 ve maksimum 100 arasında değişmektedir. Ortalama

değer 11,08 (ss = 27,48) olup, bu tespitlerin bazı durumlarda önemli ölçüde yoğunlaştığını göstermektedir.

Çizelge 4.3. Korelasyon Analizi Sonuçları

| | Sistem Entegrasyonu ve Uyum | Risk Değerlendirmesi ve Kontrol | Personel Yetkinliği ve Eğitim | İzleme ve Raporlama | Ekipman ve Bakım | Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------|---------------------------------|
| Sistem Entegrasyonu ve Uyum | r 1 p | | | | | |
| Risk Değerlendirmesi ve Kontrol | r ,929** p 0,000 | 1 | | | | |
| Personel Yetkinliği ve Eğitim | r ,846** p 0,000 | ,920** 0,000 | 1 | | | |
| İzleme ve Raporlama | r ,880** p 0,000 | ,892** 0,000 | ,913** 0,000 | 1 | | |
| Ekipman ve Bakım | r ,908** p 0,000 | ,914** 0,000 | ,892** 0,000 | ,903** 0,000 | 1 | |
| Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği | r ,837** p 0,000 | ,861** 0,000 | ,912** 0,000 | ,937** 0,000 | ,915** 0,000 | 1 |

Sistem Entegrasyonu ve Uyum ile Risk Değerlendirmesi ve Kontrol arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır ($r = 0,929$, $p < 0,001$). Sistem Entegrasyonu ve Uyum ile Personel Yetkinliği ve Eğitim arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ($r = 0,846$, $p < 0,001$). Benzer şekilde, Sistem Entegrasyonu ve Uyum ile İzleme ve Raporlama arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki olduğu görülmüştür ($r = 0,880$, $p < 0,001$). Ayrıca, Sistem Entegrasyonu ve Uyum ile Ekipman ve Bakım arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki ($r = 0,908$, $p < 0,001$), Sistem Entegrasyonu ve Uyum ile Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği arasında ise pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki ($r = 0,837$, $p < 0,001$) bulunmaktadır. Risk Değerlendirmesi ve Kontrol ile Personel Yetkinliği ve Eğitim arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki olduğu saptanmıştır ($r = 0,920$, $p < 0,001$). Risk Değerlendirmesi ve Kontrol ile İzleme ve Raporlama arasında da pozitif yönde çok kuvvetli

bir ilişki bulunmaktadır ($r = 0,892$, $p < 0,001$). Ayrıca, Risk Değerlendirmesi ve Kontrol ile Ekipman ve Bakım arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki ($r = 0,914$, $p < 0,001$) ve Risk Değerlendirmesi ve Kontrol ile Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki ($r = 0,861$, $p < 0,001$) mevcuttur. Personel Yetkinliği ve Eğitim ile İzleme ve Raporlama arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır ($r = 0,913$, $p < 0,001$). Personel Yetkinliği ve Eğitim ile Ekipman ve Bakım arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki ($r = 0,892$, $p < 0,001$), Personel Yetkinliği ve Eğitim ile Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği arasında da pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki ($r = 0,912$, $p < 0,001$) bulunmaktadır. İzleme ve Raporlama ile Ekipman ve Bakım arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki tespit edilmiştir ($r = 0,903$, $p < 0,001$). Son olarak, İzleme ve Raporlama ile Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği arasında pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki olduğu görülmektedir ($r = 0,937$, $p < 0,001$), ayrıca Ekipman ve Bakım ile Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği arasında da pozitif yönde çok kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır ($r = 0,915$, $p < 0,001$).

Çizelge 4.4. Yaş Gruplarına Göre Farklı Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Bağımsız Örneklem t-Testi Sonuçları

| Yaş / Age | n | Ort | ss | t | p | |
|---------------------------------|-----------------|-----|-------|-------|-------|--------|
| Sistem Entegrasyonu ve Uyum | 30 yaş altı | 28 | 15,36 | 6,33 | 0,478 | 0,635 |
| | 31 yaş ve üzeri | 23 | 14,52 | 6,07 | | |
| Risk Değerlendirmesi ve Kontrol | 30 yaş altı | 28 | 14,75 | 6,25 | 0,327 | 0,745 |
| | 31 yaş ve üzeri | 23 | 14,17 | 6,27 | | |
| Personel Yetkinliği ve Eğitim | 30 yaş altı | 28 | 15,36 | 7,06 | 1,688 | 0,098 |
| | 31 yaş ve üzeri | 23 | 12,04 | 6,87 | | |
| İzleme ve Raporlama | 30 yaş altı | 28 | 15,11 | 6,90 | 1,395 | 0,169 |
| | 31 yaş ve üzeri | 23 | 12,57 | 5,91 | | |
| Ekipman ve Bakım | 30 yaş altı | 28 | 14,93 | 7,18 | 1,237 | 0,222 |
| | 31 yaş ve üzeri | 23 | 12,61 | 5,97 | | |
| Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği | 30 yaş altı | 28 | 29,50 | 13,54 | 2,483 | 0,016* |
| | 31 yaş ve üzeri | 23 | 21,13 | 10,52 | | |

Bu çalışmada, yaş grupları (30 yaş altı ve 31 yaş ve üzeri) arasında "Sistem Entegrasyonu ve Uyum", "Risk Değerlendirmesi ve Kontrol", "Personel Yetkinliği ve Eğitim", "İzleme ve Raporlama", "Ekipman ve Bakım" ve "Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği" değişkenleri açısından anlamlı farklılıkların olup olmadığını belirlemek amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır.

Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği değişkeninde, 30 yaş altı grubun ortalama puanı 29,50 (ss = 13,54) iken, 31 yaş ve üzeri grubun ortalama puanı 21,13 (ss = 10,52) olarak bulunmuştur. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır (t = 2,483, p = 0,016). Bu sonuç, genç yaş grubunun mürettebat sağlığı ve güvenliği konusundaki algısının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Genç katılımcıların bu alanda daha duyarlı veya ilgili olduğu söylenebilir. Diğer değişkenler açısından gruplar arasında anlamlı fark bulunmamıştır.

Çizelge 4.5. Cinsiyete Göre Farklı Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Bağımsız Örneklem t-Testi Sonuçları

| Cinsiyet / Gender | | n | Ort. | ss | t | p |
|---------------------------------|-------|----|-------|-------|-------|--------|
| Sistem Entegrasyonu ve Uyum | Kadın | 15 | 17,07 | 5,84 | 1,584 | 0,120 |
| | Erkek | 36 | 14,11 | 6,16 | | |
| Risk Değerlendirmesi ve Kontrol | Kadın | 15 | 16,73 | 6,60 | 1,699 | 0,096 |
| | Erkek | 36 | 13,56 | 5,87 | | |
| Personel Yetkinliği ve Eğitim | Kadın | 15 | 17,53 | 7,58 | 2,504 | 0,016* |
| | Erkek | 36 | 12,33 | 6,40 | | |
| İzleme ve Raporlama | Kadın | 15 | 17,20 | 7,04 | 2,390 | 0,021* |
| | Erkek | 36 | 12,61 | 5,90 | | |
| Ekipman ve Bakım | Kadın | 15 | 15,93 | 6,92 | 1,426 | 0,160 |
| | Erkek | 36 | 13,03 | 6,51 | | |
| Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği | Kadın | 15 | 32,40 | 14,04 | 2,517 | 0,015* |
| | Erkek | 36 | 22,94 | 11,42 | | |

* $p < 0,05$; t testi

Bu çalışmada, cinsiyet grupları (kadın ve erkek) arasında yapılan bağımsız örneklem t-testi sonuçları değerlendirilmiştir. Bulgular, "Personel Yetkinliği ve Eğitim", "İzleme ve Raporlama" ve "Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği" değişkenlerinde anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir.

Personel Yetkinliği ve Eğitim değişkeninde kadın katılımcıların ortalama puanı 17,53 (ss = 7,58), erkek katılımcıların ortalama puanı ise 12,33 (ss = 6,40) olarak bulunmuştur. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($t = 2,504$, $p = 0,016$). Kadınların bu alandaki algıları erkeklerden daha yüksektir. İzleme ve Raporlama değişkeninde kadın katılımcıların ortalama puanı 17,20 (ss = 7,04), erkek katılımcıların ortalaması ise 12,61 (ss = 5,90) olarak tespit edilmiştir. Bu fark anlamlıdır ($t = 2,390$, $p = 0,021$) ve kadınların bu alanda erkeklere kıyasla daha yüksek algıya sahip olduğunu göstermektedir. Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği değişkeninde kadın katılımcıların ortalaması 32,40 (ss = 14,04), erkek katılımcıların ortalaması ise 22,94 (ss = 11,42) olarak hesaplanmıştır. Bu fark da istatistiksel olarak anlamlıdır ($t = 2,517$, $p = 0,015$). Kadınların mürettebat sağlığı ve güvenliği algısı erkeklerden belirgin şekilde yüksektir. Anlamlı fark bulunmayan değişkenler (Sistem Entegrasyonu ve Uyum, Risk Değerlendirmesi ve Kontrol, Ekipman ve Bakım) cinsiyet grupları arasında istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir. Bu değişkenlerde grupların ortalama puanları yakın olup, cinsiyet farkı anlamlı bulunmamıştır.

Çizelge 4.6. Eğitim Düzeyine Göre Farklı Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Bağımsız Örneklem t-Testi Sonuçları

| Eğitim / Education | | n | Ort. | ss | t | p |
|---------------------------------|----------------------------|----|-------|-------|--------|-------|
| Sistem Entegrasyonu ve Uyum | Lise ya da Önlisans | 7 | 12,71 | 7,23 | | |
| | Lisans ya da Yüksek lisans | 44 | 15,34 | 5,99 | -1,048 | 0,300 |
| Risk Değerlendirmesi ve Kontrol | Lise ya da Önlisans | 7 | 11,86 | 6,89 | | |
| | Lisans ya da Yüksek lisans | 44 | 14,91 | 6,06 | -1,215 | 0,230 |
| Personel Yetkinliği ve Eğitim | Lise ya da Önlisans | 7 | 11,86 | 8,07 | | |
| | Lisans ya da Yüksek lisans | 44 | 14,18 | 6,99 | -0,801 | 0,427 |
| İzleme ve Raporlama | Lise ya da Önlisans | 7 | 11,57 | 6,88 | | |
| | Lisans ya da Yüksek lisans | 44 | 14,34 | 6,48 | -1,042 | 0,302 |
| Ekipman ve Bakım | Lise ya da Önlisans | 7 | 11,86 | 7,73 | | |
| | Lisans ya da Yüksek lisans | 44 | 14,20 | 6,56 | -0,859 | 0,395 |
| Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği | Lise ya da Önlisans | 7 | 23,43 | 15,97 | | |
| | Lisans ya da Yüksek lisans | 44 | 26,09 | 12,48 | -0,505 | 0,616 |

* $p < 0,05$; *t testi*

Bu çalışmada, eğitim düzeyine göre ("Lise ya da Önlisans" ve "Lisans ya da Yüksek Lisans") değişkenler arasında anlamlı farklılıkların olup olmadığını belirlemek amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Tüm değişkenler için eğitim gruplarına ait ortalamalar, standart sapmalar ve p değerleri incelenmiştir. Sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

Sistem Entegrasyonu ve Uyum, Risk Değerlendirmesi ve Kontrol, Personel Yetkinliği ve Eğitim, İzleme ve Raporlama, Ekipman ve Bakım ve Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği değişkenlerinin hiçbirisi için eğitim düzeyine göre anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Çizelge 4.7. Toplam Denizcilik Tecrübesine Göre Farklı Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Bağımsız Örneklem t-Testi Sonuçları

| Toplam Denizcilik Tecrübesi: ___ yıl (Total Maritime Experience: ___ years) | | n | ort. | ss | t | p |
|--|----------------|----|-------|-------|-------|--------|
| Sistem Entegrasyonu ve Uyum | 5 yıl ve altı | 27 | 16,11 | 6,58 | 1,403 | 0,167 |
| | 6 yıl ve üzeri | 24 | 13,71 | 5,51 | | |
| Risk Değerlendirmesi ve Kontrol | 5 yıl ve altı | 27 | 15,41 | 6,62 | 1,123 | 0,267 |
| | 6 yıl ve üzeri | 24 | 13,46 | 5,65 | | |
| Personel Yetkinliği ve Eğitim | 5 yıl ve altı | 27 | 16,04 | 7,29 | 2,429 | 0,019* |
| | 6 yıl ve üzeri | 24 | 11,42 | 6,16 | | |
| İzleme ve Raporlama | 5 yıl ve altı | 27 | 15,78 | 6,97 | 2,216 | 0,031* |
| | 6 yıl ve üzeri | 24 | 11,92 | 5,44 | | |
| Ekipman ve Bakım | 5 yıl ve altı | 27 | 15,70 | 7,55 | 2,182 | 0,034* |
| | 6 yıl ve üzeri | 24 | 11,83 | 4,98 | | |
| Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği | 5 yıl ve altı | 27 | 30,44 | 13,41 | 3,043 | 0,004* |
| | 6 yıl ve üzeri | 24 | 20,42 | 10,04 | | |

* $p < 0,05$; *t testi*

Bu çalışmada, toplam denizcilik tecrübesi (5 yıl ve altı ile 6 yıl ve üzeri) grupları arasında belirli değişkenler açısından anlamlı farklılıkların olup olmadığını belirlemek amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Sonuçlar, gruplar arasındaki anlamlı farklılıkları ve bu farklılıkların yönünü göstermektedir. Personel Yetkinliği ve Eğitim değişkeninde, 5 yıl ve altı denizcilik tecrübesine sahip katılımcıların ortalama puanı 16,04 (ss = 7,29) iken, 6 yıl ve üzeri tecrübeye sahip katılımcıların ortalama puanı 11,42 (ss = 6,16) olarak bulunmuştur. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($t = 2,429$, $p = 0,019$). 5 yıl ve altı tecrübeye sahip katılımcılar, bu alanda daha yüksek bir algıya sahiptir. İzleme ve Raporlama değişkeninde de gruplar arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir. 5 yıl ve altı tecrübeye sahip grubun ortalaması 15,78 (ss = 6,97), 6 yıl ve üzeri grubun ortalaması ise 11,92 (ss = 5,44) olarak hesaplanmıştır ($t = 2,216$, $p = 0,031$). Bu sonuç, daha az tecrübeye sahip olan grubun bu boyutta daha yüksek bir değerlendirme yaptığını göstermektedir. Ekipman ve Bakım değişkeninde, 5 yıl ve altı tecrübeye sahip grubun ortalaması 15,70 (ss = 7,55), 6 yıl ve üzeri grubun ortalaması ise 11,83 (ss = 4,98) olarak bulunmuştur. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($t = 2,182$, $p = 0,034$). Yine, 5 yıl ve altı grubun bu boyutta daha yüksek algıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği değişkeninde, 5 yıl ve altı gruptaki katılımcıların ortalaması 30,44 (ss = 13,41) iken, 6 yıl ve üzeri gruptaki katılımcıların ortalaması 20,42 (ss = 10,04) olarak hesaplanmıştır. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($t = 3,043$, $p = 0,004$). Bu sonuç, daha az tecrübeye sahip grubun mürettebat sağlığı ve güvenliği algısının daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Diğer yandan, Sistem Entegrasyonu ve Uyum ile Risk Değerlendirmesi ve Kontrol değişkenlerinde gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Çizelge 4.8. Tanker Tecrübesine Göre Farklı Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Bağımsız Örneklem t-Testi Sonuçları

| Tanker Tecrübesi: ___ yıl Tanker Experience: ___ years | n | Ort | ss | t | p | |
|---|----------------|-----|-------|-------|-------|--------|
| Sistem Entegrasyonu ve Uyum | 5 yıl ve altı | 34 | 15,79 | 6,47 | 1,344 | 0,185 |
| | 6 yıl ve üzeri | 17 | 13,35 | 5,30 | | |
| Risk Değerlendirmesi ve Kontrol | 5 yıl ve altı | 34 | 15,32 | 6,58 | 1,369 | 0,177 |
| | 6 yıl ve üzeri | 17 | 12,82 | 5,14 | | |
| Personel Yetkinliği ve Eğitim | 5 yıl ve altı | 34 | 15,32 | 7,33 | 2,329 | 0,025* |
| | 6 yıl ve üzeri | 17 | 10,94 | 5,77 | | |
| İzleme ve Raporlama | 5 yıl ve altı | 34 | 15,29 | 6,97 | 2,427 | 0,019* |
| | 6 yıl ve üzeri | 17 | 11,29 | 4,67 | | |
| Ekipman ve Bakım | 5 yıl ve altı | 34 | 15,06 | 7,21 | 2,053 | 0,046* |
| | 6 yıl ve üzeri | 17 | 11,53 | 4,93 | | |
| Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği | 5 yıl ve altı | 34 | 28,85 | 13,22 | 2,873 | 0,006* |
| | 6 yıl ve üzeri | 17 | 19,47 | 9,69 | | |

* $p < 0,05$; *t testi*

Bu çalışmada, tanker tecrübesine göre ("5 yıl ve altı" ile "6 yıl ve üzeri") çeşitli değişkenler arasındaki farklılıkların belirlenmesi için bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır.

Bulgular aşağıda detaylandırılmıştır. Personel Yetkinliği ve Eğitim değişkeninde, 5 yıl ve altı tanker tecrübesine sahip katılımcıların ortalama puanı 15,32 (ss = 7,33), 6 yıl ve üzeri tanker tecrübesine sahip katılımcıların ortalama puanı ise 10,94 (ss = 5,77) olarak bulunmuştur. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($t = 2,329$, $p = 0,025$). Daha az tanker tecrübesine sahip olan katılımcılar, bu boyutta daha yüksek bir algıya sahiptir. İzleme ve Raporlama değişkeninde, 5 yıl ve altı tecrübeye sahip katılımcıların ortalaması 15,29 (ss = 6,97), 6 yıl ve üzeri grubun ortalaması ise 11,29 (ss = 4,67) olarak hesaplanmıştır. Bu fark anlamlı bulunmuş ($t = 2,427$, $p = 0,019$), daha az tecrübeye sahip grubun bu boyutta daha yüksek değerlendirme yaptığı gözlemlenmiştir. Ekipman ve Bakım değişkeninde, 5 yıl ve altı grubun ortalaması 15,06 (ss = 7,21), 6 yıl ve üzeri grubun ortalaması ise 11,53 (ss = 4,93) olarak hesaplanmıştır. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($t = 2,053$, $p = 0,046$). Bu sonuç, daha az tanker tecrübesine sahip olan grubun bu boyutta daha yüksek bir algıya sahip olduğunu göstermektedir. Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği değişkeninde, 5 yıl ve altı tanker tecrübesine sahip grubun ortalama puanı 28,85 (ss = 13,22) iken, 6 yıl ve üzeri grubun ortalama puanı 19,47 (ss = 9,69) olarak bulunmuştur. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($t = 2,873$, $p = 0,006$). Daha az tecrübeye sahip olan katılımcılar, mürettebat sağlığı ve güvenliği algısında daha yüksek bir değerlendirmeye sahiptir. Diğer yandan, Sistem Entegrasyonu ve Uyum ve Risk Değerlendirmesi ve Kontrol değişkenlerinde, gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Çizelge 4.9. Mesleki Bilgiler / Professional Information Mevcut Pozisyon Current Position

| Mesleki Bilgiler / Professional Information Mevcut Pozisyon Current Position | n |
|---|----------|
| 1 Assistant Engineer | 1 |
| 2nd Engineer | 3 |
| 2nd Officer | 3 |
| 3rd Engineer | 1 |
| Administrator | 1 |
| Bas mühendis | 1 |
| Captain | 1 |
| Chief Officer | 4 |
| Deck Cadet | 2 |
| Director in finance | 2 |
| Educator | 1 |
| Elektrik Zabiti | 1 |
| Engine Cadet | 1 |
| Engineer | 1 |
| Environmental Consultant | 1 |
| Fitter | 1 |
| Gemici | 2 |
| Güverte enspektörü | 2 |
| Kaptan | 1 |

Çizelge 4.9. (Devam): Mesleki Bilgiler / Professional Information Mevcut Pozisyon Current Position

| Mesleki Bilgiler / Professional Information Mevcut Pozisyon Current Position | n |
|---|-----------|
| Maintenance technician | 1 |
| Manager | 2 |
| Maritime operator | 1 |
| Master | 3 |
| Procurement Senior Manager | 1 |
| Stajyer | 1 |
| Student | 3 |
| Unemployed | 1 |
| Usta gemici | 1 |
| Uzak yol 2.kaptan | 1 |
| Uzak yol İkinci Mühendis | 1 |
| Uzak yol Kaptan | 1 |
| Uzak yol vardiya zabiti | 1 |
| Yağcı | 2 |
| Yuksek lisans öğrenci | 1 |
| Total | 51 |

Bu Çizelgede ham petrol tankerleriyle ilgili sektör çalışanlarının mevcut pozisyonlarını göstermektedir. Toplamda 51 kişinin yer aldığı veri, mesleki çeşitliliğin oldukça yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. En fazla temsil edilen pozisyonlar arasında 4 kişiyle Chief Officer, 3'er kişiyle 2nd Engineer, 2nd Officer ve Student öne çıkmaktadır. Bunun yanında

Kaptan ve Uzak Yol Kaptanı gibi gemi yönetimiyle doğrudan ilgili kritik roller de temsil edilmektedir. Bu çeşitlilik, sektörün hem operasyonel hem de teknik açıdan geniş bir yelpazeye yayıldığını göstermektedir. Aynı zamanda gemi operasyonlarında güvenlik ve emniyetin, çok farklı pozisyonların koordinasyonu ve bilgi birikimi ile sağlanabileceğini ifade etmektedir.

Çizelge 4.10. Yeterlilik Belgesi Seviyesi Certificate of Competency Level

| Yeterlilik Belgesi Seviyesi Certificate of Competency Level | n |
|--|----------|
| 2 | 1 |
| 2 nd officer | 1 |
| 2nd Engineer | 2 |
| 2nd Officer (Unlimited) | 1 |
| 3 | 2 |
| 3rd engineer | 1 |
| 5 | 1 |
| Bachelor's degree | 2 |
| Bas mühendis | 1 |
| Basic Tanker Certificate | 1 |
| Bcom in Accounting | 1 |
| Chief Officer | 3 |
| Deck Cadet | 1 |
| Elektrik Zabiti | 1 |
| Engine Cadet | 1 |
| Expert level | 1 |
| Gemici | 2 |

Çizelge 4.10. (Devam): Yeterlilik Belgesi Seviyesi Certificate of Competency Level

| Yeterlilik Belgesi Seviyesi Certificate of Competency Level | n |
|---|----|
| High School Graduate | 1 |
| Level 7 | 1 |
| Master | 3 |
| Meeting industry standards | 1 |
| Oceangoing Chief Officer | 2 |
| Oceangoing | 1 |
| Oceangoing Master | 1 |
| Stajyer | 1 |
| University | 4 |
| Unlimited 1st Assistantt Engineer | 1 |
| Usta gemici | 1 |
| Uzakyol gemi kaptanı | 4 |
| Uzakyol ikinci kaptan | 1 |
| Uzakyol İkinci Mühendis | 1 |
| Uzakyol vardiya zabiti | 3 |
| Yağcı | 2 |
| Total | 51 |

Bu çizelge, katılımcıların yeterlilik belgeleri ve eğitim seviyelerini yansıtmaktadır. Üniversite mezunu olanların sayısı 4 ile dikkat çekerken, mesleki sertifikaların da geniş bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durum, gemi operasyonlarında hem akademik hem de mesleki bilgi birikiminin önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu çeşitlilik, VOC emisyonlarının yönetimi ve gemi emniyeti açısından farklı uzmanlık seviyelerinin etkili bir şekilde bir arada çalıştığını göstermektedir.

5. TARTIŞMA

Genel olarak bu çalışmadan elde edilen bulgular bağlamında ham petrol tankerlerinde VOC (Uçucu Organik Bileşikler) emisyonlarının gemi emniyetine olan etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bulgular, VOC emisyonlarının hem çevresel hem de operasyonel riskleri artırdığına işaret etmekte ve bu risklerin azaltılmasına yönelik uygulamaların etkinliğini değerlendirmek açısından önemli sonuçlar sunmaktadır. Katılımcıların yaş dağılımı ve tecrübelerine ilişkin bulgular, denizcilik sektöründe genç çalışanların daha yüksek bir farkındalık düzeyine sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle mürettebat sağlığı ve güvenliği boyutunda 30 yaş altı grubun daha yüksek bir algıya sahip olması ($p = 0,016$), genç bireylerin bu konuda daha duyarlı olduklarını ortaya koymaktadır.

Bu durum, genç mürettebatın eğitim ve farkındalık artırıcı uygulamalara daha yatkın olduğunu destekleyen literatürle paraleldir (Akyüz ve Çelik, 2015; Demirel, 2012) Bununla beraber bu duyarlılığın deneyim eksikliği nedeniyle operasyonel süreçlere yansımaları sınırlı kalabilir. Kadın katılımcıların "Personel Yetkinliği ve Eğitim", "İzleme ve Raporlama" ve "Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği" konularında erkeklere kıyasla daha yüksek bir algıya sahip olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Bu durum, kadın çalışanların güvenlik ve prosedürlere daha dikkatli yaklaştığına işaret etmektedir. Literatürdeki benzer çalışmalar, kadınların iş güvenliği konularında daha detaycı ve kurallara bağlı olduklarını desteklemektedir (Beyaz ve Demiral, 2021). Bu bulgu, denizcilik sektöründe kadın personelin sayısının artırılmasının güvenlik algısına olumlu katkı sağlayabileceğini göstermektedir. VOC emisyonlarının yönetiminde tecrübenin algılara etkisi dikkat çekicidir. Daha az tecrübeye sahip olan katılımcıların "Personel Yetkinliği ve Eğitim", "İzleme ve Raporlama", "Ekipman ve Bakım" ve "Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği" boyutlarında daha yüksek bir algıya sahip oldukları görülmüştür ($p < 0,05$). Bununla birlikte bu algının operasyonel bilgi ve deneyimle desteklenmesi gerektiği açıktır. Daha az deneyime sahip katılımcıların bu alanlarda daha yüksek bir algıya sahip olması, bilgi eksikliklerinin farkında olmaktan kaynaklanabilir (Bilgili, 2021). Eğitim seviyesi açısından anlamlı bir fark bulunmaması ise ($p > 0,05$), mesleki deneyimin akademik bilgi birikiminden daha etkili bir faktör olduğunu göstermektedir.

Son 12 ayda VOC ile ilgili olayların az sayıda raporlanması (ort. 1,75; ss = 2,67), sektör çalışanlarının bu konuda yeterli farkındalığa sahip olmadığını veya raporlama süreçlerinin etkin şekilde işlemediğini göstermektedir. Ayrıca VOC prosedür uygunsuzluklarının

ortalama sayısının 8,14 (ss = 20,11) olması, bu alandaki eksikliklerin güvenlik risklerini artırabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, özellikle VOC emisyonlarının azaltılmasına yönelik prosedürlerin yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini vurgulayan çalışmaları desteklemektedir (Karbasiyan vd., 2017; Rajabi vd., 2020). Ekipman ve bakım süreçlerinde zamanında yapılan kalibrasyonların düşük seviyelerde olması (ort. %44,10; ss = 37,92), VOC emisyonlarının kontrolü açısından önemli bir risk teşkil etmektedir. Bu durum, önceki literatürde belirtilen teknik aksaklıkların VOC emisyonlarının artışına neden olduğu bulgusuyla örtüşmektedir (Ancione vd., 2021; Büyük ve Bayer, 2022). Gaz dedektörlerinde tespit edilen arızaların ortalamasının 4,45 (ss = 12,73) olması, ekipman arızalarının düzenli bakım ve kontrol eksikliğiyle ilişkilendirilebileceğini göstermektedir.

Korelasyon analizi sonuçları, VOC emisyonlarının yönetiminde sistem entegrasyonu, personel eğitimi, izleme ve raporlama süreçlerinin birbiriyle güçlü bir ilişki içerisinde olduğunu göstermiştir ($r > 0,8$, $p < 0,001$). Bu sonuç, VOC emisyonlarının azaltılmasına yönelik stratejilerin multidisipliner bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Özellikle sistem entegrasyonu ve izleme süreçlerinin etkin bir şekilde uygulanması, VOC emisyonlarının daha iyi yönetilmesine olanak tanıyabilir (Lee ve Chang, 2014). VOC emisyonlarının kontrolünde ekipmanların teknik yeterliliği ve bakım süreçlerinin önemi, bu çalışmada elde edilen bulgularla vurgulanmıştır. Özellikle gaz dedektörlerindeki arıza oranlarının (ort. 4,45; ss = 12,73) ve planlı bakım tamamlanma yüzdesinin düşük seviyelerde olması (ort. %47,29; ss = 42,54), gemi operasyonlarının güvenliği açısından önemli bir risk teşkil etmektedir. Literatürde bakım eksikliklerinin sadece VOC emisyonlarını değil, aynı zamanda yangın ve patlama risklerini artırdığı belirtilmiştir (Büyük ve Bayer, 2022). Bu nedenle, gemi ekipmanlarının düzenli bakımına yönelik daha sıkı prosedürlerin uygulanması gerektiği açıktır (Martens ve ark., 2023).

VOC emisyonlarının sadece gemi emniyeti değil, insan sağlığı ve çevre üzerinde de ciddi etkileri bulunmaktadır. Bu çalışmada raporlanan ramak kala olay sayılarının düşük olması (ort. 6,18; ss = 12,32) ve düzeltici faaliyetlerin tamamlanma oranlarının yetersiz kalması (ort. %30,04; ss = 37,67), gemi mürettebatının bu olaylara yönelik farkındalığının düşük olduğunu göstermektedir. VOC emisyonlarının insan sağlığı üzerindeki etkilerine dair yapılan önceki çalışmalarda, bu bileşiklere uzun süreli maruz kalmanın genotoksik ve kanserojen riskler oluşturabileceği belirtilmiştir (Beyaz ve Demiral, 2021; Ancione vd., 2021). Bu nedenle VOC kaynaklı olayların daha sık raporlanması ve gerekli önlemlerin zamanında alınması gerekmektedir.

VOC emisyonlarının yönetiminde personelin eğitimi ve farkındalığı belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada VOC eğitimi almış personel oranının %33,63 gibi düşük bir seviyede olması, denizcilik sektöründe bu konuda önemli bir eksiklik olduğunu göstermektedir. Literatürde de VOC emisyonlarının etkin yönetimi için mürettebata düzenli olarak eğitim verilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Akyüz ve Çelik, 2015; Rudd ve Hill, 2001). Özellikle genç mürettebatın eğitim programlarına daha açık olduğu bulgusu ($p = 0,016$), bu tür programların genç çalışanlar arasında daha yoğun bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Bulgular, VOC emisyonlarının yönetiminde operasyonel ve yönetsel süreçlerin iyileştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle VOC prosedür uygunsuzluklarının (ort. 8,14; ss = 20,11) azaltılması için HAZOP (Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi) ve LOPA (Seviyeli Olay Olasılığı Analizi) gibi süreç odaklı risk değerlendirme yöntemlerinin uygulanması önerilmektedir (Lee vd., 2013). Ayrıca tamamlanan VOC denetim sayılarındaki varyasyonun yüksek olması (ort. 8,75; ss = 21,57), denetim süreçlerinin daha standart hale getirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmanın bulguları, VOC emisyonlarının yönetimi konusunda literatürdeki diğer çalışmalarla büyük ölçüde örtüşmektedir. Örneğin Tamaddoni vd., (2014) tarafından yapılan bir çalışmada VOC emisyonlarının operasyonel prosedürlerdeki eksikliklerden kaynaklandığı ve bu durumun hem çevresel hem de güvenlik risklerini artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca Lee ve Choi (2014) tarafından geliştirilen çok hedefli optimizasyon modellerinin, VOC emisyonlarının kontrol altına alınmasında etkili bir araç olduğu vurgulanmaktadır. Bu çalışmada da benzer şekilde sistem entegrasyonu ve izleme süreçlerinin birbirine bağlı olduğu görülmüştür ($r = 0,880$, $p < 0,001$).

VOC emisyonlarının yönetimi, yalnızca prosedürel ve eğitsel çözümlerle değil, aynı zamanda teknolojik yeniliklerle desteklenmelidir. Bu çalışmada VOC emisyonlarının kontrol altına alınmasında düşük düzeyde kalibrasyon oranı (%44,10) ve gaz dedektörlerindeki arıza sayısı gibi teknik eksiklikler öne çıkmaktadır. Benzer şekilde Karbasian ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada ham petrol yükleme süreçlerinde kullanılan teknolojilerin optimizasyonunun VOC oluşumunu azaltmada etkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Lee ve Choi (2014), VOC emisyonlarının azaltılması için çok hedefli optimizasyon ve süreç entegrasyonunu önermiştir. Bu bağlamda, gemilerde kullanılan gaz dedektörlerinin daha hassas hale getirilmesi ve VOC geri kazanım sistemlerinin yaygınlaştırılması, emisyonların kontrol altına alınmasında kritik rol oynayabilmektedir.

Çalışma bulguları, VOC ile ilgili olayların raporlanmasında ve denetimlerin tamamlanmasında sektördeki eksiklikleri ortaya koymaktadır. Özellikle başarıyla tamamlanan VOC denetimlerinin sayısındaki varyasyonun (ort. 8,75; ss = 21,57) yüksek olması, denetim süreçlerinin standardizasyon ihtiyacını göstermektedir. Literatürde de VOC emisyonlarıyla ilgili olayların daha sıkı bir şekilde raporlanması gerektiği ifade edilmektedir (Tamaddoni vd., 2014; Ancione vd., 2021). Bu bağlamda, hem uluslararası hem de ulusal düzeyde denetim süreçlerinin dijitalleşmesi ve merkezi bir raporlama sistemiyle desteklenmesi önerilmektedir.

Mürettebat sağlığı ve güvenliği boyutunda, genç ve kadın katılımcıların daha yüksek algıya sahip olması ($p < 0,05$), VOC kaynaklı olayların etkilerini anlamada önemli bir farkındalığa işaret etmekte ama bu farkındalığın daha deneyimli gruplar arasında daha düşük olması, tecrübeli mürettebatın VOC emisyonlarının risklerini hafife alma eğiliminde olduğunu gösterebilir. Beyaz ve Demiral (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, VOC'lere maruz kalan çalışanların uzun vadeli sağlık etkilerini yeterince dikkate almadıkları vurgulanmıştır. Bu bağlamda VOC emisyonlarının mürettebat sağlığı üzerindeki olası etkilerini düzenli eğitimler ve bilgilendirme kampanyalarıyla artırmak önemlidir. Bu çalışmanın sonuçları, VOC emisyonlarının yalnızca gemi içindeki güvenlik sorunlarına değil, aynı zamanda çevresel kirlilik ve toplum sağlığına da önemli zararlar verdiğini göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak ham petrol tankerlerinde Uçucu Organik Bileşiklerin (VOC) etkileri ve bu etkilerin gemi emniyeti üzerindeki yansımaları, deniz taşımacılığı sektöründe giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu çalışma, VOC emisyonlarının neden olduğu riskleri ve bu risklerin önlenmesi için uygulanabilecek yöntemleri detaylı bir şekilde inceleyerek, gemi emniyetine olan etkilerini kapsamlı bir biçimde ele almıştır. VOC'ler, ham petrolün taşınması, yüklenmesi, boşaltılması ve tank temizliği gibi operasyonel süreçlerde önemli miktarlarda atmosfere salınmaktadır. Bu bileşiklerin yanıcı ve patlayıcı özellikleri, tanker operasyonları sırasında ciddi bir tehlike oluşturmakta, bu da gemi personeli, çevre ve gemi donanımı için riskleri artırmaktadır. VOC'lerin patlayıcı gaz karışımları oluşturma potansiyeli, özellikle kapalı tanklarda birikmesi durumunda büyük kazalara yol açabilmektedir. Bu bağlamda, VOC'lerin gemi emniyeti açısından taşıdığı riskler, hem teknik hem de operasyonel yönlerden ele alınması gereken kritik bir konudur. Çalışmada VOC kontrolüne yönelik mevcut uluslararası düzenlemeler ve bu düzenlemelerin uygulanabilirliği detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Özellikle IMO MARPOL Ek VI düzenlemeleri, VOC emisyonlarının kontrol altına alınması açısından büyük bir öneme sahiptir. Bununla birlikte, bu düzenlemelerin uygulanmasında karşılaşılan zorluklar ve eksiklikler de değerlendirilmiştir. VOC emisyonlarının kontrolü için buhar geri dönüşüm sistemlerinin etkin kullanımı ve tank havalandırma sistemlerinin düzenli bakımı, gemi emniyeti üzerinde doğrudan olumlu etkiler sağlamaktadır. Ayrıca tank temizliği ve inert gaz kullanımı gibi operasyonel prosedürlerin de VOC risklerini azaltmada kritik bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Teknik önlemler dışında, gemi personelinin eğitimi ve farkındalığının artırılması da emniyet açısından büyük önem taşımaktadır.

Çalışma sırasında elde edilen bulgular, personelin VOC ile ilgili tehlikelere karşı yeterince bilinçli olmamasının, kazaların önlenmesi ve acil durum yönetimi konularında zafiyetlere yol açabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, gemi personeline yönelik eğitim programlarının düzenlenmesi ve risklerin açık bir şekilde aktarılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, VOC kaynaklı kaza senaryolarına yönelik acil durum planlarının hazırlanması ve düzenli olarak tatbikatların yapılması da emniyet standartlarını artıran faktörler arasında yer almaktadır. Ham petrol tankerlerinde VOC etkisinin gemi emniyetine yansımaları, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da dikkate değerdir. VOC'lerin atmosfere

salınımı, hem insan sağlığını olumsuz etkileyen hava kirliliğine hem de sera gazı etkisi ile iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla, VOC kontrolü, yalnızca gemi emniyeti ile sınırlı kalmayıp, çevresel ve toplumsal bir sorumluluk olarak ele alınmalıdır. Bu çerçevede bu çalışmada VOC emisyonlarının ham petrol tankerlerinde gemi emniyeti üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiş ve bu etkilerin önlenmesi için alınabilecek önlemler ortaya konulmuştur. VOC salınımını azaltmaya yönelik teknolojik ve operasyonel uygulamaların yanı sıra, düzenleyici çerçevelerin etkin bir şekilde uygulanması ve personel farkındalığının artırılması gerekmektedir. Denizcilik sektöründe VOC yönetimi, gemi emniyeti ile çevresel sürdürülebilirlik arasında bir denge sağlamak açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Denizcilik faaliyetlerinin daha güvenli ve çevre dostu bir şekilde sürdürülebilmesi için VOC yönetimine ilişkin önerilerin hayata geçirilmesi büyük bir öneme sahiptir. Özellikle buhar geri kazanım sistemlerinin gemilere entegrasyonu, VOC emisyonlarının azaltılmasında etkili bir çözüm sunmakta ama bu sistemlerin verimliliği, düzenli bakım ve denetimlerle doğrudan ilişkilidir. Bunun yanında ulusal ve uluslararası düzenlemelere uyumun sağlanması ve bu düzenlemelerin sürekli olarak güncellenmesi, VOC risklerinin minimize edilmesi açısından kritik bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Ham petrol tankerleri özelinde yapılan bu çalışmanın ortaya koyduğu sonuçlar, VOC yönetimi ile gemi emniyeti arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamamıza olanak tanımıştır. Bu bağlamda VOC kontrolü, yalnızca gemi özelindeki emniyet uygulamalarını geliştirmekle sınırlı kalmayıp sektörel standartların yükseltilmesi ve denizcilik sektörünün daha güvenli bir geleceğe taşınması için de bir temel oluşturmaktadır. Bununla beraber VOC emisyonlarının azaltılması ve gemi emniyeti üzerindeki olumsuz etkilerinin önlenmesi için hem teknik hem de yönetsel yaklaşımların bütüncül bir şekilde ele alınması gerekmektedir.

Bu kapsamda gemi işletmecilerinden düzenleyici otoritelere kadar tüm paydaşların ortak bir sorumluluk bilinci ile hareket etmeleri önem arz etmektedir. Bu çalışma, ham petrol tankerlerinde VOC etkilerinin yönetimine dair literatüre katkı sağlamayı ve gelecekte yapılacak çalışmalar için bir rehber olmayı amaçlamaktadır. VOC yönetimi ve gemi emniyeti arasındaki bu bütünlüşik yaklaşımın, denizcilik sektörünün sürdürülebilir gelişimine önemli katkılar sunacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, S., Li, T., Yi, P., Chen, R. (2023). Environmental impact assessment of green ammonia-powered very large tanker ship for decarbonized future shipping operations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113774. DOI:10.1016/j.rser.2023.113774.
- Akyar, A. D., Ceylan, B. O., Celik, M. S. (2023). A novel FMEA approach for risk assessment of air pollution from ships. *Marine Policy*, 150, 105536. DOI:10.1016/j.marpol.2023.105536.
- Akyuz, E., Celik, E. (2015). A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during gas freeing process in crude oil tankers. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 38, 243-253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.10.006>.
- Altun, A.H.M. (2013). Ham Petrol Tankerlerinde Ham Petrolle Tank Yıkamasının (COW) Emniyetli Optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ancione, G., Lisi, R., Milazzo, M. F. (2021). Human health risk associated with emissions of volatile organic compounds due to the ship-loading of hydrocarbons in refineries. *Atmospheric Pollution Research*, 12(2), 432-442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.12.004>.
- Aydin, M., Kamal, B., Çakır, E. (2024). Evaluation of human error in oil spill risk in tanker cargo handling operations. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(3), 3995-4011. DOI: 10.1007/s11356-023-31402-x.
- Azkeskin, D. (2016). Gemi inşaatı sektöründe gürültü ve toz maruziyetinin değerlendirilmesi. *Uzmanlık Tezi*. T.C.Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.
- Baars, B. J. (2002). The wreckage of the oil tanker 'Erika'—Human health risk assessment of beach cleaning, sunbathing and swimming. *Toxicology Letters*, 128(1-3), 55-68. DOI: 10.1016/s0378-4274(01)00533-1.
- Bahar, D. Ü., Ay, İ. C. (2021). Genetiği değiştirilmiş mısır üretimi için ekonomik değerlendirme. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 43(1), 57-77. DOI: 10.14780/muiibd.960273.
- Başaran, Y. (2009). Dilovası Çanağı'nda Ozon Prekürsörü Olan Nox Dağılımlarının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Bayazit, O., Kaptan, M. (2023). Evaluation of the risk of pollution caused by ship operations through bow-tie-based fuzzy Bayesian network. *Journal of Cleaner Production*, 382, 135386. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi.
- Beyaz, C.A., Demiral, Y. (2021). Mesleksel Uçucu Organik Bileşik Maruz Kalımı Ve Genotoksisite. *Çalışma Ve Toplum*, 3, 1901-1916. DOI: <https://doi.org/10.54752/ct.1155139>.
- Bicer, Y., Dincer, I. (2018). Environmental impact categories of hydrogen and ammonia driven transoceanic maritime vehicles: A comparative evaluation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(9), 4583-4596. Yıldız Teknik Üniversitesi.

- Bilgili, L. (2021). Comparative assessment of alternative marine fuels in life cycle perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110985. DOI:10.1016/j.rser.2021.110985.
- Boviatsis, M., Alexopoulos, A. B., Vlachos, G. P. (2022). Evaluation of the response to emerging environmental threats, focusing on carbon dioxide (CO₂), volatile organic compounds (VOCs), and scrubber wash water (SO_x). *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 7(3), 391-398. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41207-022-00325-3>.
- Büyük, N., Bayer, D. (2022). Tanker Gemilerinde Kargo İşlemleri Esnasındaki Yangın Risklerinin Kök Sebeplerinin Tespiti Ve Bow-Tie İle Analizi. *Denizcilik Araştırmaları Dergisi: Amfora*, 1(1), 79-87. DOI:10.29228/jomaramphora.62290.
- Can, B.S. ve Yay, D.O. (2014). Biyojenik Uçucu Organik Bileşiklerin Emisyonlarının Mevsimlere Göre Değişiminin Uydu Verileri Desteğiyle Belirlenmesi. 5. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, 1-10.
- Chang, S. E., Stone, J., Demes, K., Piscitelli, M. (2014). Consequences of oil spills: A review and framework for informing planning. *Ecology and Society*, 19(2). DOI:10.5751/ES-06406-190226.
- Choi, Y. Y., Kim, J. H., Chun, K. W. (2021). Evaluating the possibility of utilizing hollow fiber membranes for recovering VOC generated by oil tankers. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 20(4), 278-287. DOI: <https://doi.org/10.1080/20464177.2019.1572058>.
- Çakır, C. (2010). İş Ve İşçi Sağlığı Açısından İş Yeri Kirleticileri. *Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi.*
- Dağdeviren, N.Ş. (2024). Petrol Faaliyetlerinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı: Rafineri İçin Örnek Çalışma. *Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi.*
- Demirel, K. Y. (2012). Yüzey kirliliğinin gemi direnci üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.*
- Dev, A., Viridi, S.S., Li, C., Lee, Y.L. (2021). Simulation Of VOC Emission During Loading Operations İn A Crude Oil Tanker. *The International Journal Of Maritime Engineering*, 163(A1), 1-16. DOI: <https://doi.org/10.5750/ijme.v163iA1.1>.
- Dönmez, Y. K. (1997). Petrol ve kimyasal madde tanker atık alım tesisleri kapasite ve yer seçimi model araştırması. *Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi.*
- Erik, Y.N. (2015). Petrol Tankeri Kazaları Ve Neden Olduğu Çevre Kirliliği. *Mavi Gezegen*, Sayı 20, 1-11.
- Fetisov, V., Gonopolsky, A.M., Davardoost, H., Ghanbari, A.R., Mohammadi, A.H. (2022). Regulation And İmpact Of VOC And CO₂ Emissions On Low-Carbon Energy Systems Resilient To Climate Change: A Case Study On An Environmental İssue İn The Oil And Gas İndustry. *Energy Science & Engineering*, 11(4), 1516–1535. DOI:10.1002/ese3.1383.
- Gürsoy, U. (2004). Enerjide Toplumsal Maliyet Ve Temiz Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları. *Türk Tabipleri Birliği Yayınları*, 1-193.

- Güzel, B., Canlı, O., Olgun, Ö.E. (2018). Sularda Bulunan Uçucu Organik Bileşikler Ve Sağlığa Etkileri. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi C- Yaşam Bilimleri Ve Biyoteknoloji*, 7(2), 277-290. DOI: <https://doi.org/10.18036/aubtdc.401509>.
- Haglund, F. (2008). A review on the use of gas and steam turbine combined cycles as prime movers for large ships. Part I: Background and design. *Energy Conversion and Management*, 49(12), 3458-3467. DOI:10.1016/j.enconman.2008.08.005.
- Hu, G., Butler, J., Littlejohns, J., Wang, Q., Li, G. (2020). Simulation of cargo VOC emissions from petroleum tankers in transit in Canadian waters. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 14(1), 522-533. DOI:10.1080/19942060.2020.1728386.
- İşlek, Ç. (2010). Tersanelerde ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi Ve OHSAS 18001 İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetim Sistemi Uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kaptı, T., Ayrılmış, N. (2016). Ahşap Esaslı Levhalardan Ayrışan Formaldehit Emisyonu Ve Organik Uçucu Bileşikler İçin Yönetmelikler Ve Standartlar. *Uluslararası Malzeme Bilimi Ve Teknolojisi Konferansı Kapadokya (IMSTEC'16)*, 1-5.
- Karbasian, H. R., Kim, D. Y., Yoon, S. Y., Ahn, J. H., Kim, K. C. (2017). A new method for reducing VOCs formation during crude oil loading process. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31, 1701-1710. DOI:10.1007/s12206-017-0318-7.
- Keskin, A.H. (2006). Gemilerden Kaynaklanan Atıkların Kontrolü Kapsamında Liman Atık Kabul Tesisi Ve Ambarlı Limanı Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kim, H. H., Park, G. Y., Lee, J. H. (2019). Concentrations of particulate matter, carbon dioxide, VOCs and risk assessment inside Korean taxis and ships. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 9619-9631. DOI: 10.1007/s11356-019-04361-5.
- Koca, H., Yaman, B., Kızılkaya, Y.M.A., Altıok, H., Kara, M., Dumanoğlu, Y. ve Bayram, A. (2013). Türkiye'deki Ormanlık Alanlardan Kaynaklanan Biyojenik Uçucu Organik Bileşiklerin (BVOC) Emisyon Envanterinin Hazırlanması. *Uluslararası Katılımlı V. Hava Kirliliği Ve Kontrolü Sempozyumu*, 331-342.
- Kum, S. (2005). Petrol tankerlerinde risk değerlendirmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kurutaş, B. (2009). Bir Metal Endüstrisindeki Çalışma Ortamlarının İç Hava Kalitesinin Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Üniversitesi.
- Lafçi, Ö., Öztekin, A. (2020). Arama/Kurtarma Gemilerindeki Tahlisiye (Can Kurtarma) Faaliyetlerinde L Tipi Matris Yöntemi İle Risk Değerlendirmesi. *COMU J. Mar. Sci. Fish*, 3(2), 66-78. DOI: <https://doi.org/10.46384/jmsf.746822>.
- Lee, S., Chang, D. (2014). Safety systems design of VOC recovery process based on HAZOP and LOPA. *Process Safety Progress*, 33(4), 339-344. <https://doi.org/10.1002/prs.11662>.

- Lee, S., Choi, I., Chang, D. (2013). Multi-objective optimization of VOC recovery and reuse in crude oil loading. *Applied Energy*, 108, 439-447. DOI:10.1016/j.apenergy.2013.03.064.
- Martens, M.O., Oldervik, O., Neeraas, O.B., Strom, T. (2023). Control Of VOC Emission From Crude Oil Tankers. *ICMES*, 1-12. DOI:10.5957/mt1.2001.38.3.208.
- Mihajlovic, M., Jovanovic, M., Pešić, R., Jovanovic, J. ve Milanovic, Z. (2016). Volatile organic compounds (VOC) policy innovation in petrochemicals river barge transportation. *Journal of Cleaner Production*, 30, 1-9. DOI:10.1016/j.jclepro.2015.04.080.
- Nordvik, J. (2020). Measurement, characterization and simulation of VOC emissions from crude oil loading, transport and discharge from Persian Gulf by ship. *Master's Thesis*. Norwegian University of Science and Technology.
- Rajabi, H., Mosleh, M.H., Mandal, P., Lea-Langton, A., Sedighi, M. (2020). Emissions Of Volatile Organic Compounds From Crude Oil Processing – Global Emission Inventory And Environmental Release. *The Science Of The Total Environment*, 727, 138654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138654>.
- Rudd, J.H., Hill, A.N. (2001). Measures To Reduce Emissions Of Vocs During Loading And Unloading Of Ships In The EU. *AEAT/ENV/R/0469 Issue 2, AEA Technology Environment*, 1-80.
- Sağlamtimur-Doğan, N., Subaşı, E. (2018). Dünya Ve Türkiye’de Gemilerden Kaynaklanan Deniz Kirliliği Ve Atık Kabul Tesisleri: Genel Perspektif, Yönetim Ve Öneriler. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 24(3), 481-493. doi: 10.5505/pajes.2017.20270.
- Satır, T. (2007). Türk Limanlarında Gemilerden Oluşan Deniz Kirliliğini Önleme Konvansiyonu (MARPOL73/78) Gereklere Uygun Atık Alım Tesisi Kurulması, İşletimi Ve Yönetimi İçin Model Geliştirilmesi. *Doktora Tezi*. İstanbul Üniversitesi.
- Sonawane, S. S., Jadhav, A. S., Holkara, A. D., Gujara, J. G., Kadamb, S. P. (2023). Assessing emission and reduction strategies for volatile organic compounds (VOCs) in refinery. *Journal of Indian Association for Environmental Management (JIAEM)*, 43(3), 9-18.
- Tamaddoni, M., Sotudeh-Gharebagh, R., Nario, S., Hajihosseinzadeh, M., Mostoufi, N. (2014). Experimental study of the VOC emitted from crude oil tankers. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(6), 929-937. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.psep.2013.10.005>.
- Tokuşlu, A. (2019). İstanbul Boğazı'nda gemi kaynaklı hava emisyonlarının analizi ve etkilerinin ortaya konulması. *Doktora Tezi*.
- Topaloğlu, H. (2013). Ticari Gemilerin Karbondioksit Emisyon Etkilerinin Değerlendirilmesi Ve Analizi. *Doktora Tezi*. İstanbul Üniversitesi.
- Tozar, B., Güzel, E. (2012). Türk boğazları için gemi risk modeli önerisi. *Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 4(1), 55-73.

- Van, T. C., Ramirez, J., Rainey, T., Ristovski, Z., Brown, R. J. (2019). Global impacts of recent IMO regulations on marine fuel oil refining processes and ship emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 70, 123-134. DOI:10.1016/j.trd.2019.04.001
- Varlık, G. (2011). VOC (Uçucu Organik Bileşenler) Boya Sistemleri Ve A.B. *Katılım Sürecinde Türkiye Mevzuatının Uyumlaştırılması*, 88-91.
- Yazır, D., Yay, S. (2022). Kimyasal tanker gemilerinde emniyet ekipmanlarını kullanan personelin yeterliği. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 8(3), 472-484. DOI: <https://doi.org/10.28979/jarnas.1032699>
- Yalcin, E., Suner, M. (2020). The changing role of diesel oil-gasoil-LPG and hydrogen based fuels in human health risk: A numerical investigation in ferry ship operations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(6), 3660-3669. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.02.238>
- Yılmaz, F. (2019). “Yeşil-Eko Liman Yaklaşımı”Nın Deniz Ticareti Ve Lojistik Sektörüne Katkıları: Türkiye Ve AB'deki Uygulamaların Karşılaştırması. *Journal Of Transportation And Logistics*, 4(2), 65-78. doi: 10.26650/JTL.2019.04.02.02

EKLER

Ek 1: Anket Formu – Türkçe

Değerli Katılımcı,

Bu araştırma, İskenderun Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans öğrencisi Hazal Kahraman tarafından, Dr. Öğr. Üyesi Turgay Battal danışmanlığında Yüksek Lisans Bitirme Tezi olarak yürütülmektedir. Bu araştırma, ham petrol tankerlerindeki VOC emisyonlarının etkisini, özellikle mürettebat sağlığı ve gemi güvenlik yönetimi açısından analiz etmek amacıyla önerilmiştir. Çalışma, VOC güvenlik yönetim sistemleri ve prosedürlerinin yeterliliğini ve verimliliğini uluslararası standart perspektifinden -OCIMF, ISGOTT, ISM Kodu ve TMSA- ele alarak, bu sistemlerin tanker operasyonları sırasında VOC maruziyet risklerini nasıl azalttığını inceleyecektir.

Çalışmaya katılım tamamen gönüllülük esasına dayanmaktadır. Eğer katılmayı kabul ederseniz, sizden bazı ölçekleri doldurmanız istenecektir. Ölçeklerin yanıtlanması yaklaşık 5 dakika zamanınızı alacaktır. Lütfen ölçeklerdeki soruları gerçek düşüncelerinizi yansıtacak şekilde cevaplandırınız. Ölçeklerdeki soruları eksiksiz ve samimi bir şekilde cevaplamanız, araştırmadan geçerli ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

Çalışma süresince sizden istenecek olan bilgiler yalnızca bu araştırma kapsamında kullanılacak olup, üçüncü şahıs ve kurumlarla paylaşılmayacaktır. Cevaplarınız yalnızca araştırmanın amacına uygun olarak bilimsel açıdan kullanılacak ve gizli tutulacaktır. Soruları yanıtlarken herhangi bir nedenle kendinizi rahatsız hissederseniz, araştırmaya devam etmek zorunda değilsiniz. Ancak formları sonuna kadar ve eksiksiz doldurmanız, bu araştırmanın geçerli olabilmesi için önem taşımaktadır.

Hazal KAHRAMAN

BÖLÜM 1: DEMOGRAFİK BİLGİLER

A. Kişisel Bilgiler:

1. Yaş
2. Cinsiyet
3. Eğitim
4. Toplam Denizcilik Tecrübesi: ___ yıl
5. Tanker Tecrübesi: ___ yıl

B. Mesleki Bilgiler:

6. Mevcut Pozisyon:
Kaptan C/O 2/O 3/O
C/E 1/E 2/E 3/E
Pompacı Diğer: _____
7. Yeterlilik Belgesi Seviyesi:
Uzakyol Yakınyol Sınırlı

BÖLÜM 2: GÜVENLİK YÖNETİM SİSTEMİ DEĞERLENDİRMESİ

Değerlendirme Ölçeği:

- 1: Kesinlikle Katılmıyorum
- 2: Katılmıyorum
- 3: Katılıyorum
- 4: Çoğunlukla Katılıyorum
- 5: Kesinlikle Katılıyorum

| No | Değerlendirme Soruları | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A. Sistem Entegrasyonu ve Uyum | | | | | | |
| 1 | VOC prosedürleri SMS içinde açıkça tanımlanmıştır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 | VOC kontrol listeleri operasyonlara tam entegredir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3 | VOC risklerinin yönetimi ISM denetimlerinde etkin değerlendirilmektedir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 | TMSA gerekliliklerine uygun VOC yönetimi sağlanmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5 | MARPOL Ek VI VOC gereklilikleri karşılanmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| B. Risk Değerlendirmesi ve Kontrol | | | | | | |
| 6 | VOC risk değerlendirmeleri sistemattir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7 | Kapalı alan giriş prosedürleri etkindir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8 | Tank atmosfer ölçümleri düzenli yapılmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9 | İnert gaz sistemi prosedürlere uygun kullanılmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 | Risk kontrol önlemleri hiyerarşisi uygulanmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| C. Personel Yetkinliği ve Eğitim | | | | | | |
| 11 | VOC tehlikeleri hakkında yeterli eğitim verilmektedir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12 | Gaz ölçüm cihazları kullanım eğitimi yeterlidir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13 | Acil durum prosedürleri ekip tarafından bilinmektedir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14 | KKD kullanımı konusunda personel yetkindir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15 | Tazeleme eğitimleri düzenli yapılmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| D. İzleme ve Raporlama | | | | | | |
| 16 | VOC maruziyet ölçümleri kaydedilmektedir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17 | Ramak kala olaylar raporlanmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18 | Düzeltilici faaliyetler takip edilmektedir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19 | Performans göstergeleri düzenli izlenmektedir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20 | Yönetimin gözden geçirmesi etkindir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| | | | | | | |
|------------------------------------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| E. Ekipman ve Bakım | | | | | | |
| 21 | Gaz dedektörleri düzenli kalibre edilmektedir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 22 | İnert gaz sistemi güvenilir çalışmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 23 | Havalandırma sistemleri etkindir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 24 | P/V valfleri düzenli test edilmektedir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 25 | Yedek parça stoku yeterlidir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| F. Mürettebat Sağlığı ve Güvenliği | | | | | | |
| 26 | Düzenli sağlık kontrolleri yapılmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 27 | VOC maruziyeti sonrası sağlık takibi etkindir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 28 | Yaşam mahalleri VOC ölçümleri yapılmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 29 | Kişisel maruziyet ölçümleri yapılmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 30 | Maruziyet limit değerleri takip edilmektedir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 31 | Solunum koruyucu donanımlar yeterlidir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 32 | Gaz maskesi filtreleri düzenli değiştirilmektedir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 33 | İş izin sisteminde sağlık riskleri değerlendirilmektedir | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 34 | Sağlık şikayetleri kayıt altına alınmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 35 | Vardiya düzenlemelerinde maruziyet dikkate alınmaktadır | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Performans Göstergeleri:

1. Son 12 aydaki VOC ile ilgili olay sayısı: ____
2. VOC eğitimi almış personel yüzdesi: ____
3. Başarıyla tamamlanan VOC denetim sayısı: ____
4. Zamanında yapılan kalibrasyon yüzdesi: ____
5. Raporlanan ramak kala olay sayısı: ____
6. Düzeltici faaliyet tamamlanma oranı: ____
7. Limit üstü VOC ölçüm sayısı: ____
8. Acil durum tatbikatı başarı oranı: ____
9. Planlı bakım tamamlanma yüzdesi: ____
10. VOC prosedür uygunsuzluk sayısı: ____
11. Gaz dedektörlerinde tespit edilen arıza sayısı : ____
12. KKD uygunsuzluğu tespit sayısı: ____

Ek 2 : Anket Formu – İngilizce

Dear Participant,

This research is being conducted as a Master's Thesis by Hazal Kahraman, a Master's student at Iskenderun Technical University, under the supervision of Asst. Prof. Dr. Turgay Battal. This research aims to analyze the impact of VOC emissions on crude oil tankers, particularly in terms of crew health and ship safety management. The study will examine how VOC safety management systems and procedures reduce VOC exposure risks during tanker operations by addressing the adequacy and efficiency of these systems from an international standard perspective - OCIMF, ISGOTT, ISM Code, and TMSA.

Participation in the study is entirely voluntary. If you agree to participate, you will be asked to complete some scales. Answering the scales will take approximately 5 minutes of your time. Please answer the questions in the scales in a way that reflects your real thoughts. Answering the questions completely and honestly will ensure valid and reliable results from the research.

The information requested from you during the study will only be used within the scope of this research and will not be shared with third parties or institutions. Your answers will only be used scientifically in accordance with the purpose of the research and will be kept confidential. If you feel uncomfortable for any reason while answering the questions, you are not obliged to continue with the research. However, completing the forms fully and completely is important for the validity of this research.

Hazal KAHRAMAN

SECTION 1: DEMOGRAPHIC INFORMATION

A. Personal Information:

1. Age
2. Gender
3. Education
4. Total Maritime Experience: ____ years
5. Tanker Experience: ____ years

B. Professional Information:

6. Current Position:

Captain C/O 2/O 3/O

C/E 1/E 2/E 3/E

Pumpman Other: _____

7. Certificate of Competency Level:

Ocean-going Near-coastal Limited

SECTION 2: SAFETY MANAGEMENT SYSTEM ASSESSMENT

Rating Scale:

- 1: Strongly Disagree
- 2: Disagree
- 3: Agree
- 4: Mostly Agree
- 5: Strongly Agree

| No | Assessment Questions | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A. System Integration and Compliance | | | | | | |
| 1 | VOC procedures are clearly defined within SMS | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 | VOC checklists are fully integrated into operations | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3 | VOC risk management is effectively evaluated in ISM audits | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 | VOC management is provided in accordance with TMSA requirements | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5 | MARPOL Annex VI VOC requirements are met | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| B. Risk Assessment and Control | | | | | | |
| 6 | VOC risk assessments are systematic | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7 | Enclosed space entry procedures are effective | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8 | Tank atmosphere measurements are conducted regularly | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9 | Inert gas system is used according to procedures | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 | Risk control measures hierarchy is implemented | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| C. Personnel Competency and Training | | | | | | |
| 11 | Adequate training is provided on VOC hazards | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12 | Gas measurement device usage training is sufficient | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13 | Emergency procedures are known by the team | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14 | Personnel are competent in PPE usage | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15 | Refresher training is conducted regularly | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| D. Monitoring and Reporting | | | | | | |
| 16 | VOC exposure measurements are recorded | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17 | Near-miss incidents are reported | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18 | Corrective actions are tracked | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19 | Performance indicators are regularly monitored | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20 | Management review is effective | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| | | | | | | |
|------------------------------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| E. Equipment and Maintenance | | | | | | |
| 21 | Gas detectors are regularly calibrated | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 22 | Inert gas system operates reliably | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 23 | Ventilation systems are effective | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 24 | P/V valves are regularly tested | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 25 | Spare parts inventory is adequate | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| F. Crew Health and Safety | | | | | | |
| 26 | Regular health checks are conducted | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 27 | Post-VOC exposure health monitoring is effective | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 28 | Living quarters VOC measurements are conducted | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 29 | Personal exposure measurements are taken | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 30 | Exposure limit values are monitored | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 31 | Respiratory protective equipment is adequate | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 32 | Gas mask filters are regularly replaced | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 33 | Health risks are evaluated in work permit system | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 34 | Health complaints are recorded | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 35 | Exposure is considered in watch arrangements | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Performance Indicators:

1. Number of VOC-related incidents in the last 12 months: ____
2. Percentage of personnel trained in VOC: ____
3. Number of successfully completed VOC audits: ____
4. Percentage of calibrations completed on time: ____
5. Number of reported near-miss incidents: ____
6. Corrective action completion rate: ____
7. Number of VOC measurements above limit: ____
8. Emergency drill success rate: ____
9. Planned maintenance completion percentage: ____
10. Number of VOC procedure non-conformities: ____
11. Number of detected faults in gas detectors: ____
12. Number of detected PPE non-conformities: ____



TEKNOVERSITE



teknoversite

İSTE

